

2000 B

092344177

# **UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**

---

**CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS  
BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS  
DIVISION DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES**



**COMPOSTADO DE LODOS RESIDUALES Y DESECHOS  
DE JARDINERIA COMO ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN  
AL PROBLEMA DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN  
EL MUNICIPIO DE CHAPALA, JALISCO.**

---

**T E S I S   P R O F E S I O N A L**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**L I C E N C I A D O   E N   B I O L O G Í A**  
P R E S E N T A  
**LAURA GABRIELA RODRÍGUEZ ANDALON**  
GUADALAJARA, JALISCO., AGOSTO DE 2001

---



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

COORDINACIÓN DE CARRERA DE LA LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

COMITÉ DE TITULACIÓN

C. LAURA GABRIELA RODRÍGUEZ ANDALÓN  
P R E S E N T E .

Manifiestamos a Usted que con esta fecha ha sido aprobado su tema de titulación en la modalidad de TESIS con el título "COMPOSTADO DE LODOS RESIDUALES Y DESECHOS DE JARDINERÍA COMO ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE CHAPALA, JALISCO", para obtener la Licenciatura en Biología.

Al mismo tiempo le informamos que ha sido aceptado como Director de dicho trabajo el ING. MARCOS RAFAEL CRESPO GONZÁLEZ y como asesor el M.C. FRANCISCO PADILLA MANCILLA.

A T E N T A M E N T E

"PIENSA Y TRABAJA"

"AÑO IRENE ROBLEDO GARCÍA"

Las Aguas, Zapopan, Jalisco, 06 de noviembre del 2000

  
DRA. MÓNICA ELIZABETH RIOJAS LÓPEZ  
PRESIDENTE DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

  
DRA. ALMA ROSA VILLALOBOS ARÁMBULA  
SECRETARIO DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

TESIS/CUCBA

c.c.p. ING. MARCOS RAFAEL CRESPO GONZÁLEZ- Director del Trabajo.  
c.c.p. M.C. FRANCISCO PADILLA MANCILLA.- Asesor  
c.c.p. Expediente del alumno  
MERL/ARVA/mam\*

**PRESIDENTE DEL COMITÉ DE TITULACION DE  
LA LICENCIATURA EN BIOLOGIA  
PRESENTE**

Por medio de la presente nos permitimos a Usted, que habiendo revisado el trabajo de titulación que realizo la pasante Laura Gabriela Rodríguez Andalon con el titulo: Compostado de lodos residuales y desechos de jardinería como alternativa de solución al problema de contaminación ambiental en el municipio de Chapala, Jalisco consideramos que ha quedado debidamente concluido, por lo que ponemos a su consideración el escrito final para autorización de impresión y en su caso programación de fecha de presentación y defensa del mismo.

Sin otro particular agradecemos de antemano la atención que se sirva dar a la presente y aprovechamos la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE


Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jal., 29 de agosto de 2001



Ing. Marcos Rafael Crespo González  
Director

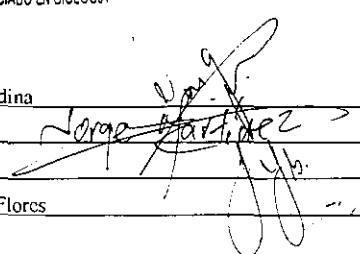


COORDINACION DE LA CARRERA DE  
LICENCIADO EN BIOLOGIA



M. en C. Francisco Padilla Mancilla  
Asesor

SINODALES

1. M. en C. Martha Georgina Orozco Medina
  2. Biol. Arturo Ibarra Martínez M.
  3. Biol. América Loza Llamas
- Suplente M en C. Roberto Maciel Flores
- 

Esta tesis se realizó bajo la dirección del Ing. Marcos Crespo González y el asesoramiento del M. en C. Francisco Padilla Mancilla. El trabajo experimental se llevó a cabo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Antonio Tlayacapan, Municipio de Chapala, Jalisco, México. Los análisis de laboratorio y el trabajo de gabinete se hicieron en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ).

## AGRADECIMIENTOS

Al Centro de investigación y Asistencia Tecnológica del Estado de Jalisco, A. C. (CIATEJ)

A la Secretaria de Desarrollo Urbano, Jalisco (SEDEUR)

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (SIMORELOS)

A la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Antonio Tlayacapan

*por permitir todas las facilidades para la realización de este trabajo*

Ing. Marcos Crespo González

M. en C. Francisco Padilla Mancilla

M. en C. José de Anda Sánchez

*por su dedicación y apoyos recibidos en la dirección de esta tesis*

Agroeco S. A. de C. V. de Zapopan Jal.

*por la donación del activador de compost y asesoría en su aplicación*

Ing. Miramontes Lau

*por la asesoría en la interpretación de nutrimentos.*

M. en C. Eduardo Salcedo

*por sus recomendaciones para la realización de este trabajo.*

A los Profesores del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias:

M. en C. Roberto Maciel Flores

Biol. América Loza Llamas

M. en C. Luis Alfredo Burgos

Ing. Tito Javier Dávila (†)

*quienes me apoyaron en mi formación profesional.*

*GRACIAS*

**DEDICATORIAS**

*Dedicada a la memoria de Don Juan...*

*a la Señora Soledad,*

*...¡Gracias por darme tan grande herencia!*

*A mi familia:*

*Adán, Arturo, Soledad,  
Alberto, Hector, Rosa María,  
Sandra, Nadir, Kay....*

*...Efrain, Sonia, Flavio,  
Luz, Agustín, Rocio  
Julieta, Viviana y Norma.*

*A Miguel...*

*...y a todos aquellos que de alguna manera  
intervinieron en mi desarrollo como estudiante.*



## RESUMEN

La contaminación producida por los residuos sólidos municipales existentes en el municipio de Chapala trae consigo una serie de impactos ambientales negativos a esta región, que dicho sea de paso, es una importante zona turística del Estado de Jalisco.

En primer instancia, la basura del tiradero municipal se quema con frecuencia y producen gases tóxicos. Además los lixiviados que se generan contaminan el suelo y los mantos acuíferos. Se considera, en general que alrededor de 50% de esa basura es de tipo orgánico, entre ellos se encuentran desechos de jardinería y lodos residuales de dos plantas de tratamiento de aguas negras, los cuales, tienen altos contenidos de patógenos.

La propuesta expuesta en este trabajo fue la de presentar una alternativa de solución para el aprovechamiento de lodos residuales y desechos de jardinería por medio de la tecnología de compostado.

Se evaluaron tratamientos base de mezclas 3:1 de restos de jardinería y lodos. Los tratamientos consistieron en el apilamiento del material orgánico; con variaciones en la intensidad de la ventilación y en la inoculación mediante activadores biológicos.

Se hicieron los siguientes tres tratamientos: el primero con volteo cada semana, tratamiento 2: volteo cada dos días y activador de compost, y tratamiento 3: ventilación por chimeneas de pvc y activador.

Se monitorearon temperatura, humedad y pH a lo largo de doce semanas. Los análisis para determinar el contenido de *Salmonella spp.* y *Escherichia coli*, coliformes totales así como nutrimentos, se hicieron en la semana inicial y en la final.

Se registraron temperaturas arriba de 60 °C al inicio del proceso de compostado, con un pH de 7.84 en los tres tratamientos y con una humedad de 60 %. El material del tratamiento 3, se compactó y la entrada de aire se interrumpió, lo que alteró el proceso de compostado. La semana doce los tratamientos uno y dos se estabilizaron en una temperatura de 40 °C, un pH de 7 y una humedad de 40 %.

Los coliformes totales se redujeron en un 90%, sin embargo, la presencia de *Escherichia coli* se mantuvo hasta la semana doce. La presencia de este microorganismo limita el uso de compost a cultivos de ornato y aquellos cuyos frutos no se den en contacto con la tierra: cereales, granos, frutales y algunas hortalizas. La calidad de los nutrimentos contenidos en el compost de los tratamientos 1 y 2, oscila entre bueno y muy bueno.

## INDICE DE CONTENIDO

Agradecimientos	
Dedicatorias	
Resumen	
Índice de contenido	
Índice de cuadros	
Índice de figuras	
1. Introducción	1
2. Planteamiento del problema	5
3. Justificación	6
4. Objetivo general	7
5. Hipótesis	8
6. Marco teórico	9
6.1 La importancia de la materia orgánica en los suelos	9
6.2 El compost	12
6.3 Compostado anaerobico	13
6.3.1 Compostado aeróbico	14
6.4 Descripción detallada del proceso de compostado aeróbico	14
6.4.1 Actividad biológica	14
6.4.2 Aspectos bioquímicos del compostado	15
6.4.3 Los nutrientes	18
6.4.4 Relación C/N	18
6.4.5 La ventilación en la composta	20
6.4.6 Comportamiento de la temperatura en el proceso de compostado	21
6.4.7 pH durante el proceso de compostado	22
6.4.8 Humedad	22
6.4.9 Selección de materia orgánica	23
6.5 Métodos aeróbicos de producción de compost	21
6.5.1 Composteros domésticos	24
6.5.2 El método de apilamiento	28
6.5.3 Principios que deben cuidarse en el proceso de compostado	29
6.6 Usos del compost	31
6.6.1 El compost como mejorador de suelos	31

6.6.2	El compost como abono orgánico	31
6.6.3	El compost para el control de enfermedades	32
6.6.4	Prevención de la erosión	32
6.6.5	Reducción de la cantidad de residuos sólidos municipales	32
6.6.5.1	Reducción de residuos sólidos municipales en México	33
6.6.6	La industria del compost y el reciclaje de residuos orgánicos	34
6.7	Limitación del compostado en México	36
6.7.1	Calidad y disposición de residuos sólidos orgánicos	36
6.7.2	Riesgos sanitarios	37
6.7.2.1	Riesgo sanitario de lodos residuales	38
6.7.3	Limitaciones de tipo legal y de divulgación	44
6.7.3.1	Normas Oficiales para el control de residuos peligrosos	48
6.7.3.2	Parámetros internacionales de calidad de compost	49
6.8	Experimentos de compostado de lodos residuales con desechos de jardinería	51
6.8.1	Compostado con lodos contaminados con metales pesados	54
7.	Descripción del área de estudio	58
7.1	Características climáticas del área de estudio	59
7.2	Localización del lote experimental	59
8.	Materiales y equipos utilizados	61
8.1	Características de los materiales compostados	61
8.1.1	Lodos residuales	61
8.1.1.1	Proceso de producción de lodos residuales	61
8.1.2	Desechos de jardinería municipal	63
8.2	Equipos utilizados	64
8.2.1	Activadores biológicos de compost	64
9.	Proceso técnico	65
9.1	Preparación del sitio de experimentación	66
9.2	Recolección y selección de material orgánico	66
9.3	Estructuración del material a compostar	67
9.4	Formación de las pilas de compostado	67
9.5	Tratamientos	69
9.5.1	Tratamientos 1	69
9.5.2	Tratamiento 2	70
9.5.3	Tratamiento 3	71
9.6	Parámetros de control del proceso de compostado	73
9.6.1	Aireación	73
9.6.2	Humedad	73

9.6.3	Temperatura	73
9.6.4	pH	73
9.6.5	Análisis microbiológico de pilas de compost y lodos residuales	73
9.6.6	Determinación de nutrientes	73
10.	Resultados	74
10.1	El factor temperatura	74
10.2	El factor pH	78
10.3	Humedad	79
10.4	Organismos patógenos	81
10.5	Contenido de nutrientes y algunos metales pesados	83
11.	Conclusiones y recomendaciones	85
12.	Glosario	87
13.	Bibliografía	90
14.	Anexos	96

## INDICE DE CUADROS

1. Temperaturas de esterilización del compost	15
2. Grados de descomposición de materiales orgánicos para microorganismos durante el proceso de compostado	17
3. Relación del contenido de nutrientes entre los principales abonos orgánicos y el compost	18
4. Contenido de nitrógeno y relación C/N en materiales compostables	20
5. Materiales compostables	24
6. Métodos de producción de compost	25
7. Tendencias mundiales del tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales	33
8. Residuos generados en la Ciudad de México según su origen	34
9. Producción de materiales que pueden ser compostables en el D. F.	35
10. Producción de lodos y residuos peligrosos en países de América Latina	38
11. Principales patógenos contenidos en los lodos residuales	41
12. Valores permisibles de los lodos para la aplicación agrícola	43
13. Valores permitidos de metales pesados en el compost en algunos países	50
14. Valor límite de concentración de metales pesados en los lodos destinados a su utilización agrícola en España	50
15. Uso de lodos y residuos sólidos municipales en algunos países de América Latina	53
16. Plantas de Tratamiento de aguas residuales existentes en la ribera de Chapala y sus volúmenes de operación	60
17. Elementos tóxicos contenidos en los lodos residuales de la planta de tratamiento de San Antonio Tlayacapan	61

18. Contenidos de patógenos en los materiales para compostar y en el compost	81
19. Contenido de elementos nutritivos y metales pesados en el material compostable y compost	83
20. Utilización del compost obtenido como abono en cultivos	84

## INDICE DE FIGURAS

1. Vista parcial del tiradero municipal de basura de Chapala	4
2. Comportamiento de la temperatura en el proceso de compostado	21
3. Comportamiento del pH durante el proceso de compostado	22
4. Malla de alambre utilizada en el compostado	26
5. Corral de compost para la producción de compost	26
6. Serial de cajas para composta	26
7. Montado de barril con un rodado horizontal	27
8. Corral de lombrices	27
9. Apilamiento de material orgánico	27
10. Modificación de la pila aireada de Beltsville	28
11. Ubicación del poblado de San Antonio Tlayacapan, Chapala Jalisco	58
12. Croquis de la planta de Tratamiento de San Antonio Talyacapan	62
13. Aspecto final de los lodos residuales de la depuradora de San Antonio Tlayacapan en el lecho de secado	63
14. Aspectos de los residuos de jardinería utilizados para la compostar	63
15. Diagrama de flujo de las fases de proceso técnico	65
16. Preparación del sitio de experimentación	66
17. Mezcla de materiales para las pilas de compost	67
18. Metodología desarrollada en las diferentes pilas	68

19. Aspecto de la pila 1	69
20. Inoculación con activador de compostado en la pila 2	70
21. Aspecto de la pila 2 terminada	70
22. Cama de ramas utilizada para el tratamiento 3	71
23. Establecimiento del sistema de ventilación por chimeneas en el tratamiento 3	72
24. Pila 3 terminada	72
25. Comportamiento de la temperatura promedio en los tres tratamientos	76
26. Comportamiento de la temperatura en el tratamiento 1	76
27. Comportamiento de la temperatura en el tratamiento 2	77
28. Comportamiento de la temperatura en el tratamiento 3	77
29. Comportamiento de pH respecto del tiempo en los tres tratamientos	78
30. Comportamiento de humedad durante el proceso de compostado	80
31. Comportamiento de coliformes totales en los tratamientos 1 y 2	82



## I. INTRODUCCIÓN

Como en todo el Estado de Jalisco, en el Lago de Chapala existen también serios problemas de contaminación ambiental, tales como el inadecuado manejo de enormes cantidades de basura, el insuficiente tratamiento de aguas negras, la contaminación del aire, agua y suelos; debido, por una parte, a la gran diversidad de actividades económicas desarrolladas en la zona, entre las que destacan el turismo nacional e internacional, y por otra, la poca atención que recibe la problemática ambiental que generan dichas actividades.

La contaminación del Lago de Chapala tiene sus orígenes en la cuenca del Río Lerma, la cual recibe las aguas residuales de los municipios localizados en la trayectoria del río, además de las aguas procedentes de los parques industriales de Santiago Tianguistenco, Querétaro, Celaya, Irapuato y Salamanca. Tales industrias generaban en 1989 la cantidad de 2.4 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales, que se descargaban directamente en el Río Lerma, lo que representaba, en aquel entonces, una carga adicional de 96,250 toneladas de materia orgánica (Limón, 1999).

Por otro lado, las aguas negras que se generan en los municipios ribereños del Lago de Chapala contienen contaminantes de tipo orgánico, procedentes básicamente del uso de baños y cocinas, ya que las actividades económicas que predominan en la región son el turismo, el comercio y los servicios del sector agropecuario y pesquero.

Entre los contaminantes químicos más importantes encontramos los siguientes: detergentes; metales pesados; sales orgánicas y sintéticas; grasas; aceites; fertilizantes y plaguicidas. Estos contaminantes pueden causar eventualmente intoxicaciones y daños al ambiente, los cuales se reflejan en la pérdida de biodiversidad y en la propagación excesiva de algas y malezas acuáticas como proceso de eutroficación del lago.

Los niveles de contaminación varían irregularmente en el Lago de Chapala. Por ejemplo, la zona localizada entre la desembocadura del Río Lerma y los municipios de Chapala, San Juan Cosalá y Jocotepec, frente a la zona turística, se encuentra más contaminada con residuos de origen doméstico. Mientras que la contaminación de la ribera comprendida entre la desembocadura del Río Lerma, Jamay y el lugar donde nace Río Santiago es de origen químico fundamentalmente. El problema de contaminación del lago se acentúa más por la falta de agua potable, no obstante, en los poblados de la ribera norte, la

gente consume el agua del lago a pesar del mal estado en que se encuentra, por lo que las enfermedades gastrointestinales son muy frecuentes (Guzmán, A. M. y E. N. Merino, 1990).

Con la finalidad de mejorar la calidad de las descargas de aguas hacia el Lago de Chapala, el Gobierno del Estado, a través de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDEUR), creó una red compuesta con once plantas de tratamiento de aguas residuales, a lo largo de la ribera del lago. Sin embargo, esta solución ha generado otro problema de carácter ecológico: dentro de las plantas de tratamiento se produce un sedimento fangoso como resultado del tratamiento biológico de las aguas negras, llamado lodos residuales, a los cuales no se les aplica ningún tratamiento y simplemente se vierten directamente en los tiraderos de basura municipales.

Tan sólo las plantas de tratamiento de la ribera norte del lago producen más de diez toneladas diarias de lodos residuales. Mismos que representan focos de infección química y biológica. En primer caso, por ejemplo, se han podido detectar cantidades excesivas de selenio y no se descarta, que eventualmente otros metales pesados sobrepasen los límites tolerables al ambiente (SEDEUR, 1999).

En el segundo caso, los lodos pueden ser vectores de contaminación biológica, debido a la presencia de microorganismos causantes de enfermedades gastrointestinales. En la planta de Tratamiento de San Antonio Tlayacapan, ubicado en el municipio de Chapala Jal., este estudio detectó la presencia de elevadas poblaciones de coliformes y *Echerichia coli*.

Además de los riesgos potenciales que representan los lodos residuales, otro de los problemas de contaminación más notable que ocurre, al menos en el Municipio de Chapala, es el de la basura, la cual no tiene ningún tipo de tratamiento, es decir, no se separan los residuos orgánicos, inorgánicos ni los materiales tóxicos. Esto da por resultado toda una serie de impactos ambientales negativos: 1) Quemadas frecuentes de basura que contaminan el aire; 2) lixiviados que contaminan al suelo, a las aguas subterráneas y superficiales; 3) daños a la salud de los habitantes de la zona y a la fauna; y 4) alteración drástica del paisaje natural.

Con respecto a la práctica común de la quema de basura (figura 1), cabe destacar que se origina por la gran cantidad de desechos combustibles presentes, parte de los cuales provienen de la jardinería municipal y doméstica. Dicho problema se complica aún más por el hecho de que abundancia de residuos orgánicos, que por regla general constituyen alrededor del 50 % de la cantidad de basura, generan gas metano durante el proceso de descomposición anaerobia y es altamente inflamable. El incendio de la basura se prolonga en ocasiones durante varias semanas sin parar y su control es extremadamente difícil puesto que la combustión sucede hasta partes muy profunda del vertedero. A este tipo de quemadas se le conoce con el nombre de incendios subterráneos.

Este escenario general de los problemas ambientales que afectan al lago de Chapala y sus alrededores, son motivos suficientes para buscar de inmediato alternativas viables de solución en la región.

En este sentido el presente trabajo contribuye a evaluar la utilidad de la tecnología del compostado para el tratamiento de lodos residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas de San Antonio Tlayacapan. Esta decisión fue tomada por SEDEUR en el año de 1999, ya que esta planta de tratamiento sólo se recibe aguas negras de origen doméstico, y por lo tanto genera los lodos residuales menos contaminados.

El compostado es un proceso de descomposición biológica de restos orgánicos que ocurre a manera de fermentación controlada hasta convertirse finalmente en materiales humificados (Valdés, 1974), es decir, en sustancias que tienen la propiedad de servir como un excelente mejorador de suelos y como un importante abono agrícola natural muy apreciado por agricultores, viveristas y jardineros. A este producto se le conoce con el nombre de compost o composta.

La aplicación de la tecnología del compostado para el tratamiento de lodos residuales, pretende también servir como medio para aprovechar al mismo tiempo, residuos de jardinería que tradicionalmente van a parar al basurero municipal como fuente de material combustible.

Durante el desarrollo de esta tesis, se probaron experimentalmente tres tipos de variantes en el compostado de lodos residuales mezclados con desechos de jardinería, y se evaluaron las características químicas y microbiológicas de los materiales producidos.

La realización de este trabajo se realizó gracias al apoyo de las siguientes instituciones: la Secretaría de Desarrollo Urbano (SEDEUR-Jalisco); Centro de Investigación Tecnológica y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ); El Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) de la Universidad de Guadalajara y del programa SIMORELOS del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).



**Figura 1. Vista parcial del tiradero municipal de basura de Chapala. Puede observarse el grave impacto ambiental que ocasiona al aire y al suelo.**

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Entre los residuos orgánicos municipales que afectan principalmente al municipio de Chapala, se encuentran los desechos de jardinería, y por otro lado los lodos residuales, ambos son depositados al aire libre en un tiradero localizado junto al tramo carretero que une a Ajijic con la carretera a Chapala-Guadalajara, a dos kilómetros aproximadamente de la población de Ajijic.

Los problemas que estos restos provocan en el tiradero son varios. La basura de jardinería sirve como material combustible en la constante quema del basurero, lo que origina gases y lixiviados tóxicos; altera el paisaje natural de la zona y propicia una pésima imagen al turismo.

Los lodos residuales representan un severo problema sanitario ya que son focos de infección biológicas, tanto en los alrededores de la planta de tratamiento, puesto que se localiza en medio de una zona habitacional, como en el basurero municipal donde se desechan. Desgraciadamente su eliminación constituye aproximadamente la mitad del costo total de proceso de tratamiento aguas negras de las cuales proviene (Winker 1986). En la planta de tratamiento de aguas residuales de San Antonio de Tlayacapan de Chapala, Jalisco se generan  $7.35 \text{ m}^3$  / semana de lodos residuales a un alto costo, estos no reciben ningún tratamiento antiséptico o de transformación para su aprovechamiento agrícola.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Las grandes cantidades de desechos orgánicos que día a día se incrementan, el tamaño del tiradero municipal de basura de Chapala, y con ellos problemas ecológicos, podrían reducirse a un mínimo si al menos los desechos orgánicos fueran racionalmente aprovechados mediante un proceso de compostado.

Es por tanto, que la propuesta del presente trabajo es evaluar la tecnología del compostado como una alternativa para el reciclado de desechos de jardinería y los lodos residuales, y de esta manera, producir un material útil como mejorador de suelos y abono orgánico.

Esta es probablemente la solución más factible para reducir considerablemente algunos problemas más graves de contaminación en la región, permitiendo minimizar los riesgos en la salud pública que involucra la disposición de lodos residuales sin ningún manejo sanitario. El compost producido podría ser una estrategia generará fuentes de trabajo y mejores ingresos económicos para el municipio.

Al mismo tiempo, con la aplicación del compost se podrían beneficiar a las tierras agrícolas empobrecidas, así como también embellecer jardines, producir plantas y árboles de vivero, e incluso regenerar terrenos degradados por la erosión. Otro beneficio colateral importante sería, también, la incuestionable mejora del entorno ecológico de Chapala.

La inversión capital para la aplicación de la tecnología de compostado representaría gasto, principalmente por el traslado y el manejo de grandes volumen de material (lodo y restos de jardinería), así como de las grandes áreas requeridas para su tratamiento. Sin embargo, actualmente se gasta por el traslado de lodos al basurero. A largo plazo significaría, no sólo la reducción de volúmenes de lodos residuales y basura de jardinería, sino la transformación de estos en un producto demandable, como lo es el abono.

#### 4. OBJETIVO GENERAL

Evaluar tres variantes del proceso de compostado para determinar el tratamiento más viable para el aprovechamiento de los desechos de jardinería y los lodos residuales del Municipio de Chapala, Jalisco.

**Meta:**

Extrapolar los resultados de esta investigación como base para su aplicación técnica en el tratamiento de los lodos residuales, de todas las plantas de tratamiento de aguas residuales de la ribera del Lago de Chapala, a cargo del Gobierno del Estado de Jalisco.

## 5. HIPÓTESIS

1. El desarrollo del presente trabajo pretende demostrar que la tecnología de compostado se puede utilizar para el procesamiento de lodos residuales, los cuales mezclados con desechos de jardinería, permitirán elaborar un material orgánico rico en nutrientes útil para la agricultura como mejorador de suelos y abono orgánico.
2. El empleo de la tecnología de compostado permitirá reducir totalmente las poblaciones de coliformes contenidas en los lodos residuales.



## 6. MARCO TEORICO

### 6.1 La importancia de la materia orgánica en los suelos

El suelo es considerado como producto natural debido a la intemperización de rocas e igualmente se le caracteriza por servir de sostén para desarrollo de las plantas. El suelo está compuesto por una fracción de mineral, agua, aire y materia orgánica. En general, los componentes minerales forman el 45% de la constitución del suelo, mientras que el aire y agua tiene el 25% cada uno. La materia orgánica ocupa el 5% del suelo y es el resultado de la acumulación de restos biológicos que están en constante actividad de desintegración, por la acción de los microorganismos. La materia orgánica existente en el suelo funciona como “granulador”, es decir ayuda a la fragmentación de componentes minerales permitiendo la porosidad de los suelos, además aporta una gran variedad de nutrientes y representa la única fuente de nitrógeno al suelo (Buckman y Brandy, 1985).

La porción totalmente descompuesta de la materia orgánica es llamada humus, que es de color negro y su capacidad de almacenamiento de agua, iones y nutrientes es mayor al de la arcilla (coloides minerales), por lo que la adición de humus a los suelos mejora la calidad para el óptimo crecimiento de las plantas (Buckman y Brandy, 1985).

El empleo de materiales orgánicos en la agricultura es una práctica realizada desde siglos atrás por distintas culturas, en donde principalmente se utilizaban desechos orgánicos y eran reutilizados permitiendo mantener el balance adecuado del suelo a lo largo de cientos de años. La materia orgánica debe ser utilizada pensando en aportar al suelo nutrimentos y compuestos que requieren las plantas. Contribuir al mejoramiento de los suelos implica incrementar la fertilidad y la producción de los cultivos, y es especialmente significativo si para ello se aprovechan residuos orgánicos (de Val A., 1993).

En la tierra no se pierde nada, lo que cae vivo o muerto es reincorporado. Esta dinámica del suelo mantiene una fertilidad entendida como la capacidad de la tierra para proporcionar principios nutritivos a las plantas (Buckman y Brandy, 1985).

A lo largo de la historia de la humanidad se desarrollan técnicas para mantener la fertilidad de las tierras, prueba de ello es la cultura China que en más de cuatro mil años, aún siguen produciendo frutos, la explicación de dicho éxito consiste en el adecuado manejo de sus materias orgánicas (de Val. A., 1993).

En nuestro país, en cambio, el común de los agricultores poco se preocupan por al menos mantener un nivel aceptable de materia orgánica en sus suelos, lo que ha ocasionado que grandes extensiones de tierra cultivable tengan contenidos bajos de este elemento. El empleo de fertilizante ha venido a sustituir parcialmente la deficiencia de materia orgánica (Buckman y Brandy, 1985).

El uso de fertilizantes químicos es una práctica estandarizada en todos los sistemas de producción agrícola. Sin embargo, los fertilizantes químicos contribuyen solamente con algunos nutrientes (N, P, K y S) que necesitan los suelos, no obstante, sus costos son altos (Buckman y Brandy, 1985).

Entre las técnicas utilizadas en la agricultura es la de abonos verdes, y consisten en la siembra plantas como leguminosas y gramíneas que abonan naturalmente al suelo, lo protegen y evitan la erosión. Según Crespo (2000) estas prácticas tienen sus orígenes entre los nahuas y mayas hace ocho mil años cuando se sembraban cultivos simbióticos de maíz-frijol, por tanto, la aplicación de este sistema está limitado a zonas húmedas tropicales y templadas.

Otra práctica común es la aplicación directa de estiércoles, en forma fresca o medio descompuesto, empero, tiene el riesgo de aportar organismos patógenos a la tierra. Esta costumbre se desarrolla en Asia y Europa desde hace miles de años (de Val A., 1993).

La escasez de estiércoles, el alto costo de los fertilizantes y la limitación de los abonos verdes ha obligado a la búsqueda de otras alternativas, tales como la reincorporación de materia orgánica a la tierra a través del aprovechamiento de abundantes cantidades de desperdicios orgánicos generados en los centros urbanos del país. Entre los procesos más reconocidos para el aprovechamiento de los residuos orgánicos se encuentra el del compostado, técnica central del presente trabajo.

En general se les atribuye a todos los tipos de materia orgánica que se incorporaron a tierras agrícolas, incluido el compost, su propiedad más importante como abono para favorecer la fertilidad de la tierra. Sin menospreciar este concepto, la verdad es que los materiales orgánicos tienen mayor virtud como mejoradores de suelo, es decir, como agentes que incrementan sobre todo las características físicas del suelo (Miramontes, 2001).

A manera de síntesis, a continuación se mencionan los beneficios que aportan los materiales orgánicos y obviamente el compost en las propiedades físicas y químicas y nutricionales de los suelos, según Crespo (2000):

- Mejora la aireación y la penetración del agua en el suelo (porosidad), es decir, hace al suelo como un migajón.
- Reduce la pérdida del suelo por erosión, porque incrementa la capacidad de penetración del agua en el suelo (infiltración).
- Hace la tierra más fácil de labrar ya que reduce la compactación, es decir, hace a los suelos más “blandos”.
- Aumenta la disponibilidad de todo tipo de nutrientes para las plantas, por lo tanto, puede sustituir el uso de fertilizante, o en su defecto, provoca que estos sean mejor aprovechados por las plantas.
- Evita el encostramiento de los suelos elevando el porcentaje de germinación.
- Aumenta la capacidad del suelo a resistir los cambios bruscos de pH (grado de acidez y alcalinidad).
- Le da “vida” a la tierra con millones de microorganismos e insectos benéficos, los cuales ayudan a las plantas a absorber nutrientes y también actúan como enemigos naturales de plagas y enfermedades. Como consecuencia se gasta menos dinero en plaguicidas.
- Hace más resistentes las plantas contra las plagas y enfermedades y contra la acción del viento, sequías e inundaciones.
- Los ácidos orgánicos liberados durante la descomposición del material orgánico en el suelo ayudan a disolver minerales del suelo y las plantas los toman con más facilidad.
- Su utilización hace que el suelo retenga más agua. Esto se debe a que la materia orgánica retiene 5 a 6 veces su peso en agua.
- Recicla y reduce los volúmenes de residuos orgánicos.

## 6.2 El compost

La palabra compost, también llamado composta, proviene del latín *componere* (juntar) es una mezcla homogénea rica en nutrientes, resultado de la descomposición de materiales orgánicos (Funke y Fachhochschule, 1992).

Alfonso de Val (1993) define la palabra compost como la reunión de un conjunto de restos orgánicos que sufre el proceso de fermentación y da un producto de color marrón oscuro, inodoro con olor a humus o tierra mojada.

Puede definirse el compost como el producto que se obtiene al someter la materia orgánica a un proceso de fermentación que transforma la materia orgánica en una mezcla estable, lo más homogénea posible y que guarda una relación entre sus componentes que le confieran un buen valor agronómico. La estabilización de la materia orgánica del compost, y su pasteurización se debe al proceso de fermentación dado a las temperaturas alcanzados por acción de bacterias y hongos durante el proceso de compostado (Tchobanoglous, *et al*, 1993).

El compost es un material con las cualidades del humus y de los abonos orgánicos. Tiene la tarea de mejorar las condiciones de los suelos agrícolas que deben mantener la fertilidad que requiere el adecuado balance entre compuestos estables y la actividad de la flora bacteriana. Debido a la materia orgánica y al humus que contiene el compost, éste mejora las características físicas del suelo y contribuye a la estabilidad de las estructuras de sus terrones: a los suelos compactos los afloja y los arenosos se compactan por el efecto de agregación. A sí mismo, mejora la porosidad del suelo, lo que facilita la respiración de las raíces, aumenta la infiltración de agua y su permeabilidad, reteniendo más agua (Valdés R., 1974).

### 6.3 El proceso de compostado

El compostado actúa como lo hace la naturaleza al reciclar sus propios productos y regresar a la tierra lo que salió de ella misma. La técnica de compostado se practica desde los tiempos antiguos de los griegos y romanos. Según Alfonso de Val, (1993), esta técnica tiene su origen en la India en donde mezclaban desechos vegetales con excrementos de animales y los humedecían parcialmente. Este método fue estudiado por el señor Albert Howard, entre 1905 y 1907, quien posteriormente desarrolló nuevas técnicas que se estandarizaron por toda Europa.

El compostado es un tratamiento común en todas las comunidades agrícolas que sirve para convertir los residuos en enmiendas de suelos reutilizables. Se trata de una conversión microbiana llevada a cabo bajo una serie de bacterias y hongos (Alvares-Cohen y Mc Carty., 1991).

Barbara J. Fick (1993), menciona que la tecnología del compostado es un proceso de biotransformación de los materiales orgánicos por medio de la digestión de microorganismos en condiciones controladas. En este proceso la acción de los hongos y bacterias realizan por una parte, la degradación o síntesis de nuevos productos; y por otra, desarrolla calor que eleva la temperatura de la masa, produce la esterilización de ésta y elimina agentes patógenos; para activar este mecanismo las poblaciones biológicas deben presentar condiciones favorables de humedad, temperatura y ventilación.

El producto final del proceso de compostado es el compost. Este material es parecido al humus o tierra negra de los bosques, pero a diferencia de éste, el compost se produce en doce semanas aproximadamente. El compostado es un método variante porque la biotransformación de la materia orgánica se puede hacer de dos formas: anaeróbico y el aeróbico, mismos que se describen a continuación (Dichtl I., 1997).

#### 6.3.1 Compostado anaeróbico

Esta técnica consiste en la concentración de material orgánico en reposo, en donde los microorganismos anaeróbicos transforman la materia que permite la reducción de los residuos orgánicos por medio de la descomposición anaeróbica, es decir, sin la presencia de oxígeno. Este proceso es más lento porque no requiere tantas atenciones, debido a que no requiere de ventilación. A cambio produce mal olor por la putrefacción de los restos orgánicos. Este tipo de fermentación desprende gases tóxicos tales como amoníaco, metano y ácido sulfúrico, por lo que esta técnica es usada en muchas partes del mundo para la producción de biogas. La fermentación anaerobia no alcanza altas temperaturas que permitan la pasterización del material (Dichtl I., 1997).

### 6.3.2 Compostado aeróbico

El compostado aeróbico consiste en la biotransformación de materiales orgánicos, preferentemente residuos que son procesados por microorganismos aeróbicos en condiciones controladas. En ésta técnica la presencia adecuada de oxígeno, las altas temperaturas y la humedad son condiciones primordiales para el buen desarrollo del compost (Haug, 1993).

Debido a que el proceso de fermentación aeróbica se mantiene con la ventilación de los materiales, no existe la producción de gases tóxicos, ni malos olores; además de que con las temperaturas alcanzadas arriba de los 65 °C se limpia el compost de gérmenes (Tchobanoglous, *et al.*, 1993). El proceso de compostado aeróbico es el utilizado en este trabajo de tesis y el cual es descrito posteriormente de manera detallada.

## 6.4 Descripción detallada del proceso de compostado aeróbico

El método de compostado aeróbico consiste en juntar residuos orgánicos mezclarlos, y mantener la ventilación y humedad en condiciones favorables para el desarrollo de microorganismos y para acelerar el proceso de fermentación. La mayoría de veces se apilan los residuos orgánicos al menos 1.5 m de altura, pues es volumen del material debe alcanzar temperaturas específicas (de Val A., 1993).

### 6.4.1 Actividad biológica

La fermentación aeróbica es un proceso que lo llevan a cabo los microorganismos (bacterias y hongos). El hombre favorece las condiciones de vida de estos organismos para acelerar este proceso.

Durante el tiempo de la fermentación de la materia orgánica van apareciendo diferentes especies de microorganismos, según las condiciones de temperatura y humedad. Estos microorganismos pueden tener su procedencia desde el material compostado, o pueden provenir desde el suelo, el aire y el agua.

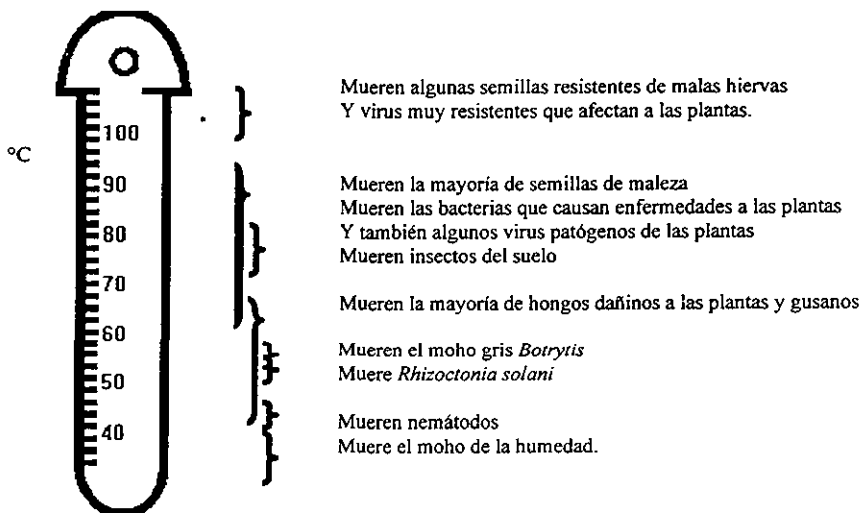
Estas bacterias y organismos se pueden clasificar de acuerdo a los rangos de temperatura (Crespo, 2000):

- Psicrófilas                    >20 °C
- Mesófilas                     20 – 40 °C
- Termófilas                    40 – 75 °C

La descomposición y la estabilización de la materia orgánica que ocurre en las etapas finales del proceso de compostado son constantes y se llevan a cabo por distintos tipos de poblaciones microbianas que intervienen en forma puntual y específica. Puntual, porque sucede en diferentes estadios de tiempo, y específica, porque cada población se encarga de un compuesto determinado (de Val A., 1993).

La actividad biológica del suelo se favorece por el aporte de microorganismos provenientes del compost, pero es más la riqueza de materiales orgánicos, lo que favorece el desarrollo de los organismos que ya existen en el suelo. En conjunto, los microorganismos que viven en el suelo y los que aporta el compost estimulan el desdoblamiento de minerales insolubles como fosfatos necesarios para el desarrollo de las plantas, el nitrógeno soluble pasa a nitrógeno orgánico (Romero, 1982).

Cuadro I. Temperaturas de esterilización del compost (Boletín FAO No. 56).



#### 6.4.2 Aspectos bioquímicos del compostado

La bioquímica del compost se realiza a través de los microorganismos que viven y se desarrollan en la pila de material orgánico. Una pila de desechos orgánicos provee de nutrientes agua y aire para el desarrollo de microfauna.

Los residuos orgánicos poseen estructuras moleculares complejas, es decir, están conformados por polímeros. Los polímeros grandes existentes en el suelo no pueden ser digeridos por las raíces de las plantas, por lo que no son aprovechados en forma total.

Las bacterias, hongos, mohos, algas, protozoarios e insectos se encargan de “comer” los residuos de la pila de compost. Los polímeros de los materiales orgánicos son fraccionados en monómeros o moléculas más simples. Por ejemplo, la microfauna requiere grandes cantidades de azúcar para transformarla en energía; al principio los materiales del compost los proveerán y serán rápidamente aprovechados por las poblaciones biológicas. Pero posteriormente tendrán que sintetizar los azúcares a partir de otros compuestos y comenzarán a degradar la materia orgánica (de Val A., 1993).

Los azúcares, las pentosas y las grasas son sustancias que son consumidas primeramente por los microorganismos. Posteriormente son atacados los compuestos más complejos tales como celulosa, hemicelulosa y lignina (Crespo, 2000) (Ver cuadro 2).

No sólo se degradan los materiales en polímeros y monómeros, sino que también se forman nuevas sustancias. Estas transformaciones se reflejan en varios aspectos físicos, químicos y biológicos de la materia que se está compostando. La transformación de material orgánico es hecha principalmente por bacterias, que llevan a cabo el proceso de fermentación en donde sintetizan a los polímeros como la celulosa y proteínas. La celulosa es hidrolizada y fermentada en azúcares más pequeños y en ácidos orgánicos. Las bacterias presentes en el compostado usan compuestos resultantes de la hidrólisis y de la fermentación, por ejemplo, emplean la cadena larga de ácidos orgánicos como un sustrato y al digerirla eliminarán una cadena corta de bióxido del carbono (Haug T. R., 1993).

Cuando los materiales compostables son productos contaminados, los organismos se adaptan al igual que en los procesos naturales, la adaptación les permite que sobrevivan en presencia de abundantes tóxicos. Esta adaptación puede ser el resultado de modificaciones fisiológicas naturales que dan lugar a una mayor concentración de los componentes celulares capaces de enlazar el material tóxico. Estos materiales existentes que entran en las células dan el proceso metabólico el potencial de elaborar nuevos sustratos para la producción de energía. El enriquecimiento es un mecanismo primario que altera la estructura de la comunidad microbiana autóctona para incrementar la propagación de organismos resistentes se debe a la capacidad de uso de compuestos tóxicos como fuente de energía alternativa (desinfectándolos) y la reducción en el número de competidores en relación con nutrientes presentes en el ambiente (Álvarez-Cohen y Mc Carty, 1991).



**Cuadro 2. Grados de descomposición de materiales orgánicos para microorganismos durante el proceso de compostado.**

Material orgánico	Descomposición
<b>Grupo 1</b>	
Azúcar	Fácilmente degradable
Glucógeno	
Almidón	
Acidos grasos y glicerol	
<b>Grupo 2</b>	
Hemicelulosa y celulosa	Degradación lenta (más relevante durante la maduración)
Compuestos aromáticos y alifáticos de bajo peso molecular	
<b>Grupo 3</b>	
Lignocelulosa	Usualmente resistente
Lignina	

Tomada de: Stentiford 1993.

Los organismos aeróbicos que sintetizan la energía a través de enzimas, en donde intercambian electrones externos (oxígeno) y que requieren de un electrón aceptor se le conoce como respiración aeróbica. En contraste con la respiración anaerobia que es un proceso que no requiere de electrones externos, la respiración anaerobia es un proceso de menor eficacia como consecuencia, los organismos con metabolismo de fermentación anaerobia crecerán en menor escala que los organismos de respiración aeróbica (Tchobanoglous G., *et al*, 1993).

Diagrama de la transformación general de la materia orgánica:



Los cambios en la transformación de materiales orgánicos en compost son evidentes y se reflejan en la textura, consistencia del material orgánico, en su olor, su volumen y su color. Estos cambios se producen hasta su transformación en compost y están a su vez influenciadas por las condiciones ambientales, el tipo de residuo a tratar y la técnica de compostado.

### 6.4.3 Los nutrientes

Todos los microorganismos necesitan nutrientes (como el nitrógeno, fósforo y azufre) para poder crecer y reproducirse. Los nutrientes los proporcionan los materiales que son utilizados para compostar. Entre las características principales se requiere de un alto contenido y balance adecuado entre el carbono y el nitrógeno, una relación expresada como C/N (Valdés R., 1974).

La importancia de seleccionar los materiales de compost es determinante, ya que representa el éxito del proceso de compostado. Los materiales como restos de hojas verdes y pasto son elementos fácilmente degradados y proporcionan los nutrientes principales para el aumento de las poblaciones biológicas del compost (de Val A., 1993).

Los materiales que se compostan proporcionan una amplia gama en nutrientes ricos en minerales tales como calcio, potasio, azufre y zinc y otros más. En el cuadro 3 se aprecian algunos de los nutrimentos que aportan, el compost y algunos estiércoles.

**Cuadro 3. Relación del contenido de nutrientes entre los principales abonos orgánicos y el compost.**

	Vacuno	Caballo	Borrego	Cerdo	Pollos	Compost
<b>Nitrógeno</b>	0.53	0.55	0.89	0.63	0.89	1.12
<b>Fósforo</b>	0.29	0.27	0.48	0.46	0.48	0.7
<b>Potasio</b>	0.48	0.57	0.83	0.41	0.83	1.2
<b>Calcio</b>	0.4	0.38	0.53	0.27	0.53	8.1

Tomada de Valdés R., 1974

### 6.4.4 Relación C/N

Al inicio del proceso de compostado la relación C/N debe estar próxima a 25-30 (Tchobanoglous, *et al*, 1993). Si durante el proceso el material compostable presenta otra relación mayor a 35, el elemento nitrógeno se estará perdiendo por fijación en forma de amoníaco y nitratos. Al finalizar el proceso de compostado la materia orgánica debe estar próxima a una relación de 10:1. El carbono es la fuente de energía de los microorganismos, puesto que con este compuesto sintetizan las proteínas y consumen aproximadamente 2 / 3 de carbono existentes en el material a compostar. Posteriormente transforman el carbono restante en gas carbónico y conforma parte de los cuerpos celulares de los nuevos organismos. Las células de los organismos existentes no sólo requieren de carbono, sino de otros compuestos tales como nitrógeno, fósforo, potasio entre otros elementos (Crespo, 2000).

Entre los elementos más importantes se encuentra el nitrógeno, se ha calculado que para 30 partes de carbono se requiere 1 de nitrógeno y para la síntesis de proteínas. Cuando el exceso de carbono es mayor

en relación con el nitrógeno, la fermentación de la materia orgánica es más lenta (Tchobanoglous, *et al*, 1993).

Debido a las altas temperaturas, los microorganismos originales se mueren liberando el nitrógeno que será aprovechado por los nuevos organismos existentes en el compost, que regeneran la actividad biológica que se encuentra en su máxima fase cuando el carbono es agotado. Durante las etapas del compostado el elemento carbono es transformado en gas o aprovechado por los organismos lo que hace que no esté tan disponible. Por otro lado, el nitrógeno de las células muertas recircula por lo que la fermentación es atrasada (Martínez M., 1975).

Otros elementos químicos que toman parte en el proceso de fermentación, por ejemplo el azufre, fósforo, magnesio y el potasio que se integran como parte de las proteínas. La materia orgánica del compost proporciona éstos y otros muchos elementos necesarios para las funciones enzimáticas de los microorganismos (Martínez M., 1975).

Entre los elementos nutritivos más importantes se encuentra el magnesio, que es el constituyente de más de diez clases de enzimas, además del papel que tiene como catalizador en la reducción de oxígeno, la cual es de vital importancia en el proceso de fermentación aeróbica. La fermentación aeróbica requiere de otros elementos tales como boro, zinc, cobre, molibdeno, cobalto y sobre todo presencia de oxígeno (Martínez M., 1975).

#### **6.4.5 La ventilación de la composta**

Para llevar a cabo el compostado por medio de la fermentación aeróbica es necesario la presencia de oxígeno para que los microorganismos aeróbicos degraden eficazmente la materia orgánica. Dentro del compost la ventilación se puede controlar por medio de sistemas de volteo, o con sistemas de ventilación más modernos (Leavin y Healt, 1997). Si la ventilación es deficiente se producirá el cambio al tipo de fermentación anaerobia y se notará al momento con la emanación de amoníaco.

Cuadro 4. Contenido de nitrógeno y relación C/N en materiales compostables.

Material	Porcentaje N	C/N
<b>Restos de Comida procesada</b>		
Residuos de frutas	1.52	34.8
Mezcla de residuos domésticos	7-10	2
Residuos de papa	1.5	25
<b>Estiércoles</b>		
vaca	1.7	18
caballo	2.3	25
cerdo	3.75	20
aves	6.3	15
oveja	3.75	22
<b>Lodos</b>		
Lodos activados tratados*	1.8	15.7
Lodos activados crudos**	5.6	6.3
<b>Madera y paja</b>		
Madera molida	0.13	170
Paja de avena	1.05	48
Aserrín	0.10	200-500
Paja de trigo	0.3	128
Madera de pino	0.07	723
<b>Papel</b>		
Mezclas de papel	0.25	173
Papel de recién uso	0.05	983
<b>Desechos de jardín</b>		
Césped fresco	2.15	40-80
<b>Biomasa</b>		
Lirio acuático	1.96	20.9
Pasto bermuda	1.96	24

Tomada de G. Tchobanoglous, H. Theisen y S. Vigil, 1993

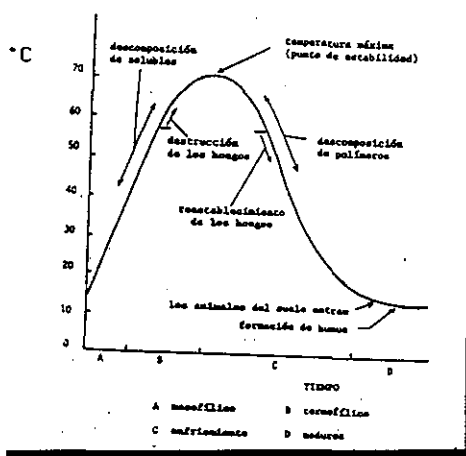
\* Lodos residuales provenientes de la segunda fase de sedimentación

\*\* Lodos residuales provenientes de la primera fase de sedimentación en las depuradoras

#### 6.4.6 Comportamiento de la temperatura en el proceso de compostado

La temperatura a lo largo del proceso de compostado es el principal parámetro indicador del buen funcionamiento de la compost. El incremento y descenso de la temperatura varía en diferentes etapas que reflejan la intensidad de respiración de los microorganismos a lo largo de las fases del proceso de compostado (de Val A., 1993).

- Fase de latencia y crecimiento, en donde los microorganismos comienzan a reproducirse y multiplicarse. Esta etapa dura entre dos a cuatro días y se manifiesta con una temperatura mayor a los 50° C.
- Fase termófila, en esta fase el crecimiento de las poblaciones microbianas esta en su fase máxima. Se presenta una temperatura que ocasionalmente se presenta de los 70 °C que elimina a un gran número de gérmenes patógenos y larvas. Esta etapa dura aproximadamente de una a doce semanas.
- Fase de maduración. Los organismos termófilos disminuyen la actividad y aparecen otros organismos como hongos, la temperatura alcanza los 40 °C y dura aproximadamente dos semanas. La importancia de la fermentación aeróbica es que permite el desarrollo de altas temperaturas que provocan la pasteurización de los materiales compostables (ver cuadro 1).

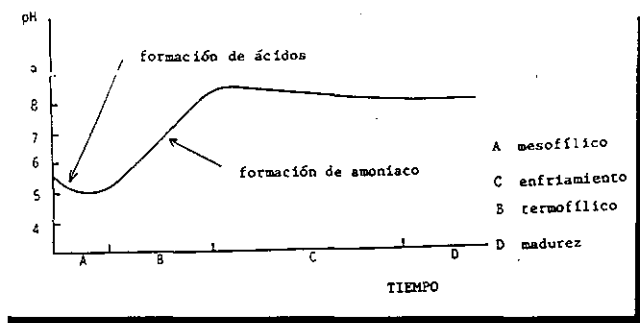


Tomada del Boletín de la FAO no. 56 (1981)

Figura 2. Comportamiento de la temperatura en el proceso de compostado.

### 6.4.7 pH durante el proceso de compostado

El pH durante el proceso de compostado es un parámetro de control. Al igual que la temperatura, el pH varía de acuerdo al tiempo y las fases de la maduración del compost. Al inicio del proceso el pH oscila alrededor de 5 y durante esta etapa la material orgánica esta a temperatura ambiente. Comienza la reproducción mesófila y sube la temperatura. Durante esta primera etapa están los ácidos orgánicos simples que causan la caída del pH. Después de aproximadamente tres días la temperatura llega a la fase termófila el pH sube hasta alcanzar el nivel de alcalinidad de 8 - 8.5, siendo importante considerar en este punto, que el nitrógeno comienza a perderse en forma de amoníaco. Una vez que el compost ha madurado y se esta enfriando, la estabilización del pH se encuentra entre los 7.5 y 8.5 (G. Tchobanoglous, *et al*, 1993).



Tomada del Boletín No 56 de la FAO (1981)

Figura 3. Comportamiento del pH durante el proceso de compostado.

### 6.4.8 Humedad.

Para el desarrollo favorable microorganismos es necesaria la presencia de agua en el compost bajo las condiciones de humedad óptimas. Para la fermentación aeróbica el rango ideal se localiza entre el 30% y el 70%. Se debe evitar caer en los extremos, pues si los valores de humedad son altos, el agua ocupará todos los espacios entre las partículas de los residuos y desplazará al aire. Por otro lado, si la humedad es demasiado baja disminuirá la actividad de los microorganismos. Para evitar la pérdida de humedad en el compost, se puede cubrir con plástico la pila de compostado y si está demasiado seca deberá de ser humedecida con riegos.

Según Bhanidimarri, *et al* (1991) la humedad debe oscilar entre el 50-60 %. Debe evitarse exceso de humedad más del 70% ya que interfiere con la aireación y hace descender alautocalentamiento por la gran capacidad calorífica del agua (Alvares-Cohen y Mac Carty, 1991).

#### 6.4.9 Selección de materia orgánica

La composición de los materiales orgánicos, su mezcla y su grado de trituración son determinantes para el buen funcionamiento del compost. Los materiales utilizados en las pilas de compostado deben presentar un adecuado balance de nutrientes especialmente carbono y nitrógeno. Para los seres vivos el carbono y el nitrógeno son de vital importancia, debido a que ellos conforman las estructuras de proteínas y ácidos nucleicos.

Entre los materiales compostables se pueden incluir todos los de origen biológico, tales como paja, aserrín, papeles, hojas secas, residuos domésticos, basura agrícola y de jardinería, lodos residuales de aguas negras y estiércoles, entre otros.

Existen algunos materiales que son fuente de riesgo para la salud, por lo que no son recomendables para hacer compost. Entre ellos están los excrementos de animales domésticos, la carne, la grasa, los huevos enteros, los productos lácteos, así como los restos agrícolas tratados con pesticidas (de Val A., 1993).

El tamaño de los residuos es un factor que influye en la velocidad de descomposición. Entre más pequeñas sean las partículas del residuo, habrá mayor superficie para ser atacadas por los microorganismos, y por lo tanto, más rápido se descompondrán. Un buen proceso de compostado requiere de la aportación de aire y el mantenimiento de una porosidad adecuada en la pila. Por lo que es necesario tomar en cuenta el tamaño de los materiales mezclados, agregando también algunos materiales más gruesos que permitan la infiltración del aire y el agua, como por ejemplo, ramas o madera triturada. (Tchobanoglous, *et al*, 1993).

Para ayudar a la consistencia porosa del material se recomienda el uso de una trituradora o molino, o en su defecto usar residuos de tamaño relativamente chicos como las hojas de los árboles, ramas muy delgadas y pasto cortado (césped).

Cuadro 5. Materiales compostables

Materiales para balance del compost (Carbono alto)	Los materiales con energía para el compost (Nitrógeno alto)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las astillas de madera</li> <li>• El aserrín</li> <li>• El heno de césped</li> <li>• Paja del trigo</li> <li>• Residuos vegetales secos</li> <li>• El estiércol de caballo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El estiércol de animales</li> <li>• Residuos vegetales verdes</li> <li>• Lodos residuales de plantas de tratamiento</li> <li>• Restos de animales</li> </ul>

Tomada de Craig G. Cogger, Dan M. Sullivan, y Susan K. Duncan, 1994

### 6.5 Métodos aeróbicos de producción de compost

Una pila de compost el lugar en donde los materiales orgánicos previamente seleccionados se van a procesar. Para ello se requiere de un lugar plano y con a una fuente cercana de agua. La técnica a aplicar selecciona en base a las necesidades y materiales con que se disponen (Frick, 1993).

Existen varias formas de hacer compost, los cuales pueden desarrollarse para la producción de compost doméstico. Entre los métodos más utilizados se encuentran los de tipo apilamiento y los de tipo corral. La primera metodología permite manejar grandes volúmenes de material.

#### 6.5.1 Composteros domésticos

Los métodos descritos por Barbara Frick (1993) son principalmente para producir compost de uso doméstico. Estas técnicas se pueden adaptar de acuerdo a los requerimientos del tipo de residuos a compostar, los distintos tamaños, los recursos económicos que se puedan invertir y el espacio con que se cuenta. El compost en general es fácil de manejar y requieren un mantenimiento mínimo. Si los requerimientos necesarios son cubiertos se obtiene compost en un período relativamente corto de tiempo (tres meses aproximadamente).

El equipo necesario para el compostado tiene que ubicarse en un lugar plano con ventilación y preferentemente en un espacio abierto, y si es posible cerca de donde se vaya a utilizar, por ejemplo, en el jardín. Es importante también que el compost este cerca de una fuente de agua y es mejor si está protegido de corrientes de aire. No es recomendable ubicarlo cerca de las raíces de los árboles, porque entonces éstas crecen hacia el fondo de la pila, dificultando posteriormente las maniobras de manejo.



Cuadro 6. Métodos de producción de compost

Método	Descripción	Ventajas y desventajas	Ejemplos.
Corrales	Se usan contenedores en donde se vierte la materia orgánica y se deja hasta que el compostado esté completo. Este proceso puede durar de 6 meses a dos años.	Es fácil de construir con un esfuerzo mínimo. Es para residuos de jardinería de tipo doméstico. Se pueden manejar volúmenes relativamente altos.	Malla de alambre (Figura 4) Corral de Compost (Figura 5)
Unidad de Volteo	Serie de cajas que permiten voltear el material orgánico de manera controlada.	Requiere gran trabajo de construcción. Pueden manejarse grandes volúmenes de materia orgánica. Se obtiene compost en forma rápida.	Serial de cajas. (Figura 6) Montado de Barril con un rodado horizontal. (Figura 7)
Lombricultura	La lombriz roja de california digiere los materiales orgánicos y su excremento se utiliza como humus.	El humus de lombriz es un abono orgánico con alta calidad de nutrientes. Se necesitan 907 kg de gusanos por 453 kg de residuo por día.	Corral de lombrices (Figura 8)
Incorporación al suelo	No requiere ninguna estructura física, tan solo se mezcla el residuo orgánico con la tierra.	Se dispone en pequeñas cantidades mezclados con el suelo, lo que reincorpora altas cantidades de nutrientes al suelo.	Incorporación al suelo.
Apilamiento	No requiere estructuras físicas, tan sólo se amontona el material orgánico. La pila debe presentar por lo menos 1.50 m de alto por 2 m de ancho.	No necesita corral. El compostado es rápido si se voltea frecuentemente.	Pilas (Figura 9)

Tomada y modificada de B. J. Frick 1993.

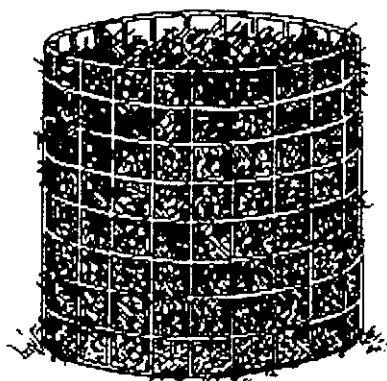


Figura 4. Malla de alambre utilizada en el compostado

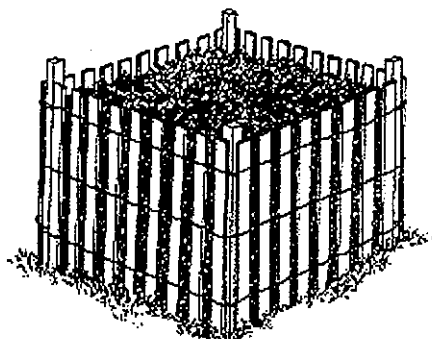


Figura 5. Corral para la producción de compost



Figura 6. Serial de cajas para composta

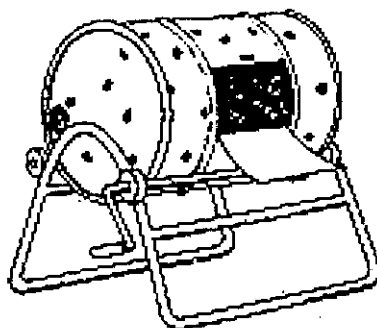


Figura 7. Montado de barril con un rodado horizontal para producir compost

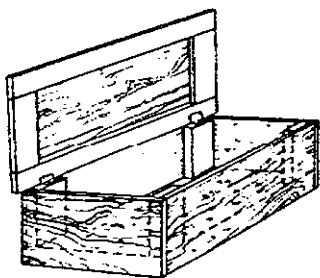


Figura 8. Corral de lombrices



Figura 9 Apilamiento de material orgánico.

### 6.5.2 El método de apilamiento

La técnica de apilar compost, principalmente consiste en crear un montón de material orgánico previamente mezclado, formando una base cuadrada y depositando el material en forma de pirámide. Esta conformación permitirá que la concentración de calor sea mayor en el centro. Los volteos de las pilas ayudan a la homogeneización y buena ventilación del material. Las pilas de compost permiten manejar grandes cantidades de residuos (Sinkora, *et al.*, 1983).

La mezcla de los materiales debe realizarse cuidadosamente con una buena homogeneización de los residuos que conformarán la pila tendrá como resultado un proceso más rápido. También es mejor agregar previamente el agua al material seco en lugar de humedecer el montón entero después de ser construido. No siempre puede ser práctico construir un montón de esta manera si los materiales disponibles están limitados (Starbuck, 1998).

Existen variantes en las formas de apilamiento, por ejemplo, se pueden manejar “cordones” de una sola pila, o existen casos en donde se han adaptado sistemas de ventilación. Sikora, Wilson y Parr (1983) hicieron modificaciones a la pila aireada de Beltsville, en donde la base de la pila contiene tubos perforados que facilitan la aireación. Este tipo de adaptaciones mejora la calidad de aireación en el montón de material y permiten la reducción y rapidez del trabajo (Figura 10).

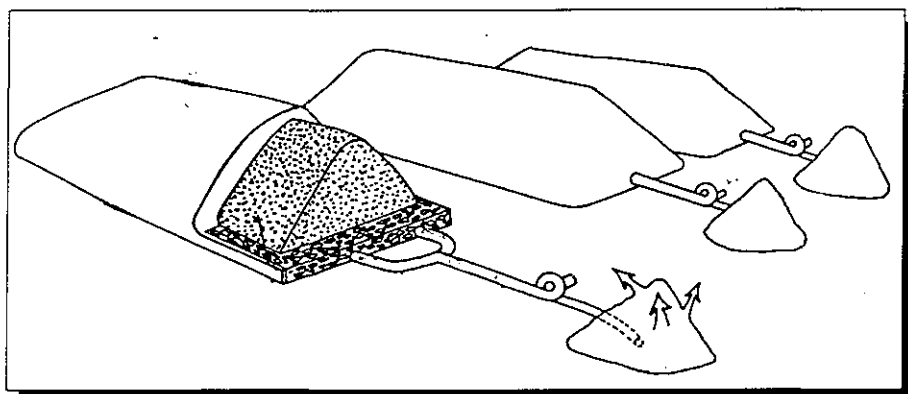


Figura 10. Modificación de la pila aireada de Beltsville.

Modificación de Sikora, Wilson y Parr. 1983.

### 6.5.3 Principios que deben cuidarse en el proceso de compostado:

1. **Las instalaciones utilizadas** para preparar los materiales residuales para el compostado deben ser capaces de mezclar completamente y eficazmente cualquier aditivo (nutrientes, inoculantes y humedad) (Tchobanoglous, *et al*, 1993).
2. **Los materiales.** La clase de materiales a utilizar es determinante para el buen desarrollo del compost. Los materiales ricos en carbono son utilizados por los microorganismos para la síntesis de energía y el nitrógeno que contienen lo emplean para formar las proteínas requerida en sus cuerpos. Debe de cuidarse que los residuos orgánicos se encuentren libres de materiales inertes como vidrio, metales y plástico, así como residuos con contaminantes que puedan tener efecto negativo en la calidad del compost (de Val A., 1993). El tamaño de la partícula deberá de ser entre 25 y 27 mm (Tchobanoglous, *et al*, 1993).
3. **Volumen de materiales.** Si se construye una pila grande de compost, ésta retiene el calor de su actividad microbiológica. La concentración de calor será menor en los bordes que en la parte central. Se debe de manejar volúmenes mayores a  $1 \text{ m}^3$ , sin embargo, este volumen dificulta el paso de aire para la vida de los microbios, por lo que deberá de ser volteada regularmente. La construcción de una pila con un volumen menor de  $50 \text{ cm}^3$  tendrá problemas para mantener el calor, por lo que es recomendable balancear el volumen con el sistema de ventilación (de Val A., 1993).
4. **Metales pesados.** El compost puede tener altas cantidades de metales pesados sobre, todo tratándose materiales provenientes de basureros, residuos de hospitales y laboratorios, también el uso de lodos residuales de las plantas de tratamiento de aguas negras. Algunos metales pesados son elementos requeridos por las plantas en proporciones menores. Si se encuentran en grandes cantidades pueden volverse tóxicos, ejemplo: zinc, manganeso, modbileno, hierro y cobre (Casillas, M. O., 1996).
5. **Activadores de compostado.** La adición una fuente nitrificante como urea, o estiércol permitirá un excelente desarrollo en los microorganismos. Existen también activadores biológicos compuestos de bacterias descomponedoras que aceleran la fermentación. Actualmente existen marcas comerciales que ofrecen este tipo de productos.
6. **Producción de olores.** Sin un control correcto del proceso de compostado, se producen olores que pueden ser problemas. La causa de olores se debe a las bajas relaciones de carbono/nitrógeno, pobre control de temperatura y pH; así como humedad excesiva y falta de volteo (Tchobanoglous, *et al*, 1993).

7. **Salud pública.** Aunque el control de patógenos puede lograrse fácilmente con una correcta operación del proceso, no todos las maniobras son suficientes para permitir una producción de compost libre de patógenos (Tchobanoglous, *et al*, 1993).
8. **Mezcla /volteo.** Para evitar el secado, encostramiento y canalización del aire y el mal olor, el material que se está compostado deberá ser volteado con frecuencia, dependiendo de tipo de tratamiento (Tchobanoglous, *et al*, 1993.)
9. **La Humedad y ventilación.** Como todos los seres vivos la microfauna del compost necesitan agua y aire para sobrevivir. Cuando la humedad y ventilación son óptimas, las poblaciones microbianas trabajan adecuadamente.

La humedad ideal para el compostado requiere entre el 30 y 70 %. Si el sol o la lluvia afectan este rango de humedad, se pueden cubrir las pilas con hojas de palma o con plástico. La adecuada ventilación permitirá el desarrollo de organismos aeróbicos, es decir, que se desarrollan con la presencia de oxígeno. Si no existe una buena ventilación, las bacterias anaeróbicas, (que no respiran oxígeno) provocaran que la descomposición de los materiales orgánicos sea mucho más lenta y producirá malos olores como el amoníaco.

La ventilación usualmente se logra en el volteo periódico del material, en general existen varias recomendaciones para el caso, hay que tomar en cuenta que entre más frecuentemente se volteé, más rápido esta listo el compost, pero también se pierde más nitrógeno por volatilización. Una consigna comúnmente recomendada es voltear cada 14 a 20 días e inclusive hay quienes recomiendan hacerlo solo una vez (Dunst G., 1997).

La necesidad de ventilar las pilas, mediante volteos determina si el compostado se realiza adecuadamente; ayuda a mezclar los desechos, homogeneiza los materiales y mejora la oxigenación que favorece el desarrollo de los microorganismos aeróbicos y por lo tanto la velocidad de descomposición. Sin embargo, un mayor gasto de operación por concepto de mano de obra.

10. **Temperatura.** La temperatura es el principal indicador del desarrollo de la fermentación, cuanto más caliente es la pila, más rápido es el compostado.

## 6.6 Usos del compost

### 6.6.1 El compost como mejorador de suelos

La aplicación de materiales orgánicos y de compost en los suelos agrícolas favorece las condiciones físicas de la tierra conservando la estructura del suelo mejorando su textura y aumentando su capacidad de retención de aire y agua, proporcionando una abundante flora microbiana (Valdés R., 1974).

La adición de grandes cantidades de compost como mejorador de suelos no altera la biología de la tierra debido a que no quema las raíces de la planta. Es un medio que sirve de soporte físico a la planta y además le proporciona nutrientes y agua para su desarrollo (Goin, 1993).

### 6.6.2 El compost como abono orgánico

El grado de mecanización modernización logrado en la agricultura han provocado que disminuyan actividades tradicionales en las técnicas usadas en el campo, como el trabajo con animales, pastoreo y barbechos, en las que se reincorporaban materia orgánica al suelo.

El compost es utilizado en la horticultura con el fin de obtener un desarrollo intensivo en los cultivos y aprovechar el máximo producto posible de un espacio determinado, se requiere de un suelo fértil, rico en materia orgánica (Goin, 1993).

El compost se usa en la horticultura agregándolo al suelo y alrededor de las plantas mejora la retención de humedad, ventilación y fertilidad del suelo (Goin, 1993). Los aumentos de producción en las cosechas exigen una mayor demanda de nutrientes por parte de las plantas, lo que produce a largo plazo, la mineralización de los suelos que sufren una disminución de su contenido en materia orgánica y humus. En Jalisco es común la práctica de quemar rastrojos que trae como consecuencia la disminución progresiva en el contenido de la materia orgánica del suelo (Martínez, 1975).

La incorporación de compost a la tierra lleva consigo la adición de nutrientes directamente asimilables por la planta y mejora las condiciones del suelo, aportando humus y materia orgánica que posteriormente será mineralizada actuando entonces como un “banco” de nutrientes” que se liberan poco a poco. Los ácidos orgánicos que aporta el compost disuelven parte de los productos minerales del suelo y pueden entonces ser aprovechados para la nutrición de las plantas.

Los nutrientes como el nitrógeno que contiene el compost, se encuentra en forma asimilable por las raíces. La incorporación de compost al suelo representa la adición de elementos con un alto grado de disponibilidad como el fósforo, magnesio y potasio que son macro nutrientes y algún micro elemento como el cobre, hierro, zinc, boro, entre otros, que son necesarios para la actividad y desarrollo vegetativo de las plantas (Bernal F., 1973).

Los organismos contenidos en el compost favorecen la transformación de los residuos de herbicidas y otros productos químicos que son aplicados en el suelo, lo cual da como resultado plantas saludables que son menos susceptibles a plagas de insectos y enfermedades. Un suelo bien abonado con compost evita o reduce la aplicación de pesticidas químicos. La modificación que produce en los organismos benéficos como lombrices e insectos del compost en el suelo, hace más apta la disponibilidad de las sustancias nutritivas para la asimilación de las plantas.

#### 6.6.3 El compost para el control de enfermedades

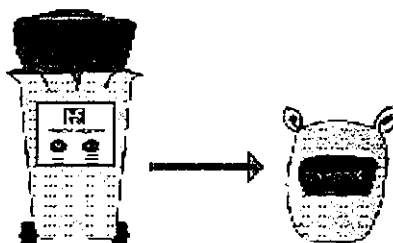
Se puede utilizar compost en la recuperación de suelos ácidos y alcalinos cuando la escasez de materiales orgánicos impide el aprovechamiento de nutrientes químicos y propicia el desarrollo de hongos como *tizones*, *rizoocionias*, *fusarium* que pueden causar la pérdida de cosechas enteras (Martínez M., 1974).

#### 6.6.4. Prevención de la erosión

Ayuda a prevenir la erosión reduciendo la fuerza destructiva del viento y el agua, al adicionar el compost en el suelo aumenta la porosidad y con ello la infiltración de agua, de modo que, la humedad de la lluvia será mayormente retenida. La adición de compost enriquece la estructura de la tierra ya que liga o une partículas en agregados migajonosos que resisten a la erosión. Lo anteriormente descrito tiene la gran importancia de que hace que se forme o que aumente la capa de suelo (FAO, 1983).

#### 6.6.5 Reducción de la cantidad de residuos sólidos municipales

El compost es utilizado en diversos países para la disminución de basuras urbanas a base de aprovechar los residuos sólidos. Las técnicas desarrolladas de compostado son utilizadas para la obtención de biogas y de compost (Casillas L., Torres M., 1996).





### 6.6.5.1 Reducción de residuos sólidos municipales en México

Actualmente la reducción de materiales orgánicos en México consiste en el de incineración de residuos con recuperación de energía, así como los rellenos sanitarios.

La producción de compost en México está limitada a procesos simplificados como el apilado, los biodigestores (producción de biogás) y loabricultura. Sin embargo, los altos costos de estas técnicas no son apoyados por los municipios (Acurio G., Rossin A., Texeira P. F., y Zepeda F., 1997). En el siguiente cuadro se tiene las tendencias mundiales de tratamiento y disposición final de los residuos sólidos municipales (basura):

**Cuadro 7. Tendencias mundiales de tratamiento y disposición final de los residuos sólidos municipales:**

Porcentajes de tratamiento o disposición final			
País o región	Relleno Sanitario	Combustión	Compost
Estados Unidos	80	19	<1
Japón	30	70	2
Alemania	70	30	3
Francia	55	40	9
Suiza	20	80	
Suecia	40	55	5
España	80	15	5
América Latina	98	<1	<1

Acurio G., Rossin A., Texeira P. F., y Zepeda F., 1997

Se estima que aproximadamente en América Latina en los últimos 20 años se han comprado aproximadamente 30 plantas de producción de compost, de las cuales algunas no fueron ni siquiera instaladas, según Acurio G., Rossin A., Texeira P. F. y Zepeda F. (1997) información de algunas plantas de compost en México:

Acapulco	Se compró una planta y nunca se instaló
Guadalajara	160 t /turno funcionó 15 años (cerrada)
Monterrey	160 t / turno funcionó 15 años (cerrada)
Villahermosa	Inactiva
Oaxaca	80 t / turno
Toluca	Inactiva

En Jalisco existe un sistema de compostado a partir de la cachaza en la zona cañera del sur del estado esta hecha por la industria llamada AGROECO S. A. (Insumos y Asesorías Agroecológicas y Ecoindustriales.) El proyecto de reciclamiento de cachaza, se inició con el composteo trabajando en otras zonas del estado, en el manejo y aprovechamiento de energías de desperdicio de la industria azucarera; transfiriendo ecotecnias para su implementación y conformación de una nueva cultura en la producción agropecuaria. Los resultados obtenidos son satisfactorios, han cubierto satisfactoriamente las necesidades nutrimentales con el compost.

Según reportan dicha empresa, han aplicado en parcelas paquetes agroecológicos tales como: bacterias fijadoras de nitrógeno, hongos entomopatógenos, compost, nutrición foliar a base de enzimas, extractos naturales, sustancias húmicas, macro y micronutrientes, al igual que oligoelementos, promoviendo una regeneración y rehabilitación de suelos, manteniendo rendimientos o aumentándolos, mitigando daños al medio ambiente y disminuyendo costos, tanto el lo social, ecológico, cultural y económico.

#### 6.6.6 La industria de compost y de reciclaje de residuos orgánicos

En general, es una alternativa poco desarrollada en el país, sin embargo la opinión de Juan Careaga (1997) considera que la industria del reciclaje no es la solución al problema de los residuos sólidos municipales (basura), ya que considera que el problema real es el tipo de residuos y el porcentaje que es reutilizado.

La cantidad de basura media diaria producidas en el país en 1994 eran de 80 746 toneladas, equivalentes a una generación anual de 29 47 millones de toneladas, de las cuales el 14 % pertenecen al Distrito Federal y el 86 % al resto del país. (INE/SEDESOL 1994). En la siguiente tabla se muestran cantidades de basura producidas en el D. F. según Careaga (1997):

**Cuadro 8. Residuos generados en la Ciudad de México según su origen:**

Tipo de residuo	Cantidad (t / día)	% peso
Alimentario	3126	28.06
Jardinería	395	3.55
Papel	2258	20.27
Cartón	1240	11.13
Metálicos	355	3.18
Vidrio	735	6.60
Otros	547	18.91
Total de residuos generados	11 140	100.0

En lo que respecta a los residuos sólidos orgánicos generados en el D. F. que pueden ser reciclados con técnicas de compostado y biodegradación controlada se cuenta con la siguiente información de acuerdo a Careaga (1997):

**Cuadro 9. Producción de materiales que pueden ser compostables en el D. F.**

Material compostable	%	Toneladas / día	Otro destino sugerido
Algodón	1.25	139	Combustión Confinamiento especializado
Cuero	0.19	21	Reciclaje, Combustión
Fibra dura vegetal	0.36	40	Combustión
Hueso	0.21	23	Reciclaje, Combustión
Madera	1.70	189	Combustión
Papel bond	7.59	846	Reciclaje
Papel periódico	6.78	755	Reciclaje
Residuos alimentarios	28.06	3126	Compost
Residuo de jardinería	3.55	395	Compost
Total	49.69	5534	Compost

Si tomamos en cuenta que los materiales que pueden ser destinados a compostado representan el 49% del total de basura, se puede recuperar la mitad de la basura generada en el D. F. (8% de basura nacional).

## 6.7 Limitaciones de compostado en México

### 6.7.1 Calidad y disposición de los residuos orgánicos

Entre las principales causas del poco desarrollo de compost en México se encuentra la disposición que se tiene en los residuos sólidos. Aún cuando el desarrollo de los modernos procedimientos que permiten transformar un basurero en fuentes de producción y reutilización para el aprovechamiento de residuos orgánicos, el reciclaje de materiales como desechos agrícolas, basuras domésticas, lodos residuales de las plantas de tratamiento, desechos de jardinería entre otros, depende de la disposición de los residuos sólidos y su falta de clasificación y separación. Sin embargo, México que no cuenta con estas prácticas, ciertamente se limita el desarrollo de tecnologías, entre ellas el compostado.

La recolección de la basura representa uno de los principales problemas. Los costos del traslado son altos dentro de las grandes ciudades y muchas veces la basura no es recolectada en su totalidad, quedando en las puertas de las casas, en los bordos de las banquetas, porque el camión recolector no alcanzó a cubrir su zona en el servicio. Esta práctica limita la utilización de residuos sólidos urbanos debido a que la basura no es separada, ni clasificada. No toda la basura puede tener el mismo aprovechamiento, no todo lo que desecha la población puede tener la misma aplicación para la elaboración de compost u otras tecnologías de reciclado. Esto hace necesario inducir una educación ecológica a quienes producimos esos cientos de toneladas de basura que se recoge todos los días en nuestras ciudades (Hernández y González, 1997).

La separación de la basura es primordial para la aplicación de tecnologías como el compostado, desgraciadamente, esta práctica no es parte de los hábitos estandarizados de la población. La tendencia general de los hogares mexicanos es tener un sólo depósito de basura en donde es vertido todo lo que pertenece al rango de los residuos domésticos, sin pensar siquiera en los diferentes materiales que pusimos en el bote de la basura (Careaga, 1997).

La forma más acertada para el aprovechamiento de residuos sólidos consiste en una práctica común de separación de la basura orgánica y otra para los desechos no perecederos e inorgánicos. En los países europeos el aprovechamiento de la basura es visto por parte de los municipios como una inversión que resulta remunerable, en cuanto a la reducción de residuos y el aprovechamiento de ellos (Acuario, *et al*, 1997).

En nuestro país se ha difundido la cultura de separación de la basura, pero aun así pareciera que existe inconformidad y rechazo a estas prácticas, representa trabajo, fatiga, gasto de tiempo y de energías para la señora de la casa.

La tarea de clasificación y separación de la basura no sólo es trabajo de los ciudadanos, sino también del sector público, industrial y comercial. No basta con la separación de basura de origen orgánico e inorgánico, existen también residuos de origen químico que son tóxicos, residuos biológicos infecciosos provenientes de hospitales y de la industria (Acuario, *et al*, 1997).

Los costos del traslado y el reducido número de lugares para el confinamiento de basurales, obligan ahora a examinar procesos de tratamientos que se puedan utilizar. Buscar alternativas rentables y ambientalmente aceptables (Shiels, L. G., 1997).

### 6.7.2 Riesgos sanitarios

Entre los residuos sólidos orgánicos se encuentran residuos que son altamente contaminantes y tóxicos que son peligrosos, como algunos alimentos de consumo expirados, productos y subproductos químicos, algunos lodos residuales, cadáveres de animales que deben de presentar especial cuidado al momento de hacer su disposición final. Los destinos de estos residuos no son la responsabilidad de los operadores municipales, sin embargo la mayoría de veces no se controla el punto final de estos residuos, y quedan en los vertederos al aire libre que pueden provocar graves daños al entorno ecológico (Acurio G., Rossin A., Texeira y P. F., Zepeda, 1997).

Clasificación de residuos:

- 1)- Húmedos-orgánicos o putrescibles (que equivalen aproximadamente al 50 % del peso de los residuos domésticos, los cuales pueden ser compostados para reciclarlos como mejoradores de suelos agrícolas).
- 2)- Secos-Inorgánicos (que equivalen al 45 %, y que pueden ser reprocesados de manera industrial).
- 3)- Peligrosos, (que equivalen al 5 %, los cuales no conviene reciclar por los peligros inherentes).

Según Acurio G., Rossin A., Texeira P. F. y Zepeda F., la Organización Panamericana de la Salud en 1994, de los residuos peligrosos el 90 % son líquidos; 5.7 % semisólidos y 4.3 son sólidos, entre estos residuos peligrosos están considerados los lodos residuales y otros desechos sólidos que representan una fuente de peligro para la salud humana y ambiental. En América Latina, la producción de residuos peligrosos lo ocupa en primera instancia México (Cuadro 10). Es necesario pensar que para aplicar la tecnología de compostado se requiere de una adecuada selección de materiales a utilizar.

En México los lodos residuales son un problema por la cantidad que se producen, considerando que hay 89 millones de personas y que cada una de ellas produce 0.40 ton / año, la producción de lodos residuales asciende a 35' 650 000 toneladas al año. De esta cantidad de lodos residuales el 28 % son lodos no peligrosos, mientras que el resto esta conformado por lodos peligrosos (OPS, 1994). El término de "lodos residuales no peligrosos" indica que una cantidad de 10' 620 000 toneladas que se producen en México pueden ser destinadas para su aprovechamiento por medio del compostado.

Cuadro 10. Producción de lodos y residuos peligrosos en países de América Latina.

País	toneladas/persona/año			
	1	2	3	4
México				
Brasil				
Uruguay				
Venezuela				
Argentina				
Trinidad				
Chile				
Perú				
Cuba				
Paraguay				
Bolivia				
Nicaragua				
Ecuador				
Guatemala				
Jamaica				

Acurio G., Rossin A., Teixeira P.F., Zepeda F. 1997.

#### 6.7.2.1 Riesgo sanitario los lodos residuales

Los lodos residuales de las plantas de tratamiento de aguas (depuradoras) son el resultado de la sedimentación de los sólidos de las aguas negras. Por lo general las aguas de desecho tienen diferentes orígenes, pueden ser de tipo urbano, agrícola o industrial. De acuerdo a su origen, según sea el tipo de tratamiento utilizado en las depuradoras, los lodos serán distintos y tendrán diversas cantidades de subproductos químicos, contaminantes o materiales orgánicos.

Los tratamientos utilizados en las depuradoras tienen variantes de acuerdo a la necesidad y calidad de las aguas negras que les llega, sin embargo el proceso de purificación de agua se resume según Casillas Limón y Montes de Oca (1996) de la siguiente manera:

- Filtrado de partículas gruesas sólidas suspendidas.
- Sedimentación de las mismas y desinfección en tanques especiales.
- Oxigenación mediante procesos químicos, donde se transforman materiales de descomposición en sustancias simples.
- Separación final de las partículas posterior a la sedimentación.
- Tratamiento de lodos resultante de los tanques de sedimentación de tal manera que queden libres de contaminación.

Los lodos son más que materiales de desecho, son sistemas ecológicos formado por varios tipos de organismos diferentes y también contiene materiales inertes, orgánicos e inorgánicos que en muchos países son aplicados directamente como fertilizantes (Winker, 1986).

La composición de lodos varía de acuerdo al tiempo en que son conformados, y hasta el momento que son secados. Las características de un lodo especifican que las poblaciones biológicas que contienen deben de ser capaces de transformar en cierta medida la materia de los lodos (Winker, 1986). La limitación de los lodos consiste en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, como se ve a continuación:

**a) Propiedades físicas de los residuales.**

Los lodos contienen una gran cantidad de partículas no homogéneas en suspensión, entre las cuales se tienen elementos de materiales bióticos y abióticos y que en conjunto hacen de los lodos una estructura viscosa y floculenta. La floculación de los lodos se debe a un cúmulo de bacterias y materia orgánica e inorgánica.

Las propiedades floculentas de los lodos consisten en la aglomeración de partículas coloidales y estables que llegan a un punto de neutralización de cargas eléctricas, que permiten la coagulación de sustancias, además permite una fácil separación de los sólidos más grandes (Salcedo, 2000).

**b) Propiedades biológicas de lodos residuales.**

Los lodos contienen en ellos verdaderos sistemas biológicos que desarrollan diversos organismos entre los cuales pueden encontrarse:

- Virus, se encuentran enterovirus y reovirus.
- Parásitos principalmente huevos de origen fecal como ascaris, tricocéfalos, helmintos, tenias y otros.
- Hongos: pueden contener algunas levaduras y hongos saprófitos (OPS, 1994).
- Algas (*Sphaerotilus natans*) y protozoarios filamentosos (*Zoogloea ramigera*, *Carchesium*, así como, la bacteria *Beggiotoa*) (M. Winker, 1986).
- Según Orozco (1993) las bacterias se encuentran cuatro tipos de bacterias tales como:
  - \* Aeróbicas estrictas (desarrollo en presencia de aire).
  - \* Aeróbicas facultativas (desarrollo con o sin oxígeno).
  - \* Anaerobias facultativas (pueden sobrevivir sin oxígeno pero se desarrollan en anaerobiosis).

Entre los organismos patógenos de los lodos residuales se encuentran algunos tales como *Salmonella spp.* y *Escherichia coli*, organismos altamente resistentes y de los cuales se hace a continuación una breve reseña acerca de los daños que ocasionan a los seres humanos.

La *Salmonella spp.* contiene varias especies que pueden provocar fiebre tifoidea y paratifoidea que son dos graves enfermedades ocasionados por este género (solamente a humanos). La salmonelosis es uno de los padecimientos más comunes en el mundo. La causa del 70% de casos de enfermedad en humanos es diez serotipos, lo que provoca esta enfermedad se relaciona con su resistencia a la destrucción fagocítica de las personas conocida comúnmente como tifoidea (Torres Vitela, 1999).

La *Escherichia coli* forma parte importante de la microbiota intestinal del hombre, coloniza el intestino dentro de las primeras horas de vida y a partir de entonces se convierte en un residente permanente, estableciendo una relación mutuo beneficio con su hospedero, sin embargo, algunas cepas han desarrollado capacidad para provocar enfermedad en el hombre principalmente infecciones gastrointestinales urinarias o del sistema nervioso central y se conocen en forma genérica como *E. coli patógena*. Estas cepas patógenas representan la principal causa de diarrea infantil en el mundo. *E. coli* provoca factores de virulencia que le permite infectar a su hospedero, sobreponerse a sus mecanismos de defensa y producir incluso hemorragia interna. (Torres Vitela, 1999). Estos organismos también son llamados coliformes fecales.

Los coliformes fecales se definen como bacterias aeróbicas o anaerobias facultativas gram negativas, que forman endosporas, particularidad que les permite enfrentar grandes cambios ambientales. La resistencia de coliformes se puede medir por medio de cultivos en donde se forman unidades que pueden reproducir Unidades Formadoras de Colonias (UFC), en cultivos de laboratorio.

Cabe mencionar que los estudios realizados de coliformes totales abarcan una gama de bacterias aeróbicas y anaerobias gram negativo, que no necesariamente representan organismos patógenos al suelo o al agua. Los coliformes fecales son los organismos indicadores de contaminación utilizados para determinar calidad de abonos, alimentos entre otros productos. Los coliformes totales incluyen también a los coliformes fecales.



Cuadro 11. Principales patógenos contenidos en los lodos residuales (EPA, 1990).

Organismos	Enfermedad
<b>Bacterias</b>	
<i>Salmonella spp.</i>	Salmonera
<i>Shiguella spp.</i>	Disenteria
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
<i>Compylobacter jejuni</i>	Gastroenteritis
<i>Escherichia coli</i>	Gastroenteritis
<b>Virus</b>	
Hepatitis A	Hepatitis infecciosa.
Rotavirus	Diarrea, gastroenteritis
<b>Enterovirus</b>	
<i>Poliovirus</i>	Poliomielitis
<i>Coxsackevirus</i>	Meningitis, neumonia, hepatitis, diarrea.
<i>Echovirus</i>	Meningitis, parálisis, encefalitis, fiebre, diarrea.
<i>Reovirus</i>	Infección respiratoria, gastroenteritis
<i>Astrovirus</i>	Epidemia de gastroenteritis
<i>Calcivirus</i>	Epidemia de gastroenteritis
<b>Protozoos</b>	
<i>Cyptosporidium</i>	Gastroenteritis
<i>Entomabea histolitica</i>	Gastroenteritis
<i>Giardia lamblia</i>	Giardasis
<i>Balatium colli</i>	Diarrea y disenteria
<i>Toxoplasma gondi</i>	Toxoplasmosis
<b>Parásitos humanos</b>	
<i>Ascaris suum</i>	Disturbios nutricionales y digestivos
<i>Trichuris trichiura</i>	Malestares, sueño y fiebre
<i>Toxocara canis</i>	Dolor abdominal, diarrea, anemia,
<i>Tenia solium</i>	Fiebre, malestar estomacal, síntomas de neurosis
<i>Necator americano</i>	Nerviosismo, insomnio, anorexia, y mala digestión.

### c) Propiedades químicas de los lodos residuales.

- Elementos tóxicos de lodos residuales

El problema de la utilización de los lodos radica en que algunos tipos de lodos contienen un alto grado de contaminantes que pueden ser dañinos al momento de ser aplicados en la agricultura para consumo humano. Otro de los factores que afectan el uso de los lodos en la agricultura son los costos de aplicación y de traslado (Casillas, 1996).

El arsénico es un elemento tóxico que produce daños no sólo a las plantas sino a los animales y humanos. Este elemento proviene principalmente de lodos de aguas de riego que contienen plaguicidas. El cadmio que pueden contener los lodos residuales, es un elemento acumulable en las plantas y en el hombre (cantidad tolerada por el hombre es de 0.3 ppm/día). El mercurio es un elemento altamente tóxico para las plantas ya que es acumulable en las hojas. El plomo no altera la fisiología de las plantas, pero sí en los animales (Casillas, 1996).

El aluminio es poco saludable a valorar de pH cercanos a la neutralidad su contenido en las plantas es muy variable, resulta importante para las plantas que crecen en un medio húmedo, la toxicidad del aluminio no ha sido puesta de manifiesto ni para animales ni para hombres. El cromo esta considerado un tóxico para el hombre y animales superiores, pero para estos últimos la falla del cromo puede tener efectos desastrosos. El cromo se encuentra a menudo en lodos, pero parece ser que el suelo se transforma en un elemento poco saludable y por lo tanto poco asimilable. Los ensayos de adición de grandes cantidades de cromo han permitido comprobar que este no presenta ningún inconveniente para el rendimiento de las plantas. (Casillas, 1996).

El níquel se conoce su acción sólo en plantas parece que su concentración mayor a 1 ppm es suficiente para alterar el crecimiento de las plantas, por otro lado, el efecto de del níquel en los mamíferos parece ser débil con respecto a otros contaminantes.

Estas características impiden la aplicación de los lodos de forma directa al suelo; sin embargo, en algunos países la aplicación de lodos residuales a la tierra ha dado buenos resultados (Priesnitz, 1997).

Desde el punto de vista de supervisión en el uso de los lodos residuales en 1993 fue publicada la normatividad mexicana acerca de su aplicación directa en medios de cultivo (ver cuadro 12).

**Cuadro 12. Valores permisibles de los lodos para la aplicación agrícola (Casillas *et al*, 1996)**

Parámetros permisibles	Limites Máximos
pH	6.5-8.5
Conductividad eléctrica (micromohos/cm)	2000-11-30
Demanda bioquímica de oxígeno (mg /l)	120
Sólidos suspendidos totales (mg /l)	120
Aluminio (mg/ l)	5.0
Arsénico(mg/l)	0.1
Boro (mg/ l)	1.5
Cadmio (mg/ l)	0.01
Cromo total (mg /l)	1.02
Hierro (m/ l)	0.2
Fluoruros (mg / l)	0.1
Manganeso (mg / l)	5.0
Níquel (mg / l)	3.0
Plomo (mg / l)	0.2

- Elementos nutritivos de los lodos residuales

Los nutrientes contenidos en los lodos municipales de las aguas negras son benéficos para su uso en la agricultura puesto que contienen los elementos que las plantas cultivadas, principalmente nitrógeno y potasio, además contiene otros micronutrientes como lo son el boro, magnesio, cobre, molibdeno y zinc. El lodo aplicado a la agricultura ha respondido favorablemente a diversos cultivos (EPA, 1990).

Elementos como el cobre y el zinc son elementos vitales para las plantas, además la presencia de estos elementos pueden tener acción sobre el níquel. El exceso de estos materiales puede significar una toxicidad leve. El hierro y el manganeso son elementos presentes en el lodo, y también en los suelos. Estos elementos sirven como catalizadores en el desarrollo de las plantas, el boro y el molibdeno son elementos que necesitan las plantas pero el exceso puede producir marchitez (Casillas, 1996).

La adición de lodos al suelo produce un efecto de agregación fina y por lo tanto mejorara la porosidad, permitiendo la mayor disponibilidad de nutrientes, infiltración, aireación y retención del agua y la ventilación de la tierra, por lo que puede incrementar el valor del suelo. (de Val, A., 1993).

El lodo residual es, por un lado, rico en contenido de nutrientes y de materia orgánica, pero por otra parte, también contiene microorganismos patógenos como virus y bacterias, así como también

tiene metales pesados, y otros tipos de contaminantes tóxicos. Esto hace el uso del lodo ciertamente limitado (Acuari.o *et al.*, 1997).

Wendy Priesnitz (1997) considera que si los desechos humanos fueran el único material existente en las plantas de tratamiento de aguas residuales, el lodo residual sería un abono relativamente seguro. Empero, las plantas de tratamiento de aguas residuales también reciben inevitable basuras tóxicas industriales y domésticas.

Para la Agencia de Protección al Ambiente (EPA, 1990), de los Estados Unidos, los lodos de aguas residuales pueden incluir elementos volátiles, sólidos orgánicos, alimentos, organismos patógenos (bacterias, virus, etc.), metales pesados, productos químicos y orgánicos tóxicos de basuras industriales, productos químicos de la casa y pesticidas. En vista de lo anterior, los lodos residuales son subproductos que si no tienen el debido control, pueden representar alta fuente de riesgos a la salud ambiental y humana.

Debido a las características contaminantes y tóxicas, de los lodos residuales su aplicación en forma directa a los suelos no es muy recomendable. El compostado permite la pasteurización debido a las altas temperaturas que alcanza el proceso de compostado. No obstante, las propiedades del compost son estables y contiene además vitaminas y antibióticos, por lo que es en un producto de mayor calidad que puede ser aplicado a los cultivos como cualquier abono orgánico (Priesnitz, 1997).

### **6.7.3 Limitaciones de tipo legal y de divulgación**

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, establece que corresponde a los municipios la responsabilidad de prestar el servicio de limpia con el concurso del estado. Generalmente esta atribución es ratificada por la Constitución Política de los Estados y sustentada en la Ley Estatal de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Este marco sirve de referencia para establecer los lineamientos generales de los Bandos de Policía y Buen Gobierno y de forma particular de los Reglamentos de Limpia Municipal. (Instituto Nacional de Ecología, 2000)

El marco legal bajo el cual se sustenta el manejo integral de los Residuos sólidos municipales incluye Leyes, Reglamentos y Normas de los tres órdenes de Gobierno e involucra a un número considerable de instituciones las cuales buscan el bien común mediante la disminución o eliminación de los efectos nocivos que puede causar el manejo inadecuado de los residuos sólidos municipales (Instituto Nacional de Ecología, 2000).

En lo que se refiere al manejo integral de residuos sólidos municipales, como servicio público, son autoridades competentes los estados y los municipios.

Es importante hacer notar, que la prestación del servicio público no está regulada por ninguna disposición jurídica del orden federal, salvo por el Artículo 115 Fracción III, Inciso c, de la

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, para el sólo efecto de declarar competentes a los municipios en esta materia. Dado lo cual, las disposiciones jurídicas a este respecto son las que se expiden en el orden local, sea en los estados o en los municipios, o en ambos.

En México la legislación publicada el 1º de marzo de 1998 en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente contiene algunos artículos acerca del manejo de residuos sólidos municipales. A continuación se hace referencia en los capítulos y sus respectivos artículos más interesantes:

#### **Titulo Cuarto Ley de protección al ambiente**

- **Capítulo III Prevención y control de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos**

**Artículo 120.-** Para evitar la contaminación del agua, quedan sujetos a regulación federal o local las descargas de origen:

- I.- Industrial;
- II.- Las descargas de origen municipal y su mezcla incontrolada con otras descargas
- III.- Las descargas derivadas de actividades agropecuarias;
- IV.- Las descargas de desechos, sustancias o residuos generados de las actividades de extracción de recursos no renovables;
- V.- La aplicación de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas;
- VI.- Las infiltraciones que afecten los mantos acuíferos; y
- VII.- El vertimiento de residuos sólidos, materiales peligrosos y lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales, en cuerpos y corrientes de agua.

- **Capítulo IV Prevención y control de la contaminación del suelo**

**Artículo 134.-** Para la prevención y control de la contaminación del suelo, se consideraran los siguientes criterios:

- I.- Corresponde al estado y la sociedad prevenir la contaminación del suelo.
- II.- Deben ser controlados los residuos en tanto que constituyen la principal fuente de contaminación de los suelos;

- III.- Es necesario prevenir y reducir la generación de residuos sólidos, municipales e industriales; incorporar técnicas y procedimientos para su reutilización y reciclaje, así como regular su manejo y disposición final eficientes;
- IV.- La utilización de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas, debe ser compatible con el equilibrio de los ecosistemas y considerar sus efectos sobre la salud humana a fin de prevenir los daños que pudieran ocasionar.
- V.- En los suelos contaminados por la presencia de materiales o residuos peligrosos, deberán llevarse a cabo las acciones necesarias para recuperar o restablecer sus condiciones, de tal manera que puedan ser utilizados en cualquier tipo de actividad prevista por el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable.

**Artículo 135.-** Los criterios para prevenir y controlar la contaminación del suelo se consideran en los siguientes casos:

- I.- La ordenación y regulación del desarrollo urbano;
- II.- La operación de los sistemas de limpia y de disposición final de residuos municipales en rellenos sanitarios;
- III.- La generación, manejo y disposición final de residuos sólidos, industriales y peligrosos, así como en las autorizaciones y permisos que al efecto se otorguen.
- IV.- El otorgamiento de todo tipo de autorizaciones para la fabricación, importación, utilización y en general la realización de actividades relacionadas con plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas.

**Artículo 136.-** Los residuos que se acumulen o puedan acumularse y se depositen o infiltren en los suelos deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir o evitar:

- I.- La contaminación del suelo;
- II.- Las alteraciones nocivas en el proceso biológico de los suelos;
- III.- Las alteraciones en el suelo que perjudique su aprovechamiento, uso o explotación, y
- IV.- Riesgos y problemas de salud.

**Artículo 137.-** Queda sujeto a la autorización de los municipios o del Distrito Federal, conforme a sus leyes locales en la materia y a las normas oficiales mexicanas que resulten aplicables, el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reutilización tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales.

La Secretaría expedirá las normas a que deberán sujetarse los sitios, el diseño, la construcción y la operación de las instalaciones destinadas a la disposición final de residuos sólidos municipales.

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

- I.- La implantación y mejoramiento de sistemas de recolección, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales; y
- II.- La identificación de alternativas de reutilización y disposición final de residuos sólidos municipales, incluyendo la elaboración de inventarios de los mismos y sus fuentes generadoras.

**Artículo 139.-** Toda descarga, depósito o infiltración de sustancias o materiales contaminantes en los suelos se sujetará a lo que disponga esta ley, la ley de aguas nacionales, sus disposiciones reglamentarias y las normas oficiales mexicanas que para tal efecto expida la Secretaría.

**Artículo 140.-** La generación, manejo y disposición final de los residuos de lenta degradación deberá sujetarse a lo que se establezca en las normas oficiales mexicanas que al respecto expida la Secretaría, en coordinación con la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

**Artículo 141.-** La Secretaría, en coordinación con las Secretarías de Comercio y Fomento Industrial y de Salud, expedirán normas oficiales mexicanas para la fabricación y utilización de empaques y envases para todo tipo de productos, cuyos materiales permitan reducir la generación de residuos sólidos. Asimismo, dichas dependencias promoverán ante los organismos nacionales de normalización respectivos, la emisión de normas mexicanas en las materias a las que se refiere este precepto.

La necesidad de crear normas para el procesamiento de residuos de materia orgánica fermentable, que proceden básicamente de restos de alimentos (domiciliarios, de hotelería, mercados, industrias alimenticias) mataderos y carnicerías; barrido y poda de parques y jardines, así como lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, es necesaria dado a las cantidades de residuos sólidos municipales que se generan en países como el nuestro.

**6.7.3.1 Normas Oficiales Mexicanas para la protección ambiental para control de residuos peligrosos (SEMARNAT, 2001)**

Clave	Regulación	Fecha de Publicación
NOM-052-ECOL-1993	Que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.	22-oct/1993
NOM-053-ECOL-1993	Que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.	22-oct/1993
NOM-054-ECOL-1993	Que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993.	22-oct/1993
NOM-055-ECOL-1993	Que establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de residuos peligrosos, excepto de los radiactivos.	22-oct/1993
NOM-056-ECOL-1993	Que establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.	22-oct/1993
NOM-057-ECOL-1993	Que establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos.	22-oct/1993
NOM-058-ECOL-1993	Que establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.	22-oct/1993
NOM-083-ECOL-1996	Que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales. (Aclaración: 7-mar/1997)	25-nov/1996
NOM-087-ECOL-1995	Que establece los requisitos para la separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos biológico-infeccioso que se generan en establecimientos que presten atención médica. (Aclaración: 12-jun/1996)	7-nov/1995



El trabajo de normas que regulen el tratamiento y disposición de los lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales, de restos de parques y jardines, residuos orgánicos que se abordan como tema principal en este trabajo de tesis sigue en pie. El 15 de diciembre de 1999 se presentó un anteproyecto de Norma Oficial Mexicana: "*NOM-004-ECOL-1999 Protección Ambiental.- Lodos y biosólidos*".- *Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final*". Cuyo objetivo establece las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes para los lodos provenientes del dezaolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales; con el fin de posibilitar su aprovechamiento o disposición final y proteger al medio ambiente y la salud humana. (Anexo 2).

La falta de departamentos y empresas (públicas y privadas) que gestionen residuos orgánicos, la falta de experiencias y conocimientos de los procesos de compostado, la ausencia de legislación al respecto que obligue al cumplimiento de ciertos objetivos, son algunas de las causas de que el proceso de compostado no sea aplicado como técnica para la solución de los problemas de contaminación ambiental que causan los residuos sólidos municipales.

#### 6.7.3.2 Parámetros internacionales de calidad del compost

En México no existen criterios técnicos para la clasificación de la calidad del compost que se produce. Por ese motivo, dependemos de diversas clasificaciones internacionales que existen, como medida de referencia.

Alfonso de Val en su "Libro del Reciclaje y manual para la recuperación y aprovechamiento de las basuras" publicado en 1993, cita un apartado en donde habla de las normas sobre el compost maduro publicadas por la orden del Ministerio Publico de Agricultura el día 14 de julio de 1988 en España, en donde establecieron parámetros para abonos destinados a la agricultura, y entre ellos apareció el compost cuyas normas fueron las siguientes:

- Materia Orgánica (sobre materia seca) mínimo del 25%
- Humedad menor del 40%
- Granulometría: el 90% pasando por una malla de 25mm.
- Límites permisibles de metales pesados, en ppm ó mg./kg.

Cadmio	40	zinc	4.0
Cobre	1.75	mercurio	25
Níquel	1900	romo	750
plomo	1.2		

TESIS/CUCBA

En países como Suiza existen reglamentos de calidades de compost: el de primera calidad, el 99 % debe pasar por un tamiz de 4 mm; el de segunda calidad debe pasar el 99 % por una malla de 6 mm y el de tercera calidad el 98.5 % debe de ser tamizada en una malla de 8 mm. Los materiales inertes no deben sobrepasar el 1 %. (de Val A., 1993). En el cuadro 13 se aprecian los valores de metales pesados permitidos en el compost de algunos países.

**Cuadro 13. Valores permitidos de metales pesados (mg/kg) en el compost en algunos países.**

Elemento	Francia	Alemania	Bélgica	Bélgica <sup>1</sup>	Bélgica <sup>2</sup>	EU.	Inglaterra
Pb	594	600	750	300	500	500	
Cu	250	250	220	50	500	500	610
Zn	1.000	1.000	1.09	300	1.000	1.250	1350
Cr	27	66	130	25	200	-	170
Hg	4	-	3	5	5	5	21
Cd	7	13	4	5	5	12	7.5
Mn	600	-	550	400	500	-	800

1. cultivos alimentarios 2. cultivos no alimentarios Tomada de Val, 1993

E.U. Canadá, Dinamarca, Alemania, Holanda, Francia e Italia siguieron los mismos pasos de establecer normatividad que regulan la utilización de lodos residuales en agricultura con el fin de evitar y minimizar los riesgos de contaminación de estos residuos.

España no sólo se consideran los metales pesados, sino el nivel de pH de los suelos en donde será aplicado:

**Cuadro 14. Valor limite de concentración de metales pesados en los lodos destinados a su utilización agrícola en España. (mg/kg<sup>-1</sup>)**

Parámetros	Suelos con pH <7	Suelos con pH >7
Cadmio	20	40
Cobre	1000	1750
Níquel	300	400
Plomo	750	1200
Zinc	2500	400
Mercurio	16	25
Cromo	1000	1500

### 6.8. Experiencias de compostado de lodos residuales mezclados con desechos de jardinería.

En España, la planta de compostado de Cárcar en Navarra, que composte la fracción orgánica domiciliar, separada por los vecinos, e industrial de la comunidad de Montejurra, y la planta de Castelldefels (Barcelona) que composte restos de parques y jardines y lodos de la depuradora de aguas residuales del municipio y de la industria, junto con los residuos de alimentos de Mercabarna (Barcelona) y restos del cultivo de champiñón, son dos ejemplos significativos (de Val A., 1993).

Además se realiza la adición de un lodo residual sobre el suelo como lo reportan Quintero Rodríguez, M. P.; Andrade Couce, M. L. y De Blas Varela (1998), quienes analizaron los efectos de la aplicación de lodos residuales sobre la productividad y diversas propiedades del suelo. El suelo fue tratado con cuatro dosis de lodos residuales (5, 10, 20 y 40 kg/ ha-1). Se cultivó cebada y maíz consecutivamente. La producción fue mayor cuanto más elevada fue la dosis de lodo añadida. Se apreciaron diferencias significativas en el pH y en el contenido de materia orgánica entre el suelo control y el tratado con la dosis más alta de lodo. La conclusión de estos experimentos fue que la adición de los lodos no causa efectos significativos en la mayor parte de las fracciones de la materia orgánica del suelo en lo referente a metales pesados. La fracción hidrosoluble aumenta y la lignina disminuye a medida que transcurre el crecimiento de los cultivos. La aplicación del lodo no aumenta el contenido de los metales del suelo. La especiación de estos metales no se ve afectada por dicha aplicación, es decir, la acidificación natural del suelo cuando se le agrega materia orgánica, no tiene una reacción que libere los metales y queden en condiciones de elementos solubles.

En los estados Unidos de América, los lodos residuales son tratados por dos métodos de compostado aeróbico: el estático y el agitado. En el método "agitado" son desechos orgánicos mezclados con lodos residuales formando una pila que periódicamente se voltea para que se introduzca el oxígeno, el lodo representa 1/3 del material que se composte en la pila. En el método de compostado "estático" cuenta con una pila con adaptaciones, que suministran aire por medio de inyectores o respiraderos (ver modificación de la pila Beltsville figura 10) (Tchobanoglous, *et al*, 1993).

El procedimiento de la pila aireada de Beltsville usa lodos de aguas negras con un contenido de humedad de aproximadamente 78 % con astillas de madera en relación de 2:1 en volumen. La mezcla se dispone en pilas sobre tubos y se cubre con una capa de compost acabado y mediante un ventilador se aspira aire a través de tubos. La pila de compost dura cuatro semanas, entonces se almacena otras cuatro. Las astillas de madera se separan del compost utilizando cribas (Sikora, Wilson y Parr, 1983).

Bertoldi (1991) compostaron una mezcla de lodos con basura orgánica, idénticas en su composición pero con distintos métodos de suministro de aire. La basura y el lodo se mezclaban en la proporción de 60 y 40 por ciento en peso, respectivamente. La pila 1 se volteaba dos veces por semana para el suministro adecuado de aire respectivamente. En la pila dos el aire era aspirado a través de la pila con

el ventilador trabajando durante 40 segundos cada 13 minutos. En la pila 3 un ventilador insuflaba aire durante 40 segundos cada 13 minutos a través de la pila, cuando la temperatura estaba por encima de 55 °C. El experimento mostró que el método en que el aire se insuflaba a través de las pilas daba una tasa de descomposición más rápida y producía un compost con un contenido de humedad más bajo y un grado de madures mas alto.

En el condado de Los Ángeles, la práctica del compost se lleva a cabo con 300 toneladas de basura y sacan 270 millones de galones lodos de alcantarillado que son sometidos a este proceso. C. R Compton, jefe del Departamento de Higienización del condado de Los Ángeles informa que el primer tratamiento que reciben los lodos residuales son el compostado. En este condado (seis millones de habitantes) se producen 100 toneladas diarias de este lodo seco digerido o compostado que es vendido como abono orgánico, en contraste con 10 000 ton que se generan de desperdicios orgánicos, que si fueran compostados se produciría 5000 ton /día de humus (Compton y Bouwerman, 1997).

Los tratamientos de lodos de alcantarillados se usan las técnicas aeróbicas y anaerobias en donde se aprovecha este residuo. En el compostado aeróbico la misma producción de gas es utilizada para el calentamiento de la composta y por el método de fermentación aeróbica se utilizan las pilas estáticas de aireación.

Wendy Priesnitz (1997) dice que los típicos lodos de aguas residuales pueden llevar cualquiera de los cientos de subproductos químicos producidos y usados en las naciones industrializadas, muchas de las cuales terminan ilegalmente en las alcantarillas. Afirma que este lodo es igualmente peligroso. Sin embargo, este lodo se ha utilizado desde 30 años aproximadamente de forma legal en Canadá aplicándolo al suelo como fertilizante. Debido al aumento dramático en el uso de lodos como abono desde 1990, se ha incitado a gobiernos para poner estándares para regular los niveles de tóxicos en el producto final que se van a utilizar. Algunas provincias canadienses tienen sus propias regulaciones, además del Gobierno Federal de Canadá, como resultado de efecto de la concentración de metales en el suelo, debido a la aplicación durante 40 años.

Las guías de consulta para el uso de lodos de Ontario describen los "requisitos" de los lodos para ser utilizados como fertilizante. Los lodos deben ser vigilados para asegurar que la demanda de nitrógeno y la ración de metales pesados no estén excedido a las normas establecidas en Canada. Esta práctica es muy segura, ya que la aplicación de lodos a cultivos, esta debidamente controlada (Priesnitz, 1997).

En el artículo de Wendy Priesnitz se analiza la controversia sobre la seguridad del utilizar el lodo residual como fertilizante, y menciona que en los E.E.U.U., la Asociación de Procesadores Nacionales del Alimento dice que *"No es utilizado el lodo de aguas residuales en ninguna cosecha como abono"*. Heinz y Del Monte opinan lo mismo: *"Una de las razones de la preocupación es confusión sobre la presencia de metales pesados. Los niveles máximos permitidos de metales varían extensamente alrededor del mundo, por ejemplo. Dinamarca limita este metal menos de una porción por millón en*

abono del lodo. Alemania permite diez porciones por millón, el Estado de Nueva York permite 25 y la EPA permite 39 porciones por millón". Después de 1992, la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA), reclasificó los lodos de "material peligroso" a "sólidos beneficiosos" (Priesnitz, 1997). El cuadro 15 nos puede dar una idea de la práctica que se tiene del manejo de los residuos orgánicos en los países americanos hace aproximadamente 15 años.

**Cuadro 15. Uso de lodos y residuos sólidos municipales en algunos países de América Latina. (FAO, 1983)**

País	Cantidad t x 10 <sup>3</sup>	Uso real	Uso potencial	observaciones	Factor limitante	Programa de acción
El Salvador	Lodos residuales no cuantificados	No se usan		Vertidos a los ríos	Poca difusión del reciclaje	Inventario de producción de residuos para darle difusión al reciclaje de materia orgánicas.
Guatemala	Lodos no cuantificados	No se usan	Aboneras compostas			Falta de Tecnología
México	RSM—1500  Lodos --no cuantificado	Compostado y rellenos sanitarios (20%)		Plantas *procesadores en DF, Guadalajara, Monterrey y Toluca	Altos costos en inoculantes Celulolíticos * Plantas cerradas.	Fomentar el compostador
Rep. Dominicana	Lodos -178	compostado		47% RSM alimenticios 33% desechos de jardines	Falta de educación ambiental	Difusión del reciclaje y producción de biogás
Perú	RSM no cuantificados	No se utilizan	Proyecto de compostado		Falta de investigación	Elaborar programas integrales para la utilización de compost.
Paraguay	Lodos No cuantificado	Rellenos sanitarios, se verten en ríos y lagos	Para todos los residuos esta dada	Legislación nueva para combatir la contaminación	Falta de conocimiento	investigación
Nicaragua.	Lodos no cuantificados	Eliminadas en ríos y lagos	Compostado	Altos costos,	falta de personal capacitado	Investigación de cepas, producción de gas.
Uruguay	Lodos 200 t/día	No se utilizan	Utilización de compost proyectos en estudios	Necesidad de instrumentar procesos se elaboración para la comercialización de los sólidos	Falta de divulgación y concientización acerca del reciclaje de materiales orgánicos.	Reciclaje de materiales orgánicos, apoyo de autoridades uruguayas.

Los problemas que se crean principalmente con los residuos orgánicos en toda América Latina se identificaron hace años. El principal de ellos es la falta de difusión de técnicas de reciclaje -como el compostado-, la falta de personal capacitado, y en cuestiones ambientales los lodos residuales son (ó eran) vertidos a los ríos provocando graves daños ecológicos y sanitarios.

Entre los experimentos locales en cuanto al reciclaje de residuos vegetales cabe destacar el caso de la empresa COPOMEX que produjo una cantidad de 160 t/ turno de compost, durante aproximadamente 15 años en Guadalajara, Jalisco. Dentro de esta empresa se realizó un trabajo de investigación titulado: "*Respuesta del cultivo del maíz a las aplicaciones de compost y fertilizantes*" por Valdés Robles (1974) que sirve como soporte bibliográfico en la presente tesis.

También en Zapopan, Jalisco, E. Salcedo, J. A. Aguayo, F. Zamora y E. Hernández (1999) realizaron una investigación de compostado para evaluar 14 tratamientos constituidos por mezclas de material vegetal con lodos residuales. Con una proporción 3:1 respectivamente, provenientes de la depuradora de Jocotepec y de la empresa Philips Consumer Communication de México, con estiércol en porciones de 30, 50 y 70 % de lodos y algunos de desechos de animales: estiércoles, cerdaza, gallinaza y contenidos intersticiales, los cuales fueron mezclados los materiales en montículos y se les aplicó agua, que se voltearon periódicamente. Se reportaron resultados preliminares al término de 75 y 90 días. Se evaluó su efecto como abono agrícola obteniéndose 27 % mayor incremento de grano de maíz aplicando 20 ton / ha con respecto al tratamiento tradicional con fertilizante.

#### **6.8.1 Compostado con lodos contaminados con metales pesados**

Los metales pesados son elementos tóxicos que acceden al medio ambiente gracias a la actividad del hombre. Pueden alcanzar concentraciones tales que lleguen a ser peligrosas para los seres vivos. Dichas sustancias y elementos pueden ser de origen químicos de naturaleza orgánica o inorgánica de origen natural o sintético (Ramos A., 1987).

Quiao Lian y Ho Goen (1997) realizaron experimentos de compostado de lodos residuales de aguas negras y además adicionaron lodos rojos (residuos de barro). Los lodos rojos se mezclaron junto con los lodos residuales debido a que se pretendía determinar el grado de liberación de metales pesados (especiación) como cromo, cobre, níquel, plomo y zinc. Al término del proceso de compostado y el efecto de la adición del barro en la distribución de metales en el compost fue significativo y, encontraron que el barro durante el compostado tiene efecto en la adsorción de metales. Los mismos autores encontraron en 1996, que las mezclas de los lodos rojos con lodos residuales también aumentan la disponibilidad de nutrientes (Quiao Lian y Ho Goen, 1996).

Walter, M. Bigeriego y R. Calvo (1994) llevaron a cabo un ensayo de campo entre los años de 1983 a 1991 con el objeto de estudiar el valor nutricional y contaminante de lodos residuales en la producción de trigo de secano. La producción de grano no se vio afectada por la aplicación de los lodos en comparación a los fertilizantes minerales convencionales, no observándose cambios ni diferencias significativas en los tratamientos. Las dosis aplicadas fueron suficientes como para aumentar significadamente las concentraciones de los metales pesados estudiados en el suelo, mientras que el contenido de éstos en el tejido vegetal no presentaron diferencias significativas a excepción del Zn. Los resultados de este estudio manifestaron que la adición de lodos como abono durante ocho años seguidos, no afecta la producción de grano, los tratamientos de compost fueron similares a los adicionales de fertilizantes minerales convencionales. El uso de los lodos incrementa todos los metales pesados estudiados en el suelo, tanto totales como los asimilables superando los límites establecidos por la legislación española, en las concentraciones de Cu, Cr, Zn y Cd.

M. Bigeriego en 1992, realizó una caracterización de lodos urbanos. El lodo fue sacado con un 75 % de humedad y se secó hasta reducirlo a 55 % y fue apilado en un montón de 3 m. de altura, se volteó cada 15 días y al cabo de tres meses se obtuvo compost bruto, el cual se cribó con una malla de 15mm de diámetro para refinarlo, al final se reportaron las siguientes características:

Humedad (%)	28-46	Materia orgánica (%)	34.34
pH	8	Carbono oxidable(%)	21.71
Conductividad eléctrica (mhos/cm)	5.79	N (%)	2.44

J. L. Otero, M. Andrades y P. Marcet (1996) realizaron una caracterización química del fraccionamiento de los compuestos<sup>s</sup>nitrogenados y la evaluación dos tipos de lodos como abono: uno de aguas de una depuradora urbana y otra de una planta potabilizadora de agua de ríos. Estos estudios se realizaron en variación al tiempo, así como pérdidas de elementos nutritivos sometidos a temperaturas. Los resultados no reportan diferencias en la composición de los lodos, siendo los elementos más predominantes la celulosa (lodos residuales urbanos) y lignina (lodos de río). En ambos lodos el contenido de nitrógeno inorgánico es menor al orgánico, este es susceptible de mineralizaron a no muy largo plazo por el elevado porcentaje de la fracción hidrolizable. Los lodos urbanos tienen mayor cantidad de fósforo y potasio asimilable, que los de río y ambos materiales poseen contenidos importantes de metales pesados, aunque no en cantidades que superen los límites establecidos.

Moreno, García, Hernández y Ayuso (1997), aplicaron lodos contaminados con metales pesados e hicieron compost para ver la transferencia de estos a la cadena alimenticia. Los experimentos se hicieron en cultivos de lechuga en suelos calcáreos, con diferentes dosis de lodos residuales conteniendo metales pesados como Cd, Zn, Cu y Ni. El abonamiento de los cultivos con suelo a un bajo pH se transformó al final del experimento logrando estabilizarse alrededor de 8 y con una conductividad eléctrica mayor. Como era de esperarse el abonamiento con compost contaminado alteró los niveles nutricionales del suelo, especialmente el nitrógeno y en el potasio. El cadmio y el zinc son los metales más fácilmente adsorbidos y mostraron el índice más alto de disponibilidad, lo que representa un peligro para las plantas. Metales como el cobre, arsénico y níquel forma complejos hidrosolubles que no pueden ser adsorbidos.

Warma y Termer (1996) hicieron experimentos en donde compostaron mezclas de lodos residuales con hierbas, estiércoles de hipódromo y forrajes, los cuales fueron monitoreados en un pila estática aireada. La maduración del compost en el primer ciclo presenta modificaciones en los cultivos. Según el análisis hecho al forraje, éste provee de macro y micro nutrientes que no se perdieron en el proceso de compostado. El uso de compost de lodos residuales en los cultivos, no aumentó los elementos fitotóxicos, sin embargo, se observó que sí afecta la germinación de las semillas en el cultivo. Los experimentos comprobaron que pudo convertirse en un abono 100% comercial.

Zorpas A. A., Stamatis V., Zorpes G. A., Vlyssides A. G. y Loizidou M. (1999) compostaron lodos residuales de aguas negras junto con residuos sólidos municipales que fueron fraccionados. El propósito de su trabajo fue el de evaluar las características fisicoquímicas durante el compostado. Ellos desarrollaron un método de fermentación anaerobia y monitorearon la estabilización primaria del lodo y de los residuos sólidos municipales. El resultado final indica una buena condición del suelo para el uso agrícola. El compost obtenido presentó altas concentraciones de humus total (9.5 %) y de materia orgánica (38.23 %), mayor que las del lodo utilizado (3.5 y 32 % respectivamente). La concentración final de metales pesados fue baja.

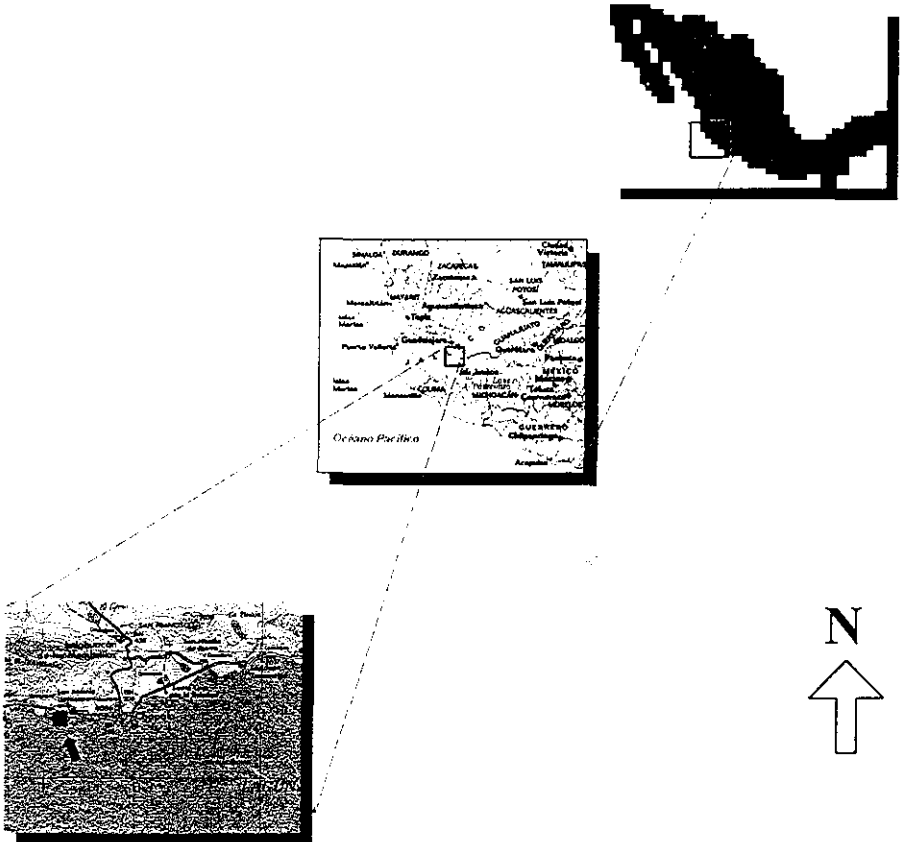
Zoorpas A. A., Vlyssides y Loizidou (1999) describieron los problemas asociados con la disposición de los lodos residuales y la expansión de las plantas de tratamiento de aguas residuales que incrementan gravemente la generación de los lodos residuales, cuya limitación al ser aplicados está relacionada con la relación de metales pesados y contaminantes que puede contener. El compost de lodos residuales puede cambiar estas cualidades y ocupar niveles satisfactorios de metales pesados en el producto final de compost. El compost tiene la capacidad de neutralización de ácidos procedentes del incremento de pH, y por tal motivo la concentración de los metales pesados decrece.



Wong J. W. C., Li, G. y Wong M. H. (1996), hicieron un cultivo de *Brassica chinensis* y evaluaron el cambio al ser abonado con compost de lodos residuales provenientes de aguas negras de origen industrial y doméstico que contienen altas concentraciones de metales y sales. El abonamiento del suelo con compost de lodos fue aplicado en distintas raciones y tiempos de cultivo. Esto causó un incremento en el pH y en la conductividad eléctrica de la tierra, además aumentó la solubilidad de potasio, magnesio, óxido de potasio y otros elementos como el cobre, zinc, cadmio, plomo y níquel. Sin embargo, todos elementos no excedieron las normas permitidas de concentración de metales, excepto el cadmio que rebasó estos límites en una aplicación de compost de lodos al 10%.

Cultivos de temporal de *Allium cepa*, *Leactuca sativa*, *Antirrhinum majus* y de *Fetuga arundinacea* en San Diego, California, fueron abonados con compost de lodos residuales por Beveca y Mellano (1993). Al momento de hacer los monitoreos tan sólo percibieron una baja de nivel de pH y se incrementaron los valores de la materia orgánica del suelo, nutrientes primarios, sales contenidas y metales pesados.

## 7. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



**Figura 11. Ubicación del poblado de San Antonio Tlayacapan, Municipio de Chapala Jalisco.**

El Lago de Chapala es considerado como el cuerpo de agua de mayor extensión en nuestro país y es parte de la cuenca Lerma - Chapala - Santiago, considerado como una de las de mayor extensión de México. Esta cuenca es importante por la cantidad de ciudades que dependen de ella, así como las actividades económicas que se desarrollan en esa región puesto que sostiene más de ocho millones de personas, 3,500 industrias diversas, 750,000 hectáreas de tierras de riego y 14 ciudades con poblaciones de más de 100,000 habitantes. A lo largo de ella se encuentran asentadas las ciudades de Toluca, Querétaro, Guanajuato, Aguascalientes y Guadalajara.

Su curso de aproximadamente 560 km que descarga en el Lago de Chapala, a 24 km al sudoeste de La Barca. Aunque el Lerma no es navegable, sus aguas se usan para centrales hidroeléctricas y para el riego. El Río Lerma después de pasar por la ciudad de Guadalajara, llega hasta el Lago de Chapala ubicado entre los municipios de San Juan Cosalá, San Luis Sayotlan, La Palma, Tizapan el Alto, Jamay, Mezcala, Jocotepec, Ocotlán, y Chapala. Estos municipios tienen las características del desarrollo turístico industrial y urbano que han desarrollado un incremento la generación de aguas residuales (SEMARNAT, 2001).

Después de la desembocadura en el Lago de Chapala, la cuenca continúa con el Río Grande de Santiago, cerca de Ocotlán, por lo que se considera una extensión del Río Lerma. Fluye con una longitud de 443 km, atravesando los estados de Jalisco y Nayarit, generalmente hacia el norte y hacia el oeste, a través de la Sierra Madre Occidental, desciende a la costa y desemboca en el Océano Pacífico a 16 km al noroeste de San Blas, en Nayarit. (SEMARNAT, 2001).

### **7.1 Características climáticas del área de estudio**

Las características de la región de Chapala son semisecas durante invierno y primavera secas y semicálidas sin estación invernal definida. La temperatura media anual es de 19.9°C, la máxima es de 27 a 30 °C de mayo a julio y la mínima, entre 9 a 12 °C.

El promedio de días con heladas al año es de 4.1 de diciembre a febrero. La frecuencia anual de granizadas es menor de dos días. La precipitación total anual es de 875.2 milímetros (mm), con régimen de lluvias en los meses de junio, julio y agosto, aunque a lo largo de casi medio siglo se ha fijado en 740 mm en promedio. El mes más lluvioso es julio y el más seco enero. La evaporación total anual es de 1,912 mm, los meses en que es mayor es durante abril y mayo (250 mm) y el mes en que es menor es diciembre (100 mm). La dirección dominante de los vientos es de este a oeste y de oeste a este en segundo lugar y con menor frecuencia de sur a norte y de norte a sur. La velocidad varía de 1 a 12 km./h, lo más frecuente es entre 8 y 12 km./h (SEMARNAT, 2001).

### **7.2 Localización del lote experimental**

La afluencia de esta cuenca hidrográfica trae consigo un enorme arrastre de aguas negras producto del uso agrícola-industrial y doméstico que llega hasta el Lago de Chapala.

El problema de las aguas negras representa un problema de contaminación ambiental en esta región, por lo cual el Gobierno de Jalisco dispuso a los Municipios de varias plantas depuradoras de aguas negras a lo largo de la ribera del Lago. En el siguiente cuadro se presenta el listado de la ubicación de ellas (SEDEUR 1999).

**Cuadro 16. Plantas de Tratamiento de aguas residuales existentes en la ribera de Chapala y sus volúmenes de operación.**

Planta	litros /segundo	m <sup>3</sup> /año
Tizapan el Alto	8	252 288
Tuxcueca	60	1 892 160
San Luis de Sayatlan	25	788 400
Jocotepec	12	378 432
El Chante	5.5	173 448
San Juan Cosalá	66	2 081 376
<b>San Antonio Tlayacapan</b>	<b>24</b>	<b>756 864</b>
Chapala	28	883 008
San Nicolás de Ibarra	12	378 432
Jamay	60	1 892 160
Ixtlahuacan de los Membrillos	80	2 522 880

Fuente: SEDEUR, 1999

Con respecto a las plantas depuradoras cabe hacer mención que dependiendo del tipo de aguas que reciben es la cantidad y calidad de lodos residuales que se generan.

Según el resultado del análisis CRETIB (Corrosividad, Reactividad, Explosividad, Toxicidad, Inflamabilidad y Biológica infecciosa) se eligió la depuradora de San Antonio Tlayacapan ya que sus lodos residuales son los menos contaminados.

La zona de influencia a la planta de tratamiento de aguas residuales es de origen doméstico exclusivamente. Dicha planta se localiza entre los límites de la población de Ajijic y del poblado de San Antonio Tlayacapan, en el municipio de Chapala entre los paralelos 20° 17'00" y 20°17'05" de latitud norte y los meridianos 103° 15' 45" y 103° 15' 30" de longitud oeste y a una altitud de 1, 524 msnm.

## 8. MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS

### 8.1 Características de materiales compostables

#### 8.1.1 Lodos residuales

El análisis CRETIB de los lodos residuales de la Planta de Tratamiento de San Antonio Tlayacapan realizados en Julio de 1999 en el laboratorio de Patología y Biotecnología Ambiental del Centro de Investigación y Asistencia Tecnológica del Estado de Jalisco (CIATEJ) reportaron los resultados que se muestran en el siguiente cuadro:

**Cuadro 17. Elementos tóxicos contenidos en los lodos residuales de la planta de tratamiento de San Antonio Tlayacapan.**

Elementos tóxicos de lodos	Norma	Resultado	Limite permisible
Arsénico	NOM 052 ECOL/93	< 0.78 ppm	5 ppm
Bario	NOM 052 ECOL/93	1.76 ppm	100.0 ppm
Cadmio	NOM 052 ECOL/93	<0.1 ppm	1.0 ppm
Cromo hexavalente	NOM 052 ECOL/93	<0.05 ppm	5.0 ppm
Níquel	NOM 052 ECOL/93	<0.2 ppm	5.0 ppm
Mercurio	NOM 052 ECOL/93	<0.02 ppm	0.2 ppm
Plata	NOM 052 ECOL/93	<0.2 ppm	5.0 ppm
plomo	NOM 052 ECOL/93	<0.2 ppm	1.0 ppm
Selenio	NOM 052 ECOL/93	<1.0 ppm	1.0 ppm

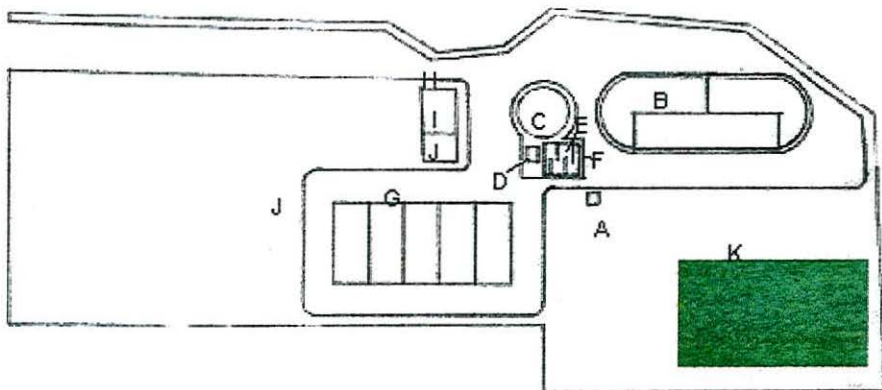
Los resultados de los análisis CRETIB hechos a los lodos no exceden los parámetros de la NOM ECO 052 /93, en consecuencia, dicho laboratorio determinó **no son peligrosos al ambiente.** (anexo 1)

#### 8.1.1.1 Proceso de producción de lodos residuales

En la planta de tratamiento de San Antonio Tlayacapan sólo recibe aguas negras de los poblados de Ajijic, La Floresta, y el Pueblo de San Antonio Tlayacapan. El proceso para la purificación de aguas consiste, primeramente en la remoción de sólidos grandes que se encuentran en las aguas negras a través de rejillas que al término de esta primera fase se le llaman "aguas crudas". El agua cruda corre por un hidrotamiz que vierte el agua a un estanque o "zanja de oxidación" y posteriormente se aplica un tratamiento biológico aeróbico (ver punto B figura 12). Enseguida pasa por un sedimentador de donde proceden los lodos inactivos (lodos crudos o primarios) producto de la primera fase de sedimentación. Algunos de estos lodos seguirán dentro del proceso y otra parte pasa directamente a los lechos de secado (punto G de la figura 12).

Los lodos que siguen en el proceso de aguas, son nuevamente bombeados a las zanjas de oxidación denominados lodos activados que servirán como cepa que ayudará al tratamiento de oxidación biológica que se tienen en las zanjas de oxidación.

Luego de pasar por la zanja de oxidación y por el sedimentador el agua tratada pasa por un tanque de cloración (punto E de la figura 12) en donde el agua es desinfectada y clorada (punto F de la figura 12) para ser vertida finalmente al Lago de Chapala.



- |                                   |                                     |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| A. Tanque de distribución de agua | H. Caseta de control de equipos     |
| B. Zanja de oxidación biológica   | I. Caseta de control de laboratorio |
| C. Tanque sedimentador            | J. Carcamo de aguas filtradas       |
| F. Caseta de cloración            | K. Sitio para compostado            |
| G.- Lechos de secado de lodos     |                                     |

**Figura 12. Croquis de la planta de tratamiento de San Antonio Tlayacapan, Jalisco.**

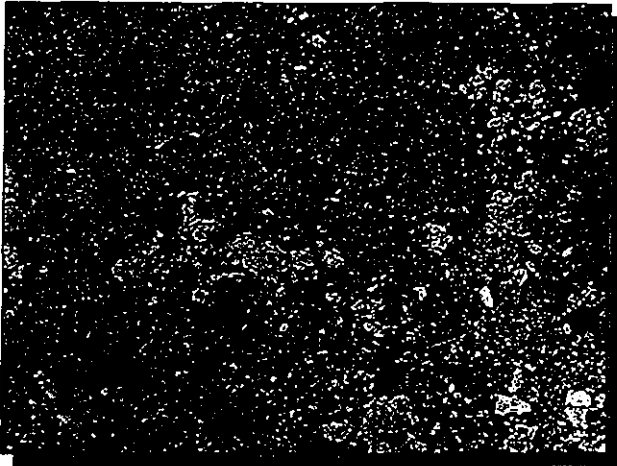


Figura 13. Aspecto final de los lodos residuales de la depuradora de San Antonio Tlayacapan, Jal., en el lecho de secado.

#### 8.1.2 Desechos de jardinería municipal

Los desechos de jardinería utilizados para este trabajo fueron proporcionados por la Asociación de Colonos de Ajijic, Jalisco, cuyo origen fue primordialmente residuos secos de jardines urbanos como: hojas, césped, y ramas de árboles, de muy diversos diámetros.

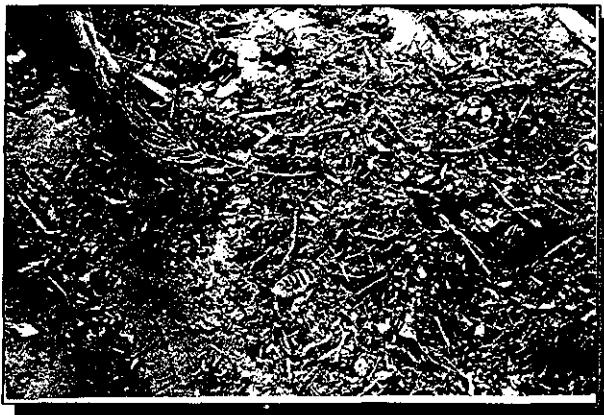


Figura 14. Aspecto de los residuos de jardinería utilizados para compostar.

## 8.2 Equipos utilizados

- Tubos de PVC perforados, instalados a manera de chimeneas, para la aireación de una de las pilas.
- Se utilizó una carretilla, bieldos y palas para el movimiento de los materiales.
- Molino de cuchillas motor de 2 H.P. y machetes para fraccionar los residuos de jardinería.
- Activador biológico comercial de la empresa AGROECO S.A. de Zapopan, Jalisco El activador consiste en dos productos: Bacon (bacterias específicas) y Nutribacter (fuente de alimentación inicial).
- Cubierta protectora con plástico negro.
- Termómetro de la marca *Digital Sense Coleparmer Termocouple* con una precisión de 0.2° C y con termopares tipo J (sensores de temperatura).
- Medidor portátil de pH modelo *HI 991000* marca *HANNA* con una precisión de  $\pm 0.01$  unidades de pH.
- La humedad y los análisis microbiológicos se realizaron en un laboratorio mediante muestras de compost que eran trasladadas en bolsas de plástico. Todas las mediciones y análisis físico químicos y microbiológicos fueron realizados en la Unidad de Servicios Analíticos y Metroológicos del Centro de Investigación en Tecnológica y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ).
- Guantes, botas y cubre bocas, como equipo de seguridad.
- Geomembrana de 20 x 30 m para el control de lixiviados marca *Poli flex inc* de una densidad de 0.8 mm.

### 8.2.1 Activador biológico de compost.

Los activadores biológicos de compost aplicados a las pilas dos y tres, consisten en dos productos a base de bacterias (Bacomp) y vitaminas para bacterias (nutribacter), que ayudan como activador biológico o inoculante para la reproducción inicial en el proceso de fermentación de las pilas. Dicho producto fue proporcionado por la empresa AGROECO, S. A.



## 9. PROCESO TECNICO

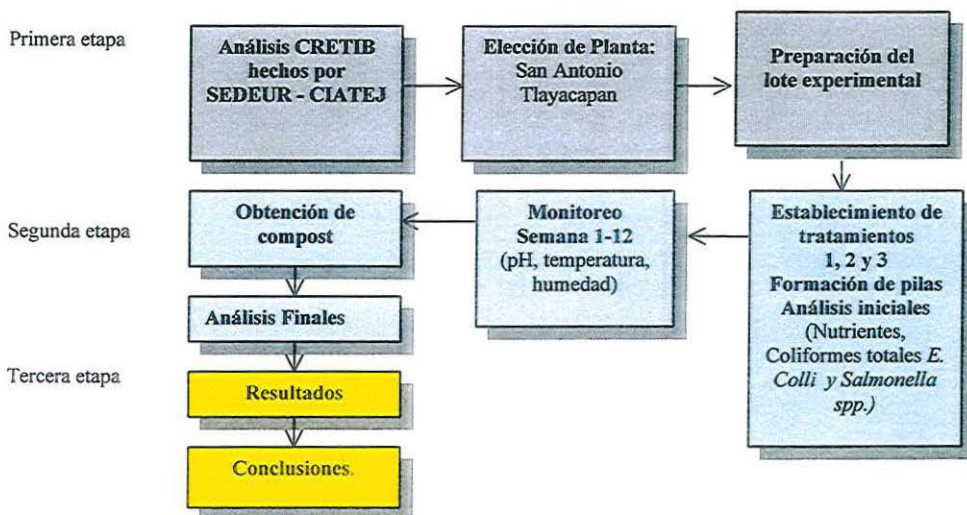


Fig.15 Diagrama de flujo de las diferentes fases de I del proceso técnico utilizado durante esta investigación.

Durante el desarrollo de esta tesis, el proceso técnico se dividió en varias etapas, tal y como lo muestra la figura 15. La primera fase se realizó con los análisis CRETIB hechos a las once plantas depuradoras de aguas de la Rivera de Chapala, y se seleccionó la de San Antonio Tlayacapan (ver punto 7.2 y 8.1.1). Posteriormente se llevó a cabo la preparación del sitio de experimentación (ver punto 9.1) y el establecimiento de los tratamientos.

La segunda etapa consistió en la formación de pilas de compost y análisis de coliformes totales, nutrientes, *E. Colli* y *Salmonella spp.* A lo largo de 12 semanas monitoreo de temperatura, humedad y pH. Esta etapa concluyó con la obtención de compost. La tercera y última etapa fue la de resultados finales y análisis de estos.

A continuación se detalla puntualmente la metodología hecha durante la primera y segunda etapa a partir de la preparación del sitio de experimentación.

### 9.1 Preparación del sitio de experimentación

En la planta de tratamiento de aguas residuales de San Antonio Tlayacapan, se acondicionó un terreno de 20 x 30 m. Primeramente, se niveló con una pendiente de 1%, que posteriormente fue cubierta con una capa de tepetate como soporte para la instalación de la geomembrana, con el fin de evitar la contaminación del suelo por los lixiviados del proceso de obtención del compost (figura 16).

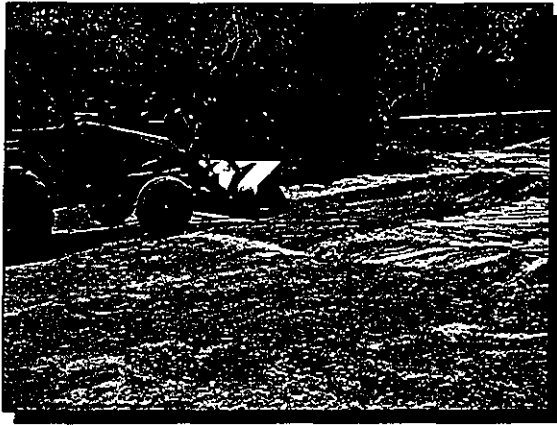


Figura 16. Preparación del sitio de experimentación.

### 9.2 Recolección y selección de la materia orgánica

Los materiales seleccionados fueron básicamente desechos de ramas de jardinería y poda de árboles. Las ramas mayores de 1 cm de diámetro fueron trituradas para tener un tamaño menor para proporcionar mayor estructura al mezclar con los lodos residuales, puesto que los lodos tienen una consistencia gelatinosa y pegajosa.

### 9.3 Estructuración del material a compostar

Inicialmente se realizaron algunas pruebas pequeñas para determinar la mejor relación de mezcla lodos/residuos de jardinería, se observó que una proporción de 1:3 (una carretilla lodos residuales por cada tres de restos secos de jardinería sin apelmazar) fue la que proporcionó una consistencia satisfactoriamente porosa y húmeda. Cabe aclarar que en ese momento el lodo tenía una humedad de 75.14% (Figura 17).



Figura 17. Mezcla de materiales para las pilas de compost.

### 9.4. Formación de las pilas de compostado

Se formaron tres pilas en forma de pirámide cuya base media aproximadamente tres por dos metros y con una altura de 1.50 m. Se establecieron tres tratamientos teniendo como variables la forma de ventilación e inoculación con activadores biológicos (figura 18).

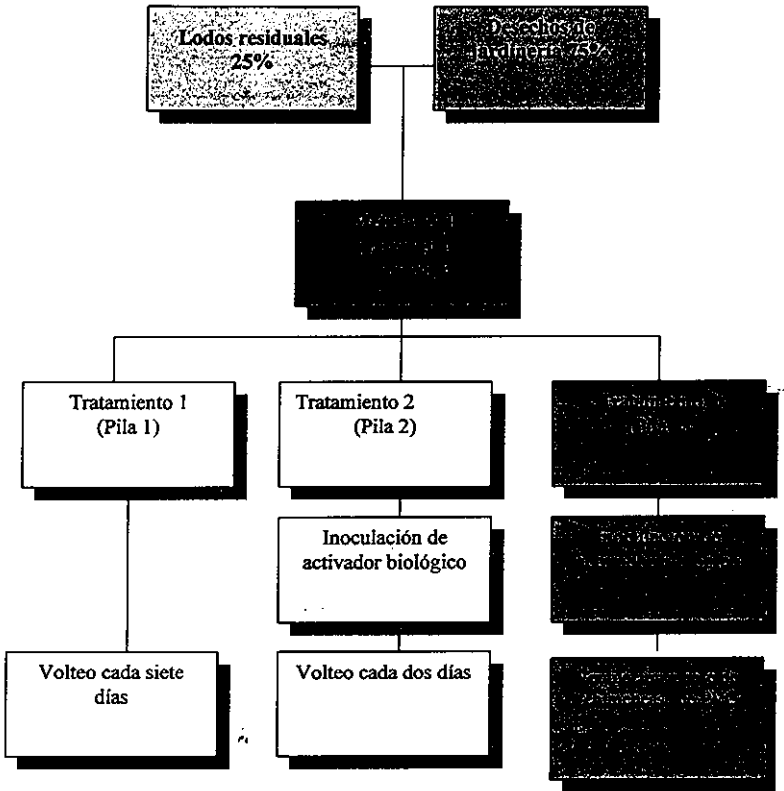


Figura 18. Tratamiento y manejo de las pilas de compost.

## 9.5 Tratamientos

**9.5.1 Tratamiento 1.** Fue el más sencillo debido a que sólo se estableció un sistema de volteos de pila una sola vez por semana. Al terminar la pila fue cubierta con una lámina de plástico negro para comenzar el calor y la humedad (figura 19).



**Figura. 19.** Aspecto de la pila 1

9.5.2 Tratamiento 2. Se adicionó un activador biológico de compostado y con un ciclo de volteo cada dos días. Al terminar la pila fue cubierta también con una lámina de plástico negra (figura 20 y 21).

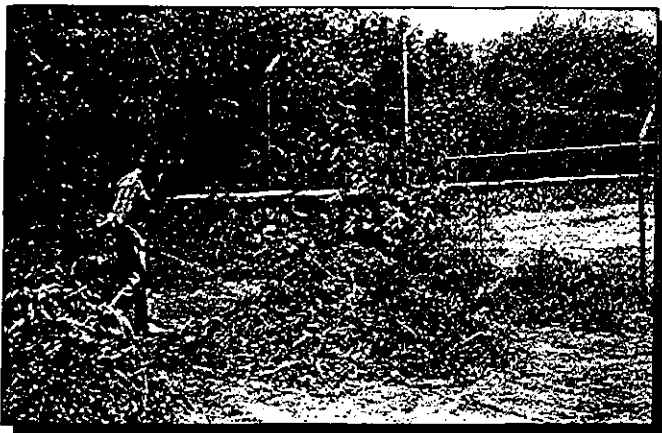


Figura 20. Inoculación con activador de compostado pila 2.



Figura 21. Aspecto de la pila 2 terminada.

9.5.3 Tratamiento 3. Se realizó un sistema de ventilación a base de formar una cama de ramas de 3.50 X 2.5 m y 20 cm de altura (figura 22). Posteriormente se instaló un sistema de ventilación con tubos PVC, a manera de chimeneas, insertados en la pila (figura 23). Se inoculó con activador biológico y vitaminas para bacterias.



**Figura 22.** Cama de ramas utilizada para la pila 3.

El propósito de utilizar estos tubos fue para evitar los volteos de la pila mediante la aplicación del efecto chimenea que teóricamente actúa de la siguiente manera: el aire caliente asciende, a través de los tubos de PVC, mientras que la base enramada permite la entrada de aire fresco, es decir, se establece por efecto de convección. Terminada la pila se cubrió completamente con plástico negro (fig. 24).

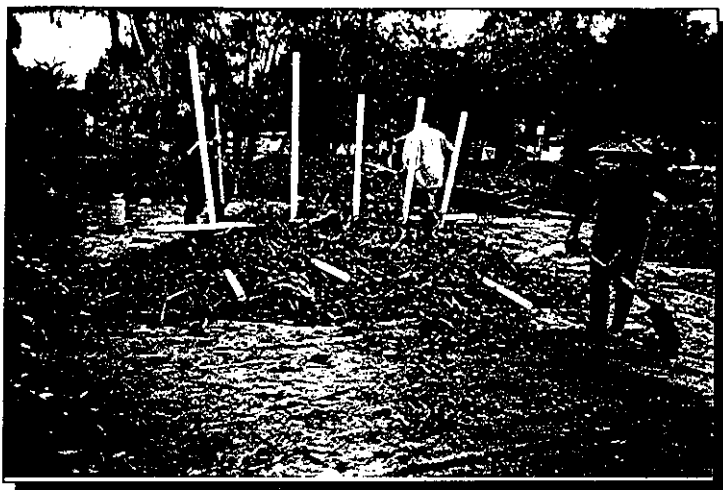


Figura 23. Establecimiento del sistema de ventilación por chimeneas en el tratamiento 3.

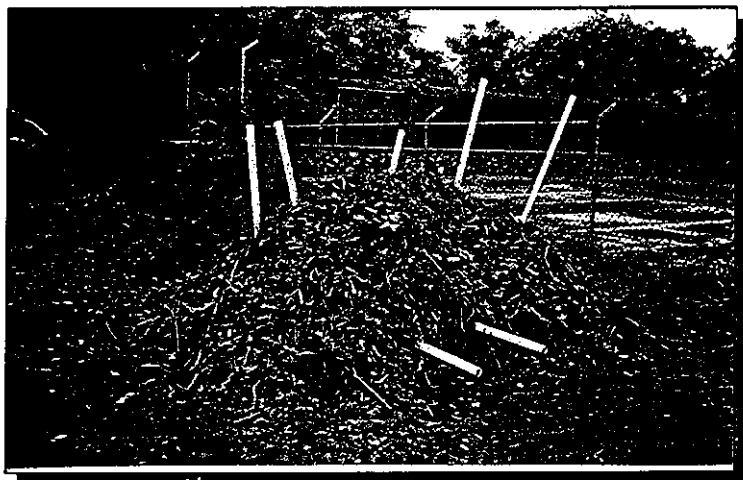


Figura 24. Pila 3 terminada.



## 9.6 Parámetros de control del proceso de compostado

**9.6.1 Aereación** en las pilas uno y dos la aireación fue hecha a base de volteos. En la pila una vez por semana, y en la pila dos cada dos días. La pila tres se le acondicionaron tubos de PVC como chimeneas.

**9.6.2 Humedad.** Para mantener húmedas las pilas se regó cada que se consideraba necesario. La toma de estos parámetros se midió en muestras analizadas en el Laboratorio de Química Analítica de CIATEJ bajo el método que establece la norma mexicana NMX-F-83-1986 Determinación de humedad en productos alimenticios. El seguimiento de la humedad se realizó en los lodos residuales, y en las tres pilas durante doce semanas.

**9.6.3 Temperatura.** Se tomaron datos de temperatura en diferentes alturas de las pilas una vez cada semana. Se midió a tres alturas aproximadas. La primera en los primeros 35 cm de altura; la segunda entre los 35 – 55 cm y la última arriba de los 55 cm.

**9.6.4 pH.** Las mediciones se hicieron una vez a la semana, en el transcurso de doce semanas.

### 9.6.5 Análisis microbiológicos de las pilas de compost y lodo residual

La determinación de coliformes totales, *Salmonella spp* y *Escherichia coli*, se realizó en base de las siguientes normas:

- NOM-110-SSA1-1994 Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico.
- NOM-113-SSA1-1994 Cuenta de organismos coliformes en placa de alimentos para su análisis microbiológico.
- NOM-114-SSA1-1994 Método para la determinación de *salmonella spp* en alimentos determinación del número más probable de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli* presuntiva.

Las determinaciones microbiológicas fueron hechas en los lodos residuales y en las pilas de compost, en la fase inicial y en la final (semana 12) del proceso de compostado.

**9.6.6 Determinación de nutrientes.** Se realizaron bajo la norma NOM-117-SSA1-1994 al lodo residual, al compost en la primera semana (muestra inicial) y a las pilas 1 y 2 al término del proceso (semana 12).

## 10. RESULTADOS

Los tres tratamientos experimentales se establecieron el día 18 de Agosto del año 2000 y se monitorearon semanalmente hasta el 23 de Noviembre del mismo año. Los parámetros a medir esos meses fueron: temperatura, pH y humedad, cuyos resultados se discuten a continuación.

### 10.1 El factor temperatura

Debido que la temperatura es el indicador del buen funcionamiento del compostado, es el monitoreo primeramente discutido. De acuerdo a los resultados obtuvimos los primeros promedios de temperatura, calculados basándose en tres alturas de medición por pila (<35; 35-55; >55) que se presentan en la figura 25.

#### a) Fase inicial.

Al formarse las pilas, la temperatura registrada en los tres tratamientos fue la misma del ambiente (26 °C). Durante la primera semana el aumento de temperatura fue notable. Los tres tratamientos presentaron temperaturas alrededor de los 60 °C en las tres alturas de las pilas (figuras, 26 y 27).

El tratamiento 1 registró una temperatura de 70 °C en la base de la pila durante la primera semana, lo cual fue un indicador de interna actividad microbiana (figura 26). El tratamiento 2 y 3 alcanzaron los 60 °C, temperatura que es completamente satisfactoria.

En la parte superior y media de la pila, los tratamientos 1 y 2 alcanzaron temperaturas arriba de 60 °C, teniendo excelentes condiciones para la fermentación de la materia orgánica. (Figuras 26 y 27). El tratamiento 3 en la primera semana incremento su temperatura inicial de 26 °C hasta 60 °C. En cuanto a los tratamientos inoculados (2 y 3) no representan diferencias con respecto al tratamiento 1 que no fue inoculado.

Durante el proceso de compostado en sus tres primeras semanas, fueron notorios los cambios en la presencia de macrofauna de las pilas, por ejemplo, en las dos primeras semanas se incrementó en gran cantidad de moscas de varios tamaños, diferentes especies de arañas y ácaros. Fue también notable la presencia de micelios de hongos.

Dos semanas después se presentaron cuerpos fructíferos de hongos, disminuyó notablemente la presencia de moscas, y la variedad de arañas se redujo a especímenes de talla grande.

Dentro de las observaciones de campo cabe destacar, que en las pilas también se desprendían olores de amoníaco en la segunda semana por efecto de del pH alcalino y de las altas temperaturas (FAO, 1991).

#### b) Etapa termófila

En el tratamiento 1, a partir de la semana cuatro y hasta la semana diez, la temperatura se mantuvo por arriba de los 40 °C en la parte medio y alta de la pila, la base también presentó una temperatura favorable para el desarrollo de organismos termófilos y mesófilos. Al término del cual, no presentó más ningún mal olor ni tampoco de amoníaco.

El tratamiento 2 a partir de la semana cuatro la parte media de la pila se estableció alrededor de los 40 °C teniendo un importante crecimiento de temperatura que llegó a los 60 °C en la semana 8, La base de la pila se mantuvo por debajo de 40°C, por lo cual la actividad de fermentación es mayor en la parte media y alta de esta pila.

En cuanto al tratamiento 3, a partir de la semana cuatro, la temperatura en la base descendió hasta 30 °C y se mantuvo por debajo de este nivel. La parte media se osciló por debajo de 40 °C hasta la semana 12, y la parte alta sólo se mantuvo arriba de 40 °C hasta la semana 9, después decreció llegando a una temperatura final de 30 °C. El comportamiento de este tratamiento se debió principalmente por el sistema de ventilación es fijo, por lo que la pila queda estático y el material no fueron homogeneizados constantemente. Aunque este sistema de ventilación ha dado buenos resultados, como es el caso de Bertoldi (1991) el cual utilizó un sistema de chimeneas a las cuales se les suministraba aire cada determinado tiempo, la temperatura alcanzada fue de 55 °C. Las temperaturas que se obtuvieron al principio de este tratamiento eran favorables, sin embargo con el paso del tiempo el material fue compactándose, los orificios de los tubos eran de 1.5 cm de diámetro, lo cual no fue lo suficientemente grande para suministrar la cantidad de aire que la pila necesitaba. Además las ramas que se utilizaron no fueron lo suficientemente molidas y la consistencia del material desde el inicio no fue la adecuada.

Debido a los malos resultados observados en el tratamiento se tuvo que eliminar la pila de l proceso a la onceava semana.

Los resultados obtenidos con el tratamiento 3 no significa que esta metodología este descartada, tal vez manejando mayores volúmenes de material, y proporcionarle una ventilación de manera artificial los resultados serian otros.

#### c) Fase de maduración

La maduración del tratamiento 1 se estableció alrededor de los 40° C, mientras que en el tratamiento 2 por debajo de 40°C al término de ésta etapa (Figuras 26 y 27).

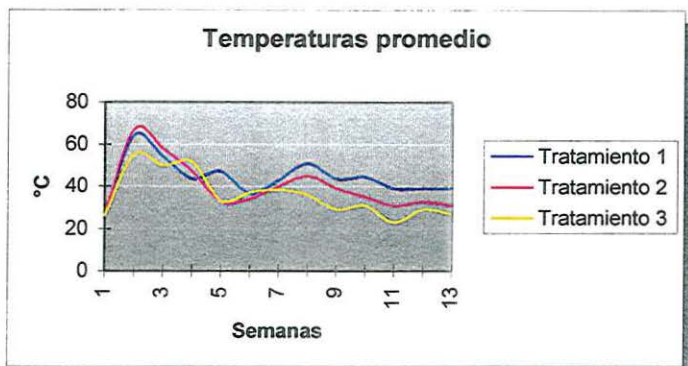


Figura 25 Comportamiento de la temperatura promedio en los tres tratamientos.

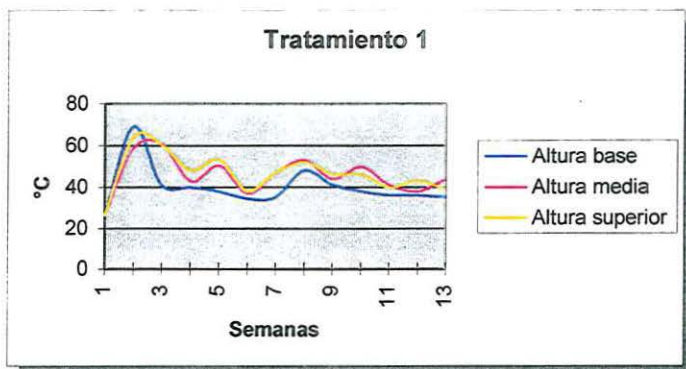


Figura 26. Comportamiento de la temperatura en el tratamiento 1.

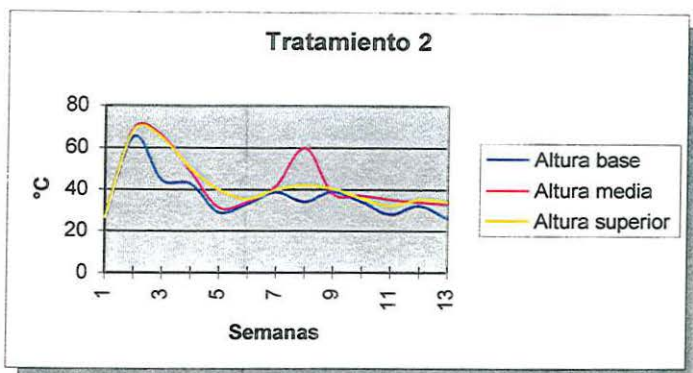


Figura 27. Comportamiento de la temperatura en el tratamiento 2.

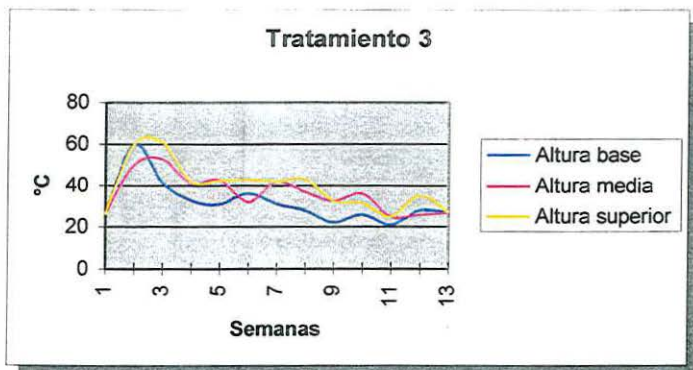


Figura 28. Comportamiento de la temperatura en el tratamiento 3.

### 10.2 El factor pH

Con lo que respecta al comportamiento de pH se tienen los siguientes resultados:

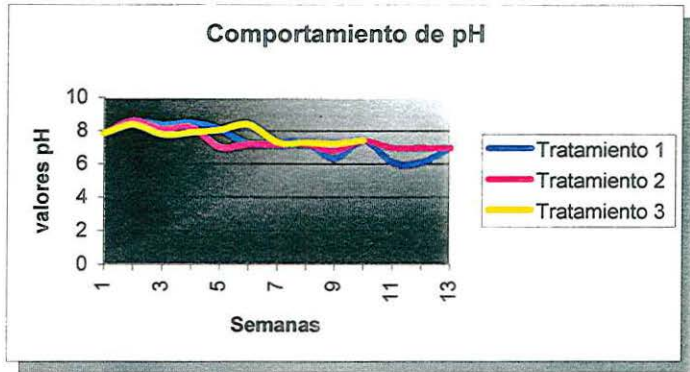


Figura 29. Comportamiento de pH respecto del tiempo en los tres tratamientos.

#### a) pH en fase inicial de latencia y crecimiento

Fue posible observar que los valores iniciales de pH de las pilas fueron alcalinos, lo cual puede atribuirse básicamente a la influencia del lodo residual, ya que éste mostró un valor de 8.24.

En las semanas uno a la tres, tiempo del crecimiento exponencial de los microorganismos, las unidades de pH se mantuvieron arriba de 8 en los tres tratamientos. Esto se debe principalmente a las condiciones altamente alcalinas (8.24) de los lodos residuales, y por otra parte, por la pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco (G. Tchobanoglous, H. Theisen y S. Vigil, 1993), lo cual se pudo constatar por medio del olor que se desprendería de las tres pilas.

#### b) Fase termófila

En la etapa termófila, en fase del proceso de compostado está en el punto máximo de crecimiento de las poblaciones microbianas (de Val 1993). En el tratamiento 2 la pila tuvo un descenso que llegó hasta la neutralización y se mantuvo con este valor hasta la última semana. Esto se debe a que la actividad termófila cesa de crecer y comienza la fase de estabilización, en donde la pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco es característica, debido a la actividad anaerobia (Tchobanoglous, 1993).

El tratamiento 1 también registró un descenso en esta etapa, sin embargo, a diferencia del segundo tratamiento, éste no fue abrupto.

En la semana cuatro, fue inoculado en los tratamientos 1 y 2 con urea (46 % N), esto se hizo para incrementar la temperatura, la cual no tuvo el efecto esperado. No obstante, esta adición se reflejó en el comportamiento del pH, ya que las pilas uno y dos tendieron a estabilizarse en la unidad 7 de pH.

En cuanto al tratamiento 3, el nivel de alcalinidad aumentó por arriba de la unidad 8 en la semana cinco, y el descenso hacia el valor neutro se llegó hasta la semana siete. Aún cuando el pH del tratamiento 3 no presentó gran diferencia de los otros dos tratamientos, la temperatura registrada a partir de la semana cuatro, por debajo de 40 °C (figura 25) indicaron poca actividad biológica durante la fase de maduración.

#### c) pH en la fase final de maduración (estabilización)

El tratamiento 1 varió un poco más, en las semanas diez a la doce su nivel de pH disminuyó a seis puntos, para finalmente estabilizarse en la última semana en 7, lo cual se debió principalmente a la aparición de microorganismos tales como ácaros ó lombrices, que posteriormente sus desechos alcalinos permiten neutralizar la materia básica.

### 10.3 Humedad

La humedad al inicio de formación del compost registró un porcentaje del 62 % para las tres pilas. Este resultado se debió al alto grado de humedad medido en los lodos residuales (75.14%) que al ser mezclados con los desechos de jardinería secos, se obtuvo una humedad adecuada y con una consistencia que permitió la infiltración suficiente de aire.

Durante la segunda y tercera semana las pilas a simple vista presentaron un aspecto relativamente seco, es decir, la estructura de los desechos de jardinería mostraba un color paja, y los lodos tenían consistencia como terrones. Sin embargo, al ser monitoreadas, el material del centro de pilas tenía un aspecto totalmente humedecido, parecía una pasta color oscuro, incluso se podía observar un ligero exceso por los lixivados que se tenían en la geomembrana. El tratamiento 3 a partir de la semana cinco registró una humedad de 40%, dentro de los rangos óptimos (30-70%).

En las semanas seis a la ocho las tres pilas no presentaron bajos niveles de humedad, no obstante al momento de pasar el compost de las pilas 1 y 2 se aparentaban estar más secas, lo cual demostró que el material ya estaba más homogéneo y los grumos de los lodos ya no se distinguían.

En la semana nueve la pila 1 registró un valor inferior al recomendado, las pilas 2 y 3 tan sólo presentaron una ligera baja en la semana diez.

La semana posterior las pilas 1 y 2 aumentaron su humedad hasta el 80% rango arriba de lo recomendado esto se debió al exceso de agua durante los riegos.

Al término de la semana trece, los tratamientos presentaron una estabilización de humedad en el 40%. Cabe mencionar que los contrastes de humedad, se debió al riego inadecuado que en las pilas y no al proceso de compostado.

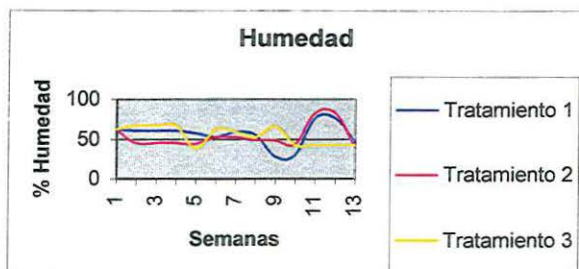


Figura 30. Comportamiento de la humedad durante el proceso de compostado

#### Observaciones.

En general el desarrollo del compostado que indicaron los factores de temperatura, humedad y pH en los tratamientos 1 y 2, se llevó satisfactoriamente. La consistencia del material cambió: a partir de la semana ocho los restos de hojas, y pasto, así como los lodos residuales no se distinguieron entre sí; el volumen del material se redujo notablemente (sobre todo en el tratamiento dos). Finalmente en la semana trece a tenían aspecto como tierra de jardín. Cabe mencionar que las ramas no modificaron su aspecto, no obstante, ayudaban a estructurar mejor la mezcla para facilitar una buena aireación.

El resultado poco satisfactorio del tratamiento 3 se debió principalmente a fallas en el manejo de ésta, técnica, particularmente en la consistencia del material original. En la fase final aún se distinguió el lodo residual con aspecto de terrones fraccionados y restos de hojas y pasto.

Por las razones expuestas anteriormente, las pruebas finales de patógenos y nutrientes sólo se llevaron a cabo en los tratamientos 1 y 2.



#### 10.4 Organismos patógenos

**Cuadro 18. Contenidos de patógenos en los materiales para compostar y en el compost**

	Lodos residuales	Muestra inicial *	Tratamiento 1 **	Tratamiento 2**
<i>Escherichia coli</i>	Presente	Presente	Presente	Presente
<i>Salmonella spp.</i>	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

\* Mezcla 3:1 antes de compostar

\*\* Después de compostar

La razón de porque seleccionar como patógenos indicadores *Escherichia coli* y *Salmonella spp.*, se debe básicamente a que son organismos muy resistentes y suelen presentarse constantemente en las heces humanas.

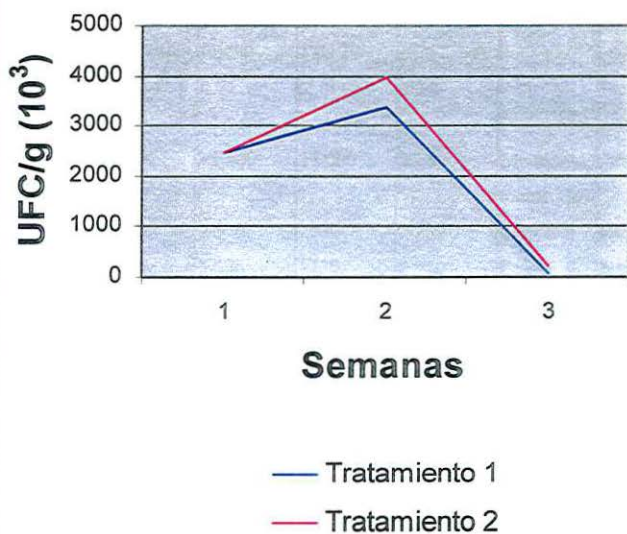
Como lo indica el cuadro 18, la probable razón de que *Salmonella* no se encuentre presente desde el principio del proceso se debe a que aún cuando es un organismo coliforme resistente, y provoca grandes daños al ser humano, vive de manera parasitaria en el humano, y al ser depositado en el suelo dura poco tiempo.

Según el planteamiento inicial era de esperar una drástica disminución del número de organismos patógenos en los tratamientos, por el efecto biocida que tienen las temperaturas mayores de 55 °C (de Val, 1993). No obstante, a pesar de la prolongada exposición de los organismos a esta temperatura y a lo largo de tres semanas aún persistió la presencia de coliformes, hasta el final del proceso de compostado (12 semanas), sin embargo se logró reducir el 96 % de la población en los tratamientos 1 y 2.

La disminución de coliformes totales se interpretó como un reflejo de lo que sucedió con los coliformes fecales, incluyendo a *Escherichia coli*, el cual se puede deducir una reducción homologa a la que se refleja en el figura .30.

La presencia de organismos como *Escherichia coli* en un producto al cual se pretende aplicar al suelo, no se debe de pasar por alto este componente, por lo que se limita ciertamente el uso de este compost, en cultivos hortícolas cuyos frutos están en contacto directo con la tierra (rábanos, chinchayote, papas, cebollas, entre otros).

**Figura 31. Comportamiento de Coliformes Totales en los tratamientos 1 y 2**



### 10.5 Contenido de nutrientes y algunos metales pesados en el compost

La interpretación de los resultados de nutrientes y metales, pesados que se muestran en el cuadro 21, se llevó a cabo por el Ing. Miramontes L. (2001) especialista en suelos y nutrición vegetal del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) de la Universidad de Guadalajara. La columna que indica el nivel, se refiere al que alcanzaron el compost de las pilas 1 y 2 como abono orgánico.

**Cuadro 19. Contenido de elementos nutritivos y metales pesados en materiales compostables y en el compost.**

Nutrientes	Lodos residuales	Muestra inicial	Compost Pila 1	Compost pila 2	Nivel	Recomendaciones
Nitrógeno (% peso)	1.24	0.71	2.16	1.21	Alto	No voltear en exceso
Calcio (p.p.m.)	18 500	15 500	23 000	23 500	Moderada mente alto	Añadir CaCO <sub>3</sub>
Hierro (p.p.m.)	1 450	2 570	2030	2 230	Muy alto	Riesgo toxicidad
Magnesio (p.p.m.)	1 310	5 670	1720	2 910	Bajo	Incrementar en el proceso MgO
Manganeso (p.p.m.)	110	76	156	224	Alto	Añadir KCl
Fósforo (p.p.m.)	9650	4 610	11 800	15 000	Muy alto	Fósforo orgánico
Potasio (p.p.m.)	2330	7 240	13 700	11800	Bajo	
Materia orgánica (% peso)	2.72	5	3.19	5.23	Alto	
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	1.7	2.14	1.6	1.43	Baja	Adecuada a todos los cultivos.
<b>Metales pesados</b>						
Cobre (p.p.m.)	406	261	816	707	Adecuado	
Plomo (p.p.m.)	27.1	9.32	25.3	30.6	Alto	Riesgo de toxicidad
Cromo (p.p.m.)	10.1	4.29	10.9	10.6	Alto	Riesgo de toxicidad
Zinc (p.p.m.)	892	510	1200	2 260	Alto	Sin problema
Níquel (p.p.m.)	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	Bajo	Sin problema

\*Mezcla 3:1 antes de compostar

En cuanto a las recomendaciones de disposición final del compost adquirido Miramontes (2001) sugirió lo que se presenta en el cuadro 20:

**Cuadro 20. Utilización del compost obtenido como abono en cultivos.**

Aprovechamiento o disposición final	Calidad de compost como abono
Arboles y plantas ornato publico y privado	Excelente
Jardines públicos y privados	Excelente
Plantas alimenticias hoja y fruto externo	Bueno
Cultivos industriales	Excelente
Cultivos de granos	Bueno
Tubérculos	No adecuado
Cultivos pastoreo directo	Limitado
Henificados	Bueno
Cultivos de fruto seco	Bueno
Fruto jugoso de frutas horticolas *	Limitado (por Pb y Fe metales pesados)

Miramontes 2001

## II. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desarrollo del presente trabajo ha permitido constatar que el compostado es una vía factible y muy recomendada para la transformación de los lodos residuales de la Planta de Tratamientos de San Antonio Tlayacapan, Jalisco y los desechos de jardinería. La combinación de estos hace posible producir un compost de buena calidad para su aplicación como abono para cultivos agrícolas de grano, henificados, alimentos de fruto y hojas, industriales, y plantas de ornato y de jardinería. Se excluyen cultivos de tubérculos y en forma limitada cultivos de pastoreo directo o plantas con frutos jugosos, debido a la presencia de *E. Colli*.

A fin de tener un control completo de los macroorganismos patógenos de los lodos sería recomendable eliminarlos al final del proceso de tratamiento de las aguas residuales, justo antes del paso final, los lechos de secado. La eliminación podría llevarse a cabo mediante la aplicación de biocidas o desinfectantes comerciales.

Actualmente en Jalisco existen empresas que manejan este tipo de productos que manejan dosis según la relación lodo/ biocida, tal es el caso de la empresa GOMCO, S. A. ubicada en Zapopan Jalisco. Otra aplicación útil de los lodos podría ser su empleo como abono orgánico pero sin compostar. En este caso, sería necesario la eliminación de todos los organismos patógenos mediante la aplicación de biocidas. los cuales son productos inocuos al ambiente, y son relativamente económicos.

El compost obtenido puede representar la solución a la escasez de fertilizantes orgánicos ya que la cantidad de nutrientes que contiene (cuadro 20), podría incrementar las cantidades de materia orgánica y nutrientes esenciales que requieren las plantas para su adecuado crecimiento y desarrollo.

En base a la experiencia obtenida en el presente trabajo, cabe hacer la recomendación que el uso de los lodos residuales tienen un elevado potencial de aplicación como abono orgánico a través de su compostado. Sin embargo, es muy importante verificar previamente que los elementos tóxicos que contienen (metales pesados, coliformes etc.) no excedan los límites permisibles.

Una vez concluido el programa de trabajo de este proyecto, se pretende aplicar y extender la tecnología de compostado para el aprovechamiento de los residuos biológicos de las plantas de tratamiento de aguas municipales a cargo del Gobierno del Estado de Jalisco en la ribera de Chapala. De esta forma promover una cultura ambiental en donde se beneficie la sociedad ya que se resuelve un problema ambiental transformándolo en un producto útil para la agricultura.

Sería recomendable realizar más pruebas para evaluar la eficiencia de los activadores del compost, ya que en el presente estudio los resultados no fueron concluyentes.

La ventilación mediante "chimeneas" en pilas estáticas, podría ser también un factor de estudio más profundo, pues en principio, podría ser eficiente su utilización. Desgraciadamente, en esta investigación, este procedimiento no dio buenos resultados debido a errores en la estructuración "gruesa" de la mezcla.

En vista del contenido nutricional del compost producido a través de los dos tratamientos, se pudo terminar, en general, contenidos muy importantes en nutrientes. No obstante, fue notorio que el exceso de volteos en la pila dos no aceleró significativamente el compostado, como se tenía previsto. Pero en cambio se dio una mayor pérdida de nitrógeno.

Por lo tanto se recomendarían volteos con periodos entre 15 y 20 días, lo cual tendría como ventaja un menor costo en mano de obra. Además se podría añadir un poco de  $\text{CaCO}_3$  ya que la concentración en el compost producido no es la óptima. No es recomendable usar Ca en forma CaO porque hace subir el pH rápidamente, y se favorece la pérdida de nitrógeno por medio de amoníaco.

Algunos autores han agregado arcilla bentonita razón de 8 a 10  $\text{kg/m}^3$  de material puesto que se ha visto que mejora el nivel de fertilidad del compost, la estructura, la capacidad de absorción de agua. Además se induce la formación de complejos arcilla-humus muy estables que favorecen a los suelos.

El manejo de los tratamientos establecidos anteriormente, representa gastos en mano de obra y de activador biológicos, cabe mencionar, que el manejo de mayores volúmenes en las pilas y volteos menos frecuentes podría reducir significativamente la inversión de recursos, y una optimización de la producción de compost.

El reciclaje de residuos sólidos, tales como los lodos residuales y los desechos de jardinería, se ha demostrado que por medio del compostado se pueden transformar. No obstante, el trabajo sigue en pie, los biólogos seguimos teniendo una fuerte tarea, debemos seguir experimentando con otras alternativas, tales como lombricultura o la aplicación directa de lodos en los suelos agrícolas, para lograr un manejo más adecuado de estos residuos. Además de promover una cultura ambiental donde en conjunto, cuidemos y aprovechemos los recursos de la madre tierra y al mismo tiempo ayudemos al desarrollo de nuestro país.

## 12. GLOSARIO

**Absorber:** tomado, extraído.

**Ácidos grasos esenciales:** ácidos grasos polisaturados que no pueden ser formados en el cuerpo se deben tomar en la dieta.

**Acolchado:** cubierta sobre el suelo de materia orgánica parcialmente degradada.

**Adsorbido:** ligado a la superficie.

**Aeróbico:** en presencia de oxígeno.

**Ambiente:** el conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinados.

**Amoniaco:** gas compuesto por nitrógeno e hidrógeno que se puede producir durante la fermentación anaerobia.

**Anaeróbico:** en ausencia de oxígeno

**Aprovechamiento sustentable:** la utilización de los recursos naturales en forma que se respete la integridad funcional y las capacidades de carga de los ecosistemas de los que forman parte dichos recursos, por periodos indefinidos;

**Bases químicas:** sustancias que se combinan con ácidos para formar sales químicas.

**Catalizador.** sustancia que acelera una reacción química sin participar ella misma en la reacción.

**Contaminación:** la presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico.

**Contaminante:** toda materia o energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural.

**Control:** inspección, vigilancia y aplicación de las medidas necesarias para el cumplimiento de las disposiciones establecidas en este ordenamiento.

**Desarrollo Sustentable:** el proceso que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, fundado en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras.

**Desequilibrio ecológico:** la alteración de las relaciones de interdependencia entre los elementos naturales que conforman el ambiente, que afecta negativamente la existencia, transformación y desarrollo del hombre y demás seres vivos.

**Dióxido de carbono:** compuesto de carbono y oxígeno que se produce durante la

descomposición de desechos orgánicos.

**Enzima:** un catalizador biológico.

**Eutroficación:** proceso de los sistemas naturales (terrestres o acuáticos) de abundancia de nutrientes que inciden en alta concentración de biomasa.

**Filtración:** una fuga de líquido de la pila de compost.

**Humificación:** proceso por el que se forma el humus.

**Humus.** materia orgánica compleja y estable resultante de la descomposición de material vegetal y animal.

**Impacto ambiental:** modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.

**Material peligroso:** elementos, sustancias, compuestos, residuos o mezclas de ellos que, independientemente de su estado físico, represente un riesgo para el ambiente, la salud o los recursos naturales, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas;

**Incorporación;** mezclar al suelo

**Lignina:** compuesto aromático complejo que esta presente en las paredes de algunas células vegetales confiriéndoles firmeza y rigidez. Forma el 20-30% de la madera de los árboles.

**Lixiviación:** lavado de sustancias orgánicas o minerales a las capas inferiores del suelo por el agua de la lluvia o del riego.

**Maduro:** cuando el material en compostado se ha descompuesto completamente para formar humus.

**Mesofilico:** aptitud para crecer a temperaturas moderadas.

**Micelio:** filamentos de hongos o de hifas.

**Microclima:** clima de una área específica que a menudo difiere del patrón del clima Principal.

**Nitrificación:** conversión por bacterias del suelo de compuestos orgánicos de nitrógeno no disponibles para las plantas verdes en nitrato disponible.

**Nutriente:** sirve como alimento para el hombre, los animales y las plantas.

**Orgánico:** material existente en plantas y animales

**Oxidación:** combinación con el oxígeno. La materia orgánica es principalmente oxidada a dióxido de carbono y agua.

**Parámetro:** factor o condición que controla una reacción tales como la aeración y el contenido de la humedad en el compostado.

**Patógeno:** organismo causante de enfermedades.

**Permeabilidad:** que admite el paso del aire del agua.

**pH:** medida de la acidez y la alcalinidad. En suelos un valor de 7.0 es neutro, cuando más bajo sea el valor, mayor es la acidez y cuando mas alto sea el valor mayor es la alcalinidad.



**Pila:** una masa de material orgánico de composta. La pila se puede construir sobre la superficie y se le llama montón.

**Polímeros:** compuestos químicos formado por la unión de un gran numero de compuestos idénticos mas sencillos.

**Preservación:** el conjunto de políticas y medidas para mantener las condiciones que propicien la evolución y continuidad de los ecosistemas y hábitat naturales, así como conservar las poblaciones viables de especies en sus entornos naturales y los componentes de la biodiversidad fuera de sus hábitat naturales;

**Prevención:** El conjunto de disposiciones y medidas anticipadas para evitar el deterioro del ambiente;

**Protección:** el conjunto de políticas y medidas para mejorar el ambiente y controlar su deterioro;

**Proteína:** compuesto orgánico muy complejo formado por muchos aminoácidos.

**Putrescible:** material que se descompone muy rápidamente produciendo malos olores

**Residuo:** cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó.

**Residuos peligrosos:** todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas, representen un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente.

**Restauración:** conjunto de actividades tendientes a la recuperación y restablecimiento de las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos naturales.

**Salubridad pública:** protección de la salud contra la suciedad y las infecciones recogidas de desechos humanos y animales de una manera higiénica.

## 13 BIBLIOGRAFÍA

**Acurio G., Rossin A., Texeira P. F., y Zepeda F.** *"Diagnostico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe.* Banco Interamericano de Desarrollo y la Organización Panamericana. Washington, 1997.

**Bhamidimarri S. M. R.; Catt D. y Mercer C.** *"Semicontnuos biotrrreatment of landfill leachate containg phenoxy herbicida chemicals".* In chameca Process Pasifics Resources. 18<sup>th</sup> Australian. Chemical Engineering Conference AUC. Kland New Zeland, vol 11 pp 1034.

**Beveca, R. y Mellano, V,** *"Sewage sludge compost's cumulative affects on crop growth and soil proprieties"* Compost science & utilization,. vol. 1 N. 1993.

**Bernal Fernández.** "Reporte de la primera convención en México de abonos orgánicos", Ed.HERCULES S. A. Jerez España 1993.

**Bertoldi M., Vallini G., Pera A. y Zucconi F;** *"C.omparison of thee windrow compost systems"*. 1982 Biocycle 23(2) 45-50 (tomado de EPA 1991)

**Bigeriego M.** *"Curso sobre tratamientos de residuos urbanos y aplicaciones agronómicas de todos residuales"* CIT INIA Madrid 11-15. Enero de 1993.

**Buckman y Brandy.** *"Naturaleza y propiedades de los suelos"*. Ed. Uthea.1985.

**Careaga J.** *"El Reciclaje en el contexto del manejo integral de los residuos sólidos"*. UNAM. 1997.

**Casillas L. J., Torres M. de O. E..** *"Alternativa de aprovechamiento en la Agricultura de los lodos de las aguas negras."* Tesis Profesional. Universidad de Guadalajara. 1996.

**Chen A. y Mc Carty** "Effect toxicity arication, reductant supply on trichloroethylene transformation by mixed melphanotropic cultur". *e. Appl Environ microbiol.* 57 2228-235.

**Craig G. Cogger, Dan M. Sullivan, y Susan K. Duncan.** "*Backyard composting in the 1990*" University of Estate of Washington, Extensions Cooperative. 1994.

**Crespo M.** "*Compost, teoría y practica del reciclaje de residuos orgánicos*" Universidad de Guadalajara, 2000.

**Comptom. Bowerman F. R.** <http://www.benminister.com/basic/library/contens>

**Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York.** "*Manual de tratamiento de Aguas Negras*". Dirección de Saneamiento del Medio Ambiente y Oficina de entrenamiento Profesional. Limusa México 1996

**deVal, A.** "*El libro del reciclaje, manual para la recuperación y aprovechamiento de las Basuras*". Ed. Integral. Barcelona. pp.79,82.

**Dichtl, I. N.** "*Thermophilic y mesophilic the digestion anaerobic*". El periódico de la Institución de Agua y Dirección de Ambiente", 11(2), 1997, la pág., 98-104.

**Dost G.** "*Kompostin erung leopol stocke verlag*" Granz 3 Auflage ,a Austria 1997.

**EPA.** *Registro Federal de Estados Unidos, N Y.* Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) noviembre de 1990.

**F.A.O.** "*EL reciclaje de materias orgánicas en América Latina*". Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia 1983.

**FAO** "*Manejo del suelo producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales*" Boletín de Suelos de la FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, N. 56 Italia 1991.

**Fick B. J.** " *How to bind a compost bin*". Agricultural publication. Octubre de 1993.

**Funke, U. y Fachhochschule R. P.** " *Guides for composting of organic waste*". Rhineland- Palatine. 2nd Edition. 1992.

**Goin, F.R** " *Utilization of sewage sludge compost in horticulture*". Hortecology vol 3: 2 1993.

**Guzmán, A.M. y E.N. Merino.** " *Diagnóstico de la problemática de la contaminación del agua en el estado de Jalisco*. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología Delegación Jalisco/ Instituto de Limnología UDG. 1990.

**Haug R.T.** " *The practical handbook of compost engineering*." Lewis. USA 1993.

**Hoitink H. A y Keener H. M.** " *Science and engineering of composting desing, environmental, microbiological and utilization aspects*". The Ohio State University. USA 1993

**Hernández, F. C y González, S. M.** " *Reciclaje de residuos sólidos municipales*". UNAM 1997.

**INE/ SEDESOL.** " *Informe de la Instalación general en material de equilibrio ecológico y protección al ambiente, 1993-1994*, México 1994.

**Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.** Gobierno de México 1º de marzo de 1993.

**Levin M. M. y A. Gealt** " *Biotratamiento de residuos tóxicos y peligrosos selección, estimación y modificación de microorganismos y aplicaciones*." Mc Graw Hill, Madrid 1997.

**Limón, M. G.** “Evaluación de la información de la calidad de agua del lago de Chapala en el Estado de Jalisco (1 etapa). Agua. Dirección General de Prevención de la Contaminación, Subsecretaría de Ecología, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. (SEDUE). México. 1985<sup>a</sup>.

**Miramontes L.** Consulta personal en el Departamento de Desarrollo Rural y Sustentable del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, de la Universidad de Guadalajara. El entrevistado es especialista en fertilidad de suelos y nutrición vegetal. 2001.

**Martínez M.** “El compost, su valor orgánico y la importancia de su aplicación en los suelos agrícolas”. Universidad de Guadalajara, 1975.

**Moreno J. L., García C., Hernández T, y Ayuso.** “ Application of composted sewage sludge contaminated with heavy metals to an agricultural soil. Effect on lettuce growth”. Soil science & plant nutrition. September 1997. vol 43 n. 3.

**OPS.** “Desechos peligrosos y salud en América Latina y el Caribe”, 1994 Serie ambiental N.E. 14

**Orozco J. B.** “Caracterización de aguas negras para el establecimiento de un sistema de tratamiento biológico”, Tesis, Universidad de Guadalajara, 19963. pag 5.

**Otero J. C., Andrade M. L., y Morcet, P. M.** “Química y evaluación agronómica de dos tipos de lodos residuales”. Invs.. Agr. Prot. Veg. Vol. 11, (1).

**Priesnitz, W.** “The real Dirt on Sewage sludge”. Natural Life. November 1997.

**Quiáo L. Ho Goen.** “The effects of clay amendment and compost on metal speciation in digested sludge”. Water Research Vol. 31 n. 5. pag 951-964.

**Quiáo L. Ho G.** “ Effect clay amendment on speciation of heavy metal in sewage sludge” Water Science and Technology vol. 34 n, 7-8.

**Quintero R. M. P.; Andrade C. M. L.; De Blas Varela, E.** “Efecto de la adición de un lodo residual sobre las propiedades del suelo: experiencias de campo” Edafología. n° 5. Diciembre 1998.

**Ramos A.** “Diccionario de la naturaleza, hombre y ecología y paisaje.” ESPASA. Madrid 1987.

Romero L. Boletín de información del medio ambiente *N. 2 Abril-junio 1992*

Salcedo E., Aguayo J. A., Zamora F. y Hernandez E. "Opciones de uso agroforestal para lodos residuales". Teorema Vol. 21 agosto de 1999.

Salcedo E. "Alternativas de uso agrícola y forestal de lodos residuales de plantas de tratamiento de aguas negras" Universidad Autónoma de Chapingo. Tesis de Maestría. Edo. México Diciembre del 2000.

SEMARNAP. <http://www.semarnat.gob.mx/naturaleza/regiones/chapala/caracteristicas.htm> [2001

Shields G. L. "Uso de microorganismos modificados para la biodegradación de materiales peligrosos en trabajos de campo" Capítulo 8 de Chen a. Y Mc Carty "Effect toxicity arication, reductant supply on trichloroethylene transformation by mixed melphanotropic culture. Appl Environ microbiol. 57 2228-235.

Starbuck J. "Making and using compost" Agricultural Publication Julio 1998.

Stentinford E. I. "Diversity of composting systems". Tomado de Hoitink H. A y Keener H. M. "Science and engineering of composrtng desing, environmental, microbiological and utilization aspects". The Ohio State University. USA 1993.

Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S. y T. Morris. "Integrates solid waste management engineering Principles and Management Issues" McGraw Hill. 1993.

Torres V. "Agentes patógenos transmitidos por alimentos". U. de G. 1999.

Valdés R. E. "Respuesta del cultivo del maíz a las aplicaciones de compost fertilizantes". Tesis de la Universidad de Guadalajara. pag. 3-7 1974.

Walter I., Bigeriego. y R. Calvo "Efectos fertilizante y contaminante de los lodos residuales en la producción de trigo seco". Invest. Prot. Veg. Vol9(3) 1994.

Warman P.R. y Termer W.C. "Composting and evaluation of racetrack manure, grass clippings and sewage sludge". Bioresurche Technology. Vol 55 n. 2 pag. 95-101 1996.

Wilson y Parr. "EL reciclaje de materias orgánicas en América Latina". Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia 1983

Winkler, M. "Tratamiento Biológico de Aguas desecho". Ed. Limusa. México., pp 114-124 1996.

Wong J. W., C. Li, G., y Wong M. H. "The growth of *chinensis* in heavy metal contaminated sewage sludge compost from" Hong Kong. Bioresurche technology. vol 58 N.3 pag. 309-313 Diciembre 1996.

Zoorpas A. A. Stamatis V., Zorpes G. A., Vlyssides A. G. y Loizidou M. "Compost characteristics from sewage sludge and organics fraction of solid Waste". Fresenius Enviromental Bolletin. vol. 8 (3-4) pag. 154-162 Marzo- abril 1999

Zoorpas AA., Vlyssides y Loizidou. "Dewatered anaerobically stabilized primary sewage sludge composting metal leachability and uptake by natural clinoptilolite." Communication in soil science & plant. Vol 30. 11-12 pag, 1603-1613. 1999

#### 14. ANEXOS

**Anexo 1.- Análisis CRETIB hechos a la Planta de Tratamiento de San Antonio Tlayacapan**

**Anexo 2.- proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-004ECOL-1999**



**Anexo 1.- Análisis CRETIB hechos a la Planta de Tratamiento de San Antonio Tlayacapan**



Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C.

Av. Normalistas No. 809 - Guadalajara Jal., México - C. P. 44270

Tel. (31) 8 24 33 66 - Fax (31) 8 24 11 10

Patología y Biotecnología Ambiental

# CONTENIDO

## PLANTA SAN ANTONIO TLAYACAPAN

1.- REPORTE DE RESULTADOS

2.- ANEXO FOTOGRAFICO

3.- ACTA DE MUESTREO



Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C.  
 Av. Normalistas No. 800 - Guadalajara Jal., México - C. P. 41270  
 Tel. (33) 8213366 Fax (33) 8211130  
 Patología y Biotecnología Ambiental

## REPORTE DE ANALISIS DE RESIDUOS PELIGROSOS

**CLIENTE :** SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO  
 DIRECCION GENERAL SECTORIAL  
 AV PROLONGACION ALCALDE # 1351, EDIFICIO "B"  
 GUADALAJARA, JAL. **TELEFONO** 819-2327

**SOLICITANTE :** ARQ. JUAN IGNACIO GONZALEZ LOZANO  
 Q.F.B. MARIA DE LA LUZ BRISEÑO MUÑOZ

<b>ORIGEN DE MUESTRA</b>	MUESTRA DE LODOS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES UBICADA EN EL POBLADO DE SAN ANTONIO TLAYACAPAN, JAL.		
<b>FECHA DE MUESTREO</b>	01 DE JULIO DE 1999	<b>HORA DE MUESTREO</b>	14.00 HRS
<b>COLECTADA POR</b>	NOSOTROS MISMOS		
<b>FECHA DE RECEPCION</b>	01 DE JULIO DE 1999		
<b>ENTENDIDOS POR</b>	ING. JOSE VILLANUEVA VALADEZ		
<b>IDENTIFICACION DE MUESTRA</b>	APROXIMADAMENTE 40 KGS DE LODOS RESIDUALES		

### RESULTADOS

CARACTERISTICA DE CORROSIVIDAD	NUMERAL DE LA NORMA NOM-052 ECOL / 93	NORMA O TECNICA	RESULTADO	LIMITE PERMISIBLE
en solución acuosa (P)	5.5.1.1	NMX-AA-8	7.90 al 5% en agua	20 - 12.5
Corrosión al acero al carbón	5.5.1.2	EPA 1110-A ASTM G-5	0.0018 mm/año	6.35 mm/año



Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.  
 Carretera Guadalajara - Tepic, Km. 16.5, Cudad. de las Artes y las Industrias, C.P. 44700  
 Tel. (31) 824 3166 Fax (31) 824 1119  
 Patología y Biotecnología Ambiental

CARACTERISTICA REACTIVIDAD	NUMERAL DE LA NORMA NOM 052 ECOL / 93	NORMA	RESULTADO	LIMITE PERMISIVO
Combinación o polimerización a 25 C y 1 atmósfera	5.5.2.1	NOM 052 ECOL / 93	NO SE PRESENTA	REACCION VIOLENTA SIN DETONACION
Reactividad al agua. Relación residuo: agua: 1:5, 5:3, 5:5.	5.5.2.2	NOM 052 ECOL / 93	NO SE OBSERVA REACCION VIOLENTA EN NINGUNA SOLUCION	REACCION VIOLENTA FORMANDO GASES VAPORES O HUMOS
Reactividad con solución de ácido clorhídrico 1.0 N. Relación residuo: solución : 5:1, 5:3, 5:5	5.5.2.3	NOM 052 ECOL / 93	NO SE OBSERVA REACCION VIOLENTA EN NINGUNA SOLUCION	REACCION VIOLENTA FORMANDO GASES VAPORES O HUMOS
Reactividad con solución de peróxido de sodio 1.0 N. Relación residuo: solución:5:1, 5:3, 5:5	5.5.2.3	NOM 052 ECOL / 93	NO SE OBSERVA REACCION EN NINGUNA SOLUCION	REACCION VIOLENTA FORMANDO GASES VAPORES O HUMOS
Presencia de sulfuros y/o cianuros	5.5.2.4	NOM 052 ECOL / 93	< 0.5 mg de HCN / Kg < 5.0 mg de H <sub>2</sub> S / Kg	250 mg de HCN / Kg 500 mg de H <sub>2</sub> S / Kg
Capacidad de formar radicales libres	5.5.2.5	NOM 052 ECOL / 93	NO SE OBSERVA	SI HAY FORMACION DE RADICALES

CARACTERISTICA: EXPLOSIVIDAD	NUMERAL DE LA NORMA NOM 052 ECOL / 93	NORMA	RESULTADOS	LIMITES PERMISIBLES
ESTANJES DE EXPLOSIVIDAD	5.5.3.1	NOM 052 ECOL / 93	MUESTRA ESTABLE	IGUAL O MAYOR AL DEL NITROBENCENO
ACIDIDAD DE ION DETONANTE POSITIVA A 20 OC Y 100 mm <sup>2</sup>	5.5.3.2	NOM 052 ECOL / 93	NO SE OBSERVA	PRESENCIA DE REACCION DE IONANTE O EXPLOSIVA



Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.  
 Av. Normalistas No. 800 - Guadalajara Jalisco, México - C.P. 44270  
 Tel. (3) 824 3366 Fax (3) 824 1130  
 Patología y Biotecnología Ambiental

CARACTERÍSTICA: TOXICIDAD Lista de componentes de la Tabla 5 del anexo 5 de la NOM 052 - ECOL / 93	NORMA	RESULTADOS	LIMITES PERMISIBLES
ARSENICO	NOM 052 ECOL / 93	< 0.78 ppm	5.0 ppm
BARIO	NOM 052 ECOL / 93	1.76 ppm	100.0 ppm
CADMIO	NOM 052 ECOL / 93	< 0.1 ppm	1.0 ppm
CROMO HEXAVALENTE	NOM 052 ECOL / 93	< 0.05 ppm	5.0 ppm
NIQUEL	NOM 052 ECOL / 93	< 0.2 ppm	5.0 ppm
MERCURIO	NOM 052 ECOL / 93	< 0.02 ppm	0.2 ppm
PLATA	NOM 052 ECOL / 93	< 0.2 ppm	5.0 ppm
PLOMO	NOM 052 ECOL / 93	< 0.2 ppm	5.0 ppm
SELENIO	NOM 052 ECOL / 93	< 1.0 ppm	1.0 ppm

CARACTERÍSTICA: TOXICIDAD Lista de componentes de las Tablas 6 y 7 del anexo 5 de la NOM - 052 ECOL/93	NORMA	RESULTADOS	LIMITES PERMISIBLES
44 COMPUESTOS ORGANICOS	NOM 052 ECOL / 93	No se detectó ningún compuesto de los listados en las tablas 6 y 7 de la norma	Los indicados en las tablas citadas



Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.  
Av. Normalistas No. 300 - Guadalajara Jalisco, México - C.P. 44700,  
Tel. (31) 246611 - Fax (31) 246611-99  
Tecnología y Biotecnología Ambiental

CARACTERÍSTICA: INFLAMABILIDAD	NUMERAL DE LA NORMA NOM - 052 ECOL/93	NORMA	RESULTADOS	LIMITE PERMISIBLE
Contenido de alcohol	5.5.5.1	NOM 052 ECOL/93	NO SE DETECTA LA PRESENCIA DE ALCOHOL	24% DE ALCOHOL VOLUMEN
Líquido con punto de inflamación menor de 60 °C	5.5.5.2	NOM 052 ECOL/93	SE TRATA DE SÓLIDOS CON BAJO CONTENIDO DE LÍQUIDO	PUNTO DE INFLAMACION MENOR DE 60 C
Sólido capaz de provocar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químico, a espontáneos	5.5.5.3	NOM 052 ECOL/93	NO PRODUCE CALOR NI FUEGO POR FRICCIÓN O ABSORCIÓN DE HUMEDAD	LOS INDICADOS EN LA PRIMERA COLUMNA DE ES TRENCIÓN
Se trata de gases comprimidos, inflamables o agentes	5.5.5.4	NOM 052 ECOL/93	SE TRATA DE SÓLIDOS CON BAJO CONTENIDO DE LÍQUIDO	LOS INDICADOS EN LA PRIMERA COLUMNA DE ES TRENCIÓN



Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.

Av. Flamboyanes No. 1000, Guadalajara, Jalisco, C.P. 44100

Tel. (52) (31) 3366 1111

Patología y Biotecnología Ambiental

CARACTERÍSTICA: BIOLÓGICO INFECCIOSO	NÚMERO DE LA NORMA NOM - CRP 052 - ECOL/93	NORMA	RESULTADOS	LIMIT PERMIS
Bacterias, virus u otros microorganismos	5.5.6.1	NOM 052- ECOL/93	NO SE FICONTARON BACTERIAS NI VIRUS	Un residuo se considera peli contiene bacte virus u otros microorganism
Toxinas	5.5.6.2	NOM 052- ECOL/93	NO SE FICONTARON TOXINAS	Un residuo se considera peli contiene toxina

OBSERVACIONES:

- Los valores marcados con \* indican que, en caso de estar presentes, lo están en concentración menor a la del límite práctico de determinación de la técnica
- Los datos reportados se refieren exclusivamente a la muestra ambiente indicada
- Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin previa autorización del CIATEJ

CONCLUSIONES:

A Solicitud de la SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO, DIRECCION GENERAL SECTORIAL, se realizó la prueba de análisis CRETIB a una muestra de lodos obtenida de una planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en el poblado de San Antonio Hayacapan, Jal., encontrándose que dichos residuos NO exceden los parámetros establecidos en el punto 5.5 de la norma NOM 052 - ECOL / 93, resultando:

SER NO PELIGROSOS AL MEDIO AMBIENTE.

Responsables de análisis: T.L.Q. Abel Guzman Carrillo  
Dr. J. Hugo Salado Fonce.

DR. ALFREDO FERIA VELASCO.  
DIRECTOR DE LA DIVISION DE  
PATOLOGIA Y BIOTECNOLOGIA

FECHA 27 de Agosto de 1999



Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. (Tecnología y Biotecnología Ambiental)

ACTA DE MUESTREO

FECHA Y HORA DE MUESTREO:

1<sup>ro</sup> de Julio de 1999 14:00 Hrs.

NOMBRE DE LA EMPRESA:

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Antonio

ATENDIDO POR:

Inq. José Villanueva Valdez.

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:

\* Muestra de Lodos Residuales Húmedos. Cietib 99

DESCRIPCION DE LA MUESTRA:

Una muestra de Lodos Residuales con alto contenido de Agua por lluvia (Lodo viscoso).

SITIO DE MUESTREO Y PROCEDIMIENTO:

Fosa de Secado de Lodos por no haber Lodos (Aleatorio).

MUESTREADOR:

T. de Q. Abel Guzmán Carrillo

FIRMAS DE CONFORMIDAD CON EL MUESTREO

POR LA EMPRESA

POR EL CIATEJ



**Anexo 2.- proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-004ECOL-1999**

ANTEPROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-ECOL-1999.-PROTECCION AMBIENTAL.- LODOS Y BIOSOLIDOS.- ESPECIFICACIONES Y LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA SU APROVECHAMIENTO Y DISPOSICION FINAL.

## NOM-004-ECOL-1999 PREFACIO

FRANCISCO GINER DE LOS RIOS, Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, con fundamento en lo dispuesto en los artículos 45, 46 fracción II y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, tiene a bien expedir el siguiente Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-004-ECOL-1999.- Protección Ambiental.- Lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

El presente Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-004-ECOL-1999, fue aprobado por el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en su sesión celebrada el \_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 1999 y se publica para consulta pública, de conformidad con el artículo 47 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, a efecto de que los interesados, dentro de los 60 días naturales siguientes a la fecha de su publicación en el Diario Oficial de la Federación presenten sus comentarios ante el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, sito en Av. Revolución 1425, Mazanine planta alta, colonia Tlacopac, Delegación Alvaro Obregón, C.P. 01040, México, D.F.

Durante el mencionado plazo, los estudios que sirvieron de base para la elaboración del anteproyecto de Norma estarán a disposición del público para su consulta en el Centro Documental del Instituto Nacional de Ecología; sito en el domicilio antes señalado.

### INDICE

1. Objetivo y campo de aplicación
2. Referencias
3. Definiciones
4. Especificaciones
5. Métodos de prueba
6. Verificación
7. Grado de concordancia con normas internacionales
8. Bibliografía
9. Observancia de esta Norma

**Bacteria Salmonella sp.-** Parte 9210 D, de los Métodos Normalizados para Examinar las Aguas y Aguas Residuales, 18a. Edición, American Public Health Association, Washington, D.C., 1992. o Kenner, B.A. y H.P. Clark, Detección y Enumeración de Salmonella y Pseudomonas aeruginosa, Journal WPCF, 46 (9) 2163-2171, 1974.

**Huevos de Helminto.-** Yanko, W. A., Ocurrencia de Patógenos en la Distribución y Comercialización de Lodos Municipales, EPA/600/1-87/014, 1987. PB 88-154273/AS, National Technical Information Service, Springfield, VA; (800) 553-6847.

**Prueba de filtrado de lodos.-** Método 9095 "Prueba de Filtrado Líquido", Método de Prueba para la Evaluación de Sólidos en Agua, Physical/Chemical Methods. EPA SW 846, 12<sup>ma</sup> Edición, PB 87-120291, National Technical Information Service, Springfield, VA 3<sup>ra</sup> edición Don. No. 955-001-00000-1, Superintendente de Documentos, Oficina de Imprenta del Gobierno, Washington, D.C.

**Sólidos Totales, Fijos y Volátiles.-** Parte 2540 G, de los Métodos Normalizados para Examinar las Aguas y Aguas Residuales, 18a. Edición, American Public Health Association, Washington, D.C., 1992.

**Tasa Específica de Absorción de Oxígeno.-** Parte 2710 B, de los Métodos Normalizados para Examinar las Aguas y Aguas Residuales, 18a. Edición, American Public Health Association, Washington, D.C., 1992.

### 3. Definiciones

Para la aplicación de la presente Norma Oficial Mexicana se entiende por:

#### 3.1 Aguas residuales

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

#### 3.2 Almacenamiento

Es la colocación de los lodos y biosólidos, cuando no es posible su aprovechamiento o disposición final, excluyéndose el uso de esta práctica como método de estabilización complementario de los lodos y biosólidos.

#### 3.3 Aprovechamiento

Es el uso de los biosólidos como mejoradores o acondicionadores del contenido de materia orgánica y nutrientes de los suelos, en términos de los ordenamientos jurídicos aplicables.

### 4 Atracción de vectores

Es la característica de los lodos y biosólidos para atraer vectores como roedores, moscas, mosquitos u otros organismos capaces de transportar agentes infecciosos.

#### 1. Biosólidos

Los lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales que por sus características son susceptibles de ser aprovechados.

## 6 Desazolve

son los materiales sólidos provenientes de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, o incluye los provenientes de las presas o vasos de regulación.

## 7 Digestión Aerobia

es la descomposición bioquímica de la materia orgánica presente en los lodos que es transformada en bióxido de carbono y agua por los microorganismos en presencia de oxígeno. El proceso se realiza mediante la agitación de los lodos en presencia de oxígeno manteniéndolo en condiciones aerobias.

## 8 Digestión Anaerobia

es la descomposición bioquímica de la materia orgánica presente en los lodos que es transformada en gas metano y bióxido de carbono y agua por los microorganismos en ausencia de oxígeno.

## 9 Disposición final

es la acción de depositar de manera permanente lodos y biosólidos en sitios adecuados para evitar daños al ambiente.

## 10 Estabilización

son los procesos físicos, químicos y biológicos a los que se someten los lodos provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, para acondicionarlos para su aprovechamiento o disposición final.

## 11 Estabilización alcalina

es el proceso mediante el cual se añade suficiente cal viva (óxido de calcio  $\text{CaO}$ ) o cal hidratada (hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$ ) o equivalentes, a la masa de lodos y biosólidos.

## 2 Límite máximo permisible

es el valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido por los lodos y biosólidos para que puedan ser dispuestos o aprovechados.

## 3 Lixiviado.

es el líquido proveniente de los lodos y biosólidos, el cual se forma por reacción o percolación y contiene, disueltos o en suspensión contaminantes que se encuentran presentes en los lodos.

## Lodos

son los sólidos con un contenido variable de humedad, provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

## Muestra compuesta

es una muestra representativa del volumen de los biosólidos que se pretenden aprovechar, la cual debe ser tomada de manera que se realicen los análisis para determinar su contenido de metales pesados.

**16 Muestra simple**

La cantidad suficiente de lodos y biosólidos para que se realicen los análisis para determinar el contenido de patógenos y parásitos, la cual debe ser representativa del volumen.

**17 Mejoramiento de suelos**

La aplicación de los biosólidos en terrenos degradados para mejorar sus características

**18 Restauración de paisajes**

La aplicación de los biosólidos en terrenos públicos y privados para mejorar sus características estéticas.

**19 Sólidos totales**

Los materiales que permanecen en los lodos como residuo cuando aquellos son secados a 1.3 a 105 °C.

**20 Sólidos volátiles**

La cantidad de sólidos orgánicos totales presentes en los lodos, que se volatiliza cuando éstos se queman a 550 °C en presencia de aire en exceso.

**21 Tasa Específica de Absorción de Oxígeno**

La tasa de oxígeno consumida por unidad de tiempo y por unidad de masa de los sólidos totales en los lodos y biosólidos, en base a peso seco.

**22 Terrenos con fines agrícolas**

Las superficies sobre las cuales se pueden sembrar cultivar y cosechar productos agrícolas para consumo humano y animal, incluyendo los pastizales que establece la Ley Federal de Sanidad Vegetal

**Especificaciones**

Para que los lodos y biosólidos se puedan aprovechar o disponer deben demostrar, durante los años, que éstos no son corrosivos, reactivos, explosivos, tóxicos e inflamables de acuerdo con la normatividad vigente en la materia. Los responsables podrán quedar exentos de dicha prueba, siempre y cuando demuestren que por las características de proceso de tratamiento de los lodos y biosólidos, el contenido de los patógenos, parásitos y metales pesados es homogéneo o no presenta variaciones significativas, manifestándolo ante la autoridad competente, por escrito y bajo protesta de decir verdad.

Los lodos y biosólidos que cumplan con lo establecido en la especificación 4.1, pueden ser manejados y aprovechados o dispuestos en forma final como residuos no peligrosos.

Para que los biosólidos puedan ser aprovechados, deben cumplir con las especificaciones 4.4 y lo establecido en las tablas 1 y 2.

Para el control de vectores los biosólidos pueden someterse a cualquiera de las opciones descritas en el Apéndice Normativo "A".

5 Para efectos de esta Norma Oficial Mexicana los biosólidos se clasifican en Excelente y Bueno con base en su contenido de metales pesados; y en Clase A y B en función de su contenido de patógenos y parásitos.

6 Los límites máximos permisibles de metales pesados se establecen en la Tabla 1.

Tabla 1

LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS EN BIOSOLIDOS

CONTAMINANTE (determinados en forma total)	Excelente mg/kg en base seca	Bueno mg/kg en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1,200	3,000
Cobre	1,500	4,300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2,800	7,500

7 Los límites máximos permisibles de patógenos y parásitos se establecen en la Tabla 2.

Tabla 2

LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA PATOGENOS Y PARASITOS EN BIOSOLIDOS

CLASE	PATOGENOS		PARASITOS
	Coliformes fecales NMP/gr en base seca	Salmonella sp NMP/gr en base seca	Huevos de helminto/gr en base seca
A	Menos de 1,000	Menor de 3	Menor de 10
B	Menor de 2,000,000	Menor de 300	Menor de 35

Para el aprovechamiento de los biosólidos en jardines y macetas de casas habitación y edificios públicos y privados, áreas verdes para recreación públicas y privadas con contacto humano, viveros y campos deportivos, camellones urbanos y en vías de comunicación, parques y bosques, la calidad debe ser Excelente, Clase A, su contenido de humedad debe ser del 70% o menor y el almacenamiento en bolsas o costales etiquetados.

Para el aprovechamiento de los biosólidos en terrenos con fines agrícolas, restauración de suelos y de paisajes, cualquiera que sea su calidad, no deben aplicarse cuando los suelos estén congelados; inundados; cubiertos por nieve o sean ácidos con un pH de 5 o menor.

La aplicación de biosólidos en terrenos con fines agrícolas, restauración de suelos y de paisajes, se sujetará a lo establecido en la Ley Federal de sanidad Vegetal.

4.11 El aprovechamiento de biosólidos en terrenos comprendidos en zonas declaradas como áreas naturales protegidas, solo podrá realizarse previa autorización de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

4.12 Para la disposición final de los lodos y biosólidos, éstos deben cumplir con la especificación 4.1 y con los límites máximos permisibles para el contenido de patógenos y parásitos establecidos en la Tabla 3.

Tabla 3

LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE PATOGENOS Y PARASITOS PARA LODOS Y BIOSOLIDOS

PATOGENOS		PARASITOS
Coliformes fecales NMP/gr en base seca	Salmonella sp NMP/gr en base seca	Huevos de helminto/gr en base seca
Menor de 2,000,000	Menor de 300	Menor de 35

4.13 Los sitios para su disposición final son los que disponga o autorice la autoridad local competente.

4.14 Los lodos y biosólidos que cumplan con lo establecido en la presente Norma Oficial Mexicana pueden ser almacenados hasta por un periodo de 2 (dos) años. El predio en donde se almacenen, debe contar con sistema de recolección de lixiviados.

4.15 Se permite la mezcla de dos o más lotes de lodos o biosólidos, siempre y cuando ninguno de ellos esté clasificado como residuo peligroso y su mezcla resultante cumpla con lo establecido en la presente Norma Oficial Mexicana.

4.16 Muestreo y análisis de lodos y biosólidos. El generador de lodos y biosólidos, deben realizar el muestreo y análisis para el cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana y conservar por lo menos durante los últimos 5 años siguientes sus resultados.

4.17 La frecuencia de muestreo y análisis para los lodos y biosólidos se establecen en función de su aprovechamiento y disposición final en la Tabla 4.

Tabla 4

FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANALISIS PARA LODOS Y BIOSOLIDOS

APROVECHAMIENTO O DISPOSICION FINAL	FRECUENCIA MUESTREO Y ANALISIS
Jardines y macetas de casas habitación y edificios públicos y privados, áreas verdes para recreación públicas y privadas con contacto, viveros y campos deportivos. Camellones urbanos y en vías de comunicación, panteones y bosques.	Semestral metales pesados. Bimestral patógenos y parásitos.
Terrenos con fines agrícolas, restauración de suelos y de paisajes.	Semestral metales pesados. Trimestral patógenos y parásitos.
Disposición final	Trimestral patógenos y parásitos

**Opción 7: Reducción del contenido de humedad en biosólidos que no contienen sólidos sin estabilizar**

Incrementar el contenido de sólidos al 75% en los biosólidos, lo cual debe conseguirse removiéndoles agua y no mediante la dilución con sólidos inertes. Se debe prevenir que los biosólidos se manejen secos, incluyendo su almacenamiento antes de la aplicación.

**Opción 8: Reducción del contenido de humedad en biosólidos que contienen sólidos no estabilizados**

Incrementar el contenido de sólidos al 90% en los biosólidos, lo cual debe conseguirse removiéndoles agua y no mediante la dilución con sólidos inertes. Se debe prevenir que los biosólidos se manejen secos, incluyendo su almacenamiento antes de la aplicación.

**Opción 9: Inyección de biosólidos al suelo**

Inyectar los biosólidos por debajo de la superficie del terreno, de tal manera que ninguna cantidad significativa esté presente sobre la superficie durante una hora después de la inyección y, si los biosólidos son Clase A con respecto a patógenos, deben ser inyectados dentro de las 8 horas posteriores a su salida del proceso reductor de patógenos.

**Opción 10: Incorporación de biosólidos al suelo**

Incorporar al suelo los biosólidos dentro de las 6 horas posteriores a su aplicación sobre el terreno. La incorporación se consigue arando o mediante algún otro método que mezcle los biosólidos con el suelo y, si los biosólidos son Clase A con respecto a patógenos, el tiempo entre la aplicación y el procesado no debe exceder de 8 horas al igual que en el caso de la inyección.



- 8.3 Biosolids Treatment and Management. Processes for Beneficial Use. Marcel Dekker, Inc. 1996.
- 8.4 Environmental Regulations and Technology. Use And Disposal Of Municipal Wastewater Sludge. EPA 625 / 10-84-003. United States Environmental Protection Agency. September 1984.
- 8.5 Environmental Regulations and Technology. Control of Pathogens in Municipal Wastewater Sludge. EPA / 625 / 10-89 / 006. United States Environmental Protection Agency. September 1989.
- 8.6 Fundamento técnico para la elaboración de la Norma Oficial Mexicana en materia de estabilización, manejo y aprovechamiento de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas municipales e industriales. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1997.
- 8.7 Geochemistry, Groundwater and Pollution. C.A.J. Appelo y D. Postma.- A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield/1996.
- 8.8 Ground Water, Quality Protection. Larry W. Canter, Robert C. Knox y Deborah M. Fairchild. Lewis Publishers, Inc. 1987
- 8.9 Guía para el manejo, tratamiento y aprovechamiento de lodos residuales de plantas de tratamiento municipales. Comisión Nacional del Agua. SGIHUI. 1994.
- 8.10 Guía para el manejo, estabilización y disposición de lodos químicos. Tema Potabilización. Comisión Nacional del Agua. SGIHUI. 1994.
- 8.11 Manual of good practice for utilisation of sewage sludge in agriculture. 2nd. Revision October 1991. Anglian Water.
- 8.12 Reglamento de lodos de clarificación. Alemania. 15 de abril de 1992.
- 8.13 Reglamentación de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (U.S.E.P.A.) para el Uso o Aplicación de Lodos de Drenaje, Parte 503 del 40 CFR, publicada en el Federal Register el 19 de Febrero de 1993.
- 8.14 Sludge Management & Disposal. For The Practicing Engineer. P.A. Vesilind, G.C. Hartman y E.T. Skene. Lewis Publishers, Inc. 1986.
- 8.15 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th. Edition. American Public Health Association, American Water Works Association. Water Environment Federation. 1995.
- 8.16 Sludge Stabilization. Manual of Practice FD-9. Facilities Development. Water Environment Federation 1993.

8.17 Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge; Final Rules. 40 CFR Parts 257, 403 and 503. Environmental Protection Agency. USA. Federal Register Friday February 19, 1993.

8.18 Sludge Conditioning. Manual of Practice FD-14. Water Pollution Control Federation. 1988. Alexandria, VA.

### 9. Observancia de esta Norma

9.1 La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, por conducto de la Comisión Nacional del Agua y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, así como a los Gobiernos Estatales, Municipales y del Distrito Federal, en el ámbito de su respectivas competencia. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

9.2 La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor a los 60 días siguientes de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

México, Distrito Federal a los \_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_ de mil novecientos noventa y ocho.-  
El Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental,  
FRANCISCO GINER DE LOS RIOS.- Rúbrica.

## APÉNDICE NORMATIVO "A"

### OPCIONES PARA LA REDUCCIÓN DE ATRACCIÓN DE VECTORES

#### Opción 1: Reducción del contenido de sólidos volátiles

Reducir a un 38% el contenido de sólidos volátiles en los biosólidos, mediante digestión aeróbica o anaeróbica.

#### Opción 2: Digestión adicional de los biosólidos digeridos anaeróbicamente

En el caso de que no resulte factible reducir al 38% el contenido de sólidos volátiles mediante la Opción 1, Se deberá demostrar en una unidad a escala de laboratorio, que una porción de los biosólidos, que previamente fueron digeridos, con una digestión anaeróbica por 40 días adicionales, a una temperatura entre 30°C y 37°C, su reducción del contenido de sólidos volátiles es menor del 17%.

#### Opción 3: Digestión adicional de los biosólidos digeridos aeróbicamente

Esta prueba solamente es aplicable a los biosólidos líquidos digeridos aeróbicamente. Se considera que los biosólidos digeridos aeróbicamente con 2% de sólidos o menos, han logrado la reducción de atracción de vectores si después de 30 días de digestión aeróbica en una prueba de laboratorio a 20°C, su reducción del contenido de sólidos volátiles es menor del 15%.

#### Opción 4: Tasa específica de absorción de oxígeno (TEAO) para biosólidos digeridos aeróbicamente

Esta prueba solamente es aplicable a los biosólidos líquidos digeridos aeróbicamente. Se demostrará si la TEAO de los biosólidos que son aplicados, determinada a 20°C, es igual o menor de 1.5 mg. de O<sub>2</sub>/ hr./gr. de sólidos totales (peso seco).

#### Opción 5: Procesos aeróbicos a más de 40 °C

Aplica primordialmente a biosólidos composteados que contienen agentes abultadores orgánicos parcialmente descompuestos. Los biosólidos deben ser tratados aeróbicamente por 14 días o más, tiempo durante el cual la temperatura deberá rebasar siempre los 40 °C y el promedio deberá ser mayor de 45 °C.

#### Opción 6: Adición de materia alcalina

Añadir suficiente materia alcalina para:

- ♦ Elevar el pH hasta por lo menos 12 unidades, a 25 °C, y, sin añadir más materia alcalina, mantenerlo por 2 horas; y
- ♦ Mantener un pH de al menos 11,5 unidades, sin la adición de más materia alcalina durante otras 22 horas.

4.18 El muestreo y análisis para determinar el contenido de patógenos y parásitos, constará de cuando menos 7 muestras simples. Los resultados se informarán como la media geométrica para los coliformes fecales y salmonella y la media aritmética para los huevos de helminto.

4.19 El muestreo y análisis para determinar el contenido de metales pesados, constará de una muestra compuesta y se reportará para dos o más resultados la media aritmética.

4.20 --Podrán exentar de realizar el muestreo y análisis de alguno o varios de los parámetros, cuando demuestren que por su procedencia o invariabilidad en el contenido de los lodos y biosólidos, manifestándolo ante la Comisión Nacional del Agua, por escrito y bajo protesta de decir verdad.

## 5. Métodos de prueba

Para determinar los valores y concentraciones de los parámetros establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, se deberán aplicar los métodos de prueba indicados en el punto 2 de la presente Norma Oficial Mexicana. El responsable podrá solicitar autorización a la Comisión Nacional del Agua la aplicación de métodos de prueba alternos, podrán ser autorizados a otros responsables en situaciones similares.

## 6. Verificación

La Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, por conducto de la Comisión Nacional del Agua y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, así como los Gobiernos Estatales, Municipales y del Distrito Federal, en el ámbito de su respectiva competencia, llevarán a cabo de manera periódica o aleatoria los muestreos y análisis de los biosólidos y lodos, con objeto de verificar el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos para los parámetros señalados en la presente Norma Oficial Mexicana.

## 7. Grado de concordancia con normas internacionales

No hay normas equivalentes, las disposiciones de carácter interno que existen en otros países no reúnen los elementos y preceptos de orden técnico y jurídico que en esta Norma Oficial Mexicana se integran y complementan de manera coherente, con base en los fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente.

TESIS/CUCBA

## 8. Bibliografía

1. A Guide to the Biosolids Risk Assessments for the EPA Part 503 Rule. EPA 832-B-93-003. United States Environmental Protection Agency. September 1995.

2. A Short English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule. EPA / 832 / R-93/003. United States Environmental Protection Agency. September 1994.