



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD ZACATENCO

SECCIÓN DE ESTUDIO DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**DEGRADACIÓN DE LODOS RESIDUALES PROVENIENTES DEL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES POR
MEDIO DE LA VERMICOMPOSTA PARA OBTENER HUMUS
LÍQUIDO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL

P R E S E N T A:

IBQ. FANNY SANDOVAL RODRÍGUEZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JORGE MELÉNDEZ ESTRADA



MÉXICO, D.F.

DICIEMBRE 2011



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México D. F., siendo las 13:00 horas del día 22 del mes de noviembre del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.A. – U. Z. para examinar la tesis titulada:

“DEGRADACIÓN DE LODOS RESIDUALES PROVENIENTES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES POR MEDIO DE LA VERMICOMPOSTA PARA OBTENER HUMUS LÍQUIDO.”

Presentada por el alumno:

Sandoval
Apellido paterno

Rodríguez
Apellido materno

Fanny
Nombre(s)

Con registro:

B	0	9	1	9	1	9
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL

Después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Director(a) de tesis

Dr. Jorge Meléndez Estrada

M. en C. Ricardo Contreras Contreras

M. en C. Illoa Ramírez

M. en C. Javier Avila Moreno



PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES MEXICO

SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

M. en C. Pino Durán Escamilla



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México el día 22 del mes de Noviembre del año 2011, el (la) que suscribe Fanny Sandoval Rodríguez alumno (a) del Programa de Maestría en Ingeniería Civil con número de registro B091919, adscrito a la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura unidad zacatenco, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. Jorge Meléndez Estrada y cede los derechos del trabajo intitulado **DEGRADACIÓN DE LODOS RESIDUALES PROVENIENTES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES POR MEDIO DE LA VERMICOMPOSTA PARA OBTENER HUMUS LÍQUIDO** , al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección fama-69@hotmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Fanny Sandoval Rodríguez
Nombre y firma

INDICE GENERAL

SECCIÓN	
INDICE GENERAL	4
CONTENIDO	6
LISTA DE TABLAS	7
LISTA DE FIGURAS	8
ACRONIMOS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13
HIPOTESIS	15
OBJETIVO	15
JUSTIFICACIÓN	16

Capítulo 1	Fundamentos de la vermicomposta	18
Capitulo 2	La composta como alternativa para remediar desechos sólidos	23
Capitulo 3	Sustancias húmicas	28
Capitulo 4	Generalidades de lodos residuales	31
Capitulo 5	Procedencia del lodo residual	38
Capitulo 6	<i>Eisenia foetida</i>	42
Capitulo 7	Ensayos toxicológicos	52
Capitulo 8	Materiales y métodos	62
Capitulo 9	Resultados y discusión	71
Conclusiones		83
Recomendaciones		83
Literatura citada		85
Anexo		91

CONTENIDO

1 Fundamentos de la vermicomposta proveniente de lodos residuales	1
1.1. Estado del Arte	1
1.2. Papel de las lombrices en el vermicomposteo	4
2 La composta como alternativa para remediar desechos sólidos	6
2.1 Características de la composta	6
2.2. Tipos de composta	7
2.3. Usos de la composta	8
2.4 Naturaleza de la materia biodegradable	9
2.5. Tamaño de las partículas	10
2.6. Criterios de calidad	10
3 Sustancias húmicas	11
3.1. Características de las sustancias húmicas	11
3.2. Composición y estructura de las sustancias húmicas y fúlvicas	11
3.3 Efectos de las sustancia húmicas y fúlvicas	12
4 Generalidades de lodos residuales	14
4.1. Generación de lodos residuales	14
4.2. Características de lodos residuales	15
4.3. Concentración de sólidos en los lodos residuales	15
4.4. Manejo ambientalmente adecuado de lodos	18
5 Procedencia del lodo residual	21
5.1 Planta de tratamiento de aguas residuales OPDM	21
5.2. Descripción de la planta de tratamiento de aguas residuales	21
5.3. Tratamiento Preliminar	22
5.4. Tratamiento primario	22
5.5. Tratamiento secundario	23
5.6. Proceso de degradación de lodos	23

6. <i>Eisenia foetida</i>	26
6.1. La biología de la lombriz	26
6.2. Características de los anélidos	27
6.3. Características externas de la lombriz	27
6.4. Características externas de la lombriz	27
6.5. Anatomía y fisiología	31
7. Ensayos toxicológicos	36
7.1 Principio de la prueba	36
7.2 Verificación de la viabilidad de las semillas	38
7.3 Procedimiento de la prueba	39
7.4 Control de calidad de la prueba	40
7.5 Efectos de la germinación	40
7.6 Expresión de resultados	43
8. Material y métodos	47
8.1. Selección del lodo que se utilizara para obtener humus líquido	47
8.2. Métodos analíticos	47
8.3. Crianza y adaptación de la lombriz (<i>Eisenia foetida</i>)	48
8.4. Diseño experimental	49
8.5. Estrategia experimental	51
8.6. Ensayo toxicológico	55
9. Resultados y discusión	56
9.1. Clasificación de lodos	56
9.2. Crianza y adaptación de la lombriz <i>Eisenia foetida</i>	58
9.3. Obtención de humus líquido	59
9.4. Características fisicoquímicas del humus líquido	61
9.5. Ensayo toxicológico	64
Conclusiones	68
Recomendaciones	69
Literatura citada	71
Anexo	77

NOM-004- SEMARNAT-2002

LISTA DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.1	Antecedentes	3
Tabla 2.1	Características de una composta comercialmente aceptable	10
Tabla 4.1	Características de lodos residuales primarios y secundarios	16
Tabla 4.2	Composición de los sólidos totales de lodos residuales secundarios	17
Tabla 4.3	Clasificación de lodos por contenido de metales pesados	19
Tabla 4.4	Limites máximo permisibles para patógenos y parásitos	19
Tabla 4.5	Aprovechamiento de biosólidos	20
Tabla 8.1	Métodos analíticos	48
Tabla 8.2	Proporciones de materia orgánica y lodo residual	49
Tabla 8.3	Diseño experimental	50
Tabla 9.1	Análisis conforme a NOM-004-SEMARNAT-2002	57
Tabla 9.2	Crecimiento Poblacional de lombrices	58
Tabla 9.3	Características fisicoquímicas de humus líquido	62
Tabla 9.4	Análisis de varianza del diseño experimental de humus líquido	64
Tabla 9.5	Bioensayo de toxicidad	65
Tabla 9.6	Análisis de varianza ANOVA	67
Tabla 9.7	Dunnett bilateral	67

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 4.1	Generación de lodos residuales en el tren de tratamiento	14
Figura 5.1	Diagrama de flujo de la planta de tratamiento OPDM	25
Figura 6.1	Corte esquemático de una porción de lombriz partes internas	30
Figura 6.2	Huevo y adultos <i>Eisenia foetida</i>	31
Figura 6.3	Corte esquemático del sistema excretor	34
Figura 6.4	Ciclo reproductor de una lombriz	35
Figura 7.1	Morfología de la semilla y la plántula de lechuga <i>Lactuca sativa L.</i>	37
Figura 7.2	Esquema de la plántula de <i>Lactuca sativa</i> al finalizar el periodo de exposición	41
Figura 7.3	Estados por los que atraviesa la semilla <i>Lactuca sativa</i> durante el ensayo de germinación y elongación	42
Figura 8.1	Dispositivo de vermicomposta adaptado para colectar lixiviado	50
Figura 9.1	Adaptación del anélido	58
Figura 9.2	Determinación conductividad eléctrica de los ensayos	60
Figura 9.3	Determinación de pH de los ensayos	60
Figura 9.4	Humus líquido obtenido de la experimentación	62
Figura 9.5	Características fisicoquímicas de humus liquido	63
Figura 9.6	Humus líquido Nutrientes	63
Figura 9.7	Grafica de las medias de % de índice germinación	66

ACRONIMOS

Símbolo	Definición
OPDM	Organismo Público Descentralizado para la Prestación de los Servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, del Municipio de Tlalnepantla
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
DQO	Demanda química de oxígeno
DBO	Demanda Bioquímica de oxígeno
MO	Materia orgánica
LR	Lodos residuales
SST	Sólidos suspendidos totales
SSV	Sólidos suspendidos volátiles
ppm	Partes por millón
°C	Grados centígrados
CNA	Comisión Nacional del Agua
IMTA	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
UFC/ml	Unidades formadoras de colonia por mililitro

Resumen

La materia orgánica es de vital importancia para la fertilidad de los suelos y esta puede ser aportada a través del humus.

Los humus líquidos son soluciones compuestas por ácidos húmicos y fulvicos disueltos en agua, que otorgan materia orgánica al suelo a través del riego.

En la presente investigación se estudio la degradación de lodos residuales municipales provenientes de la planta de tratamiento OPDM, por medio de la vermicomposta, de la cual se obtuvo humus líquido con características fisicoquímicas similares a las que presenta el humus líquido comercial HUM ECOL, el cual proviene de la vermicomposta de estiércol vacuno, esta similitud se comprobó realizando un análisis de varianza de las concentraciones de los nutrientes más importantes como materia orgánica, carbono, nitrógeno, fosforo y potasio, estadísticamente no existen diferencias significativas entre los humus formulados y el humus comercial, sin embargo el ensayo que presenta mejores características fisicoquímicas en cuanto a nutrientes es el humus obtenido en el ensayo 3, ya que supera en contenido de materia orgánica a HUM ECOL en un 31.6%, Por otra parte el porcentaje de nitrógeno total que presenta este ensayo supera en un 2.02 %, a HUM ECOL. El humus líquido que se obtuvo en el ensayo 1, en el cual se utilizó como sustrato 100% lodo residual, supera en un 12 % a HUM ECOL en cuanto a materia orgánica, Cabe mencionar que al aumentar el porcentaje de lodo residual en los ensayos, disminuyen los nutrientes del humus líquido obtenido.

Se comprobó por medio de un ensayo toxicológico que los humus líquidos formulados no son fitotóxicos, ya que el valor que mostro menor índice de germinación fue el etiquetado como control que es el lixiviado HUM ECOL, con una media de 184.2 % índice de germinación, el ensayo 1 obtuvo un valor de 349 % índice de germinación que es el mayor valor obtenido en la experimentación.

Los valores obtenidos señalan que ninguno de los ensayos presenta fitotoxicidad, ya que según (Emino y Warman, 2004) valores de IG inferiores a 50% indican una alta fitotoxicidad del material; IG entre 50% y 80% indican fitotoxicidad moderada y valores superiores a 80% el material no presenta fitotoxicidad.

Por lo tanto los humus formulados pueden ser utilizado para fertilizar suelos de uso agrícola, así como recuperar suelos erosionados.

ABSTRACT

Organic matter is vital for soil fertility and this may be provided through the humus.

The humus liquids are solutions composed of humic and fulvic acids dissolved in water, which provide organic matter to soil through irrigation. In this research study the degradation of municipal sewage sludge from the treatment plant OPDM through vermicompost, which was obtained liquid humus physicochemical characteristics similar to those presented by the commercial liquid humus HUM ECOL, which comes from cattle manure vermicompost, this similarity was found with an analysis of variance of the concentrations of important nutrients such as organic matter, carbon, nitrogen, phosphorus and potassium, no statistically significant differences between the humus and humus formulated commercial however, the test has better physicochemical characteristics in terms of nutrients is the humus from test 3, and that exceeds organic matter content in HUM ECOL 31.6%, on the other hand the percentage of total nitrogen is present trial exceeds by 2.02%, HUM ECOL to. The liquid humus obtained in test 1, in which substrate was used 100% sludge, exceeds 12% HUM ECOL in organic matter, is worth mentioning that increasing the percentage of sludge in the trials , lower humus nutrient fluid obtained. It was found by a toxicological test the formulated liquid humus are not phytotoxic, since the value that showed lower germination rate was the control that is labeled as the leachate HUM ECOL, with an average of 184.2% germination rate, the Test 1 obtained a value of 349% germination rate is the highest value obtained in the experiment.

The values obtained show that none of the trials presented phytotoxicity, since according to (Emin and Warman, 2004) IG values below 50% indicate a high phytotoxicity of the material; GI between 50% and 80% indicate moderate phytotoxicity values above 80% of the material has no phytotoxicity. Therefore formulated humus can be used to fertilize soil for agricultural use and recover eroded soils.

INTRODUCCIÓN

Al tratar las aguas residuales para su purificación, se generan subproductos: los lodos residuales, que son el residuo generado por los tratamientos primario y secundario.

En México se producen alrededor de 1438 t/d de lodos residuales provenientes de las actividades municipales y 610 t/d de lodos residuales provenientes de las actividades industriales (Torres y Zárate, 1997).

Para la disposición final de los lodos residuales es necesario estabilizarlos, es decir, reducir la cantidad de materia orgánica. Los procesos biológicos presentan una alternativa viable para la estabilización, pues a diferencia de los procesos fisicoquímicos, los lodos residuales ya estabilizados pueden ser reutilizados.

La vermiestabilización se puede definir como la digestión de material orgánico por medio de lombrices. Además de la digestión de materia orgánica por medio de ingestión, las lombrices también ayudan a la penetración de aire y agua debido a su movilización a través del sustrato. Este movimiento permite el desplazamiento de partículas a lo largo de diferentes estratos. Las lombrices pueden desarrollarse sólo bajo condiciones aerobias, que son provocadas por la porosidad de los materiales donde subsisten y por la misma aeración que estos animales provocan por su desplazamiento a través del material. Las condiciones aerobias así establecidas ayudan al florecimiento de microorganismos aerobios que conjuntamente con las lombrices degradan los desechos.

La vermiestabilización es una tecnología basada en la cría intensiva de lombrices para la producción de humus a partir de un sustrato orgánico. Es un proceso de descomposición natural, similar al composteo termofílico, pero en este el material orgánico, además de ser atacado por los microorganismos (hongos, bacterias, actinomicetos, levaduras, etc.) existentes en el medio natural, también lo es por el complejo sistema digestivo de la lombriz.

En el intestino de la lombriz ocurren procesos de fraccionamiento, desdoblamiento, síntesis y enriquecimiento enzimático y microbiano, lo cual tiene como consecuencia un aumento significativo en la velocidad de degradación y mineralización del residuo, obteniendo un producto de alta calidad. Esta transformación hace que los niveles de pérdida de nutrientes como nitrógeno, potasio, etc., sean mínimos con relación a los sistemas tradicionales de composteo. El resultado son dos productos de alta calidad: el humus y las lombrices.

HIPOTESIS

Si el lodo residual proveniente del tratamiento aerobio de aguas residuales presenta un contenido alto de biomasa y materia orgánica entonces se lograra la estabilización de este por medio de la vermicomposta para obtener humus líquido, por extracción con agua del humus sólido.

OBJETIVO GENERAL

Degradar lodo residual proveniente del tratamiento de aguas residuales municipales utilizando la técnica de vermicomposta para obtener humus líquido.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Clasificar el lodo residual de acuerdo a la NOM-004.SEMARNAT-2002, para establecer, si es apto su uso agrícola y como mejorador de suelos.
2. Obtener humus líquido a partir de lodos residuales provenientes de plantas de tratamiento de aguas municipales utilizando la técnica de vermicomposta.
3. Verificar que las características fisicoquímicas del humus líquido obtenido sean compatibles con el humus líquido comercial "Hum Ecol".

JUSTIFICACIÓN

Actualmente en México existe una problemática generada por el manejo de lodos residuales de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, debido al alto costo derivado de la instalación de reactores para la estabilización de dichos lodos. Muchas de estas plantas sólo cuentan con lechos de secado donde se deshidrata el lodo para después ser conducido a un tiradero o relleno sanitario, entre el 40% y 50% del lodo es depositado en rellenos (Bomio, 1990), en el mejor de los casos, ya que algunas plantas de tratamiento desechan los lodos generados a canales, provocando mayor contaminación de dichos cuerpos de agua. Los procesos más utilizados para la estabilización de lodos residuales son la digestión aerobia y el tratamiento con cal, procesos adoptados probablemente por su facilidad de operación. En menor proporción son usados el composteo y muy rara vez, la digestión anaerobia (Moeller, G. 1997).

Recientemente se han realizado estudios que reportan que los lodos residuales que en México han significado un grave problema, pueden ser reutilizados sin riesgos a la salud y al ambiente. Una alternativa para la estabilización de los lodos residuales es la vermiestabilización, esta es una tecnología basada en la cría intensiva de lombrices para la producción de humus de alta calidad a partir de un sustrato orgánico, que incrementan del 10 al 85% el rendimiento de los cultivos en relación con fertilizantes comunes. Además, se ha demostrado que las vermicompostas originadas a partir de estiércoles, lodos de aguas negras o lodos de residuos de papel contienen grandes cantidades de sustancias húmicas (Atiyeh *et al.*, 2002; Canellas *et al.*, 2002).

Sólo si los lodos son procesados para darles apropiadas características bacteriológicas, químicas y físicas, se podrá expandir su uso para recuperar suelos erosionados y así evitar su confinamiento en rellenos sanitarios, que son cada vez más escasos.

En la presente investigación se estudia cómo obtener humus líquido, estos consisten en soluciones compuestas por ácidos húmicos y fulvicos disueltas en agua (Rechcigl, 1995), los cuales se aplican a través del riego.

Se ha probado en numerosos cultivos como aplicaciones foliares, lográndose en las plantas mayor desarrollo radicular, crecimiento del tallo, área foliar, floración y fructificación acentuada con más calidad, obteniéndose elevados rendimientos por área de cultivo y mejores condiciones para enfrentar las plagas con respecto a los cultivos no tratados (Arteaga, *et al* 2006).

1 FUNDAMENTOS DE LA VERMICOMPOSTA

1.1 Estado del Arte

Los primeros estudios acerca de la conversión de lodos a vermicomposta se llevaron a cabo inicialmente Mitchel, *et al*, en el Colegio de Ciencias ambientales y Forestales de la Universidad de Nueva York en Siracusa, EUA, en 1977. Posteriormente, Mitchel, *et al.*, 1980, investigaron el papel de *Eisenia foetida*, en la descomposición del lodo residual en los lechos de secado. En las vermicompostas producidas las bacterias aerobias y anaerobias fueron abundantes, y las bacterias dominantes no fueron entéricas, esto significa que se redujo la contaminación fecal.

En 1981, Hornor y Mitchell, estudiaron los efectos de *E. foetida* en los flujos del carbono volátil y de los compuestos de sulfuro de los lodos residuales, y Hartenstein sugirió el uso potencial de las lombrices como una solución para el manejo de lodos residuales. En sus estudios se seleccionaron dos especies *E. eugeniae* y *E. foetida*, debido a su alta tasa de reproducción y fácil manejo en condiciones de explotación a gran escala. Las principales observaciones del estudio fueron las siguientes:

- 1) La toxicidad de las heces fecales de las lombrices para ellas mismas significa la necesidad de retener *E. foetida* en la capa de lodo tanto tiempo como el requerido para convertir el lodo en vermicomposta.
- 2) El conocimiento de la cantidad del material que pasa a través del tubo digestivo de la lombriz por unidad de tiempo, para un determinado tipo de lodo, permite la predicción de la cantidad de lodo que se puede tratar por unidad de tiempo.
- 3) *E. foetida* pierde y gana peso rápidamente, sobre un ilimitado suministro de materiales orgánicos.

En 1984, Loehr et al, presentaron los resultados de una investigación del proceso de vermiestabilización en los que se había utilizado lodos residuales estabilizados y no estabilizados. Se evaluaron cuatro especies de lombriz: *E. foetida*, *E. eugeniae*, *P. Hawaiiana* y *P. Excavatus*. La especie *E. foetida* resultó con la mayor capacidad reproductiva.

El mejor crecimiento de *E. foetida* en cuanto a peso ganado ocurrió al utilizar un lodo que tuvo un contenido total de sólidos, con una base húmeda entre 9 y 17%. El mejor crecimiento y producción de huevos para las especies de lombrices ocurrió con una temperatura de 20 a 25°C. Con lodos líquidos y deshidratados, la vermiestabilización fue una función exitosa por largos periodos de tiempo: más de un año para lodo deshidratado y por lo menos seis meses para lodos líquidos. Los costos estimados indican que los costos de inversión y anuales de la vermiestabilización de lodo líquido son competitivos con respecto a otros sistemas de manejo de lodo.

En 1985, Loehr et al. de la Universidad de Cornell, evaluaron diferentes factores fundamentales que afectan el proceso de vermiestabilización tales como la temperatura, contenido de humedad y el uso combinado de diferentes especies de lombrices (policultivo). El mejor crecimiento y reproducción ocurrió a temperaturas de 20 a 25°C. El crecimiento de todas las especies se redujo a 30°C y la muerte ocurrió a 35°C. De las cinco especies, *E. foetida* produjo el mayor número de individuos juveniles en veinte semanas del estudio. El crecimiento de *E. foetida* ocurrió de manera óptima con un lodo con un contenido total de sólidos, base húmeda, de 9 a 16%. El policultivo no tuvo ninguna ventaja sobre el monocultivo.

En México se cuenta con experiencia en la vermiestabilización de residuos orgánicos, tales como los residuos de café y basuras. Existe la Asociación Mexicana de Lombricultores, AC, organismo no lucrativo constituido en 1999 por 25 lombricultores particulares, la mayoría situados en la zona centro del estado de Veracruz, Estado de México, Distrito Federal, Oaxaca, Puebla, Texcoco y San Luis Potosí.

En esta asociación se incluyen instituciones de investigación, como el Instituto de Ecología, AC, y Capacitación y Desarrollo Rural (Uncader).

El IMTA desarrolló para la CNA durante 1999 el proyecto denominado: Criterios y especificaciones técnicas para la disposición o uso de lodos residuales de plantas de tratamiento municipales. A partir de los resultados obtenidos se generaron porcentajes de mezclas óptimas de sustratos y parámetros de operación y diseño para la instalación a escala real de un sistema de vermiestabilización (Lina Cardoso, 199). Actualmente se han realizado estudios en diferentes universidades los cuales se resumen en la tabla 1.1.

Tabla: 1.1. Antecedentes

AUTOR	LUGAR Y FECHA DE PUBLICACIÓN	TITULO	CONTENIDO
José V. Martín Sánchez	Enero2004 Departamento del medio ambiente, Madrid España	Efecto de la vermicultura en la descomposición de residuos orgánicos	En la transformación de residuos urbanos se comprobó que existen diferencias significativas en el efecto de porcentaje de lodo existiendo un descenso drástico en la cantidad de lombrices del medio cuando el porcentaje de lodo en la mezcla supera el 50%.
Ma. Magdalena Ortega Silva	Sin fecha Universidad Autónoma del estado de Morelos	Estabilización de lodos residuales municipales por medio de la técnica de lombricompostaje	El porcentaje de materia orgánica y los resultados de los macronutrientes obtenidos de los diferentes tratamientos, demuestran su alto potencial como fertilizantes.
Lina Cardoso Vigueros	Octubre 2002 Instituto Mexicano de tecnología del agua	Sistema de vermiestabilización para plantas de tratamiento municipal	El uso de la vermicomposta es seguro para la salud humana debido a la reducción de patógenos que se logró (100% en coliformes fecales y 100% en huevos de helminto).
Soriano, M.D.	Julio 2008 Universidad Politécnica de Valencia	Estabilización de residuos de vinazas y lodos de depuradora o vinasas presenta concentraciones de nutrientes y de metales pesados que lo hacen apto para su utilización agrícola	la vermicomposta final obtenido utilizando estiércol de conejo y lodos de depuradora presenta concentraciones de nutrientes y de metales pesados que lo hacen apto para su utilización agrícola.

1.2. Papel de las lombrices en el vermicomposteo

Las lombrices de tierra son consumidores voraces de residuos orgánicos y aun cuando sólo utilizan sólo una pequeña porción para la síntesis de sus cuerpos, ellas excretan una gran parte de los residuos consumidos en una forma medio digerida. Puesto que los intestinos de las lombrices contienen una amplia gama de microorganismos, enzimas, hormonas, etc., éstos materiales medio digeridos se descomponen rápidamente y son transformados a una forma de vermicomposta en un período de tiempo corto (Ghosh *et al.*, 1999).

Hoy en día existen diversas evidencias de que las lombrices de tierra provocan diferentes efectos benéficos, físicos, químicos y biológicos, sobre los suelos y diversos investigadores han demostrado que estos efectos pueden incrementar el crecimiento de la planta y el rendimiento de los cultivos tanto en ecosistemas naturales como en los ecosistemas manejados. Estos efectos se han atribuido al mejoramiento de las propiedades y la estructura del suelo, a una mayor disponibilidad de los elementos nutritivos para las plantas, y a una creciente población microbiana y metabolitos biológicamente activos, como los reguladores de crecimiento de la planta (Atiyeh *et al.*, 2002).

Las lombrices, durante el proceso de alimentación, fragmentan los residuos, incrementan la actividad microbiana y los índices de descomposición y/o mineralización de los residuos orgánicos, alteran las propiedades físicas y químicas de los materiales, provocando un efecto de composteo o humificación mediante el cual la MO inestable es oxidada y estabilizada. El producto final, comúnmente llamado vermicomposta (VC) es obtenido conforme los residuos orgánicos pasan a través del intestino de la lombriz, y es bastante diferente al material original (Atiyeh *et al.*, 2000a). Además, se ha demostrado que bajo la acción de las lombrices se incrementa tanto la velocidad de mineralización del N como los índices de conversión del N-NH_4^+ a N-NO_3^- (Atiyeh *et al.*, 2000b; Atiyeh *et al.*, 2000c; Atiyeh *et al.*, 2002).

Mientras los microorganismos son responsables de la degradación bioquímica de la MO en el proceso de vermicomposteo, las lombrices son importantes para acondicionar el sustrato y para promover la actividad microbiana. Las lombrices actúan como batidoras mecánicas ya que éstas desintegran el material orgánico, incrementan el área superficial expuesta a los microorganismos y mueven los fragmentos y los excrementos ricos en bacterias, en consecuencia homogenizan el material orgánico (Domínguez *et al.*, 2003). Adicionalmente, la actividad de las lombrices en el proceso de vermicomposteo es tanto física/mecánica y bioquímica. Los procesos mecánicos incluyen: aeración del sustrato, mezclado, y molienda.

El proceso bioquímico es afectado por la descomposición microbiana del sustrato en el intestino de las lombrices (Buck *et al.*, 2000). También, a diferencia del tradicional tratamiento microbiano de los residuos, el vermicomposteo provoca la bioconversión de los desechos en dos productos de utilidad: la biomasa de la lombriz y la VC (Ghosh *et al.*, 1999; Ndgewa *et al.*, 2000; Domínguez *et al.*, 2001;).

La aplicación de lombrices a los residuos orgánicos acelera la estabilización de estos materiales en términos de descomposición y mineralización de la MO, generando un medio más apropiado para el crecimiento de la planta (Atiyeh *et al.*, 2000b). Por lo tanto, el empleo de las lombrices de tierra en la descomposición de una amplia gama de residuos orgánicos, incluyendo lodos de aguas negras, desechos de animales, residuos de cultivos, y residuos industriales, para generar vermicompostas se ha incrementado de manera considerable (Atiyeh *et al.*, 2002).

2 LA COMPOSTA COMO ALTERNATIVA PARA REMEDIAR DESECHOS SÓLIDOS

2.1. Características de la composta

Como una alternativa para remediar el gran perjuicio que representa la contaminación por desechos sólidos, se han realizado investigaciones para transformar la materia orgánica en productos de utilidad para la agricultura, es de esta manera que se industrializan los procesos de composteo, los cuales al llevarse a cabo en forma científica adecuada, pueden contribuir a la solución de importantes problemas que inquietan a las sociedades modernas.

La composta es un producto negro, homogéneo y por regla general, de forma granulada, sin restos gruesos. Al mismo tiempo es un producto húmico y cálcico, obtenido de la fermentación sólida de los residuos orgánicos. Es ideal desde el punto de vista higiénico y se puede utilizar para la horticultura, agricultura, silvicultura, el mejoramiento del suelo o la arquitectura del paisaje (García y Soto 2002, Röben, 2002).

La utilización de los procesos de fermentación en medio sólido han servido para aprovechar diferentes residuos de origen agrícola, agroindustrial y municipal. Se han estudiado residuos como son: pajas, rastrojos, bagazos y pulpas, para la producción de antibióticos, enzimas, alimento destoxificado para ganado, biofertilizantes y sustrato para el cultivo de hongos comestibles. En todos los casos empleando las técnicas de fermentación sólida como una alternativa tecnológica eficiente (Velasco y Volke 2003, García 2002).

El composteo es un proceso biológico en el cual la materia orgánica se transforman en humus mediante el proceso de fermentación aerobia en fase sólida aprovechando el "autocalentamiento" que se genera por la actividad microbiana de diferentes poblaciones nativas, promoviendo la biodegradación de la materia orgánica, en condiciones controladas se deben mantener la temperatura, la relación carbono-nitrógeno que oscila entre 25:1

respectivamente, aireación y una humedad entre un 50%-60%, con el objetivo de obtener un producto estable. La biomasa microbiana juega un papel crucial en el ciclo del carbón, la humificación de la materia orgánica y el proceso de mineralización; también es determinante en el ciclo del nitrógeno, con la transformación de la materia orgánica en elementos minerales.

Durante el proceso de composteo los sustratos con mayor contenido de carbono son los primeros en ser transformados en estructuras más sencillas para posteriormente ser oxidados, con el objetivo de producir CO₂, calor y finalmente transformarlos de compuestos estables (Barral *et al.*, 2007, Chang 2006, García 2002, Kiyohiko *et.al*, 2005, Layla *et. al.*, 2006, Sauri y Castillo 2002)

2.2. Tipos de composta

Muchos residuos orgánicos considerados como basura se utilizan para obtener productos con valor agregado, mediante el composteo. Éste como se mencionó es un proceso biooxidativo que ocurre por transformaciones microbianas en condiciones controladas. Cuando en el proceso, participan lombrices (*Eisenia foetida*, *lumbricus rubellus* y *Eisenia andrei*, *Aporrectodea giardi*) se le llama vermicomposteo. Mediante este proceso, las lombrices de tierra ayudan a mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, aumentando la disponibilidad de los minerales para el crecimiento de las plantas, incrementa la población microbiana y el rendimiento de las cosechas.

Se ha reconocido la habilidad de algunas especies de lombrices para consumir y fragmentar un amplio rango de residuos orgánicos tales como lodos residuales, desechos de animales, residuos de cosechas y residuos industriales. Esto permite mejorar la actividad microbiológica y acelerar la descomposición, llegando así a la humificación de estos materiales, oxidando y estabilizando la materia orgánica como un proceso de composteo no termofílico.

Al final del proceso se obtiene el producto llamado vermicomposta, que usualmente es más estable que los materiales originales incrementando la disponibilidad de nutrientes y mejorando las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas (Atiyeh y *et. al*, 2001, 2002, Pasqualoto y col., 2002).

El composteo permite obtener abono orgánico para los cultivos. Diversos investigadores han analizado el contenido nutrimental y microbiológico de materiales que han sido sometidos al proceso de composteo o vermicomposteo con el fin de evaluar su calidad.

Las características químicas y microbiológicas de las compostas y vermicompostas son muy semejantes. Sin embargo, la respuesta de los cultivos a la aplicación de vermicomposta suele ser en ocasiones superior a la de la composta convencional en el crecimiento de semillas de tomate, mejorando la cantidad del número de hojas y el tamaño del retoño (García 2002, Atiyeh *et. al*, 2002).

2.3. Usos de la composta

El uso de composta en la agricultura es una herramienta valiosa, ya que su empleo promueve un mayor rendimiento en los cultivos, además de impulsar la agricultura sustentable. Incluso los agricultores han observado que en un suelo enriquecido con composta los cultivos son menos susceptibles a enfermedades y parásitos. Adicionalmente se logra disminuir los costos de producción, reducir el uso de pesticidas y así conservar los recursos naturales (García 2002, Sauri y Castillo 2002).

El uso de compostas ha promovido el estudio de su capacidad natural para prevenir, suprimir o curar enfermedades, dada la incorporación de microorganismos, metabolitos específicos o precursores de éstos contra las enfermedades. La existencia de esta especificidad, puede promover su aplicación a cosechas infectadas, con buenos resultados. Investigaciones recientes han mostrado que el empleo de composta redujo o substituyó significativamente la aplicación de los pesticidas, fungicidas y nematicidas, sin afectar los recursos naturales como fuentes de agua, a demás de proporcionar seguridad a la cosecha y al trabajador.

Su uso puede también ser más rentable que los tratamientos químicos del suelo, tales como bromuro metílico el cual se usaba como insecticida, nematocida con efecto fungicida, acaricida, rodenticida y herbicida.

El suelo tratado con composta conserva el agua de la irrigación, bajando los costos en el uso de agua. Los productos químicos también se deben aplicar más a menudo que la composta teniendo requisitos sobre su uso como por ejemplo: al ser aplicados al campo, prohíben su acceso inmediato posterior a su aplicación en un lapso de tiempo, reduciendo así la productividad (García 2002).

El empleo de la composta como fertilizante se basa en que puede suprimir algunos tipos de parásitos, tales como infecciones parasitarias por nematodos (gusanos y/o lombrices), además de su uso en el control de plagas y enfermedades. La composta debidamente caracterizada y formulada puede incluir un gran número de poblaciones microbianas mayores a las presentadas por los suelos fértiles, induciendo la eliminación de nematodos o evitando su reproducción, cortando su ciclo de vida.

2.4. Naturaleza de la materia biodegradable

En general los principales residuos biodegradables que se incluyen en el proceso de composteo son de origen agrícola, tanto de naturaleza animal como vegetal. También se incluyen los desechos líquidos, los residuos sólidos urbanos (RSU) y desechos del tratamiento de aguas residuales, industriales así como los desechos de madera; desechos agroindustriales como los residuos azucareros, vinícolas y cafeteros (Muñoz , 2005).

2.5. Tamaño de las partículas

La mayoría de los residuos son de forma irregular y con poca superficie específica por lo cual es importante reducir el tamaño de estos mediante el uso de maquinaria de corte, con el fin de incrementar la velocidad de las reacciones bioquímicas que favorecen la actividad microbiana (Röben, 2002). Se aconseja un tamaño adecuado de partículas de entre 1-5cm., de diámetro. El exceso de partículas pequeñas puede favorecer la putrefacción, lo que no es ideal para la producción de la composta (Muñoz, 2005).

2.6. Criterios de calidad

La calidad refleja la madurez de la composta y, la obtención de un producto orgánico estable. La calidad de las compostas está relacionada con el material original (grado de digestión, contenido original de nutrientes, etc.) y el sistema de composteo utilizado. Para evaluar la calidad de los materiales orgánicos, durante y al final del proceso de composteo, se proponen criterios basados en la cuantificación de los parámetros físicos, químicos y biológicos. Estos criterios definen las características benéficas de la composta y permiten recomendar su aplicación para diferentes finalidades agrícolas. En la tabla 2.1 se muestran algunas características que debe tener una composta para ser comercialmente aceptable (Muñoz, 2005).

Tabla 2.1. Características de una composta comercialmente aceptable

CARACTERÍSTICA	RANGO OPTIMO
pH	6-8
ρ (g /L)	450-750
Cenizas (%)	60-75
Humedad (%)	36-50
Materia orgánica (%)	25-45
Color	Café negro
Olor	Tierra
Conductividad eléctrica (μ S/cm)	75 – 100

Fuente. Muñoz, 2005; García, 2002.

3 SUSTANCIAS HÚMICAS

3.1 Características de las sustancias húmicas

Las sustancias húmicas no pertenecen a ningún grupo funcional conocido. Su color es pardo-negruzco, los colores pardo oscuro a negros son característicos de aquellas sustancias húmicas de pesos moleculares altos, en cambio las fracciones de pesos moleculares bajos poseen colores pardos claros o amarillentos. Las sustancias húmicas poseen un peso molecular relativamente elevado que va desde 2000 a 4000 Da; encontrándose el 75% de ellos en valores inferiores a 10000 Da. En estado natural, los ácidos húmicos y fúlvicos están íntimamente ligados a arcillas (Fernández y Ortega, 2003, White, 2005).

3.2. Composición y estructura de las sustancias húmicas y fúlvicas

La gran complejidad que presentan las sustancias húmicas, en cuanto a su composición y estructura, ha hecho necesario grandes esfuerzos para conocer su composición que depende del origen y método de extracción, sin embargo las similitudes entre las diversas sustancias húmicas son numerosas más que sus diferencias. Dichas analogías son las que han hecho que estos productos sean identificados como un grupo de sustancias, además, los resultados de las mediciones y propiedades de las sustancias húmicas suelen ser valores medios debido precisamente a esa heterogeneidad.

Los resultados de los análisis elementales de estos compuestos muestran que del 98% al 100% de sus elementos (libres de cenizas) son C, H, O, N, S, y P, en general los ácidos fúlvicos presentan mayores contenidos de oxígeno y menores de carbono (Ramos 2000).

Sánchez (2002), encontró que las estructuras de los ácidos húmicos muestran un mayor grado de complejidad que las de los ácidos fúlvicos. Los ácidos húmicos tienen una menor relación Hidrogeno/Carbono que los ácidos fúlvicos, la acidez total de los ácidos fúlvicos prácticamente duplica a la de los ácidos húmicos, esta mayor acidez de los ácidos fúlvicos se debe a que estas presentan un contenido mayor en grupos carboxílicos (-COOH) e hidroxílicos (-OH), presumiblemente fenólicos

3.3. Efectos de las sustancia húmicas y fúlvicas

El crecimiento y producción de las plantas depende de la nutrición mineral, agua, aire y de otros parámetros ambientales como la luz y temperatura. La genética es la principal artifice de la mejora productiva de muchas especies vegetales.

La creciente capacidad del control de los parásitos y el mayor conocimiento de la fisiología vegetal han contribuido de manera muy significativa a dichos avances y es aquí donde las sustancias húmicas juegan un papel decisivo, en la capacidad de absorción y traslocación de nutrientes en las plantas, de manera que cada proceso de biosíntesis se ve optimizado con beneficios productivos y cualitativos. Hasta ahora las sustancias húmicas se han empleado como mejoradores de la fertilidad de los suelos para optimizar la estructura, permeabilidad, niveles de materia orgánica, etc, (Ramos, 2000).

En suelos con bajos contenidos de materia orgánica tienden a disminuir por la mineralización, las labores agrícolas, así como por el empleo de abonos minerales de origen industrial.

Esta disminución en los suelos se traduce en un deterioro de las propiedades físico-químicas así como en una mayor erosión debido a la pérdida de la productividad a mediano y largo plazo. Desde el punto de vista de las plantas, conviene distinguir entre los efectos indirectos y directos de las sustancias húmicas.

En los primeros la materia orgánica humificada puede mejorar la fertilidad del suelo a través de su efecto en el aporte de nutrientes (N, P, S, etc.) a las raíces, mejora la estructura del suelo, incrementa la actividad microbiana, aumenta la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y tampón del suelo, formando complejos estables con Cu^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} aumentando la disponibilidad de micronutrientes para las plantas. También ayuda al oscurecimiento del suelo, de manera que facilita su calentamiento y evita la pérdida de agua (Ramos 2000, Hernández *et.al.*, 2007).

En los últimos años, las investigaciones sobre sustancias húmicas se han centrado en las acciones directas, de los efectos bioestimulantes, considerando la implicación de estos productos en los diferentes procesos fisiológicos y bioquímicos que tienen lugar en la planta (Ramos, 2000).

El hecho de que las sustancias húmicas puedan tener un efecto directo sobre el desarrollo vegetal, implica su absorción por las plantas. Existen estudios realizados por (Prat *et.al.*, 1959) muestran la absorción de las sustancias húmicas usando C^{14} unido al material orgánico. Sin embargo, solo una pequeña fracción del material absorbido es transportada hacia la parte aérea de la planta. Otras investigaciones realizadas por Ramos (2000) muestran que los ácidos fúlvicos son transportados en mayor medida hacia la parte aérea que los ácidos húmicos.

De la misma manera en estos estudios se encontró que el total de los ácidos húmicos que son absorbidos por raíces de trigo, aproximadamente un 5% son transportados hacia el tallo. Así mismo, demuestran que la proporción de absorción de ácidos fúlvicos/ácidos húmicos se incrementa con el tiempo de incubación en el invernadero, indicando una absorción preferente de sustancias de bajo peso molecular.

Se afirma también que, las fracciones de ácidos húmicos de bajo peso molecular son absorbidas tanto activa como pasivamente, mientras los ácidos húmicos de peso molecular superior a 5000 Da son absorbidos sólo de forma pasiva. Casi todas las fracciones de sustancias húmicas de bajo peso molecular son absorbidas activamente por plantas y, los ácidos fúlvicos pueden ser biológicamente más activos que los ácidos húmicos (Ramos, 2000).

4 GENERALIDADES DE LODOS RESIDUALES

4.1. Generación de lodos residuales

Un tren de tratamiento de aguas residuales puede incluir 5 etapas (figura 4.1).

La primera etapa es el tratamiento preliminar, se eliminan los materiales de gran tamaño hasta de 1 cm de diámetro y de densidad específica de alrededor de 1.5, utilizando rejillas, desarenadores, y desgravadoras. La segunda etapa es el tratamiento primario, en donde se eliminan por sedimentación partículas con velocidades de sedimentación de hasta 0.1 m/h (tamaño de partículas entre 1 cm y 1 mm), deben eliminarse cerca del 90 a 95 % de sólidos sedimentables y entre el 20 y 40% de la materia orgánica; en esta operación se generan los llamados lodos primarios. La tercera etapa es el tratamiento secundario, que generalmente es biológico, se elimina por oxidación la materia orgánica soluble, utilizando bioreactores anaerobios y aerobios. Aquí se generan lodos secundarios; anaerobios estabilizados o lodos aerobios no estabilizados.

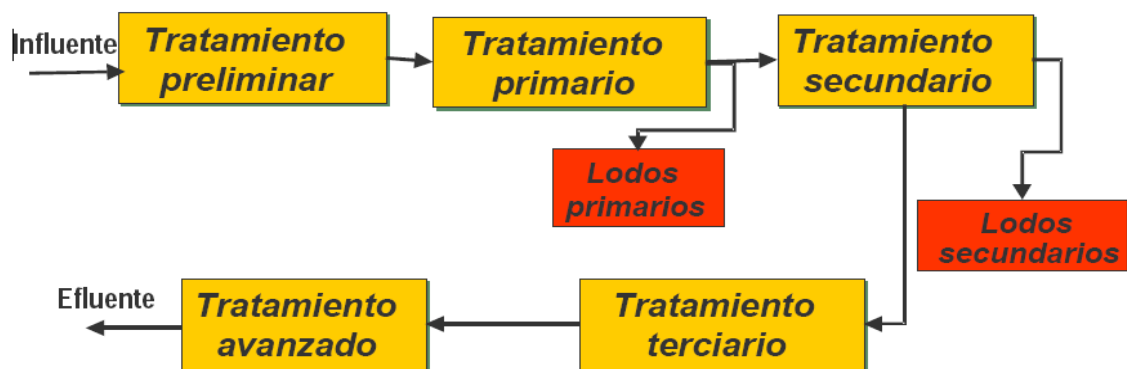


Figura 4.1. Generación de lodos residuales en el tren de tratamiento de aguas residuales.

La cuarta etapa es el tratamiento terciario, que tiene como finalidad eliminar sólidos suspendidos finos, así como nutrientes que pudieran favorecer el crecimiento de microorganismos quimiolitótrofos, algas y algunas plantas. Finalmente, en función del destino del agua tratada se puede incluir una quinta etapa, que son tratamientos avanzados, utilizando técnicas fisicoquímicas para su proceso.

En México las plantas de tratamiento de aguas residuales no están obligadas a tratar los lodos residuales y el uso común es devolverlos al alcantarillado.

4.2 Características de los lodos residuales.

Los lodos residuales (LR) son una mezcla de aguas negras y sólidos sedimentables. Por su origen reciben el nombre de primarios o secundarios.

El contenido de sólidos suspendidos totales (SST) en los LR está en función de distintas variables como por ejemplo: los periodos de almacenamiento, los SST del líquido crudo, la carga orgánica soluble y la edad del lodo, así como del empleo de sales para favorecer su precipitación y de la cantidad de fósforo en los efluentes (Carrozzi y Steinle, 1994). Además de estas variables se debe considerar si los lodos son de origen industrial, doméstico o combinados (industrial, comercial y doméstico). La composición estará también en función del país que lo genera, por su grado de desarrollo industrial e idiosincrasia.

Así como las aguas residuales, también los lodos deben someterse, en general, a algún tratamiento capaz de modificar sus características para que pueda disponerse de ellos sin poner en peligro la salud o causar molestias.

4.3. Concentración de sólidos en los lodos residuales.

Para lograr que los procesos de estabilización de LR sean más eficientes y económicamente rentables, los LR se deben concentrar para manejar menores volúmenes y poder trabajar tiempos de retención más largos. Si se trabaja en continuo se requiere menor potencia de bombeo y se disminuyen los requerimientos de calor y energía (Metcalf y Eddy, 1996).

Si los LR contienen un 0.78 % de SST y se concentran por gravedad se puede llegar hasta composiciones del 1.7 % (Yub *et al.*, 1997). Utilizando otras tecnologías para la concentración de LR se pueden llegar a valores promedio de 6 y 7 %, siendo el primero el 7 limite recomendado para evitar problemas en el mezclado y en la operación de los equipos de bombeo para LR con 0.75 gSSV/gSST (Metcalf y Eddy, 1996).

La mayor parte de los LR secundarios es biomasa que es cuantificada como SSV. El valor promedio de la concentración de sólidos tiene grandes variaciones debido a que se utilizan diferentes tecnologías para eliminar agua. La tecnología utilizada está en función de los requerimientos de los procesos utilizados en su estabilización.

Como se puede observar en la tabla 4.1 el espesamiento de los lodos puede implicar gastos adicionales importantes en el tratamiento, por lo que valdría la pena realizar un análisis más detallado de esta influencia sobre los gastos totales del tratamiento, pues incluso los pretratamientos realizados a los lodos pueden generar más gastos entre mayor sea la concentración de SSV.

Tabla 4.1. Características de lodos residuales primarios y secundarios.

(Yue et al.,(1995))				
	Lodos primarios		Lodos secundarios	
	crudos	espesados	crudos	espesados
SST, g/L	26	30-50	3.8	37-42
SSV, g/L	20	29-32	3.0	30-33
DQO g/L	56	50-70	6.41	45-65
DQO soluble, g/L	3.59		0.13	0.5
Coliformes totales NMP/g ST		10^7 - 10^9	10^5 - 10^8	
Coliformes fecales NMP/g ST		10^6 - 10^8	10^5 - 10^7	
Alcalinidad mg/L como CaCO ₃		800-1500	1000-1700	
pH	6.4	5.0-6.0	5.5-6.5	6.48

Los LR están compuestos por proteínas, lípidos, carbohidratos y ácidos nucleicos. Los carbohidratos presentes están en forma de polisacáridos. Estos polisacáridos son predominantemente azúcares simples y derivados unidos por enlaces glucosídicos. Muchos polisacáridos son insolubles en agua y pueden formar suspensiones coloidales (Gaudy y Gaudy, 1980).

Las proteínas se dividen en dos grupos generales: proteínas globulares y fibrosas. Las fibrosas son de gran importancia en la construcción del tejido animal. Su función es biológica y estructural, son insolubles en agua y muy estables a cambios de pH y temperatura. Las proteínas globulares son solubles en agua y forman suspensiones coloidales. Estas proteínas principalmente tienen funciones de regulación y son muy sensibles a los cambios de pH y temperatura (Engbersen y de Groot, 1988).

La mayoría de las grasas en los residuos complejos son ésteres de triglicéridos. Alrededor del 90% de estos triglicéridos están compuestos de glicerol y ácidos mirístico (C14:0), palmítico (16C:0) esteárico (C18:0), oleico (C18:1) y linoleico (C18:2). Los lípidos son insolubles en agua y tienen carácter hidrofóbico (Viswanathan *et al.*, 1962).

Tabla 4.2. Composición de los sólidos totales de los lodos residuales secundarios.

	Kyung <i>et al</i> (1977)	Yue <i>et al.</i> (1995)	Tatsuo <i>et al.</i> (19939	Tanaska <i>et al.</i> (1977) no espesados	Lucero <i>et al.</i> (1990) no espesados
DQO	15.7	55.0		9.2	
SST (g/L)	17.0	40.0	18.3	7.0	7.7
SSV (g/L)	10.9	31.0	15.5	6.1	5.6
Proteínas %			64.7	42.7	
Lípidos%			9.4	29.4	
Carbohidratos %			10.6	16.0	
Ácidos nucleicos %			11.8		
Otros %			3.5		
Alcalinidad (mg/L)		1000-1700			
pH		5.5-5.6			

En la tabla 4.2 se muestran datos referentes a la composición de los sólidos totales en los lodos residuales secundarios. Las variaciones en la composición de los LR secundarios es función del tipo de efluente que trata la planta de tratamiento de aguas residuales.

4.4. Manejo ambientalmente adecuado de lodos

El manejo correcto de lodos debe contener acciones de: prevención, revalorización y disposición ambientalmente adecuada de los mismos. La prevención consiste en reducir potencialmente la generación de lodos al reducir la contaminación y uso del agua. La revalorización del agua y/o contaminantes como de los lodos generados se puede lograr reciclando el agua, metales u otros materiales residuales generados en los procesos de producción, sin embargo; lo que no pueda ser revalorizado debe ser dispuesto finalmente de manera ambientalmente adecuada y segura.

Dependiendo de los diferentes procesos, pueden presentarse las siguientes alternativas generales:

- a) Lodo peligroso por la presencia de contaminantes tóxicos de acuerdo a lo establecido en México por la norma NOM-004- SEMARNAT-2002
- b) Lodo no peligroso, porque las concentraciones de sus componentes son inferiores a los valores establecidos por la NOM-004- SEMARNAT-2002 en la que se definen la clasificación de los biosólidos como excelente o bueno en función de su contenido de metales pesado en clase A, B y C, Tabla 4.3 y en función de su contenido de patógenos y parásitos como se observa en la tabla 4.4 así como el aprovechamiento de los mismos en la tabla 4.5.

Tabla: 4.3. Clasificación del lodo por contenido metales pasados

Contaminante (determinados en forma total)	Excelentes mg/kg en base seca	Buenos mg/kg en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Plomo	1500	4300
mercurio	300	840
Níquel	17	57
Zinc	420	420
	2800	7500

Fuente NOM-004-SEMARNAT-004

Tabla 4.4. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos

Clase	Indicador bacteriológico	Patógenos	Parásitos
	<i>Coliformes fecales</i>	<i>Salminella s.p.p.</i>	Huevos de Helminto/g
	NMP/g en base seca	NMP/g en base seca	en base seca
A	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 1 (a)
B	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2000 000	Menor de 300	Menor de 35

(a) huevo de helmintos viable.

Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2002.

Tabla 4.5. Aprovechamiento de biosólidos.

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación.
Excelente o bueno	B	Los establecidos para la clase B y C. Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación.
Excelente o bueno	C	Los establecidos para la clase C. Usos forestales. Mejoramiento de suelos Usos agrícolas.

Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2002

5 PROCEDENCIA DEL LODO RESIDUAL

5.1 Planta de tratamiento de aguas residuales OPDM

La PTAR (planta de tratamiento de aguas residuales), utiliza agua residual municipal captada por el sistema de drenaje del OPDM. Fraccionamiento los Rosarios. Con una producción de 100 lps (8640 m³/día). Cuenta con un tratamiento biológico con tecnología de punta y un sistema de redundancia y flexibilidad que permite garantizar el abasto del agua tratada de alta calidad de forma continúa.

Esta se encuentra ubicada en el municipio de Tlalnepantla la cual lleva a cabo el saneamiento del 10% de la generación de aguas residuales en el municipio. El agua tratada en la planta es colocada para su comercialización aplicada en el reusó industrial, público urbano, y servicio de agua contra incendios. A efecto de evitar la sobre explotación de aguas subterráneas, que lleva al desequilibrio en los recursos.

5.2. Descripción de la planta de tratamiento de aguas residuales

El proceso de tratamiento de agua residual domestica consta de tres etapas las cuales son: Tratamiento Preliminar, Tratamiento Primario y Tratamiento Secundario.

5.3. Tratamiento Preliminar

➤ Cribado

En el tratamiento preliminar el agua residual entra a la obra de toma y pasa por cribado, esta etapa sirve para eliminar los sólidos de gran tamaño presentes en el agua residual. Se realiza mediante rejillas, con aberturas entre 5-90 mm.

➤ Desarenadores

Posteriormente pasa al cárcamo de agua residual, donde es succionado por bombas para ser enviada al cabezal de distribución a la unidad.

El desarenador tiene como objetivo la separación de sólidos en suspensión, los cuales son eliminados hasta un 80%, el tiempo de retención aproximado de 2 a 3 h. En los tanques de sedimentación primaria el agua entra por la parte superior donde se colocan mamparas para evitar la turbulencia de la caída del agua cruda.

El lodo sedimentado en este proceso es depositado por medio de las rastras en la tolva y este es desechado para ser enviado a los digestores de lodos.

5.4. Tratamiento primario

➤ Reactores biológicos

Cuenta con dos reactores tipo SBR (Reactor secuencial Batch), donde se llevan a cabo los siguientes procesos:

- a) Estabilización de materia orgánica
- b) Nitrificación y desnitrificación
- c) Desfosforilación
- d) Sedimentación y decantación

A través de estos procesos se logra la remoción y separación de materia orgánica y nutriente.

5.5. Tratamiento secundario

➤ Sedimentador secundario

Al final del periodo de aeración, el agua tratada pasa al sedimentador secundario, el cual tiene por objetivo sedimentar los lodos activados, por medio de la formación de flóculos, para cumplir con este fin es agregado sulfato férrico para eliminar color y fosfatos, el lodo activado sedimentado es arrastrado hacia las tolvas que se encuentran en el fondo del tanque por medio de un sistema de rastras en donde es enviado a los digestores de lodo

➤ Tanque de postigualación

En este punto el agua es clorada con hipoclorito de sodio, con el fin de disminuir la carga microbiana.

➤ Filtros de arena

El efluente una vez que se cloro pasa a los filtros de arena, los cuales están compuestos por grava arena y antracita, con el fin de eliminar partículas e impurezas restantes del agua.

➤ Tanque de agua filtrada

Una vez filtrado el efluente es almacenado en el tanque de agua filtrada para su posterior distribución.

5.6. Proceso de degradación de lodos

➤ Digestor de lodos

Los lodos primarios (lodos sedimentados en el desarenador) y los lodos activados (sedimentados en el sedimentador secundario), son enviados al digestor de lodos en el cual son aireados, para posteriormente pasarlos al tanque de lodos.

➤ Tanque de lodos

En este tanque se agrega un polímero para coagular, y posteriormente enviarlos al filtro prensa en el cual es eliminado el exceso de agua, y se disponen en contenedores para ser dipuestos como relleno sanitario.

➤ Tanque de agua recuperada

El agua que es recuperada del proceso de degradación de lodos es incorporada, de nueva cuenta al tanque desarenador.

En el diagrama de flujo 5.1 se puede apreciar el tren de tratamiento descrito anteriormente.

El lodo generado en esta planta de tratamiento se estabiliza por digestión aerobia y es deshidratado por medio de una prensa mecánica, este tratamiento previo, favorece al proceso de vermicomposta, ya que el lodo debe de ser estabilizado para usarlo como sustrato (Cardoso, 1999).

Por otra parte el agua tratada en esta PTAR es de origen municipal, lo cual reduce la probabilidad de que contenga metales pesados, los cuales contaminan la composta obtenida y por ende el humus líquido.

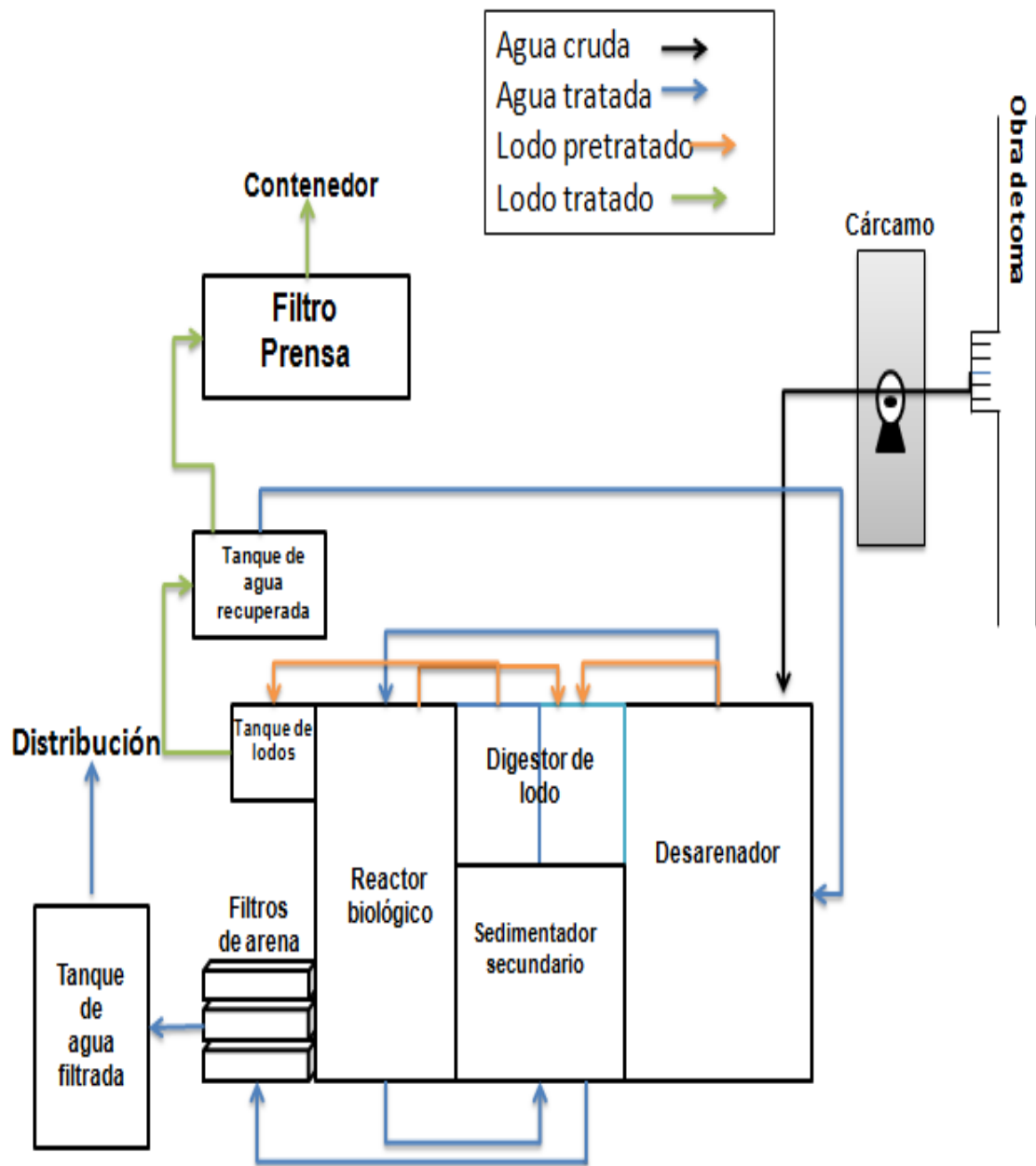


Figura: 5.1. Diagrama de flujo de la planta de tratamiento OPDM

6 *Eisenia foetida*

6.1 Biología de la lombriz

La lombriz de tierra es un organismo biológicamente simple, su peso total lo constituye el agua en un 80 a 90%; presenta variaciones de colores debido a los pigmentos protoporfirina y éster metílico. Dicha pigmentación la protege contra la radiación de la luz ultravioleta; tiene forma cilíndrica, con secciones cuadrangulares, variando en cuanto a tamaño, de acuerdo a las especies de 5 a 30 cm de largo y su diámetro oscila entre 5 a 25 mm, variando el número de segmentos de 80 a 175 anillos.

En la actualidad se le está prestando mucha atención a su crianza, desarrollándose nuevos métodos debido a la importancia que tiene en la descomposición de los residuos orgánicos; usándose además como carnada en la pesca, alimento para especies domésticas, producción de humus, reciclaje de estiércol animal, transformación ecológica de materiales biodegradables producidos por la industria y poblaciones urbanas e industrias farmacéuticas.

En las explotaciones comerciales de las lombrices se han trabajado con algunas especies, entre ellas:

FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE
<i>Megascolecidae</i>	<i>Eodrilus</i>	<i>eugenia</i>
	<i>Perionyx</i>	<i>excavatus</i>
	<i>Pheretima</i>	<i>hawayana</i>
	<i>Pheretima</i>	<i>asiática</i>
<i>Lumbricidae</i>	<i>Eisenia</i>	<i>foetida</i>
	<i>Lumbricus</i>	<i>rubellus</i>
	<i>Lumbricus</i>	<i>terrestris</i>

Todas ellas pertenecientes a la Clase Oligochaeta o lombrices de tierra.

6.2. Características de los anélidos

La taxonomía de la lombriz de tierra, clasificada dentro del reino animal es la siguiente:

Reino: Animal

Sub reino: Metazoos

Tipo: Anélida Phylum: Protostomía

Clase: Anélida

Orden: Oligochaeta

Familia: Lumbricidae

Especies: *L. rubellis*, *L. terrestris*, *E. foetida*

La clase anélida se divide en tres órdenes: Polychaeta, Oligochaeta e Hirudíneas.

Todos los anélidos se caracterizan por su marcado metamerismo; es decir la división del cuerpo en segmentos (anillos) o partes similares. La evolución de las lombrices respecto a las formas inferiores, es precisamente esta segmentación y cada segmento representa una unidad subordinada del cuerpo que puede especializarse para determinadas funciones.

Hay alrededor de 2000 especies, teniendo también dentro de sus características, pocas cerdas. La mayoría de ellas se encuentran en agua dulce y lugares terrestres húmedos, pesa 0.6 gr en estado adulto, mide 6 cm de longitud, consume lo equivalente a su peso al día y expulsa un 60% como material humificado.

6.3. Características externas de la lombriz

Color: no siempre lo determina el pigmento de la piel, sino que a veces la sangre o el contenido del intestino; lo cual se manifiesta a través de las paredes del cuerpo. No obstante, algunas especies como las clasificadas *detritívoras* (se alimentan de mantillo vegetal o estiércol animal), la pared del cuerpo está coloreada intensamente con pigmentos rojos, identificados como *protoporfirina*; mientras que las *geófagas* (se alimentan exclusivamente de suelo junto con materia orgánica) generalmente son de color pálido.

Forma: el cuerpo es un tubo bilateral-mente simétrico; tiene forma cilíndrica.

Segmentos: llamados también metámero, son anillos distribuidos en todo el cuerpo, generalmente comprende de 80 a 175 anillos; entre cada uno de ellos existen surcos inter segmentarios. Tanto los órganos internos como la pared del cuerpo se encuentran segmenta-dos, separados entre sí por tabiques transver-sales llamados septos.

Prostomio: pequeña protuberancia dorsal que comienza en el primer segmento, del cual está separado por un surco.

Peristomio: se llama así al primer segmento, donde se encuentra la boca; no tiene quetas o cerdas.

Quetas o cerdas: cada segmento, con excepción del primero, posee cuatro pares de quetas o cerdas, provistas de pequeños músculos, cuya función es la locomoción. También están ausentes en la última porción del cuerpo, llamado pigidio, el cual no forma segmento.

Poros dorsales: son pequeñas aberturas ubicadas en los surcos inter segmentarios a lo largo de la línea media dorsal.

Nefridioporos: aberturas pares excretoras que se repiten en cada segmento del cuerpo.

Poros espermatecales: raramente ausentes, ubicados entre los surcos inter segmentarios.

Poros femeninos: oviductos cortos, que se abren en la cara ventral del segmento número 14.

Poros masculinos: ubicados en la cara ventral del segmento número 15, generalmente hay un par.

Surcos seminales: ubicados en los segmentos 9 y 10, formados durante la copula, son transitorios y almacenan los espermatozoides recibidos durante la copulación.

Clitelo: es la región engrosada de la epidermis en los segmentos 32 al 37. Se encarga de secretar la sustancia que forma los capullos, cocones o cápsulas donde se alojan los huevos. Puede tener forma anular (envuelve los segmentos) o de montura (no envuelve los segmentos).

6.4. Características internas de la lombriz

Las características internas de la lombriz se esquematizan en las figuras 6.1. y 6.2.

Tabiques: llamados también septos; son paredes que separan los segmentos sucesivos y están formados por el peritoneo.

Faringe: es el primer compartimiento después de la boca.

Molleja: parte gruesa musculosa del tubo digestivo. Puede ser molleja esofágica o puede estar situada al comienzo del intestino llamada molleja intestinal.

Glándulas de morren: su función es metabolizar el calcio. Están ubicadas en el esófago.

Intestino: se reconoce fácilmente por la presencia de válvulas.

Ciegos intestinales: apéndices huecos, terminados en forma de saco que aparecen al fondo del intestino.

Nefridios: órgano central del sistema excretor. Funciona como pequeño riñón. Se llaman holonefridios cuando tienen un par de nefridios por segmento y meronefridios cuando tienen más de un par de nefridios por segmento.

Vasos dorsal y ventral: ubicado sobre el tubo digestivo. El vaso dorsal y el ventral debajo de éste, son los más importantes en el sistema circulatorio.

Vaso supra-intestinal y supra esofágico: son vasos impares no siempre presentes. Se encuentran entre el esófago, intestino y el vaso dorsal.

Vasos extra-esofágico o latero-esofágico: situados a los lados del esófago y entre éste y los corazones.

Corazones: situados en la región esofágica del cuerpo ligando los vasos y están en pares y en un total de cinco y manda la sangre al vaso ventral.

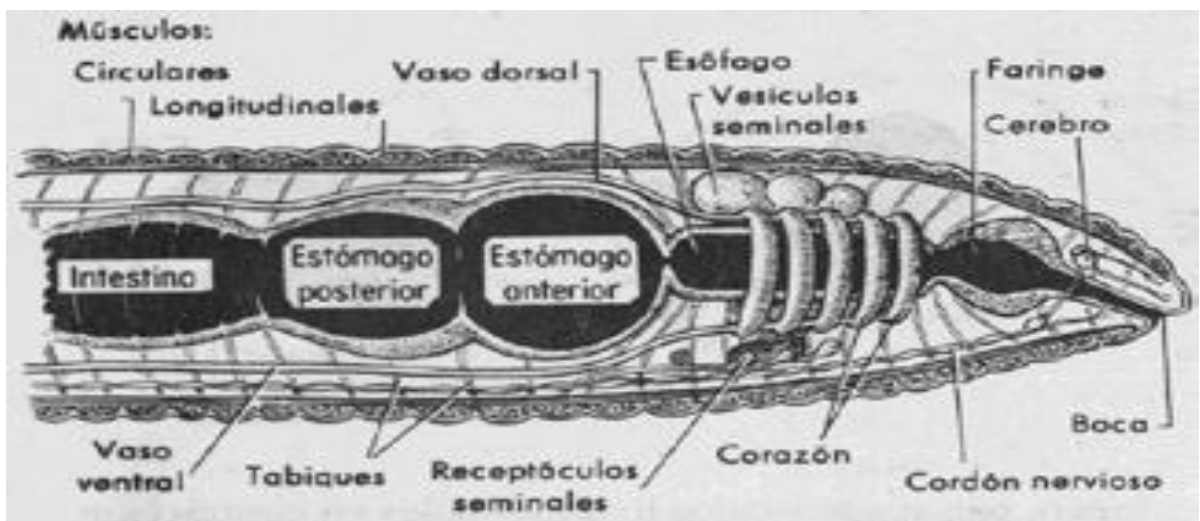
Testículos: ubicados en los segmentos 10 y 11 y en uno o en pares cada uno; situados en cavidad celómicas aisladas los reservorios de esperma.

Canales deferentes: permiten la salida de los espermatozoides y son uno para cada testículo.

Vesículas seminales: están en tres pares de bolsas laterales que abarcan los segmentos 9, 10 y 11.

Ovarios: generalmente sólo son un par, ubicados en el segmento 13 y descargan los huevos en la cavidad celómica.

Ovisacos: seguidos al segmento que contiene el ovario.



Fuente, Villee, (1981) Biología

Figura 6.1. Corte esquemático de una porción de lombriz; partes internas



Figura 6.2. Huevo y adultos de *Eisenia foetida*

6.5. Anatomía y fisiología

Pared del cuerpo

Es de forma circular, formando un cilindro; está formada por cutícula, epidermis, musculatura circular, musculatura longitudinal y peritoneo. Es permeable y de secamiento rápido, juega un papel muy importante en el intercambio gaseoso.

Aparato digestivo

Es de forma tubular y de forma recta. Tiene un canal alimenticio muy completo; posee una abertura anterior, llamada boca y una posterior llamada ano.

A lo largo de él tiene varios compartimientos, comenzando con la boca o cavidad bucal, luego le sigue una faringe musculosa, la cual segrega un mucus que sirve para humedecer el alimento; le sigue el esófago y dentro de éste se encuentra el buche que sirve como almacenamiento temporal de alimento, humedeciéndolo y ablandándolo previamente.

Después, el alimento pasa a la molleja, donde es triturado, preparándolo para la digestión y absorción que finalmente se realiza en el intestino. Aquí se segregan algunas enzimas como pepsina y tripsina que actúan sobre las grasas y amilasa⁵ sobre los carbohidratos. Aquí los alimentos son absorbidos por el torrente sanguíneo y los que no se pueden digerir son excretados por el ano.

La lombriz de tierra tiene dos estómagos; uno anterior de pared delgada y uno posterior de pared gruesa.

Aparato circulatorio

La sangre circula a través de vasos, entre los segmentos 7 y 11 se conectan los vasos dorsal y ventral. A través de los corazones llamados también arcos aórticos se envía la sangre a través de los vasos ventrales, a la parte posterior del cuerpo de la lombriz y de los vasos dorsales hacia la parte delantera. Tiene un sistema circulatorio cerrado, formado por tubos (arterias y venas); los movimientos peristálticos de éstos mueven eficientemente la sangre, ésta se dirige hacia la piel, intestino, nefridios, músculos, etc.

Los conductos parietales y vasos capilares realizan la misma función. En la piel, la sangre recoge oxígeno y elimina bióxido de carbono, entrega a los órganos nutrientes provenientes del intestino y oxígeno a los tejidos, recoge líquidos de desechos y los abandona en los nefridios y elimina bióxido de carbono por medio de la difusión.

Aparato neurosensorial

La lombriz carece de ojos, posee en la piel células fotosensibles; es sensitiva a la luz y al estar expuesta mucho tiempo a ella, muere. El sentido del tacto se encuentra en la epidermis y éste es el centro de los nervios.

Las células neurosensoriales le permiten percibir vibraciones que le provocan estrés y la hacen reaccionar a la temperatura. A lo largo de la epidermis hay nervios especializados en responder al pH. También posee órganos gustativos que le permiten distinguir diferentes tipos de alimento.

Sistema respiratorio

Al ondear rítmicamente el cuerpo, la lombriz ventila la superficie. La falta de oxígeno hace que ella saque la mayor parte de área posterior de su cuerpo y aumenta el movimiento de ventilación el intercambio gaseoso ocurre en la superficie del cuerpo a través de una red fina de capilares cerca de la cutícula.

Para realizar este proceso, la piel debe estar siempre húmeda; ya que si se deshidrata muere instantáneamente.

Sistema excretor

El problema de eliminar los desechos líquidos, lo realiza a través de una red de estructuras llamadas nefridios, éstos se encuentran de dos en dos en casi todos los segmentos del cuerpo; comprende un embudo ciliado, ubicado en la cavidad celómica anterior al vientre y comunica mediante un tubo con el exterior del cuerpo. Todo residuo es eliminado por la cavidad celómica y otra parte a través de la corriente sanguínea.

Sistema nervioso

Es más desarrollado que en los gusanos de trompa; al conjunto bilobulado de células nerviosas se les llama cerebro, ubicado en el tercer segmento, en el cuarto segmento, debajo de la faringe, está otro llamado ganglio subfaríngeo; ambos regulan toda la actividad de la lombriz; estos dos ganglios están unidos por un anillo nervioso, del ganglio inferior sale un cordón nervioso que recorre todo el cuerpo; debajo del tubo digestivo, irrigando los músculos.

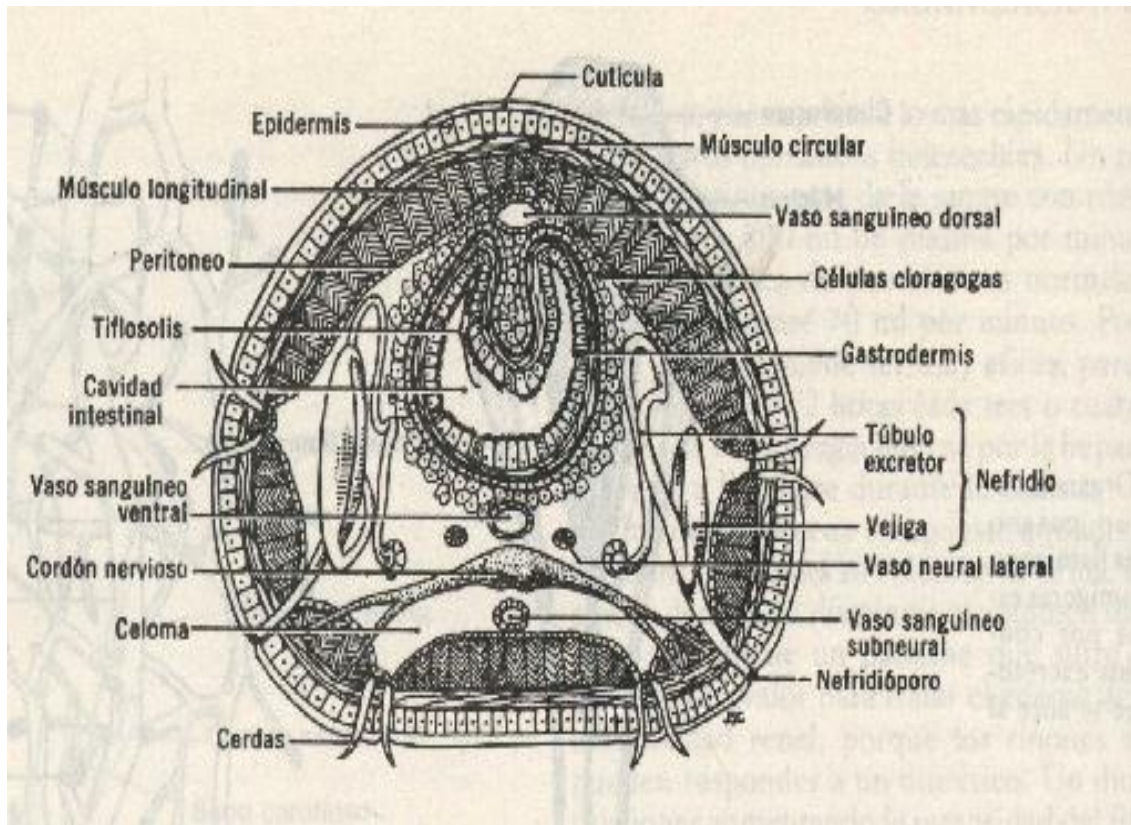
Los órganos del tercer y cuarto segmento a través de los ganglios segmentarios, se encargan del movimiento de la lombriz a través de impulsos nerviosos que llegan por medio de axones gigantes.

Sistema reproductor

La lombriz de tierra es hermafrodita; es decir que poseen los dos sexos, masculinos y femeninos.

El sistema reproductor masculino está conformado por dos pares de testículos ubicados entre los segmentos 10 y 11. Los espermatozoides producidos son almacenados en reservorios y vesículas seminales; de los cuales salen los embudos espermáticos en forma par y los llevan a través de dos conductos espermáticos a los poros masculinos, en la cara ventral del segmento 15, allí salen los espermatozoides durante la cópula. Cuenta también con receptáculos seminales o espermáticos que son unos sacos que reciben el semen de la otra lombriz ubicada en los segmentos 9 y 10.

El sistema reproductor femenino está formado por dos pares de ovarios, ubicados entre los segmentos 13 y 14, su finalidad es la de producir óvulos, éstos son recogidos por embudos ovulares que los llevan por oviductos y salen a través de poros femeninos.



Fuente: Villee (1981) Biología

6.3. Corte esquemático de una lombriz y su sistema excretor

La lombriz, durante la cópula, se sitúa en sentido opuesto, quedando unida por unas secreciones mucosas del clitelo ubicado en el segmento 32 al 37 y aquí se encarga de secretar sustancias que forman los capullos donde se alojan los huevos; y posteriormente se forman dentro de ellos, diminutos gusanos.

Algunas especies representan partenogénesis uniparental, con autofecundación, que puede ser facultativa u obligada. La mayoría tiene reproducción biparental. La reproducción de la lombriz tiene lugar durante todo el año, cuando las condiciones son apropiadas los jóvenes alcanzan su madurez sexual a los tres meses; tiempo que coincide con la formación del clitelo, ocupando de 6 a 8 segmentos. Cada lombriz adulta puede depositar un huevo que eclosiona al cabo de 3 semanas y de éste emergen entre 2 y 20 estados juveniles, están listas para reproducir-se, a los 3 meses. La lombriz tiene un promedio de vida de 16 años, aunque algunos autores confirman que *E. foetida* dura 4.5 años.

7 Ensayos toxicológicos

7.1. Principio de la prueba

El bioensayo de toxicidad con semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) es una prueba estática de toxicidad aguda (120 horas de exposición) en el que se pueden evaluar los efectos fitotóxicos de compuestos puros o de mezclas complejas en el proceso de germinación de las semillas y en el desarrollo de las plántulas durante los primeros días de crecimiento. Como puntos finales para la evaluación de los efectos fitotóxicos, se determina la inhibición en la germinación y la inhibición en la elongación de la radícula y del hipocotilo (figura 7.1)

Es importante destacar que durante el período de germinación y los primeros días de desarrollo de la plántula ocurren numerosos procesos fisiológicos en los que la presencia de una sustancia tóxica puede interferir alterando la supervivencia y el desarrollo normal de la planta, siendo por lo tanto una etapa de gran sensibilidad frente a factores externos adversos. Por otra parte, muchas de las reacciones y procesos involucrados son generales para la gran mayoría de las semillas, por lo que la respuesta de esta especie y los datos obtenidos a partir de la aplicación de esta prueba son en gran medida representativos de los efectos en semillas o plántulas en general.

El éxito o aptitud de una plántula para establecerse en un ambiente determinado es de gran importancia para garantizar la supervivencia de la especie. La evaluación del desarrollo de la radícula y del hipocotilo constituyen indicadores representativos para determinar la capacidad de establecimiento y desarrollo de la planta.

A diferencia de la prueba tradicional de germinación de semillas, la evaluación del efecto en la elongación de la radícula y del hipocotilo de las plántulas permite ponderar el efecto tóxico de compuestos solubles presentes en niveles de concentración tan bajos que no son suficientes para inhibir la germinación, pero que sin embargo pueden retardar o inhibir completamente los procesos de elongación de la radícula o del hipocotilo, dependiendo ello del modo y sitio de acción del compuesto. De esta manera, la inhibición en la elongación de la radícula e hipocotilo constituyen indicadores subletales muy sensibles para la evaluación de efectos biológicos en vegetales, aportando información complementaria a la proporcionada al estudiar el efecto en la germinación.

Este ensayo puede ser aplicado para la evaluación de la toxicidad de compuestos puros solubles, de aguas superficiales (lagos, ríos), aguas subterráneas, aguas para consumo humano, aguas residuales domésticas e industriales, además de lixiviados de suelos, sedimentos, lodos u otras matrices sólidas (Bowers *et al*, 1997; Cheung *et al*, 1989; Dutka, 1989). A diferencia de otras pruebas en las que se consideran algas o plantas acuáticas sumergidas como organismo de diagnóstico, el bioensayo con semillas permite evaluar la fitotoxicidad de muestras coloreadas o con elevada turbiedad de manera directa y sin necesidad de filtración previa, reduciéndose así las interferencias debidas al pretratamiento y simplificando el procedimiento de prueba.

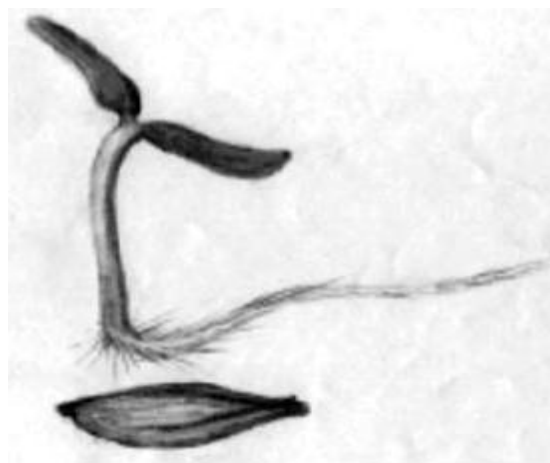


Figura 7.1. Morfología de la semilla y la plántula de lechuga *Lactuca sativa* L.

Si bien *L. sativa* no es una especie representativa de ecosistemas acuáticos, la información generada a partir de esta prueba de toxicidad proporciona datos acerca del posible efecto de los contaminantes en las comunidades vegetales cercanas a las márgenes de cuerpos de agua contaminados, siendo también una especie interesante de considerar por su importancia desde el punto de vista hortícola. Por otra parte, es de fácil y rápida germinación por lo que es posible desarrollar la prueba en pocos días.

Este bioensayo de toxicidad ha sido recomendado y aplicado por diferentes organismos de protección ambiental para la evaluación ecotoxicológica de muestras ambientales y compuestos puros, además de la evaluación del efecto fitotóxico de plaguicidas sobre especies no blanco, necesarios para el registro de estos compuestos (OECD, 1984; Wang, 1987; USEPA, 1989).

En la incorporación de esta prueba en una batería de bioensayos es importante considerar el compromiso entre la sensibilidad de la especie *L. sativa*, el reducido tiempo de exposición de la prueba con semillas, los bajos costos asociados y que no requiere equipamiento sofisticado, en particular en la aplicación a muestras ambientales o en el monitoreo de procesos de detoxificación, saneamiento, control de efluentes o reuso de biosólidos.

7.2 Verificación de la viabilidad de las semillas

Previo a la implementación de la prueba, es recomendable verificar que cada lote nuevo de semillas que se utilice tenga un porcentaje de germinación superior al 90%, sincronización en la germinación y baja variabilidad de la elongación de la radícula e hipocotilo (coeficiente de variación < 30%).

Es necesario además caracterizar las condiciones de germinación del lote de semillas, evaluando la respuesta frente a la luz (fotoblastismo positivo o negativo: germinación en presencia o ausencia de luz, respectivamente) y la temperatura óptima de germinación.

Con el fin de reducir la variabilidad en los resultados, para el caso de semillas no seleccionadas y que presenten gran heterogeneidad en el tamaño, es conveniente realizar una selección previa descartando las fracciones de mayor y menor tamaño y utilizando solamente la fracción más numerosa y de tamaño intermedio. La fracción de menor tamaño puede presentar un alto porcentaje de semillas vanas, mientras que las semillas de mayor tamaño pueden ser más vigorosas, variando la sensibilidad frente a los compuestos tóxicos.

Si no es posible obtener lotes de semillas con poder germinativo igual o mayor al 90%, se debe aumentar el número de semillas por caja para obtener un número mínimo de 18 semillas germinadas. Por otra parte, si se desea aumentar la confiabilidad de los resultados, o en caso de contar con semillas que posean una alta variabilidad en la elongación de la radícula de los controles negativos, aún habiéndolas seleccionado de tamaño uniforme, se recomienda aumentar el número de réplicas por tratamiento.

Las semillas seleccionadas se almacenan fraccionadas a 4° C, en oscuridad y en ambiente seco. Conservadas en estas condiciones mantienen su vigor al menos durante 2 años. Un indicador de la reducción de la vitalidad y envejecimiento de las semillas es la reducción en el poder germinativo y el aumento en la variabilidad de las medidas de elongación de radícula e hipocotilo en el control negativo. En este caso se recomienda realizar las pruebas de toxicidad utilizando un nuevo lote de semillas.

7.3 Procedimiento de prueba

Preparación de las diluciones Para realizar una curva dosis respuesta se recomienda preparar un mínimo de 5 o 6 diluciones de la muestra o compuesto a estudiar de manera que se obtengan valores de toxicidad intermedios entre el 100 y 0%. Para las muestras ambientales se recomienda el uso de un factor de dilución de 0.3 o 0.5 para la preparación de la serie de diferentes concentraciones. El uso de un factor de 0.3 permite evaluar la toxicidad considerando el intervalo entre el 100% y 1% de la muestra realizando 5 diluciones (100, 30, 10, 3 y 1%). Al aplicar un factor de dilución de 0.5, es necesario utilizar mayor número de diluciones para abarcar el mismo intervalo de concentraciones (100, 50, 25, 12, 6, 3 y 1.5%) pero se obtiene mayor

precisión en los resultados. Para la preparación de cada dilución se utiliza agua dura reconstituida (es posible el uso de agua mineral dura para consumo humano), realizando el control negativo con el agua de dilución empleada.

Para el caso de las muestras cuya toxicidad es desconocida, previo a la realización de la prueba definitiva, se sugiere hacer una prueba exploratoria (ensayo preliminar) utilizando diluciones logarítmicas (100, 10, 1, 0.1, 0.01) que permitan establecer el intervalo de concentración conveniente para obtener valores de efecto entre 100 y 0%, necesarios para calcular la CI50.

7.4 Control de calidad de pruebas

Es importante establecer cuales son los valores de elongación en el control negativo, así como la sensibilidad de las semillas frente al compuesto tóxico de referencia (control positivo), determinando para cada lote de semillas el valor de CE50. Se realizan cartas control para evaluar el crecimiento en los controles negativos (promedio $\pm 2\sigma$ de la elongación de la radícula) y de la sensibilidad frente al compuesto tóxico de referencia (promedio $\pm 2\sigma$ de la CE50 para el Zn(II) preparado a partir de sulfato de zinc).

Como se mencionó anteriormente, la reducción en el poder germinativo (< 90%) y el aumento en la variabilidad de las medidas de elongación de radícula e hipocotilo en el control negativo a lo largo del tiempo, son indicadores de la reducción de la vitalidad y envejecimiento de las semillas. En este caso se recomienda utilizar un nuevo lote de semillas.

7.5 Efecto en la germinación

Registrar el número de semillas que germinaron normalmente, considerando como criterio de germinación la aparición visible de la radícula.

a) Registro de semillas germinadas

Medición de la elongación de la radícula y del hipocotilo Cálculo del % de inhibición Cálculo de la CI50 Evaluación de efectos fitotóxicos agudos (mm).

b) Efecto en la elongación de la radícula e hipocotilo

Utilizando una regla o papel milimetrado, medir cuidadosamente la longitud de la radícula y del hipocotilo de cada una de las plántulas, correspondientes a cada concentración del compuesto tóxico o dilución de muestra y a los controles. La medida de elongación de la radícula se considera desde el nudo (región más engrosada de transición entre la radícula y el hipocotilo) hasta el ápice radicular. La medida de elongación del hipocotilo se considera desde el nudo hasta el sitio de inserción de los dos cotiledones (figura 7.2). La figura 7.3 muestra los distintos estadios de la semilla durante la prueba de germinación y elongación.

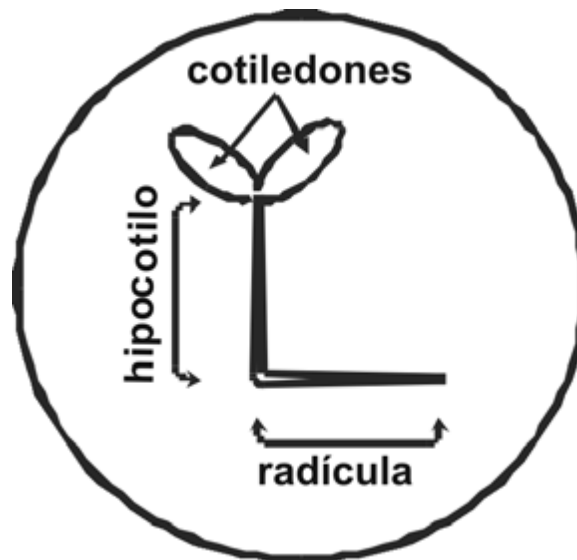


Figura 7.2. Esquema de plántula de *Lactuca sativa* al finalizar el período de exposición



Figura 7.3. Estadios por los que atraviesa la semilla *Lactuca sativa* durante el ensayo de germinación y elongación.

Antes de retirar las plántulas de las cajas Petri para evaluar el efecto en los puntos finales anteriormente mencionados, es importante realizar una observación detallada del estado general de las mismas y del crecimiento de la radícula sobre el papel de filtro. Informar cualquier indicador de fitotoxicidad o de crecimiento anormal en las plántulas tratadas y en los controles (ápices radiculares con necrosis, pelos absorbentes poco desarrollados, radículas con crecimiento ensortijado, necrosis en los cotiledones, etc.). La necrosis (presencia de tejido muerto) se evidencia como manchas localizadas de coloración parda, blanca o marrón. Al evaluar el efecto en la germinación, consignar además aquellas semillas con germinación anormal (emergencia de cotiledones o cotiledones e hipocotilo solamente, pero sin emergencia de la radícula) o con desarrollo de hongos.

Un procedimiento factible de realizar para facilitar la medición de la radícula e hipocotilo, es proceder a congelar las cajas Petri correspondientes a todos los tratamientos y descongelarlas a medida que se van midiendo (no conservar el material luego de ser descongelado). De esta manera las plántulas descongeladas adquieren una consistencia blanda, favoreciendo la medición. Si se procede a evaluar el efecto sobre las plantas descongeladas es importante proceder de igual manera con todas las réplicas de la prueba. Este procedimiento reduce la variabilidad en las medidas, principalmente cuando el crecimiento de las radículas es ensortijado o no es parejo. Por otro lado, antes de congelar el material se debe realizar previamente la observación general de efectos fitotóxicos en las plantas vivas al finalizar el período de exposición.

7.6. Expresión de resultados

Se realizan los siguientes cálculos:

- Promedio y desviación estándar de la elongación de la radícula y del hipocotilo de las plántulas de cada repetición
- Porcentaje de inhibición del crecimiento de la radícula y del hipocotilo con el promedio de elongación para cada dilución respecto del promedio de elongación del control negativo
- Porcentaje de inhibición en la germinación

- Con los datos anteriores, se elabora la gráfica dosis-respuesta, colocando en la ordenada el porcentaje de inhibición y en la abscisa la concentración.

Mediante un método gráfico o el uso de programas estadísticos, se calcula la concentración que produce el 50% de inhibición (CI50/CE50) para cada punto final evaluado. Para el caso de muestras en donde la inhibición es inferior al 50%, o para determinar el valor correspondiente al NOEC o LOEC, se realiza el análisis de comparación de medias (t *Student*, Dunnett) para verificar la significancia estadística en el porcentaje de efecto.

7.7. Interpretación de los resultados

Los efectos cuantificados sobre la elongación de la radícula o del hipocotilo son efectos subletales. La inhibición en la germinación podría considerarse como un efecto letal siempre y cuando podamos corroborar que finalizada la exposición a una muestra las semillas no germinaron por muerte del embrión y que no existe simplemente un retraso en el proceso de germinación, manteniéndose la viabilidad de la semilla. Al evaluar la fitotoxicidad de muestras ambientales complejas o con compuestos volátiles, en algunos casos se ha observado que al finalizar el período de exposición la inhibición en la germinación es elevada, pero si se extiende el período de ensayo, sin renovar la exposición a la muestra, las semillas comienzan a germinar. La vitalidad de las semillas que no han germinado es posible verificarla mediante la prueba de tetrazolium para viabilidad (Ellis *et al.*, 1985), pudiendo de esta manera asignarle con certeza a la inhibición de la germinación, el valor e importancia de un efecto letal. No obstante esto, la inhibición en la germinación registrada al finalizar la prueba, se considera fitotoxicidad aunque el efecto en la germinación sea reversible.

Otro aspecto a considerar es el mayor desarrollo en la elongación de la radícula o el hipocotilo en algunas muestras con respecto al control. La exaltación en un punto final u hormesis no debe ser interpretada como un efecto favorable o estimulante. Si bien es posible que muchos compuestos (por ejemplo Cu, Zn) a bajas concentraciones produzcan exaltación por ser micronutrientes vegetales, esta respuesta debe ser evaluada de manera conjunta con los efectos registrados en otras pruebas. En la aplicación de la

prueba con semillas a muestras ambientales conjuntamente con otros organismos como parte de una batería, se ha detectado en diferentes ocasiones que la exaltación en la respuesta en el hipocotilo o radícula se corresponde con toxicidad frente a otros ensayos de la batería.

7.8. Aceptabilidad de los resultados

El ensayo deberá repetirse en caso de que:

- En el control negativo el porcentaje de germinación sea inferior al 90 % y exista una alta variabilidad en la elongación de la radícula (coeficiente de variación > 30%)
- En el control positivo el porcentaje de germinación sea inferior al 90 % y la variación de la sensibilidad de las semillas se encuentre fuera de lo permitido por las cartas control
- Existan posibles interferencias en el proceso normal de germinación o desarrollo de las plántulas en los controles
- Se presente toxicidad del sustrato. Cuando se reemplaza el papel utilizado por otras marcas más económicas o se utiliza papel de filtro cualitativo en planchas, hay que tener en cuenta los posibles efectos tóxicos del papel.

Si se ha tenido buenos resultados con una marca o calidad determinada de papel, es conveniente no variar el sustrato de ensayo.

- Se presente suciedad de las cajas Petri. Si no es posible utilizar material desechable, es importante asegurar un enjuague minucioso del material para evitar la presencia de residuos de detergente u otra solución de limpieza.
- Se presente un exceso de agua o de muestra utilizada para embeber el papel, lo que determina una baja disponibilidad de oxígeno necesario para el normal desarrollo del proceso de germinación.

El papel de filtro utilizado como sustrato de germinación de las semillas debe estar bien mojado, con sobrante de líquido para evitar la desecación, pero en ningún caso las semillas deben quedar sumergidas.

- Se presente un déficit hídrico durante el período de exposición. Se recomienda envolver las cápsulas con una bolsa plástica para evitar que el papel de filtro de las mismas pierda agua durante el ensayo.

Si se está experimentando con compuestos volátiles, no deben colocarse en una misma bolsa cápsulas que correspondan a diferentes concentraciones de ensayo.

También se puede colocar dentro de la cámara de cultivo un recipiente con agua para generar un ambiente húmedo, reduciendo así la evaporación.

Hay que tener en cuenta que la pérdida de humedad de las cápsulas genera una concentración del compuesto cuya toxicidad estamos evaluando y, por lo tanto, las conclusiones a las que arribaremos serán erróneas.

- Se produzca una exposición a la luz durante el proceso de imbibición. Inmediatamente después de colocar las semillas sobre el papel filtro, se recomienda tapar y envolver las cajas Petri, cubriéndolas de la luz (para el caso de semillas fotoblásticas negativas).
- Se presente una elevación de la temperatura de ensayo. Las semillas de *L. sativa* expuestas a una temperatura superior (apenas unos grados) a la óptima para la germinación, no germinarán aunque se les coloque posteriormente a temperaturas inferiores (termodormancia o dormancia inducida por la temperatura).

8 MATERIAL Y MÉTODOS

8.1. Selección del lodo que se utilizara para obtener el humus líquido

El lodo residual que se utilizo en la presente investigación proviene de la planta de tratamiento OPDM. Fraccionamiento los Rosarios con un caudal de 100 l/s, con una generación de lodos constante y un sistema de deshidratación que proporciona una reducción de humedad del lodo.

El lodo se analizo según la NOM-004-SEMARNAT-2002, con el fin de clasificarlo, y conocer si es apropiado para usos agrícolas, forestal y mejoramiento de suelos.

La toma de muestra se realizará del contenedor de lodos deshidratados, para el análisis se tomara un kilogramo y para el diseño experimental un kilogramo, cada semana se tomara muestra de lodo residual para adicionarla a la vermicomposta.

8.2 Métodos analíticos

Los métodos analíticos que se llevaran a cabo en esta investigación se establecen en normas oficiales, y se resumen en la tabla 8.1.

Tabla 8.1. Métodos analíticos

PARÁMETRO	MÉTODO ANALÍTICO
Coliformes fecales	Número más probable (NOM-112-SSA-1994)
Huevos de helminto	Método establecido en (NOM-001-ECOL-1996)
Nitrógeno total	Método Kjeldahl, Jackson, 1970
Fósforo disponible	Método Bray (Bray y Kurt, 1945) y el Método Olsen (Olsen, et al. 1965).
Metales pesados	Espectrofotometría de absorción atómica
Materia orgánica	Norma Mexicana NMX-AA-021-1985
Conductividad eléctrica	Norma mexicana NMX-AA-25-1984
pH	Análisis potenciométrico.
Humedad	Norma Mexicana NMX-AA-016-1984

8.3. Crianza y adaptación de la lombriz (*Eisenia foetida*)

A partir de una recolecta de residuos orgánicos (fruta y verduras), se realizara una pila de compostaje en un recipiente de plástico. Se inocularan los anélidos en los residuos orgánicos como fuente de alimento y estos se mezclaran con lodos residuales, para así obtener un mayor número de organismos y adaptar a los anélidos a degradar los lodos residuales. Los anélidos proceden de un criadero en el cual se utiliza como sustrato residuos de fruta y verdura, cabe mencionar que la Bióloga Patricia Lara Puga, encargada del criadero de lombriz, brindo asesoría para adaptar al anélido, proponiendo una fase de adaptación que se resume en la tabla 6.2.

Tabla 8.2. Proporciones de materia orgánica y lodo residual.

	PRIMERA SEMANA	SEGUNDA SEMANA	TERCERA SEMANA	CUARTA SEMANA	QUINTA SEMANA
Materia Orgánica (gr)	450	300	200	100	0
Lodos residuales (gr)	50	150	250	350	500

Fuente: Bióloga Patricia Lara Puga

Se eligió utilizar la lombriz *Eisenia foetida*, ya que según los estudios realizados por Hartenstein, 1981. Sugirió el uso potencial de las lombrices como una solución para el manejo de lodos residuales. En sus estudios se seleccionaron dos especies *E. eugeniae* y *E. foetida*, debido a su alta tasa de reproducción y fácil manejo en condiciones de explotación a gran escala.

8.4. Diseño experimental

Una vez adaptado el anélido a consumir el lodo residual, se llevo a cabo el montaje del diseño experimental, el cual se basa en el estudio realizado por Soriano, 2008. En la Universidad Politécnica de Valencia, en esta investigación, Se realizaron cuatro tratamientos: 1) vermicomposta con 100% estiércol de conejo, 2) vermicomposta con 90% de estiércol de conejo y 10% de lodos de PTAR, 3) vermicomposta con 70% de estiércol de conejo y 30% de lodos de PTAR y 4) vermicomposta con 50% de estiércol de conejo y 50% de lodos de PTAR.

En los resultados de dicha investigación reportan que la vermicomposta final obtenido utilizando estiércol de conejo y lodos de PTAR. Presenta concentraciones de nutrientes y de metales pesados que lo hacen apto para su utilización agrícola, aunque la calidad del producto es inferior a la del vermicomposta sobre estiércol, y ésta disminuye al aumentar la dosis de biosólidos añadidos. Por tal motivo en la presente investigación se decidió realizar cuatro ensayos que se resumen en la tabla 8.3.

Tabla: 8.3 Diseño experimental.

ENSAYOS	LODO RESIDUAL (%)	ESTÍERCOL EQUINO (%)
1	100	0
2	80	20
3	60	40
4	0	100

Los ensayos se dispusieron en garrafones de plástico adaptados para recolectar el lixiviado (humus líquido), los cuales se muestran en la siguiente figura 8.1. En esta figura se puede apreciar el lixiviado colectado en cada ensayo.

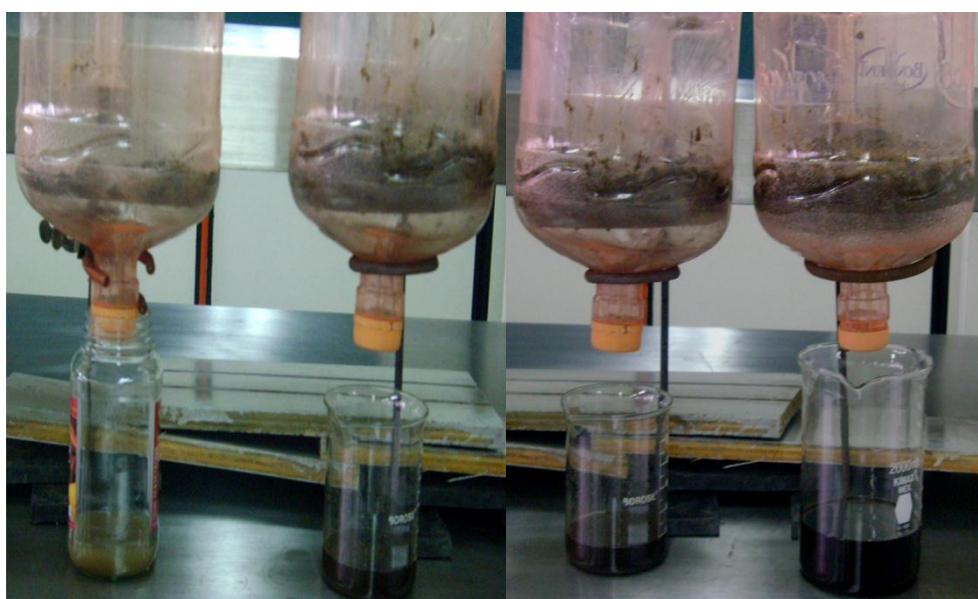


Figura 8.1. Dispositivo de vermicomposta adaptado para coleccionar lixiviado

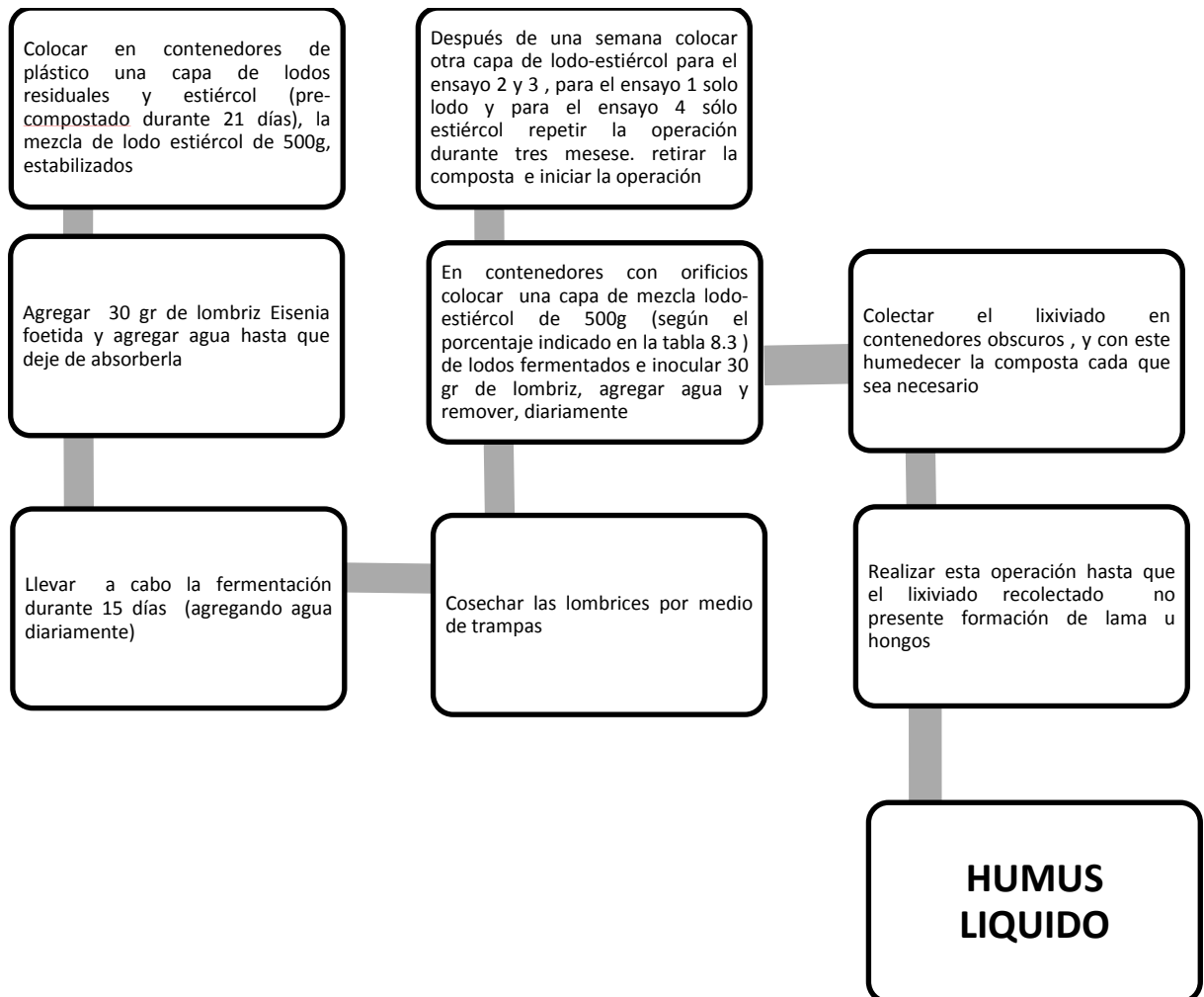
8.5. Estrategia Experimental

Para llevar a cabo los objetivos propuestos, en el tiempo estipulado se dividió la fase experimental en tres etapas:

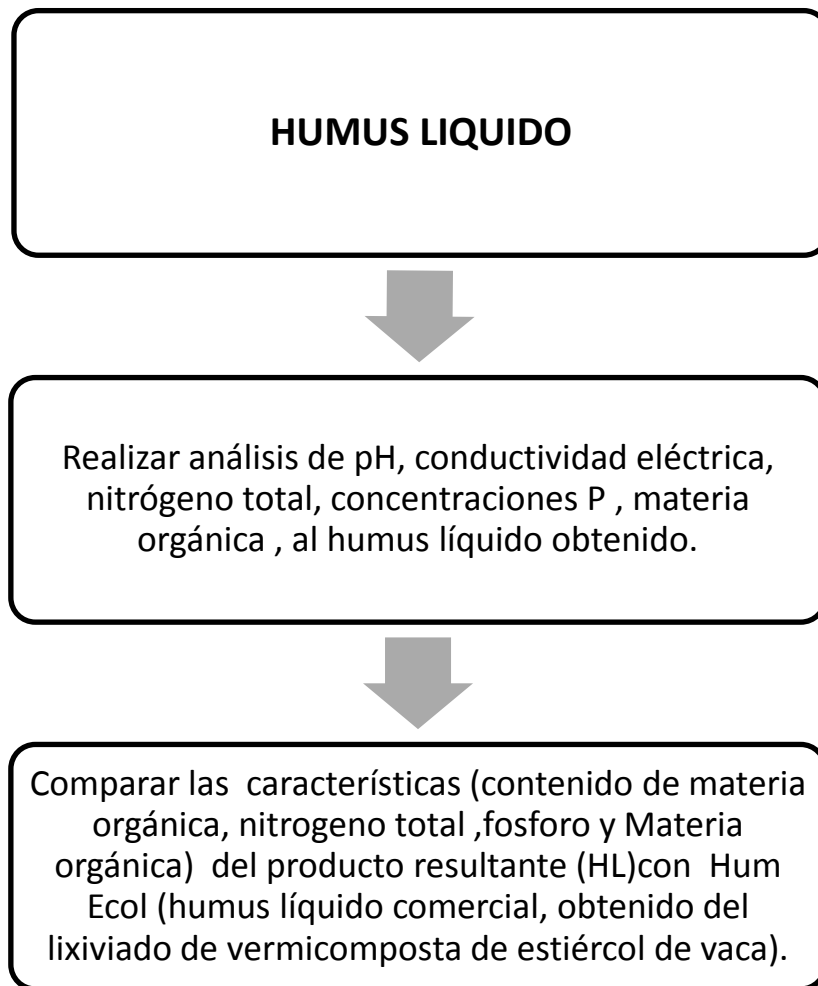
- Siembra de lombriz *Eisenia foetida* y maduración de la composta.
- Obtención de humus líquido
- Ensayo toxicológico

Cada una de las etapas anteriores integra una serie de actividades las cuales se resumen en los siguientes diagramas 8.5.1 y 8.5.2.

8.5.1. Siembra de lombriz *Eisenia foetida* y maduración de la composta.



8.5.2. Obtención de humus líquido.



El estiércol fresco fue pre compostado durante 21 días. El tratamiento de pre compostaje consistió en tres volteos semanales para disminuir la humedad, la temperatura, estabilizar el pH y facilitar su manipulación.

En el laboratorio se colocaron 500g de estiércol pre compostado en contenedores de plástico de 20 cm de altura por 18cm de diámetro (figura 8.1), estos contenedores se adaptaron con orificios en la parte inferior para facilitar la aireación así como la recolecta del lixiviado (humus líquido), en la parte superior de estos se colocó una malla para evitar la pérdida de anélidos.

A cada recipiente se le inocularon 30 gr de anélidos y se fermentaron durante 15 días agregando agua diariamente, Después de una semana se colocaron 500 g de mezcla lodo-estiércol en las proporciones indicadas en la tabla 8.3, se recirculo el lixiviado recolectado de cada recipiente diariamente hasta que el lixiviado no presento formación de lama u hongo, en ese momento se retiró el lixiviado(humus líquido) y se almaceno en recipientes de plástico bien sellados. Para obtener la composta se repitió la operación durante tres meses posteriormente se cosecharon las lombrices por medio de trampas, se realizaron 4 ensayos los cuales se detallan en la tabla 8.3.

Por otra partea él lixiviado obtenido se analizó cada semana conductividad eléctrica y pH, una vez que se obtuvo el humus líquido se realizaron análisis fisicoquímicos de concentración de fosforo, potasio, nitrógeno total y carbono para estos análisis se utilizaron los métodos de tallados en la tabla 8.1.

El tratamiento estadístico de los datos se ha realizado mediante el programa XLSTAT 2011. Se ha realizado el análisis de la varianza ANOVA para determinar diferencias significativas entre tratamientos y utilizado el test Dunnett para la comparación de medias. El nivel de significación utilizado es $P < 0.05$.

8.5.3. Ensayo toxicológico.

Basado en la metodología descrita por (Zucconi *et al* 1981), se prepararon tres suspensiones-diluciones en proporción de 1:5; 1:10 y 1:15 con los humus líquidos formulados y HUM ECOL humus líquido comercial se colocó en cada caja Petri un disco de papel de filtro y se marcó correctamente cada caja con la dilución correspondiente, así como la fecha y hora de inicio y término del bioensayo, se saturó el papel de filtro con 5 ml de la dilución evitando que se formaran bolsas de aire con la ayuda de una pinza, se colocaron cuidadosamente 10 semillas, dejando espacio suficiente entre las semillas para permitir la elongación de las raíces. Como se muestra en la figura 8.2.

Se taparon las cápsulas y fueron colocadas en bolsas plásticas para evitar la pérdida de humedad. Dado que las semillas de jitomate requieren oscuridad para que se produzca la germinación (semillas fotoblásticas negativas), las cajas de Petri se cubrieron de la luz inmediatamente después de colocar las semillas en su interior y durante el período de ensayo se incubaron por 120 horas (5 días) a una temperatura de 22 ± 2 °C .

Cada punto final se evaluó comparando el efecto generado en los organismos expuestos a la muestra con respecto a la respuesta en los organismos del control (agua destilada) , sujetos a las mismas condiciones de ensayo, excepto por la ausencia de muestra. Terminado el período de exposición (120 horas), se procedió a cuantificar el efecto en la germinación y en la elongación de la radícula y del hipocotilo.

Para realizar el cálculo del porcentaje de índice de germinación se utilizaron las siguientes fórmulas, descritas por Tiquia (2000) se obtuvo el IG para los distintos residuos.

$$GR = \frac{N^{\circ} \text{ de semillas germinadas en el extracto} * 100}{N^{\circ} \text{ de semillas germinadas en el testigo}}$$

$$ER = \frac{\text{Elongación de radículas en el extracto} * 100}{\text{elongación de radículas en el testigo}}$$

$$IG = GR * ER$$

Donde:

GR es el Porcentaje de Germinación Relativo.

ER es el Crecimiento de Radícula Relativo.

IG es Índice de Germinación



Figura: 8.2. Ensayo toxicológico

9 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1. Clasificación del lodo residual

De acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002, se analizaron los lodos residuales, con el propósito de clasificar estos y conocer si son candidatos para ser utilizados en la vermicomposta. Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 9.1.

Los resultados obtenidos, muestran la clasificación del lodo, en cuanto a los límites establecidos para metales está clasificado como excelente, por otra parte, para los límites microbiológicos y de parásitos se encuentra clasificado como clase A para *Salmonella spp.* y huevos de Helminto (NOM-004 SEMARNAT-2002)

En cuanto a Coliformes fecales se clasifica dentro de la clase C, este resultado es obvio ya que las aguas residuales tratadas son de origen municipal y por lo tanto contienen una carga de 4300 (NMP/100ml), este parámetro no representa ningún problema para que el lodo sea utilizado como sustrato en la vermicomposta ya que la carga microbiana favorece el proceso, por ser los microorganismos responsables de la degradación bioquímica de la MO en el proceso de vermicomposteo (Domínguez *et al.*, 2003).

El lodo empleado en el presente trabajo, obtuvo un valor de pH de 6.82 que corresponde a un lodo ligeramente ácido (Ortiz- Hernández *et al.* 1993a). Este valor es reportado por Reinés (1998) como idóneo para la inoculación de las lombrices. Por su parte, el análisis de conductividad eléctrica arrojó un resultado promedio de 1439 mS/cm, y de acuerdo con Sánchez-Salinas (1997), no alcanza los valores considerados como ligeramente salinos (2-4 mS/cm). Este valor es favorable para el desarrollo de los anélidos inoculados al lodo. El contenido de materia orgánica fue de 24.61% lo cual lo clasifica como extremadamente rico (Ortiz-Hernández 1994).

La caracterización fisicoquímica del lodo residual, arrojó resultados del fósforo total de 3,210.52 ppm. Este valor demuestra la calidad del lodo como material rico en macronutrientes y óptimos para el desarrollo de las plantas principalmente (Ortiz-Hernández 1994).

Tabla: 8.1. Análisis conforme a NOM-004-SEMARNAT-2002 de lodo residual.

PARÁMETRO	LODO RESIDUAL	PARÁMETROS NOM-004-SEMARNAT-2002	CLASE
Nitrógeno total (mg/L)	36.49	NO REPORTA LIMITES	
Fosforo total (mg/L)	3210.52	NO REPORTA LIMITES	
MOT (Materia Orgánica Total) (%)	24.61	NO REPORTA LIMITES	
*Arsénico total (mg/L)	<0.0025	41	EXCELENTES
*Cadmio total (mg/L)	<0.0250	39	EXCELENTES
*Plomo total (mg/L)	0.1372	300	EXCELENTES
*Cromo total (mg/L)	0.0934	1200	EXCELENTES
*Mercurio total (mg/L)	<0.0005	17	EXCELENTES
*Cobre total (mg/L)	10.306	1500	EXCELENTES
*Níquel total (mg/L)	<0.1000	420	EXCELENTES
*Zinc total (mg/L)	10.664	2800	EXCELENTES
*Coliformes fecales (NMP/100 ml)	4300	Menor de 2 000 000	C
* <i>Salmonella spp.</i> (en 25 g)	AUSENTE	Menor de 3	A
*Huevos de Helminto (H/5 L)	<1	Menor de 1	A
*Sólidos totales (mg/L)	223.254	NO REPORTA LIMITES	
*Sólidos volátiles (mg/L)	331.278	NO REPORTA LIMITES	
pH (unidades pH)	6.85	NO REPORTA LIMITES	
Conductividad eléctrica (mS/cm)	1439	NO REPORTA LIMITES	
Calcio total (mg/L)	<2.500	NO REPORTA LIMITES	
Magnesio total (mg/L)	<1.0000	NO REPORTA LIMITES	
Sodio total (mg/L)	1.106.180	NO REPORTA LIMITES	
Potasio (mg/L)	580.985	NO REPORTA LIMITES	

8.2. Crianza y adaptación de la lombriz *Eisenia foetida* al lodo residual

Después de la primera semana de adaptación del anélido, se cosecharon las lombrices por medio de trampas, para cuantificar la reproducción (esta operación se realiza cada semana), y así comprobar la adaptación de estas al nuevo sustrato. Los resultados obtenidos se representan en la figura: 7.1. y la tabla 7.2. En estas se observa el crecimiento poblacional y sus distintas fases.

Tabla: 8.2. Crecimiento poblacional de lombrices

CRECIMIENTO POBLACIONAL DE LOMBRICES		
Nº semana	Nº lombrices	Crecimiento
Inicio	25	0
1	38	13
2	52	14
3	68	16
4	94	26
5	137	43

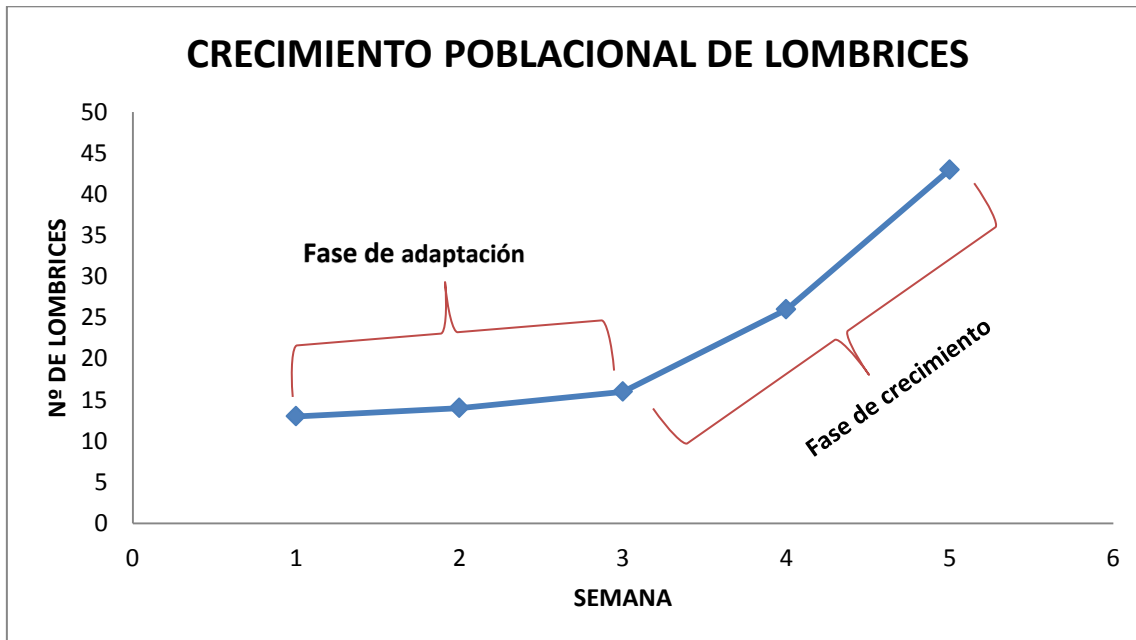


Figura 8.1. Adaptación del anélido

En la figura 8.1 se aprecia la reproducción del anélido, en las primeras tres semanas se observa la fase de adaptación, ya que la reproducción se conservó con un crecimiento de 14 lombrices en promedio por semana, a partir de la semana tres se puede observar la fase de crecimiento ya que la reproducción se incrementa a 36 lombrices por semana en promedio, por lo tanto el anélido se adaptó al nuevo sustrato. Las tasas de crecimiento de las lombrices en los sustratos estudiados son superiores a las observadas por otros autores en experiencias similares en laboratorio (Elvira, et. al, 1998, Haimi, y Hultha, 1990)

8.3. Obtención de humus líquido

Una vez que se montaron los dispositivos para realizar los ensayos propuestos en el diseño experimental, y que se sembraron los anélidos (siguiendo la técnica descrita en el diagrama 8.5), se procedió a recolectar el lixiviado de la vermicomposta, y a partir del 7 de Abril del 2011 se realizaron análisis semanales al lixiviado obtenido de cada ensayo. Se determinó pH, y conductividad eléctrica con el fin de observar el comportamiento del lixiviado, ya que la conductividad eléctrica depende de la cantidad de sales disueltas presentes en un líquido (Ramos, 2000, Hernández *et al.*, 2007).

Se efectuó el monitoreo de pH del humus líquido obtenido ya que según García, 1990, reporta que los estiércoles de bovino presentan buena capacidad de desdoblamiento precomposteados, y se eleva su pH debido al proceso de humificación. Los resultados obtenidos se resumen en las siguientes figuras.

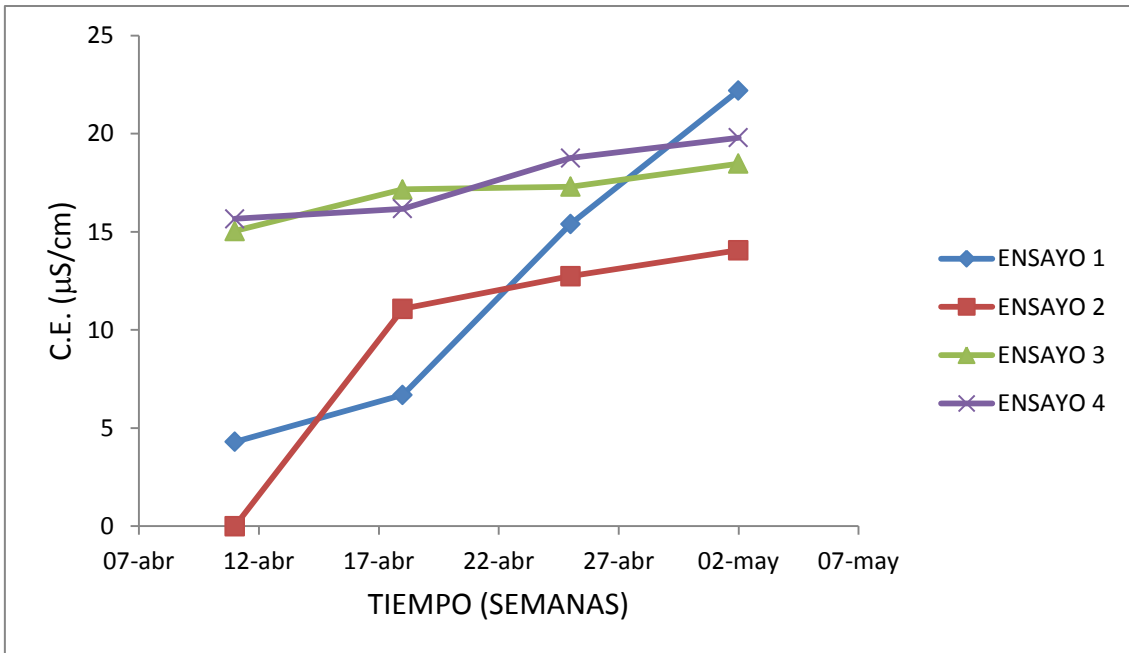


Figura: 8.2. Determinación conductividad eléctrica de los ensayos

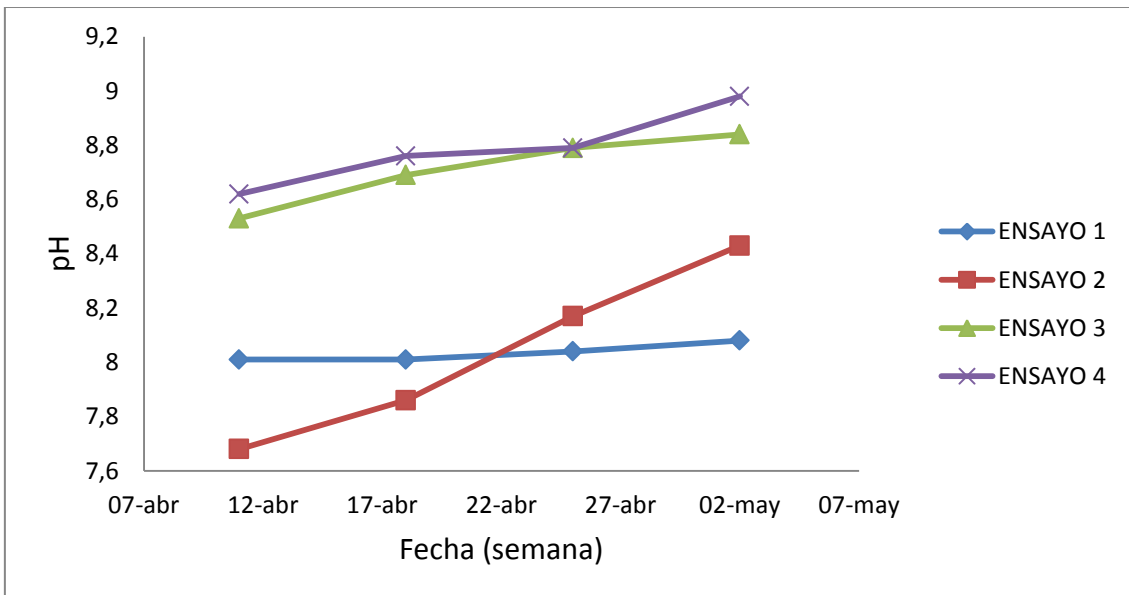


Figura: 8.3. Determinación de pH de los ensayos

En las figuras anteriores se puede observar el comportamiento de pH en todos los ensayos, en promedio en la primera semana presento un pH de 8.21, y en la cuarta semana se obtuvo en promedio un valor de 8.60, este resultado es favorable ya que al ser agregado al suelo el humus líquido, no se ve afectado el pH del suelo, por el contrario un pH ácido desestabiliza el pH propio del suelo, (Arteaga, 2003)

Los resultados que se obtuvieron de pH en el humus líquido coinciden con los reportados por (Caro, 2004), en el estudio de caracterización de algunos parámetros químico-físico del Liplant, humus líquido obtenido a partir del vermicomposta de estiércol vacuno.

Por otra parte la conductividad eléctrica en todos los ensayos presento un incremento y en promedio alcanzo un valor de 18.20 $\mu\text{s}/\text{cm}$, esto significa que el contenido de sales incrementa a medida que avanza la descomposición de los materiales, presentándose un incremento en la concentración debido a pérdida de masa las sales. Sin embargo, las diferencias observadas entre los ensayos se deben principalmente a la composición química de las diferentes mezclas de los residuos. Cabe mencionar que los resultados obtenidos en esta investigación coincide con (Pino *et al.*, 2005).

8.4. Características fisicoquímicas del humus líquido

El humus líquido obtenido de los ensayos experimentales (fig. 7.4) se analizó con el fin de conocer sus características fisicoquímicas y comparar éstas con el humus líquido HUM ECOL (comercial), el cual proviene del lixiviado de la vermicomposta, de estiércol de vaca, los resultados obtenidos se presentan en la tabla 7.3 muestra los resultados fisicoquímicos de Humus líquido comercial HUM ECOL (HLEC), y los ensayos E1 (100% Estiércol equino), ensayo E2(80% lodo,20% estiércol equino), ensayo E3 (60% lodo, 40% estiércol equino), y ensayo E4 (100% estiércol equino).

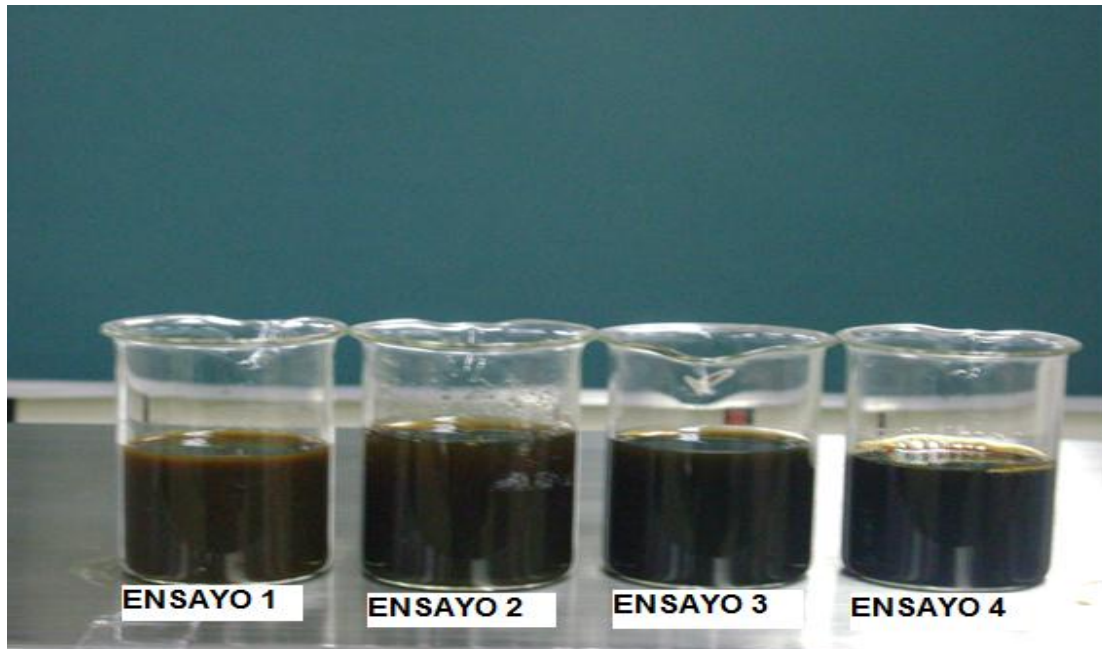


Figura: 8.4. Humus líquido obtenido de la experimentación.

Tabla 8.3. Características físico químicas de Humus Líquido

ANÁLISIS	HUM ECOL	E1	E2	E3	E4
Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}/$)	16.32	19.65	17.14	18.42	18.52
pH	9.69	7.65	9.02	8.43	8.49
Materia Orgánica (%)	38.20	47.79	49.79	69.79	32.75
Nitrógeno total (%)	0.17	1.42	0.76	2.19	0.44
Carbono (%)	22.15	27.77	28.88	40.3	18.99
Potasio K (ppm)	486	388	458	566	396
Fosforo P (mg/Kg)	89	76	119	127	100

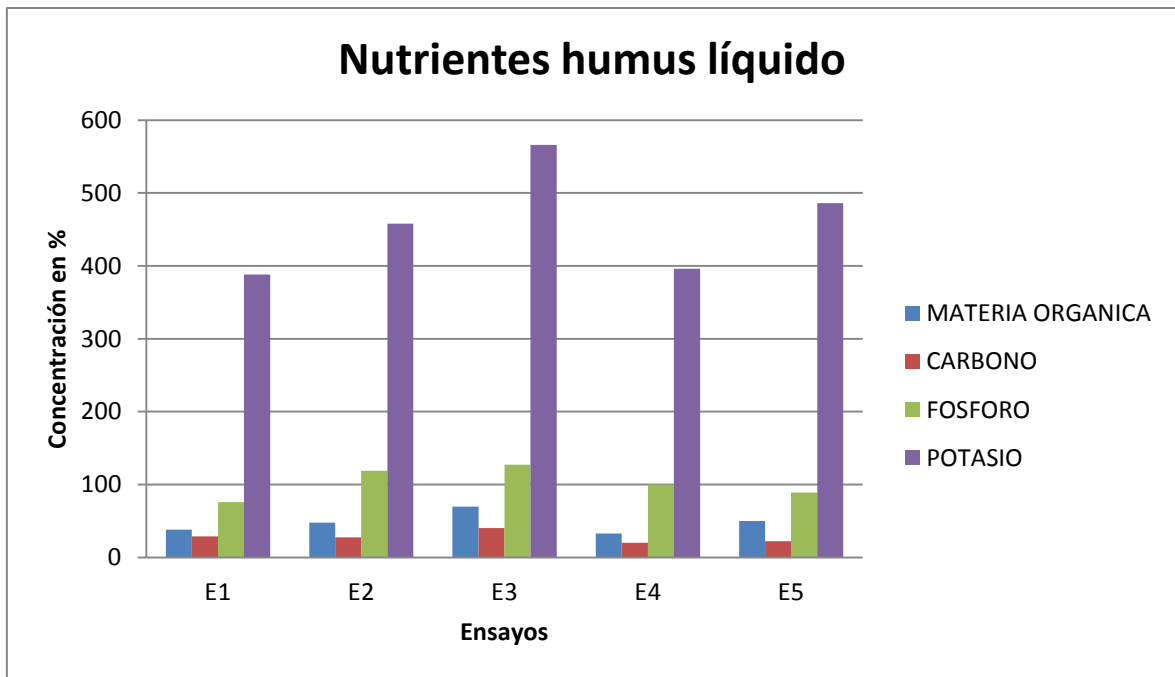


Figura: 8.4. Nutrientes humus líquidos

Como se puede observar en la figura 8.4, el ensayo que presenta mejores características fisicoquímicas en cuanto a nutrientes es el humus obtenido en el ensayo 3, ya que supera en contenido de materia orgánica a HUM ECOL en un 31.6%, Por otra parte el porcentaje de nitrógeno total que presenta este ensayo supera en un 2.02 %, a HUM ECOL. El humus líquido que se obtuvo en el ensayo 1, en el cual se utilizó como sustrato 100% lodo residual, supera en un 12 % a HUM ECOL en cuanto a materia orgánica, Cabe mencionar que al aumentar el porcentaje de lodo residual en los ensayos, disminuyen los nutrientes del humus líquido obtenido. Los resultados obtenidos en esta investigación coinciden con los reportados por (Arteaga, 2003)

Estadísticamente los ensayos no son significativamente diferentes al control (HUM ECOL), ya que al aplicar un análisis de varianza (ANOVA), se obtuvieron los resultados que presenta la tabla 8.4. Como se puede observar el valor calculado de F es menor al valor crítico de F por lo tanto la hipótesis nula es aceptada, es decir no existe diferencia significativa, entre los ensayos en cuanto a la concentración de nutrientes.

Tabla: 8.4. Análisis de varianza del diseño experimental de humus líquido.

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE LOS CUADRADOS	F	PROBABILIDAD	VALOR CRÍTICO PARA F
Entre grupos	7603,8434	4	1900,960	0,0602	0,9928597	2,75871
Dentro de los grupos	789318,10	25	31572,72			
Total	796921,94	29				

8.5. Ensayo toxicológico.

El bioensayo de toxicidad con semillas de jitomate (*Lycopersicon esculentum*) es una prueba estática de toxicidad aguda (120 horas de exposición) en el que se pueden evaluar los efectos fitotóxicos del humus líquido obtenido en la experimentación, en el proceso de germinación de las semillas y en el desarrollo de las plántulas durante los primeros días de crecimiento.

Para realizar la evaluación toxicológica se calcularon los valores que se muestran en la tabla 8.5 muestra los resultados de los Porcentajes de Germinación Relativo (GR), Crecimiento de Radícula Relativo (ER) e Índice de Germinación (IG), que se efectuaron a cada ensayo con tres diluciones por ensayo.

Tabla 8.5. Bioensayo de toxicidad

% GERMINACIÓN RELATIVA			
CONCENTRACIÓN			
ENSAYO	[1:5]	[1:10]	[1:15]
1	87,5	112,5	112,5
2	125	75	112,5
3	112,5	112,5	100
4	125	100	87,5
HUM ECOL	100	125	125
% INDICE GERMINACIÓN			
CONCENTRACIÓN			
ENSAYO	[1:5]	[1:10]	[1:15]
1	305,5	401,6	340,0
2	307,2	180,2	305,1
3	299,2	294,6	343,2
4	208,6	190,7	208,0
HUM ECOL	70,2	164,0	204,4
% CRECIMIENTO DE RADÍCULA RELATIVA			
CONCENTRACIÓN			
ENSAYO	[1:5]	[1:10]	[1:15]
1	349,2	356,9	302,2
2	245,8	240,3	271,2
3	266,0	261,9	343,2
4	166,8	190,7	237,7
HUM ECOL	70,2	131,2	163,6

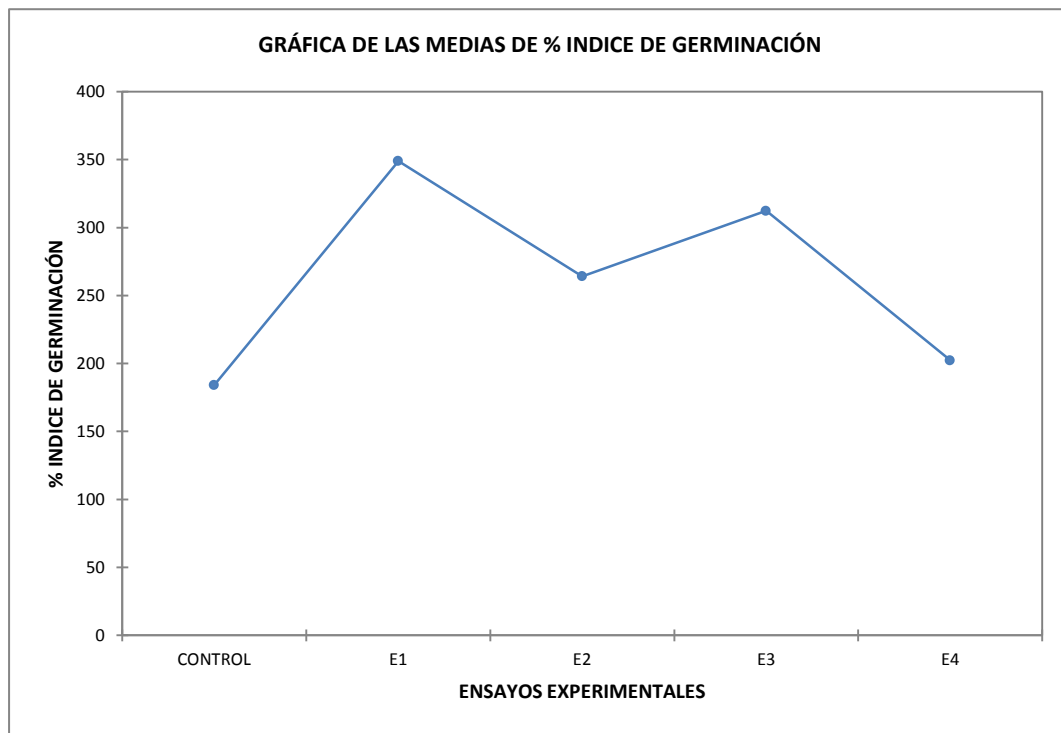


Figura: 8.5. Gráfica de las medias del % de índice de germinación

La figura 8.5 muestra las medias estadísticas del porcentaje de índice de germinación, como se observa en la figura el valor que obtuvo menor índice de germinación fue el etiquetado como control que es el lixiviado HUM ECOL, con una media de 184.2 % índice de germinación, el ensayo 1 obtuvo un valor de 349 % índice de germinación que es el mayor valor obtenido en la experimentación. Los valores obtenidos señalan que ninguno de los ensayos presenta fitotoxicidad, ya que según (Emino y Warman, 2004) valores de IG inferiores a 50% indican una alta fitotoxicidad del material; IG entre 50% y 80% indican fitotoxicidad moderada y valores superiores a 80% el material no presenta fitotoxicidad. Los resultados obtenidos en esta investigación superan los % de germinación obtenidos por (Arteaga, *et al*, 2006). En el cual se utilizaron semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum*), que presentan un índice de germinación del 86% al 90%, los bioensayos se realizaron con humus líquido obtenido a partir del la vermicomposta de estiércol vacuno.

Tabla: 8.6. Análisis de varianza ANOVA

FUENTE	GDL	SUMA DE LOS CUADRADOS	MEDIA DE LOS CUADRADOS	F	PR > F
Modelo	4	52585,650	13146,412	6,658	0,009
Error	9	17771,997	1974,666		
Total corregido	13	70357,647			

Se llevo a cabo un análisis de varianza y el efecto de las medias fue analizado mediante test de Dunnett bilateral con un intervalo de confianza del 95%, para tal fin se utilizo el software XLSTAT 2011. Los resultados de este análisis se muestran en la tabla 8.6. En la cual se puede observar que el valor calculado de F es de 6.658 el cual es mayor al valor de $pr > dif$ por lo tanto la hipótesis nula es rechazada, lo que indica que entre los ensayos analizados existe una diferencia significativa de las medias estadísticas.

Tabla: 8.7. Dunnett bilateral

CATEGORÍA	DIFERENCIA	DIFERENCIA ESTANDARIZADA	VALOR CRÍTICO	DIFERENCIA CRÍTICA	PR > DIF	SIGNIFICATIVO
CONTROL vs E1	-164,792	-4,062	2,901	117,683	0,009	Si
CONTROL vs E3	-128,142	-3,159	2,901	117,683	0,034	Si
CONTROL vs E2	-79,942	-1,971	2,901	117,683	0,206	No
CONTROL vs E4	-18,178	-0,448	2,901	117,683	0,967	No

Para estimar la diferencia entre los ensayos se realizo el análisis de Dunnett bilateral los resultados obtenidos se muestran en la tabla 8.7. En la cual se observa los contrastes entre los ensayos y el control (HUM ECOL), esto simboliza que se presento un índice de germinación mayor en el ensayo 1 y ensayo 3 y este es significativo por lo tanto el ensayo 1 y 3 resultan ser mejores estimulantes para germinar las semillas.

Conclusiones

Los resultados fisicoquímicos obtenidos del análisis del lodo residual revelan que el lodo puede ser aprovechado para usos agrícolas, forestal y mejoramiento de suelos de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002.

El ensayo E3 (40% estiércol, 60% lodo), presenta una conductividad eléctrica mayor que el humus comercial Hum Ecol por lo tanto el ensayo 3 supera a Hum Ecol en la concentración de sales disueltas.

Se logró la adaptación de los anélidos al consumo de lodo residual ya que estos resultaron ser una fuente rica de materia orgánica disponibles para el desarrollo de *E. foetida* que se alimentan principalmente de los microorganismos presentes en estos desechos.

El humus líquido que se obtuvo en los diferentes tratamientos no presentan una diferencia estadística significativa en cuanto a las concentraciones de nutrientes comparados con el humus líquido comercial HUM ECOL, por lo tanto las características fisicoquímicas del humus líquido obtenido son compatibles con el humus líquido comercial; sin embargo el ensayo 3 es el que presenta valores mayores en el contenido de materia orgánica, fósforo, carbono, nitrógeno y potasio, los cuales favorecen la fertilización del suelo y el desarrollo de los cultivos, por lo que se concluye que este ensayo es el más apropiado.

De acuerdo con el ensayo toxicológico que se realizó se concluye que el humus líquido obtenido en los ensayos experimentados, no presentan fitotoxicidad, ya que se obtuvieron valores de 349 % de índice de germinación, que según (Emino y Warman, 2004) valores de IG inferiores a 50% indican una alta fitotoxicidad del material; IG entre 50% y 80% indican fitotoxicidad moderada y valores superiores a 80% el material no presenta fitotoxicidad. Por consiguiente este no representa ningún riesgo al ser utilizado como fertilizante.

Recomendaciones

Es adecuado realizar un estudio agronómico con el fin de establecer las diluciones pertinentes para la utilización de los lixiviados, en las distintas etapas del desarrollo de los cultivos.

Calcular la concentración que produce el 50% de inhibición (CI50/CE50) para cada ensayo.

No se recomienda realizar mezclas de estiércol lodo residual, en las cuales el porcentaje de lodo residual sea mayor al 80%, ya que al aumentar el porcentaje de lodo disminuyen los nutrientes del lixiviado y el lixiviado se precipita, característica que afecta la calidad del humus líquido.

LITERATURA CITADA

- Arteaga, (2003): Resultados de la aplicación del Liplant sobre un suelo ferralítico Rojo al evaluar algunos indicadores biológicos y productivos de tres cultivos. *Tesis presentada en opción al grado académico de Master en Química aplicada a la Agricultura*, UNAH La Habana, Cuba. pp: 89.
- Arteaga, Garcés, N. y Guridi, F. (2006): Evaluación de aplicaciones foliares de humus líquido en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) var. Amalia en condiciones de producción. *Cultivos Tropicales* 27(3): 95-101.
- Atiyeh, R. M. Lee, S., Edwards, C. A., Arancon, N. Q. and Metzger, J. D. (2002). The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Biores. Technol.* 84: 7-14.
- Atiyeh, R. M. Subler, S., Edwards, C. A., Bachman, G., Metzger, J. D., and Shuster, W. (2000a). Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia.* 44: 579-590.
- Atiyeh, R. M., Arancon, N., Edwards, C. A. and Metzger, J. D., (2000c). Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. *Biores. Technol.*, 75: 175-180.
- Atiyeh, R. M., Domínguez, J., Subler, S. and Edwards, C. A., (2000b). Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouché) and the effects on seedling growth. *Pedobiologia*, 44: 709-724.
- Bomio M. (1990) Aerobic thermophilic sludge treatment, *Environmental Biotechnology*. En: *Proceedings of the International Symposium on Biotechnology*, p 85. Bratislava, Czecho-Slovakia.
- Buck, C., Langmaack, M. and Schrader, S. (2000). Influence of mulch and soil compaction on earthworm cast properties. *Appl. Soil Ecol.*, 14: 223-229.
- Canellas, L. P., Olivares, F. L., Okorokova-Facanha, A. L. and Facanha, A.(2002). Humic Acids Isolated from Earthworm Compost Enhance Root Elongation, Lateral Root Emergence, and Plasma Membrane H⁺-ATPase Activity in Maize Roots. *Plant Physiol.* 130(4): 1951-1957.
- Cardoso V.L., E.Ramírez C., V. Escalante E.. y G. Moeller Ch. Criterios y especificaciones técnicas para la disposición o uso de lodos residuales de plantas de tratamiento municipales. Instituto Mexicano de Tecnología

- Caro, I. (2004): Caracterización de algunos parámetros químico-físico del Liplant, humus líquido obtenido a partir del vermicompost de estiércol vacuno. *Tesis presentada en opción al grado académico de Máster en Química aplicada a la Agricultura*, UNAH, La Habana, Cuba, pp. 90.
- Carrozzi A. y Steinle E. (1994) Tratamiento anaerobio de plantas municipales, en III Taller y Seminario Latinoamericano "Tratamiento de Aguas Residuales" Universidad de la República. pp 200-205. Montevideo Uruguay.
- Castillo G, (2004). *Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones*. IDRC, IMTA, Canadá. 202 pp.
- Castillo, A.E., Quarín, S. H. and Iglesias, M., (2000). Caracterización química y física de compost de lombrices elaborados a partir de residuos orgánicos puros y combinados. *Agric. Téc. (Chile)*. 60(1): 74-79.
- Chang, I., Tsai, J. J., y Wu, K. H., (2006). Composting of vegetable waste. *Waste Management & Research*. 24: 354-362.
- Dominguez, J., Edwards, C.A. and Ashby, J., (2001). The biology and population dynamics of *Eudrilus eugeniae* (Kinberg) (Oligochaeta) in cattle waste solids. *Pedobiologia*, 45: 341-353.
- Domínguez, J., Edwards, C.A. and Webster, M., (2000). Vermicomposting of sewage sludge: Effect of bulking materials on the growth and reproduction of the earthworm *Eisenia andrei*. *Pedobiologia*, 44: 24-32.
- Domínguez, J., Parmelee, R.W. and Edwards, C.A., (2003). Interactions between *Eisenia andrei* (Oligochaeta) and nematode populations during vermicomposting. *Pedobiologia*, 47: 53-60.
- Elvira, C., Sanpedro, L., Benitez, E., Nogales, R. (1998). Vermicomposting of sludges from paper mill and dairy industries with *Eisenia andrei*. A pilot scale study. *Biores. Technol.* 63, 211-218.
- Emino E., Warman P. 2004. Biological Assay for Compost Quality. *Compost Science & Utilization*, Vol 12, No. 4, 342-348.
- Engbersen J. F. J. y Groot Æ. de (1988) *Inleiding in de bio-organische chemie*, Pudoc Wageningen 1988, Wageningen.
- Fernández, Zabala M., (2003). Evaluación agronómica de sustancias húmicas derivadas de humus de lombriz. Tesis de Maestría realizada en la Universidad Pontificia de Chile.

- Fernández, Zabala M., (2003). Evaluación agronómica de sustancias húmicas derivadas de humus de lombriz. Tesis de Maestría realizada en la Universidad Pontificia de Chile.
- Gabriela C., (2004) Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas, instituto Mexicano de tecnología del agua.
- García, P, R. E.; Rodríguez, N. (1990). Contribución al Conocimiento de las Lombrices de Tierra en la Región de Chapingo, México. Terra. 1990, 8-217-181.
- García-Martínez, I., Cruz, F., Larqué-Saavedra, A. & Soto, M. (2002). Extraction of auxin-like substances from compost. Crop Research, 24, 323-327.
- Gaudy A. y Gaudy E. (1980) Microbiology for environmental scientists and engineers, McGraw-Hill New York, N. Y.
- Ghosh, M., Chattopadhyay, G. N. and Baral, K., (1999). Transformation of phosphorus during vermicomposting. Biores. Technol. 69: 149-154.
- Haimi, J., Hultha, V. (1990). Growth and reproduction of the compost-living earthworm *Eisenia andrei* and *E. foetida*. Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol 27, 415-421.
- Hartenstein, R., (1981) "Utilization of Earthworms and Microorganisms in Stabilization, Decontamination and Detoxification of Residual Sludges from Treatment of Wastewater", National Science Foundation, Washington, DC, USA, Technical Report No. NSF/CEE-81009, 19 pages.
- Hernández D., Plaza, C., Senesi, N. y Polo, A., (2007). Fluorescence analysis of copper (II) and zinc (II) binding behavior of fulvic acids from pig slurry and amended soil. European Journal of soil science. 58: 900-908.
- Hornor, S.G. and M.J. Mitchell,(1981) "Effect of the Earthworm, *Eisenia foetida* (Oligochaeta), on Fluxes of Volatile Carbon and Sulfur Compounds from Sewage Sludge", Soil Biology and Biochemistry, Vol. 13, No. 5, pages 367-373.
- Kiyohiko, Nakasaki., Kazuki, Nag., y Shuichi, Karita., (2005). Microbial succession associated with organic matter decomposition during thermophilic composting of organic waste. Waste Management & Research. 23: 48-56.
- Layla, Ben A., Abdennaceur, H., Naceur, J., Neila, S., Olfa., y Fumio, M., (2006). Microbial C and N dynamics during composting process of urban solid waste. Waste Management Research. 25: 24-29.

- Loehr, R.C., J.H. Martin, E.F. Neuhauser, (1984), Malecki, "Waste Management Using Earthworms: Engineering and Scientific Relationships", National Science Foundation, Washington, DC, USA, Technical Report_No. NSF/CEE-84007, 128 pages.
- Metcalf y Eddy, INC., (1996), Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización, Ed. Mc Graw-Hill, Trad. Trillo M. J. de D. y Trillo F. I. pp 865-1050.
- Mitchell, M.J., S.G. Hornor and B.I. Abrams, "Decomposition of Sewage Sludge in Drying Beds and the Potential Role of the Earthworm, *Eisenia foetida*", Journal of Environmental Quality, Vol. 9, No. 3, pages 373-378, July 1980.
- Mitchell, M.J., R.M. Mulligan, R. Hartenstein and E.F. Neuhauser, "Conversion of Sludges in Topsoil by Earthworms", Compost Science, Vol. 18, No.4, pages 28-32, July 1977.
- Moeller, G. (1997), *Biological Treatment of Municipal Sludge. Biotechnology for Water Use and Conservation The Mexico 96 Workshop*, OECD, Cedex, París, Francia.
- Muñoz, Trochez J. S., (2005). Compostaje en pescador, cauca: Tecnología apropiada para el manejo de residuos orgánicos y su contribución a la solución de problemas medioambientales. Tesis de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira Facultad de Ingeniería y Administración, Ingeniería Ambiental Palmira.
- Nieto, Garibay A., Murillo, Amador B., Troyo, Diéguez E., Larrinaga, Mayoral J. A., y García, Hernández J. L., (2002). El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas Interciencia. No. 8. 27: 417-421.
- Nieto, Garibay A., Murillo, Amador B., Troyo, Diéguez E., Larrinaga, Mayoral J. A., y García, Hernández J. L., (2002). El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas Interciencia. No. 8. 27: 417-421.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental.-Lodos y biosólidos.-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.
- Ortiz Hernández M.L., Sánchez Salinas E. y Gutiérrez Ruiz M. (1993b). *Análisis de Suelos. Fundamentos y Técnicas*. Parte II. UAEM. Cuernavaca, Morelos. 143pp.

- Pasqualoto, Canellas L., Lopes, Olivares F., Okorokova, Façanha A. L., y Rocha, Façanha A., (2002). Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H⁺-ATPase activity in maize roots. *American Society of Plant Biologist*. 130: 1951-1957.
- Pino G.P., Varnero M. M.T., Alvarado V., (2005). Dinámica del compostaje de residuos vitivinícolas con y sin incorporación de guano Broiler. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*. Universidad Autónoma de Chihuahua 5 (2) 19-25
- Prat, s., Pospisil, f. 1959. Humic acids with ¹⁴C. *biol. plant*. 1:71-80.
- Ramos, Ruiz R., (2000). Aplicación de sustancias húmicas comerciales como productos de acción bioestimulante. Efectos frente al estrés salino. Tesis de doctorado, Universidad de Alicante Facultad de Ciencias.
- Rechcigl, J., (1995); *Soil Amendments and Environmental Quality*. Agriculture and Environment Series, Boca; Lewis Publisher, 504p.
- Reinés A. M. M. (1998). *Lombricultura, Alternativa del desarrollo sustentable*. Convenio de cooperación Académica y Cultural entre la Universidad de Guadalajara y la Universidad de la Habana. 36pp.
- Röben, Eva., (2002). Manual de compostaje para municipios de Loja, Ed. DED/Ilustre. Ecuador.
- Sánchez A., (2002). Mejora en la eficiencia de quelatos de hierro sintéticos a través de sustancias húmicas y aminoácidos. Tesis de doctorado. Universidad de Alicante Facultad de Ciencias.
- Sánchez Salinas E. (1997). *Calidad del agua tratada para riego y sus efectos sobre los suelos*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 139 pp.
- Sandoval, J. (2002). Acondicionadores y mejoradores de suelo. Instituto colombiano agropecuario. Medellín. Colombia.
- Sauri, Riancho M. R., y Castillo, Borges E. R., (2002). Utilización de la composta en procesos para la remoción de contaminantes. *Ingeniería Revista Académica*. Universidad Autónoma de Yucatán. No.3. 6: 55-60.
- Soriano, M.D, Molina, M. Linares, J., Pons, V.; Ingelmo, F. (2008) Estabilización de residuos de vinazas y lodos de depuradora tras un proceso de vermicompostaje con estiércol de conejo en condiciones de laboratorio, Universidad Politécnica de Valencia, I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos Castellón, 23-24.

- Torres G. y Zárate V. (1997). Factibilidad de tratamiento y disposición de lodo residual de una planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en el Edo. de Nuevo León México, Water Environment Federation, 70th annual Conference y Exposition. Chicago Illinois.
- Velasco, J. A. y Volke, T., (2003). El composteo: una alternativa tecnológica para la biorremediación de suelos en México. Gaceta ecológica, enero-marzo, Instituto Nacional de Ecología Distrito Federal, México. Número 66: 41-53.
- Viswanathan C. V., Meera B., Pillai S. C. (1962) Fatty matter in aerobic and anaerobic sewage sludge. Journal Water Pollution Control Federation : February: 198-193
- White, K. E., (2005). Bioavailability of polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment. Thesis (Ph.D.)-North Carolina State University.<http://www.lib.ncsu.edu/theses/available/etd-10262005-224903/unrestricted/etd.pdf>.
- Widman, Aguayo F., Herrera, Rodríguez F., Cabañas, Vargas D. D., (2005). El uso de compostas proveniente de residuos sólidos municipales como mejorador de suelos para cultivos en Yucatán. Estudios preliminares. Ingeniería. No. 3. 9: 31-38.
- Yub H. K., Shin E. B. y Choi H. B. (1997) A mechanical pretreatment of waste activated sludge for improvement of anaerobic digestion system. Water Science and Technology 36 (12):11-116
- Yue H., Sung S. y Dague R. (1995), Temperature-phased anaerobic digestion of wastewatersludge. En: Proc 8th International Conference on Anaerobic Digestion, vol 1 pp 340-347
- Zucconi, f., Pera, A., Forte, M. (1981). Evaluating toxicityin immature compost En : Biocycle 22: 54-57

ANEXO

SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección
ambiental.- Lodos y biosólidos.-Especificaciones y límites máximos
permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición
final.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.-

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

INDICE

0. Introducción
1. Objetivo y campo de aplicación
2. Referencias
3. Definiciones
4. Especificaciones
5. Muestreo y métodos de prueba
6. Evaluación de la conformidad
7. Grado de concordancia con normas y lineamientos internacionales
8. Bibliografía
9. Observancia de esta Norma

Anexos

- I Opciones para la reducción de atracción de vectores
- II Método de muestreo de lodos y biosólidos
- III Método para la cuantificación de coliformes fecales en lodos y biosólidos
- IV Método para la cuantificación de Salmonella spp., en lodos y biosólidos
- V Método para la cuantificación de huevos de helmintos en lodos y biosólidos
- VI Método para la cuantificación de metales pesados en biosólidos
- VII Contenido de la bitácora de control de lodos y biosólidos

0. Introducción

En las actividades de desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, así como en las correspondientes a la operación de las plantas potabilizadoras y de plantas de tratamiento de aguas residuales se generan volúmenes de lodos, que en caso de no darles una disposición final adecuada, contribuyen de manera importante a la contaminación de la atmósfera, de las aguas nacionales y de los suelos, afectando los ecosistemas del área donde se depositen.

Se ha considerado que los lodos por sus características propias o por las adquiridas después de un proceso de estabilización pueden ser susceptibles de aprovechamiento siempre y cuando cumplan con los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en la presente Norma Oficial Mexicana o, en su caso, se dispongan en forma definitiva como residuos no peligrosos; para atenuar sus efectos contaminantes para el medio ambiente y proteger a la población en general.

1. Objetivo y campo de aplicación

1.1 Objetivo

Esta Norma Oficial Mexicana establece las especificaciones y los límites máximos

permisibles de contaminantes en los lodos y biosólidos provenientes del desazolve 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.

1.2 Campo de aplicación

Es de observancia obligatoria para todas las personas físicas y morales que generen lodos y biosólidos provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

2. Referencias

Constancia de no peligrosidad de residuos, anteriormente trámite INE-04-007 modificada su homoclave el 29 de mayo de 2003, mediante el acuerdo por el que se dan a conocer todos los trámites y servicios inscritos en el Registro Federal de Trámites y Servicios que aplica la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, ahora procedimiento SEMARNAT-07-007. NMX-B-231-1990, Cribas para la clasificación de materiales granulares, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de diciembre de 1990.

3. Definiciones

Para efectos de la presente Norma Oficial Mexicana, se establecen las siguientes

definiciones:

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

Acción de mantener en un sitio los lodos y biosólidos, hasta su aprovechamiento o disposición final.

3.3 Aprovechamiento

Es el uso de los biosólidos como mejoradores o acondicionadores de los suelos por su contenido de materia orgánica y nutrientes, o en cualquier actividad que represente un beneficio.

3.4 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.

3.5 Biosólidos

Lodos que han sido sometidos a procesos de estabilización y que por su contenido

de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después de su estabilización, puedan ser susceptibles de aprovechamiento.

3.6 Coliformes fecales

Bacterias patógenas presentes en el intestino de animales de sangre caliente y humanos. Bacilos cortos Gram negativos no esporulados, también conocidos como coliformes termotolerantes. Pueden identificarse por su tolerancia a temperaturas de 44°C-45°C. Tienen la capacidad de fermentar la lactosa a temperatura de 44.5°C. Incluyen al género *Escherichia* y algunas especies de *Klebsiella*.

3.7 Desazolve

La acción de extraer sólidos provenientes de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, no incluye los provenientes de las presas o vasos de regulación.

Página 4 de 18 3.8 Digestión aerobia Es la transformación 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.

3.9 Digestión anaerobia

Es la transformación 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 disuelto y combinado.

3.10 Disposición final

La acción de depositar de manera permanente lodos y biosólidos en sitios autorizados.

3.11 Estabilización

Son los procesos físicos, químicos o biológicos a los que se someten los lodos para acondicionarlos para su aprovechamiento o disposición final para evitar o reducir sus efectos contaminantes al medio ambiente.

3.12 Estabilización alcalina

Es el proceso mediante el cual se añade suficiente cal viva (óxido de calcio CaO) o cal hidratada (hidróxido de calcio Ca(OH)₂) o equivalentes, a la masa de lodos y biosólidos para elevar el pH.

3.13 Helminto

Término designado a un amplio grupo de gusanos parásitos (de humanos, animales y vegetales), de vida libre, con forma y tamaños variados. Poseen órganos diferenciados, y sus ciclos vitales comprenden la producción de huevos o larvas, infecciosas o no.

3.14 Huevos de helmintos viables

Huevos de helmintos susceptibles de desarrollarse e infectar.

3.15 La Secretaría

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

3.16 Límite máximo permisible

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

3.17 Lixiviado

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

3.18 Lodos

Son 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, que no han sido sometidos a procesos de estabilización.

3.19 Mejoramiento de suelos

Es la aplicación de los biosólidos en terrenos para mejorar sus características físicas, químicas o microbiológicas.

3.20 Muestra

Parte representativa de un universo o población finita, obtenida para conocer sus características.

3.21 Parásito

Organismo animal o vegetal que vive sobre o dentro de un individuo de otra especie.

3.22 Patógeno

Microorganismo capaz de causar enfermedades, si está presente en cantidad suficiente y condiciones favorables.

3.23 Salmonella spp.

Bacilos móviles por sus flagelos peritricos, que fermentan de manera característica

glucosa y manosa sin producir gas, pero no fermentan lactosa ni sacarosa. La mayoría produce sulfuro de hidrógeno (H₂S). A menudo, son patógenos para el hombre y los animales cuando se ingieren, ocasionando fiebre tifoidea y enterocolitis (conocida también como gastroenteritis).

3.24 Sistema de alcantarillado urbano o municipal

Es el conjunto de obras y acciones que permiten la prestación de un servicio público de alcantarillado, incluyendo el saneamiento, entendiendo como tal la conducción,

tratamiento, alejamiento y descarga de las aguas residuales.

3.25 Sólidos Totales (ST)

Son los materiales residuales que permanecen en los lodos y biosólidos, que han

sido deshidratados entre 103°C a 105°C, hasta alcanzar un peso constante y son

equivalentes en base a peso seco.

3.26 Sólidos Volátiles (SV)

Son sólidos orgánicos totales presentes en los lodos y biosólidos, que se volatilizan cuando éstos se queman a 550°C en presencia de aire por un tiempo determinado.

3.27 Tasa Específica de Absorción de Oxígeno (TEAO)

Es la masa de oxígeno consumida por unidad de tiempo y por unidad de masa en

peso seco de los sólidos totales de los lodos y biosólidos.

3.28 Terrenos con fines agrícolas

Son las superficies sobre las cuales se pueden cultivar productos agrícolas para

consumo humano y animal, incluyendo los pastizales.

4. Especificaciones

4.1 Las personas físicas o morales interesadas en llevar a cabo el aprovechamiento

o disposición final de los lodos y biosólidos a que se refiere esta Norma Oficial Mexicana, deberá de recabar la “constancia de no peligrosidad de los mismos” en

términos del trámite SEMARNAT-07-007.

4.1.1 En el caso del proceso de estabilización alcalina, las muestras de lodos deben ser tomadas antes de ser sometidas a este proceso.

4.2 Los lodos y biosólidos que cumplan con lo establecido en la especificación 4.1,

pueden ser manejados como residuos no peligrosos para su aprovechamiento o

disposición final como se establece en la presente Norma Oficial Mexicana.

4.3 Para que los biosólidos puedan ser aprovechados, deben cumplir con la especificación 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8; y lo establecido en las tablas 1, 2 y 3 de la presente Norma Oficial Mexicana.

4.4 Los generadores de biosólidos deben controlar la atracción de vectores, demostrando su efectividad. Para lo cual se pueden aplicar cualquiera de las opciones descritas, de manera enunciativa pero no limitativa, en el Anexo 1 u otras que el responsable demuestre que son útiles para ello. Se deben conservar los registros del control por lo menos durante los siguientes 5 (cinco) años posteriores a su generación.

4.5 Para efectos de esta Norma Oficial Mexicana los biosólidos se clasifican en tipo: excelente y bueno en función de su contenido de metales pesados; y en clase: A, B y C en función de su contenido de patógenos y parásitos.

4.6 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)	EXCELENTES mg/kg en base seca	BUENOS 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

4.7 Los límites máximos permisibles de patógenos y parásitos en los lodos y biosólidos se establecen en la tabla 2.

TABLA 2
LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA PATOGENOS Y PARASITOS EN LODOS Y BIOSOLIDOS

CLASE	INDICADOR BACTERIOLOGICO DE CONTAMINACION	PATOGENOS	PARASITOS
		Coliformes fecales NMP/g en base seca	<i>Salmonella spp.</i> NMP/g en base seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1(a)
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

(a) Huevos de helmintos viables

NMP número más probable

4.8 El aprovechamiento de los biosólidos, se establece en función del tipo y clase, como se especifica en la tabla 3 y su contenido de humedad hasta el 85%.

TABLA 3
APROVECHAMIENTO DE BIOSOLIDOS

TIPO	CLASE	APROVECHAMIENTO
EXCELENTE	A	<ul style="list-style-type: none"> • Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación • Los establecidos para clase B y C
EXCELENTE O BUENO	B	<ul style="list-style-type: none"> • Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación • Los establecidos para clase C
EXCELENTE O BUENO	C	<ul style="list-style-type: none"> • Usos forestales • Mejoramientos de suelos • Usos agrícolas

4.9 La aplicación de los biosólidos en terrenos con fines agrícolas y mejoramiento de suelos se sujetará a lo establecido en la Ley Federal de Sanidad Vegetal y conforme a la normatividad vigente en la materia.

4.10 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 del indicador de contaminación, patógenos y parásitos especificados en la tabla 2, para clase C.

4.11 Los sitios para la disposición final de lodos y biosólidos, serán los que autorice la autoridad competente, conforme a la normatividad vigente en la materia.

4.12 Los lodos y biosólidos que cumplan con lo establecido en la presente Norma

Oficial Mexicana, pueden ser almacenados hasta por un periodo de dos años. El predio en el que se almacenen debe ser habilitado para que no existan infiltraciones al subsuelo y contar con un sistema de recolección de lixiviados.

4.13 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.

4.14 Muestreo y análisis de lodos y biosólidos

El generador de lodos y biosólidos por medio de laboratorios acreditados debe realizar los muestreos y análisis correspondientes para demostrar el cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana y deberá conservar los registros por lo menos los siguientes 5 (cinco) años posteriores a su realización.

4.15 La frecuencia de muestreo y análisis para los lodos y biosólidos se realizará en función del volumen de lodos generados como se establece en la tabla 4.

TABLA 4
FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANALISIS
PARA LODOS Y BIOSOLIDOS

Volumen generado por año (Ton/Año) en base seca	Frecuencia de muestreo y análisis	Parámetros a determinar
Hasta 1,500	Una vez al año	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos
Mayor de 1,500 hasta 15,000	Una vez por semestre	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos
Mayor de 15,000	Una vez por trimestre	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos

Una vez por semestre Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos Mayor de 15,000 Una vez por trimestre Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos

4.16 El generador podrá quedar exento de realizar el muestreo y análisis de alguno o varios de los parámetros establecidos en la presente Norma Oficial Mexicana, siempre y cuando la detección de éstos sea en cantidades menores que los límites máximos establecidos, o cuando por la procedencia de los lodos y biosólidos éstos no contengan los contaminantes regulados en la presente Norma Oficial Mexicana, en ambos casos, deberá manifestarlo ante la Secretaría por escrito y bajo protesta de decir verdad. La autoridad se reserva el derecho de verificar dicha información.

4.17 El generador deberá contar con una bitácora de control de lodos y biosólidos, de acuerdo a lo establecido en el Anexo VII.

5. Muestreo y métodos de prueba

Para el muestreo y determinación de los valores y concentraciones de los parámetros establecidos en esta Norma, se deberán aplicar los métodos de prueba establecidos en los anexos II, III, IV, V y VI de la presente Norma Oficial Mexicana.

6. Evaluación de la conformidad

La evaluación de la conformidad de la presente Norma Oficial Mexicana se realizará a petición de parte, de conformidad a lo dispuesto por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento.

El procedimiento de verificación se realizará por la PROFEPA o por las unidades de verificación y laboratorios acreditados y aprobados para llevar a cabo la verificación. En caso de que existan unidades de verificación acreditadas para la presente Norma, la verificación se realizará exclusivamente a través de las mismas.

7. Grado de concordancia con normas y lineamientos internacionales

Esta Norma Oficial Mexicana no concuerda con ninguna norma o lineamiento internacional, tampoco existen normas mexicanas que hayan servido de base para su elaboración.

8. Bibliografía

8.1 A Guide to the Biosolids Risk Assessments for the EPA Part 503 Rule. EPA 832- B-93-005. Environmental Protection Agency USA. September 1995. (Guía para la evaluación de riesgos en los biosólidos por la EPA. Parte 503, Reglamento EPA 832-B-93-005.- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América. Septiembre 1995).

8.2 A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule. EPA/832/R-93/003.

Environmental Protection Agency USA. September 1994. (Guía sencilla de la EPA.

Parte 503 Biosólidos Reglamento EPA/832/R-93/003.- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América. Septiembre 1994).

8.3 APHA, AWWA, WPCF. 1992 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th Ed. American Public Health Association. Washington, D.C. (Métodos establecidos para el análisis de agua y agua residual. 18ava. Edición. Asociación Americana de Salud Pública. Washington, D.C.).

8.4 Biosolids Treatment and Management. Processes for Beneficial Use. Marcel

Dekker, Inc. 1996. (Tratamiento y Manejo de los Biosólidos.- Procesos para Uso

Benéfico.- Marcel Dekker, Inc. 1996).

8.5 Campos, R., Maya, C. y Jiménez, B. "Estabilización Térmica Alcalina de Lodos

Químicos con un Alto Contenido de Microorganismos Patógenos". XIX Encuentro

Nacional AMIDIQ, Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería

Química, A.C. Memorias pp. 365-366, Ixtapa- Zihuatanejo, Gro., del 13 al 15 de mayo de 1998.

8.6 Environmental Regulations and Technology. Use And Disposal Of Municipal Wastewater Sludge. EPA 625/10-84-003. Environmental Protection Agency USA.

September 1984. (Tecnologías y Regulaciones Ambientales.- Uso y disposición de

lodos de aguas municipales. EPA 625/10-84-003. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América. Septiembre 1984).

8.7 Environmental Regulations and Technology. Control of Pathogens in Municipal

Wastewater Sludge. EPA/625/10-89/006. Environmental Protection Agency USA.

September 1989. (Tecnologías y Regulaciones Ambientales.- Control de Patógenos en lodos de aguas municipales. EPA/625/10-89/006. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América. Septiembre 1989).

8.8 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.

8.9 Geochemistry, Groundwater and Pollution. C.A.J. Appelo y D. Postma.- A.A. Balkema/Rotterdam/ Brookfield/1996. (Geoquímica, aguas subterráneas y contaminación. C.A.J. Appelo y D. Postma.- A.A. Balkema/ Rotterdam/ Brookfield/ 1996).

8.10 Goepfert, J., Olson, N. and Marth, E., 1968. Behavior of Salmonella typhimurium During Manufacture and Curing of Cheddar Cheese. Applied Microbiology. 16: 862-866. (Comportamiento de la Salmonella typhimurium durante el procesamiento y curado del queso Cheddar. Microbiología aplicada 16: 862-866.

8.11 Ground Water, Quality Protection. Larry W. Canter, Robert C. Knox y Deborah M. Fairchild. Lewis Publishers, Inc. 198 (Aguas subterráneas, características de protección.- Larry W. Canter, Robert C. Knox y Deborah M. Fairchild. Lewis Publishers, Inc. 1987).

8.12 Guía para el manejo, tratamiento y aprovechamiento de lodos residuales de plantas de tratamiento municipales. Comisión Nacional del Agua. SGIHUI. 1994.

8.13 Guía para el manejo, estabilización y disposición de lodos químicos. Tema Potabilización. Comisión Nacional del Agua. SGIHUI. 1994.

8.14 Jawetz, E., Melnick, J. y Adelberg, E., 1995. Microbiología Médica. Ed. Manual Moderno. México. pp. 803.

8.15 Jiménez B., Barrios, J.A. and Maya, C. 1999. Class B Biosolids Production from Wastewater Sludge with High Pathogenic Content Generated in an Advanced Primary Treatment. Disposal and Utilisation of Sewage Sludge:

Treatment Methods and Application Modalities. Water Resources, Hydraulics and Maritime Engineering NTUA.

Athens, Greece 13-15 October 1999 (Producción de biosólidos clase "B" de los lodos de aguas residuales con alto contenido patógeno generados en un tratamiento primario avanzado. Disposición y utilización de lodos residuales. Métodos de tratamiento y técnicas de aplicación. Recursos de agua, ingeniería marítima e hidráulica NTUA. Atenas, Grecia, 13-15 octubre 1999).

8.16 Jiménez C.B., Muñoz C.A. M. y Barrios Pérez, J. A., 1997. 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. Elaborado para la Comisión Nacional del Agua (CNA) por el Instituto de Ingeniería, UNAM. Proyecto 8313, pp. 107 (diciembre, 1997).

8.17 Jiménez, B., Chávez, A., Barrios, J.A., Maya, C. y Salgado, G., 1998. Manual

"Curso: Determinación y Cuantificación de Huevos de Helminto Norma Mexicana NMXAA- 113-SCFI/992". Grupo Tratamiento y Reuso, Instituto de Ingeniería UNAM. pp. 160, 8.18 Jiménez, B., Maya, C. y Pulido, M., 1996. Evaluación de las Diversas Técnicas para la Detección de los Huevos de Helminto, y Selección de una para Conformar la NMX Correspondiente. Instituto de Ingeniería, UNAM. México. pp. 52.

8.19 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. 1996.

8.20 Manual of good practice for utilization of sewage sludge in agriculture. 2nd. Revision october 1991. Anglian Water. (Manual de buenas prácticas para la utilización de lodos residuales en la Agricultura.- 2a. Revisión octubre 1991. Agua).

8.21 Miller, V. And Banwart, G., 1965. Effect of Various Concentration of Brilliant

Green and Bile Salts on Salmonellae and Other Microorganisms. Applied Microbiology. 13: 77-80. (Efecto de varias concentraciones de sales de verde brillante y biliares en la Salmonella y otros microorganismos. Microbiología aplicada. 13: 77-80).

8.22 Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL/1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales

en aguas y bienes nacionales. (Diario Oficial de la Federación 6 de enero de 1997).

8.23 Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI/1993, Sistema General de Unidades de Medida. (Diario Oficial de la Federación 14 de octubre de 1993).

8.24 Norma Oficial Mexicana NOM-AA-015-1985, Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Muestreo-Método de Environmental Protection-Soil Pollution-Municipal Solid Residues-Sampling-Quarter Method (Diario Oficial de la Federación 18 de marzo de 1985).

8.25 Norma Mexicana NOM-AA-113-SCFI/1999, Análisis de Agua.-Determinación de Huevos de Helminto. Método de Prueba. (Diario Oficial de la Federación 5 de agosto de 1999).

8.26 Reglamento de lodos de clarificación. Alemania. 15 de abril de 1992. 8.27 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 Registry el 19 de febrero de 1993.

8.28 Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Residuos Peligrosos. (Diario Oficial de la Federación 25 de noviembre de 1988).

8.29 Santos Mendoza, Salvador. "Estabilización con Cal de Lodos de la Planta Piloto del Tratamiento Primario Avanzado". Ingeniería Ambiental, DEPMI-UNAM. 15 de junio de 1998. Tesis de Maestría.

8.30 Santos M., S., Campos M., R. y Jiménez C., B. "Una Opción de Manejo para el Lodo Generado al Tratar el Agua Residual del Gran Canal de la Ciudad de México. 1er. Simposio Latinoamericano de Tratamiento y Reuso del Agua y Residuos Industriales.

Memorias Tomo I, pp. 28-1-28-10, del 25 al 29 de mayo de 1998, México, D.F.

8.31 Satchwell, G.M., 1986. An Adaptation of Concentration Techniques for the Enumeration of Parasitic Helminth Eggs from Sewage Sludge (Adaptación de la Técnica de Concentración para la Enumeración de Huevos de Helmintos Parásitos Provenientes de Lodos Residuales). Water Res. 20: 813-816.

8.32 Schaffner, C., Mosbach K., Bibit V. and Watson C., 1967. Coconut and Salmonella Infection. Applied Microbiology. 15: 471-475. (Infección de la Salmonella y coco. Microbiología aplicada. 15: 471-475).

8.33 Shiflett M., Lee J. and Sinnhuber, R., 1967. Effect of Food Additives and Irradiation on Survival of Salmonella in Oysters. Applied Microbiology. 15: 476-479.

(Efecto de aditivos alimenticios e irradiación en la supervivencia de la Salmonella en ostras. Microbiología aplicada. 15: 476-479).

8.34 Silliker, J. Deibel, R. and Chiu, J., 1964. Occurrence of Gram-Positive Organisms Possessing Characteristics Similar to Those of Salmonella and the Practical Problem of Rapid and Definitive Salmonella Identification. Applied Microbiology. 12: 395-399.

(Aparición de organismos Gram positivos, poseyendo características similares a la

Salmonella, y el problema práctico de identificación rápida y definitiva de Salmonella. Microbiología aplicada. 12: 395-399).

8.35 Silliker, J., Deibel, R. and Fagan, P., 1964. Isolation of Salmonella from Food

Samples: VI Comparison of Methods for the Isolation of Salmonella from Egg Products.

Applied Microbiology. 12: 224- 228. (Aislamiento de la Salmonella de muestras alimenticias: VI. Comparación de métodos para el aislamiento de la Salmonella desde

productos de huevo. Microbiología aplicada. 12: 224-228.

8.36 Sludge Management & Disposal. For The Practicing Engineer. P.A. Vesilind,

G.C., Hartman y E.T., Skene. Lewis Publishers, Inc. 1986. (Manejo y disposición de

lodos. Para Ingenieros Profesionales. P.A. Vesilind, G.C. Hartman y E.T., Skene. Lewis

Publishers, Inc. 1986).

8.37 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th. Edition.

American Public Health Association. American Water Works Association. Water Environment Federation. 1995. (Métodos Estándar para la examinación del agua y

aguas residuales, 19th. Edición Asociación Americana de salud pública. Asociación

Americana de aguas tratadas. Federación Ambiental del Agua 1995).

8.38 Sludge Stabilization. Manual of Practice FD-9. Facilities Development. Water

Environment Federation 1993. (Estabilización de lodos. Manual de prácticas FD-9.

Facilidades de Desarrollo. Federación Ambiental del Agua 1993).

8.39 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. (Estándares para el Uso o Disposición de lodos residuales, Reglamento 40 CFR Parte 257, 403 y 503. Agencia de Protección Ambiental de EUA. Registro Federal 19 de febrero de 1993).

8.40 Sludge Conditioning. Manual of Practice FD-14. Water Pollution Control Federation. 1988. Alexandria, VA. (Manual de prácticas de acondicionamiento de lodos FD-14. Federación para el control de la contaminación en el agua. 1988.) y Alejandría, V. A.

8.41 Stuart, P. and Pivnick, H., 1965. Isolation of Salmonellae by Selective Motility

Systems Applied Microbiology 13: 365-372 (Aislamiento de la Salmonella por selectos sistemas de motilidad. Microbiología aplicada 13: 365-372).

8.42 Taylor, W., Betty, C. and Muriel, E., 1964. Comparison of Two Methods for Isolation of Salmonella from Imported Foods. Applied Microbiology 12: 53-56.

(Comparación de dos métodos para el aislamiento de Salmonella de alimentos importados. Microbiología aplicada. 12: 53-56).

8.43 US EPA 1994, Land Application of Sewage Sludge: A Guide for Land Appliers

on the Requirements of the Federal Standards for the Use of Disposal of Sewage Sludge, 40 CFR Part 503. Water Environment Federation. USA. pp. 62.

(Aplicación de lodos residuales al suelo: una Guía para aplicadores al suelo en los requerimientos de las normas federales para el uso y disposición de lodos residuales, 40 CFR Parte 503.

Federación Ambiental del Agua. EUA. pp. 62). 8.44 US EPA/625/R92/013 1992, Environmental Regulation and Technology, Control of Pathogens and

Vector Attraction in Sewage Sludge pp. 152. (Tecnología y Regulación Ambiental. Control de patógenos y atracción de vectores en lodos residuales).

9. Observancia de esta Norma

9.1 La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, así como a los gobiernos estatales, municipales y del Distrito Federal, en el ámbito de sus respectivas competencias. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, sus reglamentos y demás ordenamientos jurídicos aplicables. La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, por conducto de 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 lodos y biosólidos, con objeto de verificar el cumplimiento de los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en la presente Norma Oficial Mexicana.

TRANSITORIOS

PRIMERO.- La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor a los 60 días posteriores al de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

SEGUNDO.- Con fundamento en lo dispuesto en el artículo 47 fracción IV de la Ley

Federal sobre Metrología y Normalización, provéase la publicación de este proyecto en el Diario Oficial de la Federación.

México, Distrito Federal, a los quince días del mes de abril de dos mil tres.- El Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y Presidente del Comité Consultivo Nacional de

Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Cassio Luiselli Fernández.- Rúbrica.

ANEXO I

OPCIONES PARA LA REDUCCION DE ATRACCION DE VECTORES

Los responsables podrán aplicar cualquiera de las siguientes opciones para el control de atracción de vectores o cualquier otra que se demuestre que es efectiva.

Opción 1: Reducción en el contenido de sólidos volátiles La atracción de vectores se reduce si la masa de sólidos volátiles en los biosólidos es reducida por lo menos un 38% durante su tratamiento. Este porcentaje es equivalente al conseguido mediante digestión aeróbica o anaeróbica más alguna reducción adicional que ocurra después de que los biosólidos salen de las instalaciones de estabilización, tales como el procesamiento en lechos de secado o lagunas o mediante el composteo.

Opción 2: Digestión adicional de los biosólidos digeridos anaeróticamente Frecuentemente, los biosólidos han sido reciclados a través del tratamiento biológico de las aguas residuales o han transitado durante largos periodos por los sistemas de alcantarillado. Durante este tiempo, sufren una degradación biológica sustancial. Si los biosólidos son subsecuentemente tratados mediante digestión anaerobia, su atracción de vectores será reducida adecuadamente. Debido a que ingresan al digester parcialmente estabilizados, la reducción de sólidos volátiles después del tratamiento frecuentemente es menor de 38%. Bajo estas circunstancias, pudiera no ser factible la reducción de 38% requerida en la opción 1. La opción 2 permite al operador demostrar la reducción de atracción de vectores probando una porción de los biosólidos previamente digeridos en una unidad a escala de laboratorio. Se demuestra la reducción, si después de la digestión anaerobia de los biosólidos por 40 días adicionales, a una temperatura entre 30°C y 37°C, la reducción de los sólidos volátiles en los biosólidos es menor de 17%.

Opción 3: Digestión adicional de los biosólidos digeridos aeróticamente Esta opción es apropiada para los biosólidos digeridos aeróticamente que no pueden cumplir con la opción 1, incluye a aquellos producidos por plantas de aireación

extendida donde el tiempo mínimo de residencia para los biosólidos en el tren de aguas generalmente excede de 20 días. En estos casos, los biosólidos ya estarán

sustancialmente degradados antes de la digestión aerobia.

Bajo esta opción, 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 aerobia en una prueba de laboratorio a 20°C, la reducción de los sólidos volátiles es menor de 15%. Esta prueba solamente es aplicable a los biosólidos líquidos digeridos aeróbicamente.

Opción 4: Procesos aerobios a más de 40°C

Esta opción se aplica primordialmente a los biosólidos composteados que también

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 será mayor de 45°C. Esta opción pudiera aplicarse a otros procesos aeróbicos, tales como la digestión aeróbica, sin embargo, las opciones 3 y 4 parecen más fáciles de cumplir para los otros procesos aeróbicos. Opción 5: Adición de materia alcalina Se considera que los biosólidos reducen adecuadamente su atracción de vectores si

se adiciona suficiente materia alcalina para lograr lo siguiente:

_ Elevar el pH por lo menos hasta 12, medido a 25°C, y sin añadir más materia alcalina, mantenerlo por 2 horas, y

_ Mantener un pH de al menos 11,5 sin la adición de más materia alcalina durante

otras 22 horas.

Estas condiciones tienen la intención de asegurar que los biosólidos puedan ser

almacenados por lo menos durante varios días en las instalaciones de tratamiento,

transportados y posteriormente aplicados sin que el pH descienda a niveles en los que ocurre la putrefacción y se atraen vectores.

Opción 6: Reducción en la humedad de biosólidos que no contienen sólidos

sin estabilizar Se considera que la atracción de vectores se reduce si los biosólidos no contienen sólidos sin estabilizar generados durante el tratamiento primario y su contenido de sólidos es por lo menos del 75% antes de ser mezclados con otros materiales. Por consiguiente, la reducción debe lograrse removiendo agua y no mediante la adición de materiales inertes.

Es importante que los biosólidos no contengan sólidos sin estabilizar porque los desechos de comida parcialmente degradados que seguramente existen en tales

biosólidos atraerían a pájaros, algunos mamíferos y posiblemente a insectos aun si el contenido de sólidos es mayor del 75%.

Opción 7: Reducción en la humedad de biosólidos que contienen sólidos no Estabilizados Se considera que la habilidad para atraer vectores de cualesquier biosólido se reduce adecuadamente si su contenido de sólidos se incrementa al 90% o más sin importar si se trata de biosólidos provenientes del tratamiento primario. El incremento debe conseguirse removiendo agua y no mediante la dilución con sólidos inertes. El secado hasta este punto limita severamente la actividad biológica y destroza o descompone los compuestos volátiles que atraen vectores.

La manera en que se manejan los biosólidos secos, incluyendo su almacenamiento antes de la aplicación puede propiciar la atracción de vectores. Si éstos se exponen a una humedad alta, la superficie exterior tendrá un alto contenido de humedad y posiblemente atraerá vectores. Esto debe ser prevenido adecuadamente.

Opción 8: Tasa específica de absorción de oxígeno (TEAO) para biosólidos digeridos aeróbicamente Frecuentemente, los biosólidos digeridos aeróbicamente son circulados a través de los procesos biológicos de tratamiento aeróbico de las aguas residuales hasta por 30 días. En estos casos, los biosólidos que entran al digestor aeróbico ya están parcialmente digeridos, lo cual dificulta cumplir con la Opción 1.

La Tasa Específica de Absorción de Oxígeno (TEAO) es la masa de oxígeno consumida por unidad de tiempo y por unidad de masa en peso seco de los sólidos totales de los biosólidos. La reducción en la atracción de vectores puede demostrarse si la TEAO de los biosólidos que son aplicados, determinada a 20°C, es igual o menor de 1,5 mg de O₂/h/g de sólidos totales

(peso seco). Esta prueba se basa en el hecho de que, si los biosólidos consumen muy poco oxígeno, su valor como fuente alimenticia para los microorganismos es muy baja como para atraerlos. Se pueden utilizar otras temperaturas para la prueba si los resultados se corrigen sobre la base de 20°C. Esta prueba solamente es aplicable a los biosólidos aeróbicos.

Opción 9: Incorporación de biosólidos al suelo Los biosólidos deben ser incorporados al suelo 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. Si los biosólidos son Clase A con respecto a patógenos, el tiempo entre la aplicación y el procesado no debe exceder de 8 horas.

ANEXO II

METODOS DE MUESTREO DE LODOS Y BIOSOLIDOS

Consiste en obtener una porción del volumen generado, la cual debe conservar la

integridad de todos sus constituyentes desde el momento en que es tomada la muestra (parte representativa de un universo o población finita obtenida para conocer sus características) y hasta el final de su análisis o determinación en el laboratorio. El tiempo en que éstas permanecen estables dependerá de sus características y método de preservación utilizado. El muestreo constituye una parte integral y fundamental para evaluar la calidad de los lodos y biosólidos, para su depósito final.

El tamaño y número de muestras dependen de las fuentes generadoras, así como de los procesos utilizados para su estabilización. Es importante considerar la selección del sitio de muestreo, la homogeneidad y representatividad de la muestra, el grado de degradación, el volumen, tipo de análisis y la accesibilidad al sitio seleccionado para el muestreo.

1. Método

Obtener muestras representativas de lodos y biosólidos para determinar su contenido de Coliformes fecales, Salmonella spp., huevos de helmintos, tasa específica de absorción de oxígeno, contenido de sólidos totales y sólidos volátiles, arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel y zinc.

1.1 Equipo y materiales

Sólo se relacionan los equipos y materiales que son de relevancia para el presente

método.

1.1.1 Equipo.

1.1.1.1 Báscula con capacidad mínima de 100 kg y precisión de 10 g.

1.1.1.2 Báscula con capacidad mínima de 10 kg y precisión de 1 g.

1.1.1.3 Criba M 2.00 según Norma Mexicana NMX-B-231-1990.

1.1.2 Materiales.

1.1.2.1 Bieldos.

1.1.2.2 Bolsas de polietileno de 0,70 m x 0,50 m y calibre mínimo del No. 200.

1.1.2.3 Bolsas de polietileno de 1,10 m x 0,90 m y calibre mínimo del No. 200.

1.1.2.4 Botas de hule.

1.1.2.5 Brocha de tamaño adecuado para la limpieza.

1.1.2.6 Cascos de seguridad.

1.1.2.7 Escobas.

1.1.2.8 Guantes de carnaza.

1.1.2.9 Ligas de hule de 1,5 mm de ancho.

1.1.2.10 Marcadores de tinta permanente, preferentemente color negro.

1.1.2.11 Mascarillas protectoras.

1.1.2.12 Overoles.

1.1.2.13 Papelería y varios (formatos de muestreo, lápices, gomas y otros).

1.1.2.14 Papelería y varios (informe de campo, marcadores, ligas, etc.).

1.1.2.15 Palas curvas.

1.1.2.16 Recogedores.

1.1.2.17 Tablas de inventario, tamaño carta u oficio.

1.1.2.18 Tambos metálicos de forma cilíndrica, con capacidad de 20 L.

1.1.2.19 Bolsas de polietileno estéril sin pastilla de tiosulfato o recipientes de polietileno o propileno inerte, de boca ancha y con tapa y cierre hermético, de 500 ml de capacidad y susceptibles de ser esterilizados en autoclave, para coliformes fecales.

1.1.2.20 Recipientes de polietileno o propileno inerte o de vidrio, de boca ancha y con tapa y cierre hermético, de 50 ml, para metales.

1.1.2.21 Recipientes de polietileno o propileno inerte, de boca ancha y con tapa y cierre hermético, de 500 ml de capacidad, para huevos de helmintos, sólidos y TEAO.

2. Tipos de lodos

2.1. Muestras líquidas o semisólidas

Colectar la muestra directamente del vertedor en un recipiente de plástico de 20 L, hasta obtener el doble del volumen por utilizar para cada uno de los análisis por realizar, como mínimo.

2.1.1 Tuberías

Colectar la muestra directamente de la tubería a través del grifo de purga que presente un diámetro interno mínimo de 3,8 cm.

2.1.2 Canales

Colectar la muestra en el vertedor o en otro punto donde el lodo esté bien mezclado.

2.1.3 Digestores

Colectar la muestra de un tanque mezclado que es alimentado a través de líneas provenientes de diferentes niveles en el digestor. Antes del muestreo asegurarse de eliminar el lodo acumulado previamente en las líneas.

2.1.4 Tanques

Mezclar completamente el tanque y colectar varias muestras a diferentes profundidades y puntos. Juntar todas las muestras en una sola antes de realizar el análisis.

2.1.5 Lodos de sitios específicos en plantas de tratamiento

Los siguientes puntos de muestreo se recomiendan para el muestreo de lodo en plantas de tratamiento de agua residual.

2.1.6 Lodo primario

Conducir el lodo desde el tanque de estabilización hasta el cárcamo antes del bombeo, mezclar perfectamente y colectar una muestra representativa en este punto.

Alternativamente coleccionar muestras de la bomba de lodos y de las tuberías, cercanas a éstas.

2.1.7 Lodo activado

Colectar muestras en:

- a) cárcamo de bombeo
- b) de la bomba o tubería adyacente
- c) del punto de descarga de los lodos de retorno al afluente primario

El punto de muestreo se debe localizar en una región de buena agitación para la suspensión de sólidos.

2.1.8 Lodo digerido

Colectar muestras en la tubería de descarga del digestor al equipo o lechos de secado.

2.1.9 Lodos del lecho de secado

Colectar muestras del mismo tamaño en diferentes puntos del lecho sin incluir arena. Mezclar totalmente.

2.1.10 Lodo filtrado

Colectar porciones del mismo tamaño (utilizar cortadores de galletas) en la descarga del filtro.

2.1.11 Azolves

Para el caso de los azolves, aplica cuando ha sido extraída una muestra representativa de la zona donde se encuentran depositados.

2.2 Muestras sólidas

Para conformar las muestras se usa el método del cuarteo. Para eso:

Se toman de 4 a 8 bolsas de polietileno de 0,70 m x 0,50 m o 1,10 m x 0,90 m, se

selecciona al azar el mismo número de sitios diferentes. Posteriormente, se llena cada una de las bolsas con el material de cada sitio y se trasladan a un área plana horizontal de aproximadamente 4 m x 4 m, preferentemente de cemento pulido o similar y bajo techo y se deposita su contenido en montículo.

Traspalear el material con pala o biello, para obtener una mezcla homogénea.

A

continuación, dividir en cuatro partes aproximadamente iguales A, B, C y D y eliminar las partes opuestas A y C o B y D. Repetir esta operación hasta dejar

10 kg aproximadamente de lodo o biosólido. La pila resultante sirve para determinar en el laboratorio el contenido de Coliformes fecales, *Salmonella* spp., huevos de helmintos, contenido de sólidos totales y sólidos volátiles, arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel y zinc. El material restante se usa para determinar el peso volumétrico de los lodos in situ, conforme al punto 8. Trasladar la muestra al laboratorio en bolsas de polietileno debidamente selladas e identificadas (véase marcado). Evitar que queden expuestas al sol durante su transporte, además tener cuidado en el manejo de la bolsa que contiene la muestra para que no sufra ninguna ruptura. El tiempo máximo de transporte de la muestra al laboratorio, no debe exceder de 8 horas.

3. Preparación de la muestra

La secuencia del muestreo por parámetro se debe realizar conforme con lo descrito en los puntos correspondiente con el propósito de minimizar sesgos en los resultados.

4. Recipientes para cada parámetro

A la muestra, antes de ser procesada, se le determinará el contenido de sólidos totales en por ciento en peso, para el caso del TEAO el contenido de éstos deberá ser menor o igual al 2%.

4.1 Coliformes fecales y *Salmonella* spp.

Los recipientes de polietileno o polipropileno inerte de 500 ml de capacidad, antes del muestreo deben ser esterilizados preferentemente en autoclave. Posteriormente, se

deposita la muestra que corresponda a 4 g de sólidos totales. Etiquetarlo y mantenerlo en refrigeración hasta su análisis.

4.2 Huevos de helmintos, Sólidos totales y Sólidos volátiles y TEAO

Los recipientes de polietileno o polipropileno inerte de 500 ml de capacidad, antes de la toma de muestra deben ser enjuagados primero con agua potable a chorro y luego con agua destilada.

Para el caso de huevos de helmintos, se toma el peso en fresco que corresponda a 2 g de sólidos totales. Para el caso de sólidos totales y volátiles y TEAO se llenan los recipientes hasta un 75% de su capacidad total, se cierran, etiquetan y mantienen en refrigeración, hasta su análisis, excepto para TEAO que se mantiene a temperatura ambiente.

4.3 Compuestos inorgánicos: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel,

plomo y zinc El recipiente de polietileno o polipropileno inerte de vidrio de 50 ml de capacidad, antes de la toma de muestra se debe enjuagar primero con agua potable a chorro y luego destilada.

Posteriormente, se deposita la muestra hasta el total de la capacidad, se cierra, se

etiqueta y se mantiene en refrigeración hasta su análisis.

4.4 Preservación y almacenamiento de la muestra

La preservación y tiempo máximo para el análisis de cada uno de los parámetros es la siguiente:

PARAMETROS PRESERVACION * TIEMPO MAXIMO DE ANALISIS

Coliformes fecales y Salmonella spp. 4°C 48 horas

Huevos de helmintos 4°C 30 días

Arsénico, cadmio, cobre, cromo, níquel, plomo y zinc 4°C 180 días

Mercurio 4°C 13 díasa (plástico)

38 díasb (vidrio)

Sólidos totales 4°C 24 horas

Sólidos volátiles 4°C 24 horas

Tasa específica de absorción de oxígeno ** No requiere Inmediato

*A partir de su toma y hasta antes de iniciar el análisis, la muestra debe mantenerse en refrigeración.

**Si la muestra es tomada en el laboratorio, debe mantenerse la temperatura constante o ambiente durante el transporte y analizarla inmediatamente.

5. Control de calidad

El programa de muestreo debe operar un sistema control de la calidad.

5.1 El responsable del muestreo debe mantener los registros de los nombres y títulos de los técnicos que realizaron el muestreo y el del encargado de control de calidad que verificó los mismos y las bitácoras o formatos en los que se contengan cuando menos la siguiente información:

- a) Identificación de la muestra.
- b) Cantidad de muestra utilizada.
- c) Tipo de muestra.
- d) Tipo de análisis a realizar.

e) Además, debe mantener la información original reportada por el personal técnico que intervino en el muestreo, traslado y recepción de las muestras, así como de la información complementaria.

6. Etiquetado

La muestra se identifica con una etiqueta, la cual debe contener la siguiente información:

_ Localidad, Municipio y Estado

_ Fecha y hora del cuarteo.