

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA



“ADAPTACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS PORCINOS COMO SUSTRATO PARA
LA PRODUCCIÓN DE LOMBRIZ DE TIERRA *Eisenia foetida*”

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO BIOTECNÓLOGO

PRESENTA

RICARDO OJEDA AVALOS

CIUDAD OBREGÓN SONORA, 16 DE MARZO DE 2007

DEDICATORIA.

Dedico este trabajo que materializa mi etapa universitaria a mi madre; el apoyo para cumplir esta meta es la muestra de amor mas grande que me pudo haber hecho.

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco al Dr. Francisco Cervantes por asesorarme en esta mi tesis, y haberlo hecho en un ambiente de libertad y amistad extraordinario, a mi padre, madre y hermana por comprometerme con las esperanzas que pusieron en mí. A mi familia en general, y por supuesto a Tanya Melgoza, gracias por haber convertido en algo maravilloso mi difícil paso por la universidad.

A mi tío Fausto un gran hombre de ciencia y a Armando Flores, que me acompañó en los trabajos mas memorables que se requerían para realizar esta tesis.

Por último agradezco a todas y cada una de las lombrices que me ayudan a cumplir mi misión en la vida.

GRACIAS..

RESUMEN.

El objetivo del presente trabajo de investigación fue adaptar los residuos sólidos porcinos mediante fermentación en estado sólido como sustrato para la lombriz de tierra (*Eisenia sp.*) con el fin de producir material fertilizante en forma de composta; utilizando los residuos sólidos de la granja porcícola, "Palomos" de la empresa SOLES, de Cd. Obregón, Sonora. Se utilizó cerdaza fresca y el lodo de la laguna de oxidación. Estos materiales fueron sometidos a una fermentación sólida ajustando su relación carbono nitrógeno (C:N) y añadiendo paja de trigo hasta obtener una C:N de entre 30 y 40; una vez que los materiales fueron compostados, se tomaron muestras ajustando su humedad al 85% y fueron inoculados con 50 lombrices de tierra (*E. foetida*). De igual modo se tomó cerdaza mezclada con paja en una relación 1:4 y se inoculó con 50 lombrices para evaluar su aceptación como sustrato.

A todos los materiales se les determinó el pH, humedad, materia orgánica, nitrógeno total, y las unidades formadoras de colonias por gramo (UFC/g) para coliformes fecales y totales, antes y después de ser fermentados; además se monitoreó el pH y la temperatura periódicamente hasta el final de proceso de fermentación para cada uno de los tratamientos a 5, 10 y 20 cm de profundidad. En todos los procesos de composteo el mayor aumento de temperatura se dio a los 10 cm de profundidad.

En cuanto al pH, todos los tratamientos experimentaron un aumento del pH en todos los niveles de profundidad. Para el proceso de vermicomposteo la temperatura se mantuvo en una fase mesofílica al igual que su control. El pH del vermicomposteo se reportó en ocho después de los 20 días y en nueve para su blanco. Los procesos de composteo fueron adecuados para reducir las UFC/g hasta límites permisibles por la Norma Oficial Mexicana para biosólidos y no así el vermicomposteo.

De los cinco tratamientos el único que resulto ser excelente como sustrato fue la mezcla 1:4 de cerdaza y paja de trigo. Se concluye que la fermentación en estado sólido es adecuada para ser utilizada como tratamiento de los desechos porcícolas. La cerdaza fresca puede ser utilizada como sustrato para la producción de lombriz de tierra, mezclándose con paja de trigo en una proporción de 1:4. Sin embargo, se desconoce el periodo de tiempo necesario para reducir la cantidad de coliformes fecales en el sustrato.

ÍNDICE GENERAL.

PORTADA.	1
DEDICATORIA.	2
AGRADECIMIENTOS.	3
RESUMEN.	4
ÍNDICE GENERAL.	6
ÍNDICE DE TABLAS.	8
ÍNDICE DE FIGURAS.	8
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	12
1.2 JUSTIFICACIÓN.	12
1.3 OBJETIVOS.	14
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.	15
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	15
1.4 LIMITACIONES DEL ESTUDIO.	16
1.5 HIPÓTESIS.	16
II MARCO DE LA INVESTIGACIÓN.	17
2.1 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE LA GENERACIÓN DE CERDAZA.	17
2.1.1 Panorama de la porcicultura en México.	17
2.1.2 Riesgos a la salud ocasionados por la cría intensiva de cerdos.	19
2.1.3 Emisión de gases invernadero de los desechos porcinos.	20
2.1.4 Factores que frenan el tratamiento de las excretas porcinas en México.	22
2.1.5 Características fisicoquímicas de la cerdaza.	24
2.2 COMPOSTEO Y VERMICOMPOSTEO COMO PROCESO DE FERMENTACIÓN EN ESTADO SÓLIDO.	27
2.2.1 Biorreactor para la fermentación en estado sólido.	27
2.3 COMPOSTAJE.	28
2.3.1 Definición de compostaje.	29

2.3.2 Proceso de compostaje.	29
2.3.3 Principales parámetros fisicoquímicos del composteo.	30
2.4 VERMICOMPOSTEO.	33
2.4.1 Antecedentes del vermicompostaje.	33
2.4.2 El proceso de vermicompostaje.	33
2.4.3 Características de las lombrices utilizadas en vermicompostaje.	34
2.4.4 Biología de la lombriz.	35
2.4.5 Ecología de la lombriz.	40
2.4.6 Lombriz de tierra y microorganismos.	44
2.4.7 Efectos de la lombriz en el número, biomasa y actividad de microorganismos.	44
2.5 COMPOSTEO Y VERMICOMPOSTEO COMO ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO DE EXCRETA PORCINA.	46
III MATERIALES Y MÉTODO.	51
3.1 MATERIALES.	51
3.1.1 Equipo.	53
3.1.2 Infraestructura.	54
3.2 MÉTODO.	55
3.2.1 Preparación de la cerdaza fresca.	56
3.2.2 Preparación de lodos de la laguna de oxidación.	57
3.2.3 Vermicomposteo de la cerdaza fresca.	57
3.2.4 Prueba de las 50 lombrices.	58
3.2.5 Variables.	58
3.2.6 Metodología de los análisis.	60
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	61
V. CONCLUSIONES.	72
VI BIBLIOGRAFÍA.	74

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla No.1. Contaminantes comunes en el aire emitidos en la crianza de puercos.	20
Tabla No. 2. Zonas características dentro de una pila de composteo de excreta de cerdo según la temperatura generada.	21
Tabla No.3.Contenido porcentual de la excreta porcina.	25
Tabla No. 4. Estructura de los sólidos en las excretas porcinas.	26
Tabla No. 5. Sustrato que atacan los microorganismos según la temperatura.	32
Tabla No. 6. Métodos y reactivos que se utilizarán en los análisis fisicoquímicos y biológicos.	60
Tabla No. 7. Principales análisis fisicoquímicos y microbiológicos de los materiales de mezclas y productos.	69
Tabla No.8 .Resultados de la prueba de las 50 lombrices.	70

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura No.1. Corte transversal de una lombriz de tierra.	37
Figura No.2. Aparato digestivo de la lombriz de tierra.	38
Figura No.3. sistema circulatorio de la lombriz de tierra.	39
Figura No.4. Lombrices copulando.	40
FiguraNo. 5. Diseño del experimento.	59
Figura No.6. Temperatura en el composteo del lodo de la laguna de oxidación porcina más paja de trigo a tres niveles de profundidad.	62
Figura No.7. Temperatura en el composteo de excreta porcina fresca mas paja de trigo a tres niveles de profundidad.	63
Figura No.8. Temperatura durante el proceso de vermicomposteo de excreta porcina fresca más paja de trigo.	64
Figura No.9. Temperatura durante el proceso de vermicomposteo del control de excreta porcina fresca más paja de trigo.	65
Figura No. 10. pH en el proceso de composteo del lodo de la laguna de oxidación porcina más paja de trigo a tres diferentes niveles de profundidad.	67
Figura No. 11. pH en el proceso de composteo de excreta porcina fresca más paja de trigo a tres niveles de profundidad.	67
Figura No.12. pH en el proceso de composteo del control de excreta porcina fresca más paja de trigo.	69
Figura No. 13. pH en el proceso de vermicomposteo de excreta porcina fresca más paja de trigo.	69

I INTRODUCCIÓN.

La porcicultura ocupa el tercer lugar en importancia dentro de la economía Nacional Mexicana por su aportación a la producción total de cárnicos en el país; si bien su participación en el Producto Interno Bruto es mínima, alrededor del 0.3%, (www.inegi.gob.mx) la carne de cerdo es parte importante en la dieta de la población mexicana, además de que implica la producción de alimento para cerdos dando lugar a una amplia y compleja cadena productiva que incluye la producción de granos forrajeros y oleaginosas, la elaboración de alimentos balanceados, fármacos, biológicos veterinarios y con respecto al producto la operación de rastros, empacadoras, industrialización y comercialización de la carne. (<http://www.cipav.org.co/cipav/confre/espejo.htm>).

Los problemas más importantes y generalizados que enfrenta la industria porcícola es la gran heterogeneidad productiva, su dependencia del exterior en la obtención de pie de cría e insumos alimenticios (entre un 30 y 40% del sorgo es de importación y más del 80% de la soya) y la falta de “internalización” de sus costos ambientales. De lo anterior pudimos comentar que existe una falta de atención por parte los productores de estos bienes agropecuarios y las autoridades gubernamentales competentes, en cuanto al impacto ambiental que esta actividad representa. Lo cual motiva un empleo sin escrúpulos de los recursos naturales, causando daños al medio ambiente, y están muy lejos de ser actividades sustentables. (<http://www.cipav.org.co/cipav/confre/iespejo.htm>).

Aun así, las empresas porcícolas nacionales han comenzado a implementar sistemas de calidad y programas de gestión de desechos, lo cual motiva a implementar “tecnologías limpias”.

Una de las acciones más importantes en cuanto a los convenios internacionales para la preservación del medioambiente es sin duda el tratado de Kyoto, firmado a principios del 2005 por México, en el cual se compromete a disminuir las emisiones de gas invernadero (CO₂, CH₄) y se beneficia con las inversiones en sistemas de tratamientos de desechos que países como Canadá se ven obligados a hacer debido a que sobrepasan los límites de contaminación.

Por su parte, Sonora es un estado cuya actividad primaria generan un importante porcentaje de PIB del país; el 5.2 % del total nacional (www.inegi.gob.mx). Las actividades más importantes son: La agropecuaria, silvicultura y pesca como primera gran división, seguida por electricidad gas y agua, y minería en un tercer termino. De aquí la importancia del sector agropecuario.

De entre las actividades englobadas en el ramo agropecuario se destaca la porcicultura; Según el INEGI en Sonora, para el 2003, existía una población de 1 460 922 cabezas de ganado porcino generando montos 2 903 024 000.2 pesos en ese año por concepto de producción de carne en canal (www.inegi.gob.mx).

Cajeme, actualmente cuenta varias granjas dedicadas a la porcicultura. Se estima que en diciembre del 2003 la región contaba con 425 139 cabezas de ganado porcino en la región; (www.inegi.gob.mx) generando una derrame económica y una relación directa con la cadena productiva de insumos alimenticios,

antibióticos, actividades relacionadas con el sacrificio, distribución, comercialización tanto regional, nacional como internacional, y demás actividades.

Inevitablemente esta actividad genera grandes cantidades de desechos los cuales debido a su intensa producción no son asimilados por la tierra y se acumulan generando problemas ambientales. En efecto, dichos residuos porcinos poseen una alta carga de microorganismos patógenos, emanan olores desagradables al ambiente, contaminan el manto freático con compuestos nitrogenados cuando no se depositan en lugares adecuados.

Existen diversas alternativas para el tratamiento de estos residuos, pero la mayoría implican gastos considerables y algunos, como las lagunas de oxidación, no son adecuados para utilizarse en zonas cercanas a asentamientos humanos, además de no ser manejados de manera eficiente. En general, y debido a cuestiones culturales y económicas principalmente, las excretas porcinas no son manejadas adecuadamente, lo cual representa un grave riesgo a la salud humana y ecosistemas.

En cuanto a lo anterior, la fermentación en estado sólido plantea una alternativa técnicamente viable, de bajo costo, para estabilizar las excretas porcinas y dejando posibilidad para obtener un material con propiedades fertilizantes lo cual pudiera representar una fuente de ingresos adicional comercializándose como fertilizante orgánico.

Estos son los fundamentos que hacen importante la presente investigación, el dar solución a un antiguo problema ambiental y el obtener un beneficio económico adicional.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La no utilización de un proceso adecuado, eficiente y económico para tratar las excretas porcinas compromete a implementar y desarrollar alternativas acordes a las exigencias de acuerdos internacionales y la legislación ambiental nacional. Dentro de este panorama la fermentación en estado sólido; de manera específica el vermicomposteo, cuentan con las características necesarias para brindar soluciones reales y económicamente factibles.

1.2 JUSTIFICACIÓN.

Dado que la cría intensiva de porcinos es una actividad preponderante en la economía del Valle Yaqui, debido a su volumen de producción y su potencialidad para expandirse, es de suma importancia adecuar y optimizar las técnicas para tratar los residuos (excretas en su mayoría) que dicho sector produce debido al impacto ambiental nocivo que este material representa.

Las plantas porcícolas de la región utilizan lagunas de oxidación para tratar los residuos; sin embargo, estas instalaciones no son adecuadas y poco hacen para evitar que dicho material altere el equilibrio ecológico.

La liberación de un material tan agresivo (por sus características químicas) como lo es la cerdaza al medio ambiente conlleva a la contaminación tanto de los mantos freáticos con sales minerales y la atmósfera con moléculas nitrogenadas

además de olores desagradables y fauna nociva para la salud humana y el equilibrio ambiental.

Dicho problema puede ser resuelto mediante procesos adecuados de fermentación en estado sólido debido a que las características y propiedades que dicha biotecnología requiere pueden ser cubiertos por las excretas de cerdo y demás materiales, condiciones, y tecnologías existentes en la región, sólo es necesario adecuar los elementos, probar y afinar el proceso para dar respuesta al problema.

El impacto social de este problema radica en el hecho de que al no obtener una solución, repercutirá en la salud de los pobladores del Valle del Yaqui disminuyendo de esta manera la calidad de vida de dicha región, entrarán en conflicto directo las granjas porcícolas cercanas a zonas urbanas, y el crecimiento y expansión de esta actividad se verá limitado en los tiempos futuros, frenando de esta manera el desarrollo económico de la región.

La aportación que este trabajo brindará al conocimiento científico, es el probar la viabilidad de las fermentaciones en estado sólido para tratar las excretas porcinas y obtener como producto final del proceso, una sustancia mejoradora de las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo, buscando las condiciones más adecuado para convertir la cerdaza en un material no agresivo a la salud humana, animal y del medioambiente de la manera más económica posible.

1.3 OBJETIVOS.

1.3.1 OBJETIVO GENERAL.

Adaptar los residuos sólidos porcinos mediante fermentación en estado sólido como sustrato para la lombriz de tierra (*Eisenia sp.*) con el fin de producir material fertilizante en forma de composta.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Evaluar el producto del composteo del lodo de las lagunas de oxidación porcinas como sustrato para la lombriz de tierra *E. foetida*.
- Evaluar el producto del composteo de la excreta porcina fresca como sustrato para la lombriz de tierra *E. foetida*.
- Evaluar la excreta porcina fresca como sustrato para la lombriz de tierra *E. foetida*.
- Conocer las variaciones de los parámetros fisicoquímicos durante los procesos de fermentación.
- Probar la eficiencia del composteo y el vermicomposteo de los desechos sólidos de las granjas porcinas, en la disminución de los microorganismos patógenos.

1.4 LIMITACIONES DEL ESTUDIO.

La presente investigación se limitó a los residuos generados por una granja porcícola propiedad de la empresa SOLES S.A. de C.V. ubicada en el municipio de Cajeme Sonora. El proceso que se utilizó en el experimento (composteo) es análogo a los procesos de tecnificación básica que se utilizan a escala industrial.

1.5 HIPÓTESIS.

La excreta porcina puede utilizarse fresca como sustrato para la lombriz de tierra *Eisenia sp.*.

II MARCO DE LA INVESTIGACIÓN.

2.1 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE LA GENERACIÓN DE CERDAZA.

2.1.1 Panorama de la porcicultura en México.

El primer ganado introducido en la Nueva España fue el cerdo, debido a la facilidad de su transporte, su alta tasa reproductiva y el hecho que prácticamente toda su carne puede ser consumida, además que salada puede conservarse por largos periodos de tiempo. La crianza de cerdo prosperó en el continente americano debido a la facilidad en la crianza de este animal ya que requiere poco espacio y se alimenta con maíz, el cual abunda en esta región puesto que es la base alimenticia de los indígenas.

Según las tendencias alimenticias occidentales (las cuales representan el 15% a nivel mundial) el 28% de las calorías se obtienen de los productos generados por la ganadería. Este hecho, aunado a la realidad de que 850 millones de personas en el mundo padecen hambre, obliga a que la producción cárnica a nivel mundial se duplique en los siguientes 10 años. <http://www.union.org.mx/guia/actividadesyagravios/actividadesagropecuarias.htm>).

La creciente demanda de productos cárnicos en el mundo estimula la producción pecuaria en México, ya que se abren grandes mercados para estos productos como por ejemplo el mercado japonés, el cual según datos de la secretaria de Agricultura de México, puede superar las divisas generadas por la exportación de petróleo en México. (http://www.teorema.com.mx/articulos.php?id_sec=48&id_art=907&id_ejemplar=0).

México es el país que más a desarrollado la producción porcina a nivel Latinoamérica, también cuenta con un excelente mercado interno, ya que la carne de cerdo es la de mayor consumo en el país, entre 1960 y 1983 su consumo per capital creció 5.6 veces mas, a pesar de que la porcicultura ha estado por lo general marginada de los programas de apoyo pecuarios, ya que sólo alrededor del 4% del total de créditos que otorgan BANRURAL y FIRA fueron designados a la ganadería porcina en ese periodo.

Sólo el 44% de la porcicultura en México está tecnificada o semitecnificada, y gira alrededor del alimento balanceado. Por otro lado, el 70% de los alimentos balanceados que se utilizan son producidos por los mismos porcicultores, y únicamente el 30% los elabora la industria (90% de la cual es privada) (<http://www.union.org.mx/guia/actividadesyagravios/actividadesagropecuarias.htm>)

En definitiva, el gran número de cabezas de ganado porcino que existe en el país, aunado al uso generalizado de alimentos concentrados, da como resultado la generación de grandes cantidades de desechos sólidos (excretas), los cuales representan una amenaza a la salud tanto para los trabajadores como para los animales (<http://www.congresocbta.unam.mx/PVA05.htm>).

2.1.2 Riesgos a la salud ocasionados por la cría intensiva de cerdos.

Existe fuerte evidencia de los riesgos a la salud para las personas que trabajan en engordas de puercos, se cree que es por la exposición por largos periodos a mezclas de aerosoles contaminantes producidos por los desechos de la actividad porcícola (Donham et al., 1995;).

De entre los gases mas irritantes generados por las descomposición de la excreta porcina se encuentra el amoniaco, en humanos es detectado a concentraciones de 5 a 50 ppm, causa irritación en la superficie de la mucosa a 100-500 ppm después de 1 hora y es letal a 10,000 ppm (Nordstorm and McQuitty, 1976), además las enfermedades respiratorias son de gran importancia económica para las empresas porcícolas (Varley, 2001).

En la tabla No. 1 se muestra una lista de los gases generados por la excreta porcina, su mecanismo de producción y el efecto adverso que presentan.

Tabla No.1. Contaminantes comunes en el aire emitidos en la crianza de puercos.

TIPO DE GAS	MECANISMO DE PRODUCCIÓN	EFEECTO ADVERSO
Amoniaco	Degradación enzimática de la orina, o en el caso de agua de lavado ácido úrico. Degradación microbiana de la cerdaza (Anaerobia).	Contribuye a la lluvia ácida.
Metano	Fermentación entérica. Degradación microbiana anaerobia de la cerdaza.	Gas invernadero.
Oxido nitroso	Desnitrificación incompleta o nitrificación de las camas y las excretas.	Gas invernadero. Degradador de la capa de ozono.
Dióxido de carbono	Metabolismo microbiano. Acción microbiana en excretas.	Gas asfixiante si se acumula, Gas invernadero.
Sulfuro de hidrógeno	Degradación microbiana anaerobia de la cerdaza.	Gas tóxico.
Olores (contiene mas de 100 trazas de gases)	Degradación microbiana, especialmente anaerobia.	Nauseas.

Fuente: Phillips and Pain, 1998

2.1.3 Emisión de gases invernadero de los desechos porcinos.

Existe gran interés en los desechos de la producción porcícola en cuanto a la emisión de gases invernaderos. Esta agroindustria, representada por Grupo

Porcícola Mexicano, se encuentra dentro de las 10 principales empresas emisoras de gas invernadero en el país

(http://www.teorema.com.mx/articulos.php?id_sec=43&id_art=821&id_ejemplar=0).

Martín et al. (2004) estudio las emisiones de gases invernadero en pilas de cama de estiércol de cerdo, con un peso aproximado de 2 toneladas (4.4 m^3), durante el experimento que tardo 113 días. Los gases analizados durante el experimento fueron CO_2 , NH_4 , NO_3 y NO_2 . La pila fue dividida en cuatro zonas según la temperatura como se muestra en la tabla No. 2.

Tabla No. 2. Zonas características dentro de una pila de composteo de excreta de cerdo según la temperatura generada.

ZONA	PORCENTAJE DE LA PILA	TIPO DE FERMENTACIÓN	GASES EMITIDOS
I	92%	Principalmente aerobio	Alta de CO_2 y baja en CH_4 y NO_2
II y III	7.7%	Anaerobio	Baja en CH_4 y alta en NO_2
IV	3.3%	Permanentemente anaerobia	Alta de CH_4 y baja en NO_2

Fuente : Martín et al. (2004)

También se encontró que la actividad microbiana más alta ocurrió durante la fase termofílica; es decir, dentro de temperaturas mayores a los 40°C , disminuyendo con el tiempo de fermentación y el descenso de la temperatura. Las emisiones de CO_2 fueron 27 veces mayores a las de CH_4 durante el experimento. En cuanto a

la reducción de gas invernadero la emisión de NO_3 se redujo ocho veces mientras que las de NO_2 cuatro veces (Martín et al., 2004).

2.1.4 Factores que frenan el tratamiento de las excretas porcinas en México.

En México no existe una legislación adecuada para que el tratamiento de excreta porcinas, el hecho de que la política ambiental se encuentre en una secretaria de estado y las políticas pecuarias se encuentren en otra, propicia el que nadie se responsabilice de los efectos negativos al medio ambiente y la salud causadas por las excretas de cerdo (<http://www.cipav.org.co/cipav/conf/iespejo.htm>).

Las normas mexicanas que tratan de regular este impacto negativo son, la NOM-001-ECOL-1996 para descargas de aguas residuales en aguas nacionales y la NOM-002-ECOL-1996 que regula las descargas en el alcantarillado público, la cual se aplica a granjas que fueron alcanzadas por la mancha urbana.

Estas normas tienen los inconvenientes de que regulan al cuerpo receptor y no a la actividad y el cumplimiento que imponen es gradual; propone tres plazos para su cumplimiento según el volumen de contaminación generado. Las granjas medianas (que generan entre 1.2 y 3.0 toneladas de sólidos suspendidos totales por día) están obligadas a cumplir las normas antes mencionadas desde enero del 2005, y las granjas pequeñas tiene hasta enero del 2010 para hacerlo, las empresas grandes fueron reglamentadas desde el año 2000.

Lo interesante de esta estrategia es el hecho de que las empresas grandes solo aportan el 6% de la contaminación, las empresas medianas el 26% y las pequeñas, las cuales podrán seguir contaminando durante cuatro años mas, aportan el 68% de la contaminación.

Aunado a estas condiciones adversas México sufre un desabasto de personal capacitado para el manejo de residuos agropecuarios y hasta ahora un desinterés generalizado por el cuidado al medio ambiente (<http://www.congresocbta.unam.mx/PVA05.htm>).

Existe el proyecto de norma PROY-NOM-004-ECO-1998, la cual regula la disposición final de biosólidos provenientes de plantas tratadoras de aguas residuales (<http://www.economia.gob.mx>), esta norma puede tomarse como referencia para clasificar los productos de los diferentes sistemas de tratamiento de residuos sólidos urbanos y agropecuarios; tal como lo realizó Cardoso (2002).

Por su parte el tratado de Kioto (Firmado por México a principios del 2005) a generado interés de los porcicultores por disminuir las emisiones de gases invernadero. La empresa canadiense Ag-Cert ha puesto en marcha 100 proyectos para disminuir las emisiones de gas invernadero en granjas porcícolas, esta empresa instala lagunas de oxidación para captar metano entre otros gases. Los atrapa mediante una gran bolsa de plástico que cubre las lagunas de oxidación y periódicamente quema el metano generado por los desechos porcinos, los cuales se encuentran dentro de la gran bolsa plástica. Los sistemas tienen un costo aproximado de 15,000 dólares para las granjas promedio establecidas en el estado de Sonora.

La empresa provee el material y la capacitación necesaria a los porcicultores y estos se comprometen a quemar metano periódicamente, además instala un generador de energía a base de gas metano a la granja para cubrir sus requerimientos de energía eléctrica. Por cada tonelada de CO₂ producido por la quema de metano se genera un “Bono Verde” que tiene un valor de entre 3 y 5 dólares, este documento es vendido a empresas de distintos países que sobrepasan los límites de contaminación establecido en el tratado de Kioto, la empresa gana dinero vendiendo los bonos y una fracción de este es canalizado a los porcicultores

(http://www.teorema.com.mx/articulos.php?id_sec=50&id_art=751).

2.1.5 Características fisicoquímicas de la cerdaza.

De estudios estadísticamente significativos realizados en distintos países sobre este tema, se sabe que la orina representa el 45% y las heces el 55%. El contenido de humedad de la excreta es de 88%; cerca del 90% de los sólidos se excretan en las heces y un 10% en la orina en forma de minerales como: potasio, fósforo, etc. La proteína cruda representa el 27% de los sólidos excretados en las aguas de lavado. (<http://www.cipav.org.co/cipav/confr/espejo.htm>), este último se desecha en una proporción del 90% en comparación con el consumido y se estima que del 75 al 85% es inorgánico (Gerritse, 1997). En la tabla No. 3 se muestra el contenido porcentual de fibra y proteína de la excreta de cerdo.

Tabla No.3. Contenido porcentual de la excreta porcina.

PARÁMETRO	Kg/UPA*d	Kg/d*Ton H₂O	%STT
Fibra detergente ácida	0.20	32	27
Fibra cruda	0.10	16	13
Proteína cruda	0.20	32	27
Extracto etéreo	0.08	13	11
Extracto libre de nitrógeno	0.40	65	53
Nutriente digestible total	0.60	97	80
Triptofano	0.10	16	13

Fuente: <http://www.cipav.org.co/cipav/conf/iespejo.htm>

*UPA: Unidad de Producción Animal

*d: día

Los lechones, destetes y hembras lactantes excretan cerca del 8% de su peso vivo por día; los cerdos en crecimiento y finalización excretan cerca del 7% de su peso vivo; sementales y hembras gestantes y secas, animales que tienen un acceso limitado al alimento, excretan cerca del 3% de su peso vivo.

(<http://www.cipav.org.co/cipav/conf/espejo.htm>) La estructura de los sólidos que se generan en una granja porcina se presenta en la tabla No. 4.

Tabla No. 4 Estructura de los sólidos en las excretas porcinas.

TIPO DE SÓLIDO	Kg/UPA*día	%H₂O	%STT
Sólidos Totales	0.75	12	100
Sólidos Volátiles Totales	0.60	10	80
Sólidos Volátiles Suspendidos	0.55		
Sólidos Volátiles Disueltos	0.05		
Sólidos Fijos Totales	0.15	2	20
Sólidos Fijos Suspendidos	0.05		
Sólidos Fijos Disueltos	0.10		
Sólidos Suspendidos Totales	0.60	10	80
Sólidos Suspendidos Volátiles	0.55		
Sólidos Suspendidos Fijos	0.05		
Sólidos Disueltos Totales	0.15	2	20
Sólidos Volátiles Disueltos	0.05		
Sólidos Disueltos Fijos.	0.10		

Fuente <http://www.cipav.org.co/cipav/conf/iespejo.htm>

*UPA: Unidad de Producción Animal (100 kg.)

*d: día

STT: Sólidos Totales

Los dos tipos de sólidos más importantes dentro de la mezcla de las descargas residuales de los cerdos son los sólidos suspendidos (ya que las normas sobre descargas de aguas residuales establecen un máximo generalmente estricto para este parámetro) y los sólidos volátiles, este último es el elemento clave en el diseño de las lagunas de oxidación (<http://www.cipav.org.co/cipav/conf/espejo.htm>).

2.2 COMPOSTEO Y VERMICOMPOSTEO COMO PROCESO DE FERMENTACIÓN EN ESTADO SÓLIDO.

2.2.1 Biorreactor para la fermentación en estado sólido.

De manera general se abordan los aspectos más importantes a considerar para escoger un sistema adecuado para la fermentación en estado sólido que consiste en tomar en cuenta los objetivos de la fermentación en cuestión y hacer una evaluación de cada reactor para ver cual cumple los objetivos que se establezcan para un proyecto determinado, además se debe de realizar un análisis de laboratorio para ver cual brindará las condiciones necesarias para los microorganismos que actuarán sobre el sustrato, de igual forma es muy importante determinar cual reactor puede emplearse con respecto al capital y el costo de la operación, y decidir que tanto control se requiere.

Una vez que se escoge el tipo de biorreactor, se evalúa la densidad y el volumen del sustrato para elegir el nivel de desmenuzamiento requerido; es decir, ajustar las propiedades físicas de este. El consumo de energía varía según el tipo de reactor y se debe tomar en cuenta la energía necesaria para la aeración y mezclado. (Canne et al., 1980).

Medio de cultivo: A diferencia de la fermentación en estado líquido, la fermentación en estado sólido raramente requiere de una compleja preparación. Usualmente el sustrato contiene todos los nutrientes necesarios para la fermentación, y en algunos casos ya cuenta con los microorganismos necesarios para realizar dicha fermentación

Las transferencias de masas intraparticulares e interparticulares son de suma importancia en la fermentación en estado sólido, es ventajoso reducir el tamaño de particular de los componentes del sustrato para reducir la resistencia a la transferencia de masas (Canne et al., 1980).

2.3 COMPOSTAJE.

Por muchos siglos granjas y jardines han practicado el composteo de materiales vegetales y excretas animales en pilas. Sin embargo no fue hasta 1925 que el composteo fue propuesto como proceso sistematizado para el tratamiento de los desechos, en ese periodo, Sir Albert Howard desarrollo un proceso en la India (Canne et al., 1980).

Desde 1944 el gobierno de la India promovió el composteo y como resultado fueron creadas 2,500 pequeñas plantas de compostaje para 1969, en el resto del mundo solo 100 plantas se operaron en el periodo de 1960-1969 (Environmental Protection Agency, 1971). Desde entonces el proceso de composteo ha sufrido una tecnificación y automatización al abordarse como una actividad productiva.

2.3.1 Definición de compostaje.

Con la palabra composteo denominamos la degradación microbiana de sólidos orgánicos por medio de una respiración aerobia que pasa por una fase termofílica,

para el tratamiento de basura sólida específicamente tiene los siguientes objetivos, los cuales pueden aplicarse a los desechos sólidos agropecuarios:

1. Reducción de la masa y volumen: Por medio de la volatilización de partes de carbono orgánico como CO_2 .
2. Higiene pública: Eliminación de lugares donde se produzcan insectos, plagas y patógenos;
3. Utilización de recursos desperdiciados: El uso principal del material producido es materia orgánica, y de esta forma permite reintegrar al suelo nutrientes minerales que de otra forma se perderían (Monroy et al., 1990).

2.3.2 Proceso de compostaje.

El proceso de compostaje empieza, con una colección heterogénea de material orgánico, que contiene una población grande de hongos y bacterias. Estos microorganismos se desarrollan e inician el proceso de descomposición en el momento en el que se presentan condiciones favorables de humedad, temperatura y aeración. Esta actividad microbiana producirá un aumento en la temperatura a consecuencia de las oxidaciones biológicas exotérmicas, y dado que la materia orgánica posee muy mala conductividad térmica ésta actúa como aislante térmico, causando que la mayor parte del calor producido permanezca dentro de la pila que contiene el material orgánico. La pila se enfriará posteriormente al disminuir la descomposición (Monroy et al., 1990).

2.3.3 Principales parámetros fisicoquímicos del composteo.

Temperatura: Dado que la pérdida de calor es proporcional a la superficie, y la generación de calor al volumen, en las pilas grandes se tendrá un aumento continuo de temperatura, mientras que en las pilas pequeñas se presenta un estancamiento temporal de la temperatura a 40° C. Los microorganismos mesófilos responsables del calentamiento inicial son sustituidos a estas temperaturas por organismos termófilos que se encargan de calentar la pila hasta temperaturas de 70° C (Monroy et al., 1990).

La difusión térmica depende del contenido de humedad en el sustrato y es el factor mas importante para el enfriamiento es la evaporación de agua; ya que este utiliza cerca del 59% del calor generado por descomposición microbiana (Canne et al., 1980).

Humedad: El mismo contenido de humedad puede reflejar condiciones muy distintas respecto a la disponibilidad del agua para los microorganismos, dependiendo de las características físicas y químicas de los materiales orgánicos considerados. La actividad de agua es el mejor factor que describe el estado en el que se encuentra presente y el grado de dificultad que pueden tener los diversos tipos de microorganismos para utilizarla para su crecimiento, por lo tanto, existe un valor mínimo de humedad necesaria para producir actividad microbiana.

Aeración: Esta tiene dos finalidades, suministrar oxígeno y extraer el calor producido. Diversos estudios efectuados indican que la cantidad de oxígeno consumida durante el composteo depende de las temperaturas dentro de la pila,

del tamaño de las partículas y del tipo de materiales con que se construyo, etc. (Monroy et al., 1990).

La aireación de las pilas se realiza por medio de volteos periódicos, este volteo debiera basarse en la concentración de oxígeno en la pila, pero en la práctica se determina cuando la temperatura en las capas intermedias de las pilas se acerca a 70° C o cuando su humedad excede 60%, normalmente es necesario hacer dos o tres volteos por semana para asegurar una fermentación aeróbica (Monroy et al., 1990).

Mezclado; Este es un parámetro adicional a la aireación, distribuye el inocuo, promueve la homegenidad y el crecimiento en partículas individuales del sustrato, al igual que previene la formación de agregados. La frecuencia y velocidad de mezclado depende de los factores que gobiernan la velocidad de aireación (Canne et al., 1980).

Relación carbono/nitrógeno (C/N): Este es probablemente el aspecto mas importante del composteo, la mayoría de los microorganismos usan 30 partes de carbono por una de nitrógeno, por lo que una C/N de 30 es la mas conveniente para una fermentación eficiente, aunque se tienen informes de composteos eficientes con materiales que poseen valores de C/N que fluctúan de 26 a 35.

Se debe procurar el no obtener mezclas con altos contenidos de nitrógeno (o bajo valor de C/N), ya que en la fermentación si no se producen tales mezclas se pierde una cantidad considerable de nitrógeno como amoniaco, esto es favorecido durante el composteo termofílico a causa del pH ligeramente básico y de las temperaturas altas (Monroy et al., 1990).

Durante el proceso de composteo se generan tres fases según la temperatura que se presenta en el medio. Estas son mesofílicas (entre 15 y 40° C) y termofílicas (mayores de 40° C.) en la tabla No. 5 se muestran los microorganismos presentes en cada fase y los sustratos que atacan principalmente.

Tabla No. 5. Sustrato que atacan los microorganismos según la temperatura.

MICROORGANISMOS	FASE SEGÚN LA TEMPERATURA EN LA PILA		
	MESOFILICA (1)	TERMOFILICA	MESOFILICA(2)
BACTERIAS	CARBOHIDRATOS	LIPIDOS, HEMICELULOSA	
HONGOS	CARBOHIDRATOS	CELULOSA	
ACTINOMICETOS			CELULOSA, HEMOCELULOSA

Fuente: Monroy et al., 1990.

2.4 VERMICOMPOSTEO

2.4.1 Antecedentes del vermicompostaje.

El vermicompostaje, constituye una herramienta biotecnológica limpia, que permite reconvertir desechos de naturaleza orgánica biodegradable (estiércoles, remanentes de cosecha, ensilados viejos, restos derivados de la preparación de alimentos, etc.) en fertilizante con excelentes propiedades utilizando lombrices de tierra para acelerar el proceso.

Eisenia foetida es el organismo más utilizado en el proceso de vermicompostaje. Es una lombriz de tierra de las más de 3.000 especies existentes; aunque por lo general se encuentra en los desechos orgánicos en descomposición.

Las lombrices relacionadas con el suelo se pueden agrupar en 3 grandes grupos:

- a) Las epigeas como *Eisenia foetida*, y otras que como ella pueden asimilar el estrato de la hojarasca, es decir viven sobre el suelo, al que ingresan solo ante condiciones muy desfavorables (falta de alimento, sequía, etc.)
- b) Las endogeas, viven dentro del suelo, con galerías cuyo desarrollo es predominantemente horizontal, y
- c) Las anecíticas que así mismo viven dentro del suelo, pero excavan galerías con sesgo vertical posibilitando migraciones nocturnas hacia la superficie, desde la cual incorporan materia orgánica al suelo.

La lombricultura comprende el cultivo o cría intensiva de lombrices con el fin de reconvertir (reciclar) residuos orgánicos biodegradables en fertilizante y/o producir lombrices para seguir expandiendo la producción, o bien destinarlas como carne (frescas, harinas, balanceados) a diversos usos en alimentación animal de crías intensivas (piscicultura, ranicultura, gallineros, pesca, etc.) (Shuldt, 2004).

2.4.2 El proceso de vermicompostaje.

Las lombrices son micrófagas, es decir se alimentan de hongos, algas unicelulares, bacterias, protozoos diversos y restos de detrito, lo que significa que no pueden ingerir directamente los desechos orgánicos tal y como son generados ya sea por un organismo o un proceso productivo. Debido a esto tradicionalmente antes de comenzar el proceso de vermicompostaje de cualquier material es necesario acondicionarlo mediante un composteo, para eliminar el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco el cual es tóxico para la lombriz, además del calor generado al momento de que dichos desechos se amontonan; esto debido a la acción de los microorganismos descomponedores (Shuldt, 2004).

2.4.3 Características de las lombrices utilizadas en vermicompostaje.

La especie de lombriz que se utilice en el vermicompostaje debe de ser capaz de agruparse en altas concentraciones de individuos (apiñamiento elevado), debe poseer un metabolismo elevado para transformar más sustrato por unidad de tiempo (lombrices pequeñas a medianas), una gran capacidad reproductora (fecunda, potencial reproductor elevado), rústica y tolerante a factores limitantes

(altas concentraciones de materia orgánica, temperatura, pH, humedad, diversidad alimentaria, parasitosis, etc.), y que permanezca en el sustrato(epigeas).

Son pocas las especies que reúnen todos estos requisitos: *Eisenia foetida* y *E. andrei* son las mas indicadas en climas cálidos, templados y fríos. Se habla de *Lumbricus rubellus* como potencialmente interesante, si la cual requiere investigación todavía para ser utilizada en gran escala.

Eisenia foetida puede cultivarse desde la Provincia de Santa Cruz en Argentina hasta el centro-sur de Brasil, sobre la franja andina y adyacencias extendiéndose hacia el norte, cultivándose en toda América. En los climas extremadamente tropicales pueden utilizarse otras lombrices, prestándose las especies del género *Pheretima* (centro-norte de Brasil, India) (Shuldt, 2004).

2.4.4 Biología de la lombriz.

Este *phylum* (anélidos) incluye más de 15.000 especies de gusanos marinos, de agua dulce y terrestres, además de las lombrices de tierra comunes y las sanguijuelas. El término anélido es la forma utilizada en latín para referirse al aspecto más distintivo de este grupo: la división del cuerpo en segmentos o metámeros. Los metámeros son visibles como anillos en el lado externo y están separados por particiones (septos) en el interior. Este patrón segmentado se encuentra también (en forma modificada) en los artrópodos, como los ciempiés, crustáceos e insectos. Se cree que este grupo ha evolucionado de los mismos antecesores que originaron a los anélidos modernos.

Los anélidos tienen un celoma segmentado, un intestino tubular y un sistema circulatorio cerrado que transporta oxígeno. El sistema excretor consiste en pares de metanefridios, que típicamente aparecen en todos los segmentos del cuerpo, excepto en la cabeza. Los anélidos tienen un sistema nervioso centralizado y células sensoriales especiales, que incluyen receptores táctiles, gustativos, fotorreceptores y otros vinculados con la detección de la humedad (higroreceptores). Algunos anélidos tienen también ojos y antenas sensoriales bien desarrollados.

Las tres clases de anélidos son Oligochaeta (gusanos terrestres, con algunos representantes de agua dulce y marinos), Polychaeta (principalmente gusanos marinos) e Hirudinea (sanguijuelas).

Cada segmento contiene dos metanefridios, tres pares de nervios (que se ramifican desde el cordón nervioso central que corre a lo largo de la superficie ventral), una porción del tracto digestivo y una cavidad celómica izquierda y derecha. En cada segmento también hay cuatro pares de cerdas o sedas que se retraen mediante músculos especiales y son usadas para fijar una parte de su cuerpo mientras otra se mueve hacia adelante. En cada segmento (excepto en los tres primeros y en el último) se encuentran los metanefridios; cada uno ocupa realmente dos segmentos, dado que se abre en el interior mediante un embudo ciliado en un segmento y en el exterior mediante un poro en un segmento inmediatamente posterior. El intestino, los metanefridios y otros órganos internos están suspendidos en el celoma, lleno de fluido, que también actúa como esqueleto hidrostático. En la figura No.1. se ilustra la estructura de cada metanefridio al igual que el sistema excretor de la lombriz.

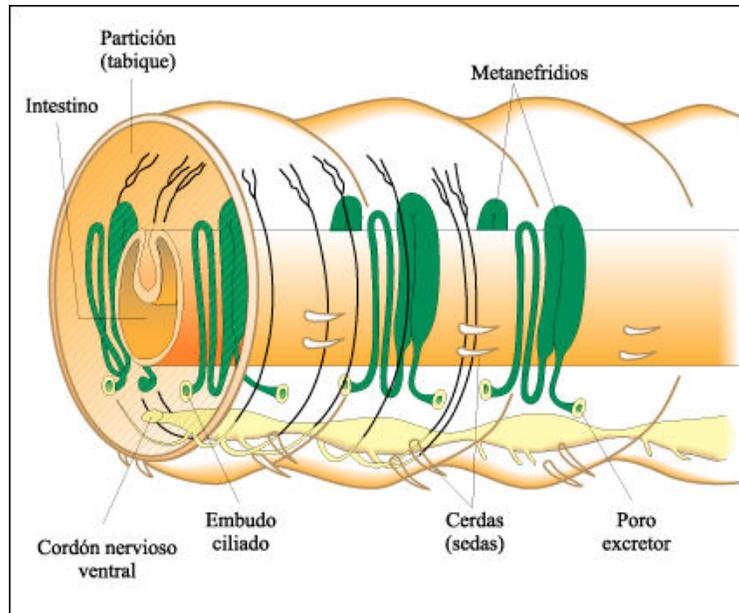


Figura No.1. Corte transversal de una lombriz de tierra.

Fuente: Curtis y Bernes. 2004

La boca conduce a una faringe muscular, que succiona la vegetación y otros materiales orgánicos en descomposición, al igual que detritos. Estos son almacenados en el buche y triturados en la molleja con la ayuda de partículas del suelo. El resto del tubo es un intestino largo en el que se digiere el alimento por medio de enzimas y se absorbe por células ciliadas. El aparato digestivo de la lombriz de tierra puede apreciarse en la figura No.2.

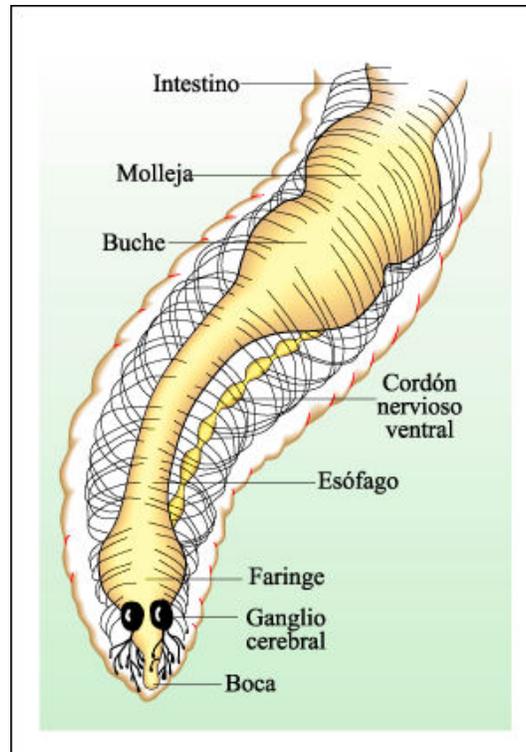


Figura No.2. Aparato digestivo de la lombriz de tierra.

Fuente: Curtis y Bernes, 20004

El sistema circulatorio de la lombriz de tierra, el cual se presenta en la figura No.3., está constituido por vasos longitudinales que corren a lo largo de todo el animal, uno de los cuales es dorsal y dos son ventrales. El vaso ventral más grande suministra sangre al intestino, al vaso subneural y, por medio de muchas ramificaciones pequeñas, a todos los tejidos del cuerpo. Numerosos capilares pequeños en cada segmento transportan sangre desde los tejidos al vaso dorsal. Además, hay vasos parietales a lo largo de la pared que transportan sangre desde el vaso subneural al vaso dorsal y también recogen nutrientes desde el tracto intestinal. El vaso dorsal, muscular, impulsa hacia adelante los fluidos recolectados de todo el cuerpo del animal. Existen cinco pares de corazones conectando el vaso dorsal y el ventral. Sus contracciones irregulares fuerzan la sangre hacia atrás, por el vaso ventral. Tanto los corazones como el vaso dorsal

tienen válvulas que evitan el reflujo. Los anélidos tienen un sistema circulatorio cerrado en el que la sangre fluye completamente a través de vasos.

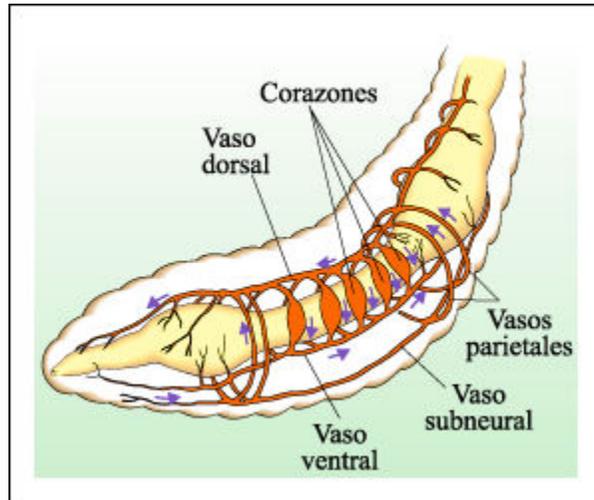


Figura No.3. Sistema circulatorio de la lombriz de tierra.

Fuente: Curtis y Barnes, 1995

Las lombrices de tierra son hermafroditas y algunas pueden reproducirse por patogénesis, en la figura 4 las cabezas de las lombrices se encuentran en direcciones opuestas y sus superficies ventrales quedan en contacto. El clitelo, una banda engrosada que rodea al cuerpo de cada una de ellas, secreta una sustancia mucosa que las mantiene unidas durante la cópula. Los espermatozoides son descargados a través de poros presentes en segmentos especializados de cada lombriz, dentro de los receptáculos para espermatozoides que posee su pareja. Después que las lombrices se separan, el clitelo secreta una banda mucosa, o capullo, en cuyo interior se descargan primero los óvulos y luego los espermatozoides. (Curtis y Bernes, 2000)



Figura No.4. Lombrices copulando.

Fuente: Curtis y Barnes, 2000.

2.4.5 Ecología de la lombriz.

Energética de la fisiología de la lombriz: La energética fisiológica de la lombriz es concerniente con el consumo de energía, el porcentaje que se designa al crecimiento, reproducción y metabolismo oxidativo, además de la pérdida de energía a través de la excreción y muerte. La lombriz obtiene su energía consumiendo componentes reducidos de carbono en la forma de plantas muertas o tejidos animales, materiales fecales o la materia orgánica del suelo.

La ruta simplificada para expresar el metabolismo energético de la lombriz se presenta en la ecuación 1; la cual es una ecuación aplicable a todos los organismos heterótrofos:

$$\text{CONSUMO (C)} = \text{PRODUCCIÓN (P)} + \text{RESPIRACIÓN (R)} + \text{EGESTA (E)}$$

Ecuación 1

Donde “**C**” es la energía total ingerida, “**P**” la cantidad de energía que se designa al crecimiento, reserva y reproducción, “**R**” es la energía asimilada pero perdida en la respiración y “**E**” es la que contiene la excreta. La asimilación se define como la suma de **P** más **R**

Los datos mostrados por Bolton y Phillipson (1976) muestran que la energía demandada por las lombrices pequeñas e inmaduras es mayor que la de las grandes e inmaduras y las lombrices adultas.

Los juveniles consumen mucha mas energía y emplean una gran porción de la energía consumida para producir tejido nuevo que las lombrices juveniles grandes, las juveniles pequeñas necesitan mucha energía para respirar y para crecer ($R/P=1$), mientras que los individuos inmaduros emplean una gran porción de su energía asimilada para mantenimiento y respiración que para producir tejido nuevo ($R/P=3.8$) (Edwards, 1996).

Brouché (1982) señala que es inadecuado basarse solamente en el consumo de energía, la respiración y la excreción para calcular la energía que fluye a través de la lombriz. Otros importantes flujos de energía que no son incluidos en la ecuación básica que se mostró en la ecuación 1 incluye:

1. Excreción de urea y otros productos urinarios,
2. Excreción de CaCO_3 ,
3. Producción de mucus, y
4. Producción de cocones.

De estas, la sección de mucus es adecuada para representar el gran flujo de energía. Por ejemplo según Dash y Patra (1977) del total de energía utilizado por la lombriz (4,820 KJ/m²/año) en praderas de Berrampur, India, cerca del 55% fue atribuido a la producción de mucus.

La producción de cocones puede ser otro importante factor en el flujo de energía, aunque raramente ha sido estimado para las comunidades de lombrices salvajes. Levelle (1974) calcula que el 0.3% de la energía asimilada por la lombriz en las sabanas fue designada para reproducción, esta cantidad es insignificante comparada con el total de energía presupuestada para la lombriz.

Influencia de los factores ambientales sobre la lombriz: Las lombrices son invertebrados de piel delgada y delicada con una protección muy limitada hacia los cambios en la humedad y temperatura que ocurre en el sustrato o las características físicas o químicas (como el tipo de suelo, pH, porosidad y el contenido de materia orgánica) en el sustrato en el cual viven.

El agua constituye entre el 75 y el 90% del peso del cuerpo de la lombriz (Grant, 1995) la prevención de la pérdida de agua es el mayor factor de sobrevivencia de la lombriz. Sin embargo, ellas tienen una considerable habilidad para sobrevivir en condiciones adversas de humedad, y pueden migrar hacia áreas de mayor humedad. Si no pueden evitar suelos secos pueden sobrevivir gracias a la pérdida de grandes cantidades de agua de su cuerpo (Edwards, 1996)

La lombriz aparentemente carece de un mecanismo para mantener un contenido constante de humedad, por lo que su contenido de agua es influenciado fuertemente por el potencial de agua del suelo (Kretzschmar y Brochou, 1991)

Las lombrices que viven en compostas o excretas prefieren condiciones más húmedas que las especies que viven en el suelo. En ocasiones, juveniles y adultas de *P. escavatus* prefirieron un contenido de humedad de alrededor del 80% en estiércol de ganado a 25°C (Hallett et al., 1992) y 80-85% en otros materiales orgánicos (Edwards et al., 1988).

Parmelee y Crossley (1998) y Edwards et al., (1995) sugirieron que los cocones pueden actuar como el principal estado de sobrevivencia durante sequías para algunas especies, como *L. rubellus*. Parmelee y Crossley se reportó que la masa de cocones incrementa cuando la sequía se intensifica en un agroecosistema no cultivado en Georgia Piedmont, E.E.U.U. inmediatamente después de la sequía aparecen muchas lombrices pequeñas e inmaduras de esta especie.

La humedad y la temperatura pueden actuar en sinergia para influenciar la actividad de la lombriz. Por ejemplo, Scheu (1987) muestra que un incremento en la temperatura de los 10 a 15°C con un contenido de humedad del 60% produce el doble de egestas para *A. caliginosa*, mientras que con un contenido de humedad del 48 al 60% provoca el doble de producción de egestas.

2.4.6 Lombriz de tierra y microorganismos.

La lombriz tiene muchas interacciones complejas con microorganismos. Ella depende de los microorganismos como su mayor fuente de nutrientes. Promueven la actividad microbiana en la materia orgánica en descomposición fragmentándola e inoculándola con estos, y dispersándolos por el suelo (Edwards, 1996).

2.4.7 Efectos de la lombriz en el número, biomasa y actividad de microorganismos.

Organismos en el intestino de la lombriz. Muchos de los microorganismos que existen en el organismo de la lombriz son los que habitan en el suelo en el cual las lombrices viven.

Mediante observaciones, Satchell (1967) concluyó que solo las lombrices tienen microflora endógena. Strockli (1928) reportaron que ocurrió un gran incremento en el número total de bacterias y actinomycetos en el intestino de la lombriz comparado con el suelo en que viven, y otros trabajos muestran un incremento exponencial de la parte anterior a la posterior del intestino de la lombriz (Parte, 1959-1963).

Teotia et al (1950). Kollmannsperger, (1952-1956), Rushmann (1953) y Shultz y Felber (1956) todos reportaron un gran incremento en la población microbiana en la excreta de lombriz en comparación al suelo en que viven.

El gran incremento en el número de microorganismos en el intestino de la lombriz puede deberse en parte a la gran cantidad de agua y mucus que la lombriz secreta en su intestino. Barois y Lavelle (1986) demostró que el mucus intestinal producido por la lombriz, *Pontoscolex carethrurus*, contiene una gran cantidad de compuestos orgánicos hidrosolubles, y de bajo peso molecular que pueden ser asimilados rápidamente multiplicando la comunidad microbiana en el tracto digestivo.

Importancia de los microorganismos como alimento para la lombriz.

Los microorganismos constituyen un importante componente nutricional en la dieta de la lombriz. Edwards y Fletcher (1988) recopilaron evidencia experimental donde se muestra que los microorganismos proveen una parte de los nutrientes para la lombriz. Concluyeron que las bacterias son de menor importancia, las algas son de moderada importancia y los hongos y muchos protozoos son su mayor fuente de nutrientes. Enfatizaron que la lombriz no puede crecer en cultivos puros de microorganismos y necesitan mezclas de grupos o especies de microorganismos para desarrollarse satisfactoriamente.

Estudios de preferencias de alimentos mostraron que la lombriz prefiere alimentarse de materiales inoculados con grupos particulares de microorganismos. En ocasiones Cooko y Luxton (1980) y Cooke (1983) mostraron que *L. terrestris* prefirió ser alimentada en discos de papel que fueron inoculados con especies particulares de hongos como *Fusarium Oxysporum*, *Alternaria Solana* y *Trichoderma Viride*, y rechazaron o no se estimularon con *Cladosporium clorosporoides*, *Parodia piliformis* y *Chaetonia glohosam*. Una gran cantidad de hifas de hongos puede ser observada en el intestino de la lombriz, y muchos de esas hifas son digeridas al pasar por el tracto.

2.5 COMPOSTEO Y VERMICOMPOSTEO COMO ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO DE EXCRETA PORCINA.

Dentro del contexto del tratamiento de los residuos sólidos agropecuarios, la fermentación en estado sólido (es decir el composteo y el vermicomposteo) se perfila como la alternativa mas adecuada para eliminar la contaminación por excretas porcina y convertirlas en un producto comercializable.

A continuación se discuten trabajos realizados alrededor del mundo por centros de investigación con cerdaza y otros desechos similares.

Los principios detrás del vermicomposteo son relativamente simples y relacionados con aquellos que involucran el composteo tradicional en el cual los materiales orgánicos tienen que ser revueltos con regularidad o aireados de algún modo para mantener condiciones aeróbicas. Esto a menudo puede implicar ingeniería costosa para tratar los residuos tan rápidamente como sea posible sobre todo a gran escala.

En el vermicomposteo, las lombrices (que sobreviven sólo en condiciones aerobias) asumen tanto papeles de mezcladores como de aereadores; manteniendo las condiciones aerobias y disminuyendo la necesidad de equipo de ingeniería costosos.

La principal necesidad en el vermicomposteo es que, en contraste con composteo tradicional (un proceso termofílico que puede generar temperaturas de más de 70° C), se debe mantener temperaturas por debajo de 35° C. La exposición de las lombrices a temperaturas por encima de esta, hasta en períodos cortos, las matarán, evitar tal sobrecalentamiento requiere un manejo cuidadoso.

Las lombrices consumen materiales orgánicos en una capa relativamente estrecha de 15 a 23 centímetros debajo la superficie de un montón o una cama de composta, por lo general, es suficiente añadir de uno a tres centímetros diarios de alimento, dependiendo del tipo de este (Edwards y Cleave, 1995).

Salustio et al. (2001) analizaron la dinámica del carbono orgánico y del nitrógeno total y sus relaciones con los microorganismos, durante la producción de composta y vermicomposta de residuos de podas de jardín mezclados con estiércol de conejo en proporciones de tres a uno por ciento en volumen. Encontraron que el pH (8.5) y la conductividad eléctrica (8 dS m⁻¹) que alcanzó el sustrato durante su transformación causaron daños a las lombrices y los microorganismos, el aumento de pH redujo la concentración de nitrógeno total, con lo cual la relación carbono nitrógeno se mantuvo sin cambio, las pérdidas de nitrógeno más notorias ocurrieron en la vermicomposta.

La respiración microbiana presentó una estrecha relación con el carbono orgánico durante el composteo y en menor grado con el vermicomposteo. La población total de bacterias disminuyó con el tiempo, relacionándose con la respiración microbiana.

Sin embargo, en el cambio experimentado por las poblaciones de hongos no se observó un patrón definido, debido a su preferencia por ambientes ligeramente ácidos. Estos resultados muestran el efecto negativo de la alcalinidad y salinidad de las compostas en las poblaciones de lombrices y microorganismos.

Domínguez et al. (1995) encontraron que el estiércol de cerdo contiene propiedades nutricionales extraordinarias para el desarrollo de lombrices de tierra, si este material es añadido a materiales que contiene alta relación C:N como la pulpa de papel acelera su descomposición y aumenta la calidad fertilizante del producto final.

En estudios más específicos sobre la dinámica microbiana que ocurre durante el composteo del estiércol porcino, Wang et al. (2004) encontró que la paja de trigo es mas adecuada para estabilizar la relación carbono nitrógeno que el aserrín, pues este ultimo afecta la asimilación del nitrógeno.

Cruz et al. (1997) realizaron trabajos experimentales con “Policultivos de Lombrices de Tierra” (mezcla de *Eisenia foetida* y *Eudrilus eugeniae*) donde se analizó la microbiología de la producción de humus a partir de excreta porcina proveniente del lecho de secado de un biodigestor aerobio, encontrando una remoción de *Salmonella spp.* y microorganismos anaeróbios del 97 al 62% respectivamente.

Mediante el trabajo experimental realizado en el Instituto Mexicano de tecnología del Agua, Cardoso et al. (2002) encontró que mediante el vermicomposteo de los lodos de las plantas tratadoras de agua se pueden reducir los patógenos contenidos en este material hasta cumplir con los niveles establecido en el

proyecto de Norma Mexicana PROY-NOM-004 y la “US Standard 40 CFR part 503, (1993)”. En cuanto a el numero mas probable (NMP) de coliformes por gramo y huevos de helmintos por gramo, además concluyó que el producto final cuenta con características fisicoquímicas que lo convierten en un excelente fertilizante. Dentro de esta investigación también se avaluó la cantidad de cocones producido (reportados como biomasa), para diferentes densidades de siembra de lombrices, encontrando que la densidad mas adecuada es de 2.5 kg por metro cuadrado.

García et al. (1996) realizaron experimentos utilizando mezclas de estiércol bovina, porcino, cachaza y bagacillo. Encontrando resultados similares entre los tratamientos en los que se emplearon excreta porcina y bagacillo y excreta porcina y cachaza, contra el tratamiento con excreta bobina en cuanto al desarrollo de la lombriz (aumento de biomasa y generación de cocones).

El tratamiento con excreta porcina presentó valores inferiores a los de los tratamientos restantes. No hubo diferencias entre tratamientos en el humus producido aunque las excretas porcinas presentaron niveles superiores de nitrógeno e inferiores de potasio en el mismo orden de tratamientos.

En otro trabajo realizado por García et al. (1997) también concluye que el estiércol de cerdo produce menor biomasa de lombrices comparado con el estiércol de res, pero si se combina con residuos vegetales, los resultados son comparables con la utilización de estiércol de res como sustrato.

En trabajos realizados en la Facultad Regional Resistencia y la Universidad Tecnológica Nacional utilizando como sustrato el lodo originado por el tratamiento de los efluentes líquidos de una curtiembre base tanino (Chamorro et al. 1996)

evaluaron la importancia de añadir residuos vegetales a los lodos utilizados, ya que incrementan la tasa reproductiva de la lombriz y el incremento en la biomasa al igual que la calidad del humus obtenido.

En cuanto a la tasa reproductiva de las lombrices, representada por el tiempo de eclosión y la cantidad de lombrices contenidas en los cocones, Toccalino et al. (1996) encontró que está influenciada por la temperatura, (es decir por la estación del año).

En tres experimentos distintos García (1996 y 1997) no encontró diferencias significativa en el desarrollo de la lombriz al utilizar agua potable y agua residual como fuente de humedad el cultivo de lombrices.

III MATERIALES Y MÉTODO.

3.1 MATERIALES.

Los materiales que fueron utilizados para realizar las pruebas son:

- A) Lodo de la laguna de oxidación de granjas porcícolas, y
- B) Excreta fresca de cerdo.
- C) lombriz de tierra *Eisenia sp.*

Las mezclas resultantes fueron:

- 1) Composta del lodo de la laguna de oxidación porcina.
- 2) Composta de cerdaza fresca,
- 3) Vermicompostada, y
- 4) Cerdaza mezclada con paja de trigo.

Estos materiales se mezclaron con residuo lignocelulósico (paja de trigo), para aumentar la relación carbono-nitrógeno y permitir el desarrollo de

microorganismos que servirán como alimento para las lombrices de tierra. Los tratamientos que se dieron a los sustratos son:

T₁: Composteo del lodo de la laguna de oxidación de purines porcícolas.

T₂: Composteo de cerdaza fresca.

T₃: Mezclado de cerdaza fresca con paja, y

T₄: Mezclado de cerdaza fresca con paja sin lombrices.

A continuación se presenta una lista de materiales que fueron utilizados para realizar esta investigación:

- Vaso precipitado
- Espátula
- Cajas Petri
- Piseta
- Bureta
- Matraz Erlenmeyer
- Pipeta
- Probeta
- Soporte universal
- Matraz kjeldahl
- Tubos de ensaye con rosca
- Asa
- Mechero fisher
- Gradilla
- Perilla
- Pipetas bacteriológicas 10 y 1 ml, con tapón de algodón.
- Frascos de vidrio de 250 ml con tapón de rosca.

- Tubos de 16 X 150 mm con tapón de rosca.
- Utensilios esterilizables para la obtención de muestras: cuchillos, pinzas, tijeras, cucharas, espátulas, etc.

3.1.1 Equipo.

De igual modo se enlista el equipo utilizado para monitorear los parámetros fisicoquímicos de temperatura, humedad y pH; incluyendo el equipo empleado para realizar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos iniciales y finales.

Nitrógeno total.

- Aparato para la digestión Kjendahl
- Aparato para la destilación Kjendahl

Materia orgánica.

- Balanza analítica
- Parrilla de calentamiento controlada con agitación

Potencial hidrógeno.

- Potenciómetro

Coliformes totales y fecales.

- Horno de 170°C.
- Autoclave con termómetro y manómetro.
- Baño de agua con control de temperatura y circulación mecánica, provista con termómetro calibrado con divisiones de 0,1° C, temperatura a 45 ± 1,0°C.
- Licuadora.
- Incubadora
- Potenciómetro

3.1.2 Infraestructura.

El equipo existente en el laboratorio de análisis de aguas del Instituto Tecnológico de Sonora, fue utilizado para analizar la materia orgánica de las muestras, nitrógeno proteico para la cerdaza y el lodo de la laguna de oxidación, nitrógeno total, pH y humedad. Los análisis microbiológicos se llevaron a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Análisis Microbiológicos de la misma institución, incluyendo conteos de coliformes totales y fecales mediante las técnicas de Numero Mas Probable (NMP) para la mezcla de los materiales y los productos finales, así como para el monitoreo de los patógenos en el vermicompostaje de la cerdaza fresca. Estos dos laboratorios trabajan bajo los estándares establecidos

en la normatividad mexicana en cuanto a los procedimientos y parámetros de calidad.

La empresa insumos agrícolas “J.R.” ubicado en Sufragio Efectivo 240 Colonia Centro, en Ciudad Obregón Sonora, proporcionó un almacén para llevar a cabo el vermicomposteo de la cerdaza fresca, ya que es adecuado para alojar los biorreactores de vermicomposteo, debido a que proporcionan sombra y resguarda de las temperaturas a las lombrices. Además, se encuentra cerca de los laboratorios de análisis, lo cual facilitó el llevar un registro de temperatura, pH, humedad y patógenos adecuadamente. Por otra parte, no era conveniente establecer los biorreactores dentro de los laboratorios, puesto que los olores emanados de la cerdaza son desagradable, además la carga microbiana patógena suele ser muy alta.

El composteo de la cerdaza y el lodo de la laguna de oxidación se realizó en un predio ubicado en el poblado de San José de Bácum. El sitio fue adecuado para compostar los materiales en cuestión, ya que se cuenta con un área de 63 metros cuadrados al aire libre disponibles para manejar los desechos. Los volúmenes de los materiales que se manejaron y las características de éstos dificultaron el establecer el experimento en zonas urbanas.

3.2 MÉTODO.

El lodo de una laguna de oxidación porcina y la cerdaza fresca se recolectaron de la granja “Los Palomos” ubicada en el kilómetro 37, carretera a Yécora, propiedad de la empresa SOLES S.A. de C.V. Dichos materiales fueron transportados a un predio de San José de Bácum Sonora, donde el experimento

se llevó a cabo. La temperatura fue monitoreada por una persona residente en dicha comunidad previamente capacitada. Las lecturas de pH y humedad se realizaron a muestras extraídas de los biorreactores y transportadas al Laboratorio de Análisis de Aguas del Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON), al igual que los análisis finales. La segunda fase de la investigación se realizó en un almacén de una empresa comercializadora de insumos agrícolas, ubicada cerca del campus centro del ITSON.

3.2.1 Preparación de la cerdaza fresca.

Para este tratamiento se utilizaron recipientes de 200 litros, los cuales fueron modificados para servir como biorreactores, en ellos se recolectarán 75 litros de cerdaza mezclados con 25 litros de paja de trigo triturada, para obtener una C/N aproximada a 30, la cual es adecuada para el proceso de compostaje, la cerdaza se recolectó directamente de las naves de crianza de cerdos de engorda de la especie York Shire de 100 kg de peso.

La temperatura se monitoreo periódicamente hasta que se estabilizó alrededor de los 25°C, de igual modo se llevó un registro de la humedad. Una vez que el material se estabilizó se le realizaron los análisis fisicoquímicos y microbiológicos correspondientes.

3.2.2 Preparación de lodos de la laguna de oxidación.

Los lodos fueron recolectados de la laguna de oxidación de la granja utilizando palas de riego, y se utilizó el mismo tipo de biorreactor emplado para el composteo de la cerdaza. El lodo se mezcló con paja de trigo, y representó el 20% de la mezcla del composteo, la cual tuvo un volumen de 100 litros. Asumiendo que la paja de trigo tiene una C/N (relación carbono nitrógeno) de 100 y el lodo de la laguna de oxidación de 18, la mezcla resultante contó con una C/N aproximadamente de 34.

El proceso de composteo terminó en el momento en el cual la temperatura se estabilizó entre los 20 y 27° C, la cual fue monitoreada periódicamente al igual que la humedad, y hubo un periodo de dos semanas más para permitir una estabilización del material antes de realizar la prueba de sobrevivencia de las lombrices de tierra y los respectivos análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

3.2.3 Vermicomposteo de la cerdaza fresca.

La cerdaza fresca, (de por lo menos 24 horas de ser generada) se mezcló con paja de trigo en proporciones de 1:4. Dicha composición resultó en una relación C/N de 80. El biorreactor donde se llevó acabo la fermentación consistió en un recipiente de 90 cm³ donde se colocaron 50 lombrices adultas, monitoreándose el pH y la humedad se mantuvo en un 80%. El biorreactor se colocó en una trampa de agua, de tal manera que al mismo tiempo se realizó la prueba de sobrevivencia para el sustrato a prueba. Al momento de que las lombrices transformaron la

cerdaza en estiércol de lombriz el tratamiento terminó, y se realizaron los análisis fisicoquímicos y microbiológicos correspondientes.

3.2.4 Prueba de las 50 lombrices.

La prueba de las 50 lombrices se realizó colocando 50 lombrices en bandejas de 30 por 30 cm. Si el material a probar no es adecuado como alimento para la lombriz, éstas escapan. La prueba duró 72 horas, al final de este periodo todas las lombrices se debieron encontrar inmersas en el material, se reporta como porcentaje de sobrevivencia las lombrices que permanecieron en la bandeja vivas. En este trabajo no se estudió el desarrollo de la lombriz en dicho material.

3.2.5 Variables.

Las variables a medir al final del acondicionamiento fueron:

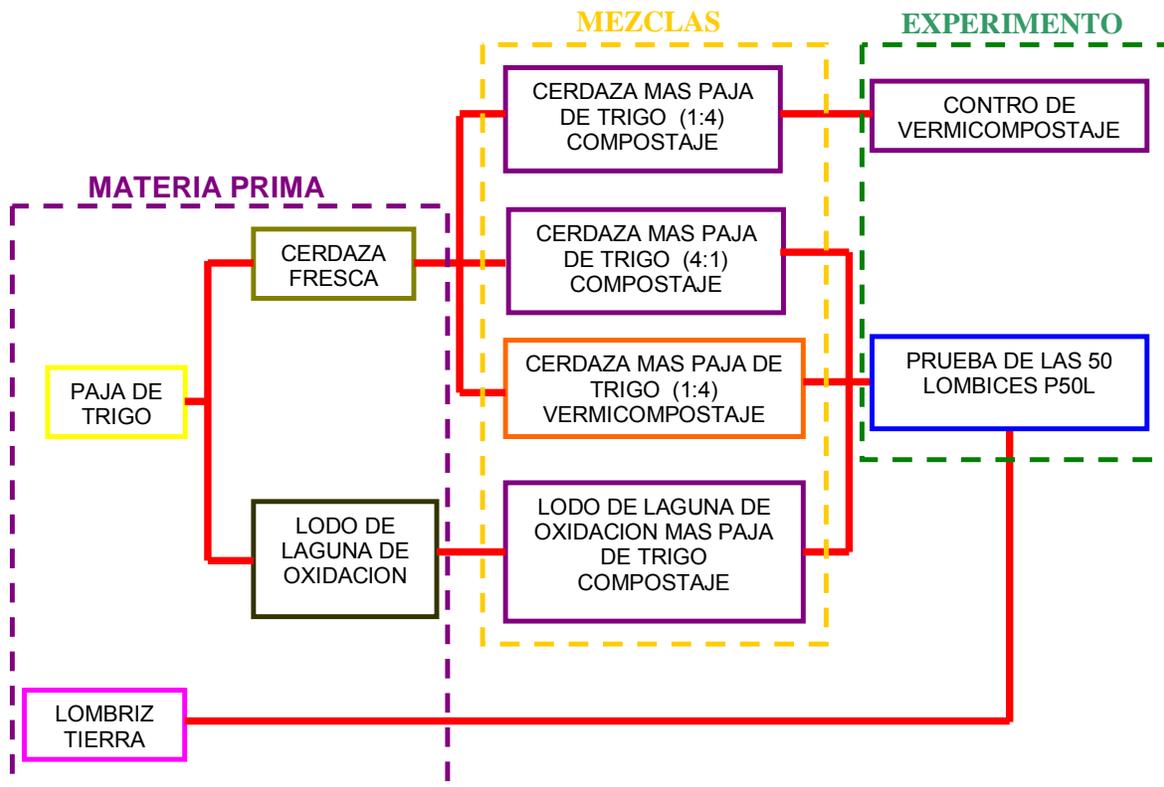
- pH
- Porcentaje de humedad
- Porcentaje de materia orgánica
- Porcentaje de carbono
- Porcentaje de nitrógeno
- Relación carbono nitrógeno
- Coliformes totales
- Coliformes fecales

- Prueba de las 50 lombrices

Al inicio de cada experimento se determinó: pH, temperatura, humedad, porcentaje de materia orgánica, nitrógeno total, coliformes totales y fecales. Pero sólo se monitorearon periódicamente pH, temperatura y humedad. En el caso del vermicomposteo de la cerdaza fresca se monitorearon semanalmente los coliformes fecales y totales hasta que la totalidad del estiércol de cerdo fue transformado en heces fecales de lombriz.

A continuación se presenta la figura No.5. que representa el diseño de experimento utilizado.

Figura No.5. Diseño del experimento.



3.2.6 Metodología de los análisis.

Los análisis que se llevaron a cabo bajo las normas establecidas por normatividad mexicana correspondiente, la metodología se enlista a continuación en la tabla No.6.

Tabla No. 6. Métodos y reactivos que se utilizarán en los análisis fisicoquímicos y biológicos

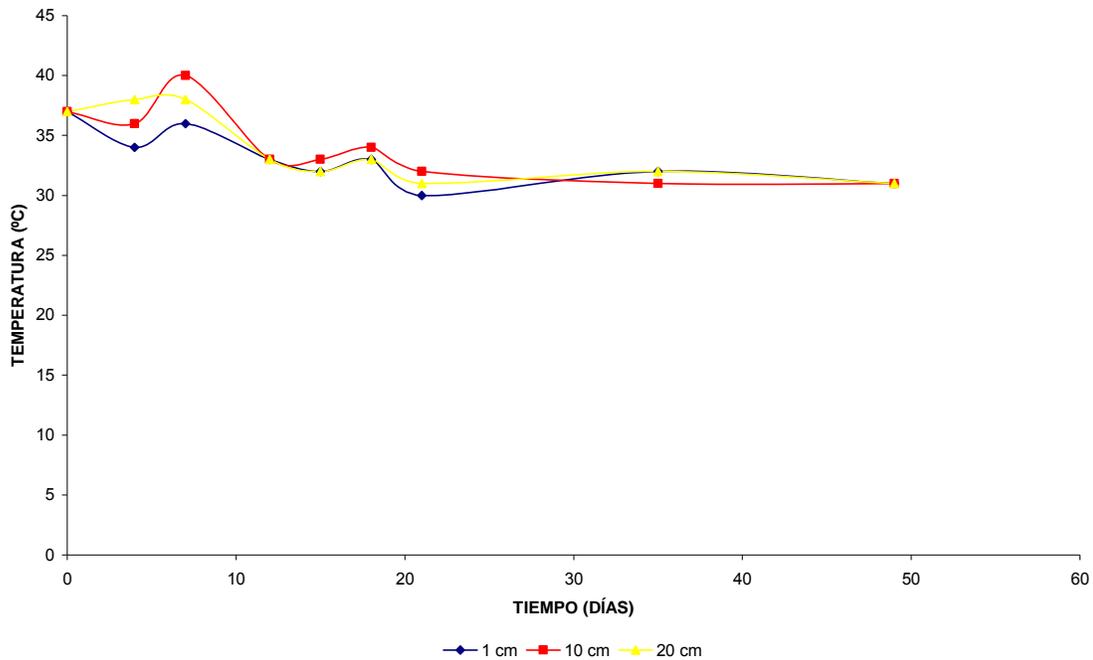
MÉTODO	REACTIVOS
Nitrógeno total incluyendo nitratos por el método kjendahl	<ul style="list-style-type: none"> • Ácido sulfúrico concentrado • Ácido salicílico • Tiosulfato de sodio • Acelerador de la digestión • Solución de hidróxido de sodio-Tiosulfato de sodio • Solución de ácido sulfúrico 0.1N • Solución de ácido bórico 4% • Solución de indicadores mixtos
Materia orgánica, por el método Walkley-Black	<ul style="list-style-type: none"> • Ácido sulfúrico concentrado • Ácido fosfórico al 85% • Fluoruro de sodio sólido • Dicromato de potasio 1 N • Indicador de Difenilamina 0.025 M • Solución de sulfato ferroso amoniacal 0.5 N
Potencial hidrógeno	<ul style="list-style-type: none"> • Buffer de pH = 4.5 • Buffer de pH = 7.0 • Buffer de pH =10.0
Coliformes totales y fecales, método Numero Mas Probable (NMP)	Caldo bilis verde brillante Caldo lactosado Caldo EC

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

El composteo de los materiales generó calor debido a la descomposición de la materia orgánica; la cantidad de calor generado depende de la relación carbono nitrógeno de la mezcla, de la humedad, y la cantidad de oxígeno disponible (Monroy, 1990). En las siguientes gráficas se presenta el comportamiento de la temperatura a tres diferentes niveles de profundidad en los biorreactores donde se llevó a cabo la fermentación de las diferentes mezclas.

En la Figura No.6. se observa el comportamiento de la temperatura a tres diferentes profundidades, mostrando una disminución de la temperatura conforme transcurre el composteo. Este decremento se debe a que el material se encontraba en proceso de degradación dentro de una laguna de oxidación, en donde era sometida a una fermentación anaerobia.

Figura No.6. Temperatura en el composteo del lodo de la laguna de oxidación porcina más paja de trigo a tres niveles de profundidad.

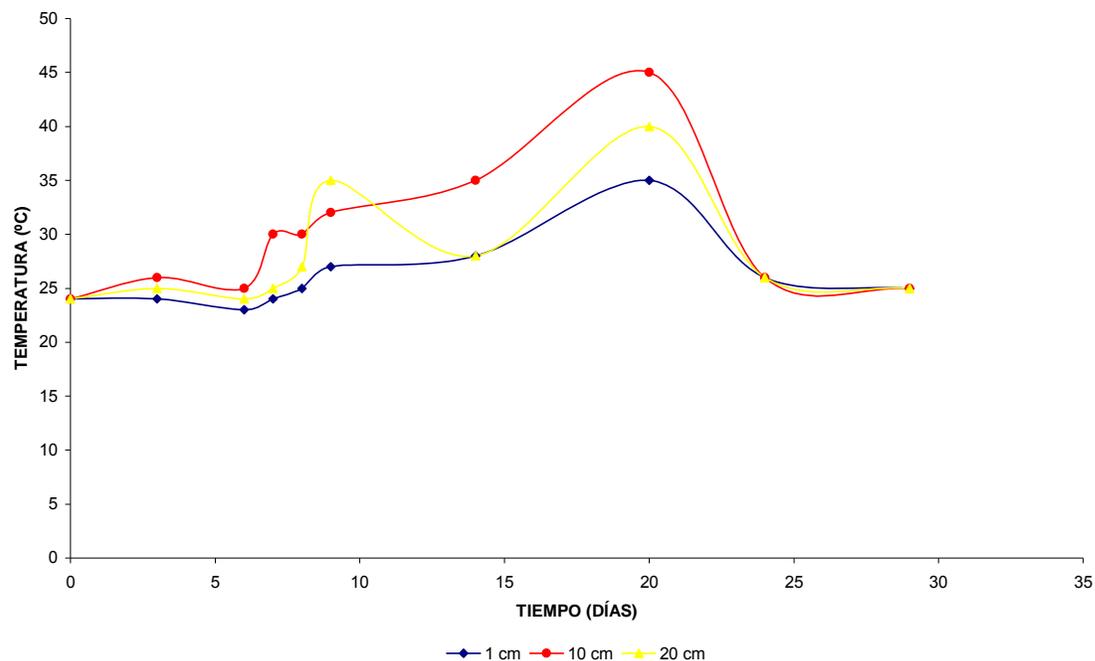


Se puede observar en la figura anterior que en los primeros siete días la temperatura se incrementa, principalmente a los 10 cm de profundidad, debido a que esa área cuenta con las características más adecuadas para la descomposición microbiana.

La Figura No. 7. presenta el comportamiento de la temperatura a tres diferentes profundidades del composteo de excreta porcina fresca más paja de trigo. En los tres niveles se muestra un incremento de temperatura alcanzando un pico máximo al día 20 de incubación, 45° C a los 10 cm. de profundidad. Haciendo una comparación de la gráfica del composteo del lodo de laguna de oxidación porcícola, podemos observar que esta última presentó un incremento menor de temperatura (aproximadamente cinco grados centígrados). Lo anterior, es comprensible ya que al aumentar la relación C/N con la inclusión de la paja de

trigo, se incrementa el material a descomponer durante el proceso de composteo, lo cual se traduce en un metabolismo más intenso y por lo tanto, en mayor generación de calor. Hacia el día 30, la temperatura se estabiliza en una fase mesofílica.

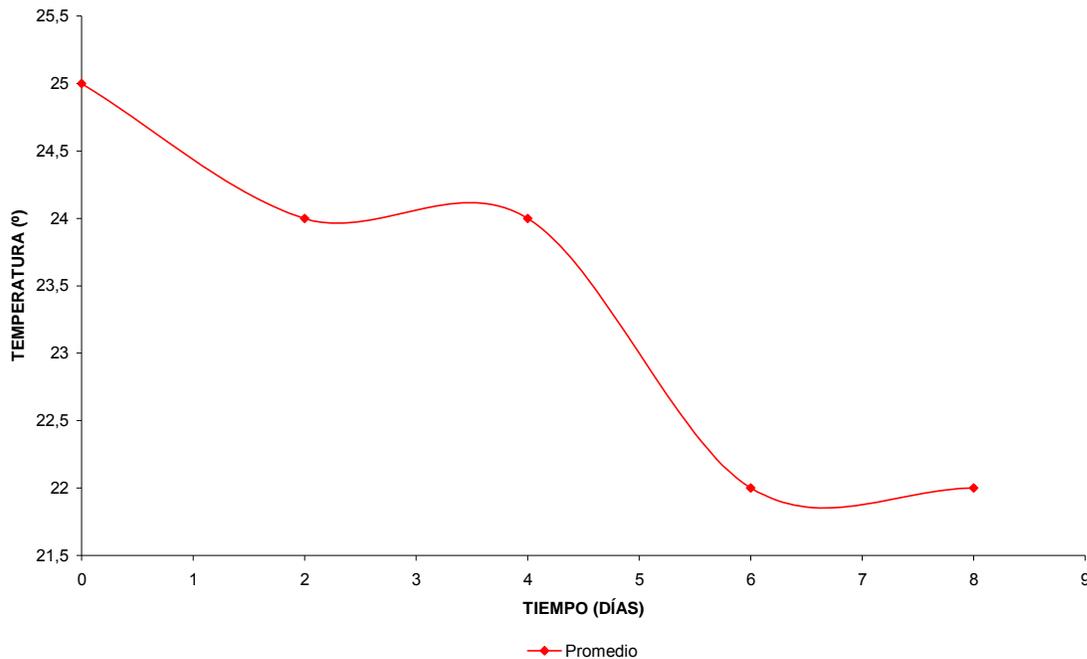
Figura No. 7. Temperatura en el composteo de excreta porcina fresca más paja de trigo a tres niveles de profundidad.



En la figura No.8. se observa el comportamiento de la temperatura durante el proceso de vermicomposteo de excreta porcina fresca. El vermicomposteo es un proceso mesofílico, debido a que la humedad del 85 % que se requiere, disminuye la cantidad de oxígeno molecular presente en el sustrato, además de absorber el calor generado en el proceso de fermentación. Las lombrices se alimentan de microorganismos, e inoculan otros provenientes de su tracto digestivo, con lo cual mantiene el proceso en un estado mesofílico. Un incremento en la temperatura afectaría a las lombrices y podría matarlas (Edwards, 1995), es por eso que la capa de sustrato que fue suministrado al bioreactor donde se encontraban las

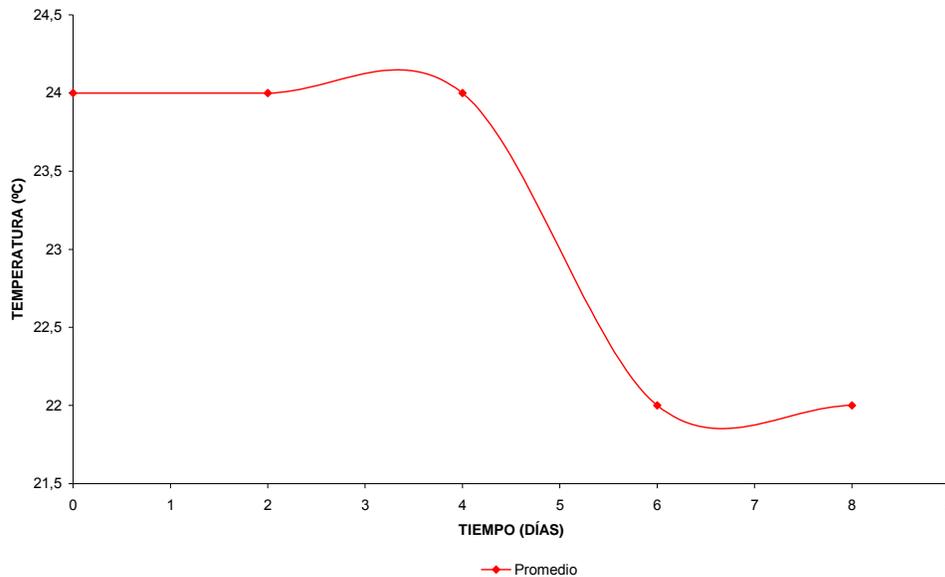
lombrices fue de 7 cm. Esto fue determinante para evitar el incremento de temperatura debido a que los anélidos compiten por la materia orgánica como alimento.

Figura No.8. Temperatura durante el proceso de vermicomposteo de excreta porcina fresca más paja de trigo.



Los resultados obtenidos con respecto a la temperatura en el control o blanco se muestran en la figura No.9. De igual manera, el control o blanco del experimento de vermicompostaje, el cual no contenía lombrices, se mantiene entre los 21.5 y los 24 °C, esto debido a que el pequeño grosor (7cm) de la capa de sustrato no permitió un incremento de temperatura como el registrado en el composteo de la cerdaza fresca más paja de trigo. Además, la relación carbono nitrógeno, (C:N) era mayor de 40, debido a que la cantidad de cerdaza era 20% de la cantidad de paja (en volumen) en la mezcla, lo cual es adecuado para que la lombriz pueda sobrevivir en ella, ya que un exceso de proteínas no permite su desarrollo (Shuldt 2002).

Figura No.9. Temperatura durante el proceso de vermicomposteo del control de excreta porcina fresca más paja de trigo.



De manera general, se puede observar que los dos procesos de composteo, del lodo de la laguna de oxidación y el de la cerdaza fresca más paja de trigo, presentaron un comportamiento esperado de los procesos de compostaje, cumpliendo el ciclo mesofílico-termofílico-mesofílico. La mayor actividad microbiana e incremento de temperatura se presentó en las fases medias del sustrato, ya que en la capa exterior la humedad disminuye rápidamente por evaporación ya que se encontraba en contacto con el aire y recibió directamente los rayos solares. Por otra parte, la fase más profunda, a los 20 cm, no recibió la cantidad adecuada de oxígeno para generar calor, por lo que se presentaron condiciones anaeróbicas. El proceso de vermicompostaje y el blanco permanecieron en estado mesofílico, debido a las condiciones en las que se realizó la fermentación.

En los proceso de degradación de la materia orgánica, la descomposición de proteínas genera una gran cantidad de iones amonio elevando el pH, antes de esto, actúan bacterias que consumen carbohidratos principalmente, generando ácidos orgánicos y disminuyendo el pH. De esta manera, en el composteo, como proceso de descomposición de materia orgánica, presenta una primera fase donde el pH disminuye en 1 o 2 unidades, seguido de un aumento rápido paralelo al aumento de temperatura.

La gráfica No. 11, la cual fue generadas con el monitoreo del pH en el composteo de cerdaza fresca más paja de trigo presentan este patrón, de manera más marcada para el composteo de cerdaza debido a que la cerdaza fresca tiene un pH ácido, el cual se acentúa en la primer etapa, incrementándose hasta estabilizarse cerca de la neutralidad.

Los resultados que muestran los valores de pH durante el proceso de composteo del lodo de la laguna de oxidación y la excreta porcina fresca se muestran en la figura No. 10 y 11 respectivamente. El lodo de la laguna de oxidación contaba con un pH inicial de 8.4, debido a que estaba en proceso de descomposición, en los primeros 20 días decreció principalmente en los 10 cm. de profundidad, al igual que en las otras profundidades aunque en menor medida, para estabilizarse después del día 22. En general, la fluctuación no fue mayor que uno debido a lo avanzado de la descomposición de los materiales. El pH que se registró en los últimos días del experimento fue constante de 8.7, es mayor que el inicial, seguramente el tiempo que duró el experimento no fue suficiente para conocer el tiempo necesario para que el material se estabilizara.

Figura No.10 Valores de pH en el proceso de composteo del lodo de la laguna de oxidación porcina más paja de trigo a tres diferentes niveles de profundidad.

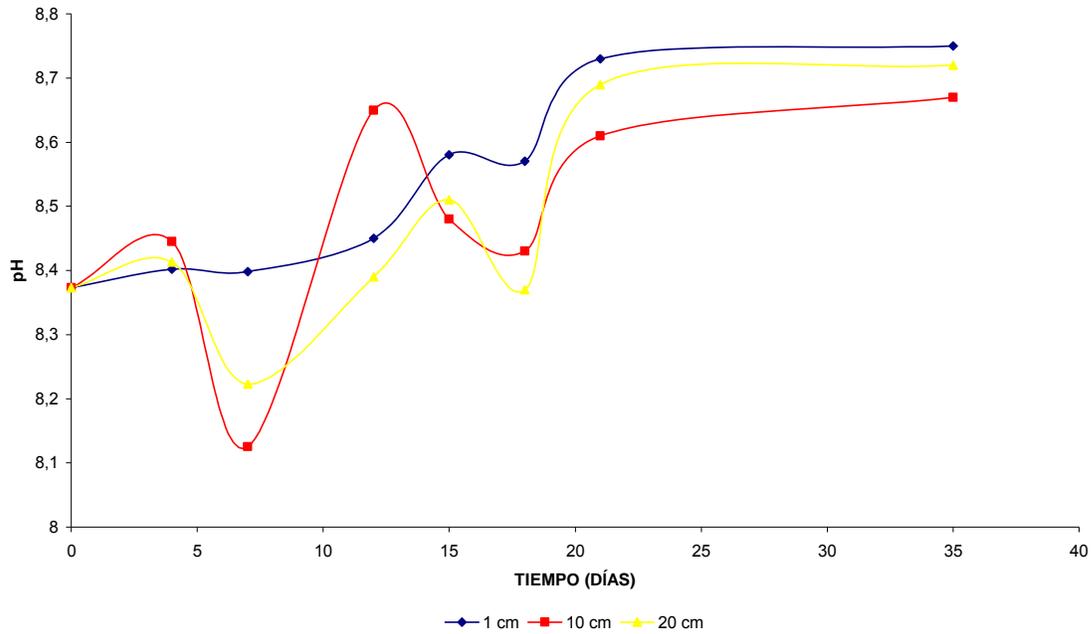
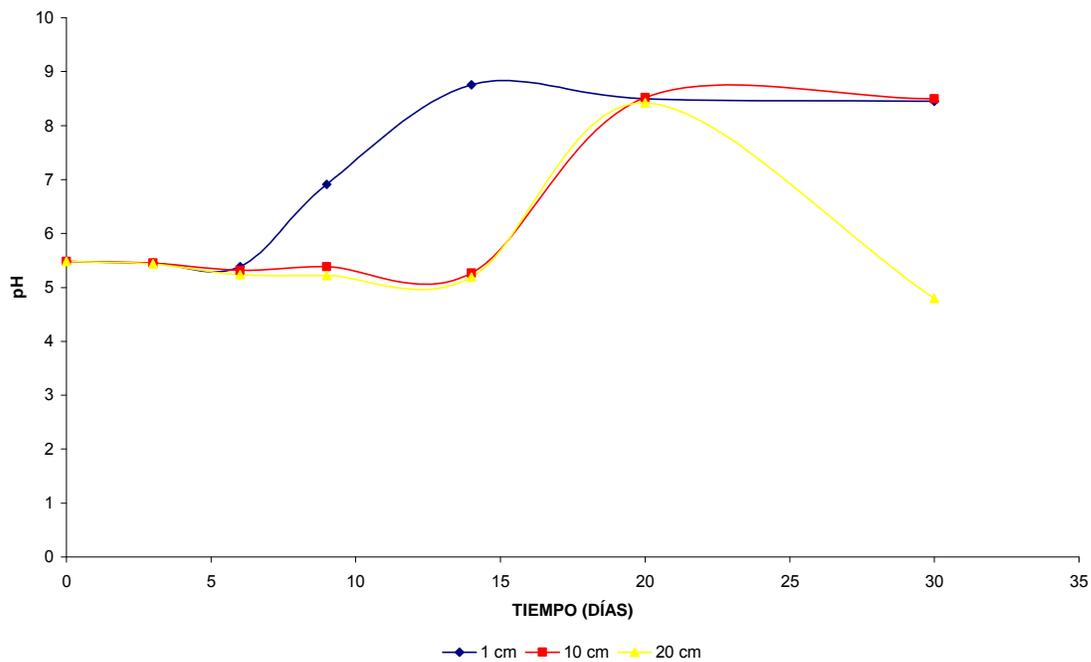


Figura No.11 Valores de pH en el proceso de composteo de excreta porcina fresca más paja de trigo a tres niveles de profundidad.



En la gráfica de seguimiento del pH, para el experimento con cerdaza más paja de trigo, se puede observar un comportamiento similar en las profundidades de 10 y 20 cm hasta el día 20, lo cual puede deberse a las similares condiciones de aireación generadas por los volteos que se realizaron periódicamente, y la estructura de los materiales. Después del día 20 los materiales se compactaron y la capa inferior disminuyó su actividad aerobia, haciendo que su pH disminuyera, en cambio la capa superior, a 1 cm de profundidad, conservó una marcada tendencia a aumentar su pH, ya que la liberación de iones amonio fue acelerada por el oxígeno presente.

Este material no fue aceptado como alimento por las lombrices, debido a su baja relación C/N. Según Shuldt (2002) se requieren más de tres meses de composteo para adaptar la cerdaza como alimento para la lombriz.

Las gráficas generadas por el proceso de vermicomposteo y su blanco (figura No. 12. y 13.) fueron semejantes en la primera etapa; es decir, antes del décimo día. Después de este periodo, el control incrementó su pH hasta 9.4, en cambio el bioreactor con lombrices presenta una tendencia de disminución conforme pasa el tiempo. Lo anterior, influenciado por la acción de la lombriz, ya que se alimenta de microorganismos y detritos, transformándolos en material fecal la cual tiene un pH cercano a la neutralidad. De esta manera, la lombriz compite con los microorganismos por materia orgánica, lo cual evita que se generen gran cantidad de iones amonio (Edward, 1995).

Figura No.12. Valores de pH en el proceso de vermicomposteo de excreta porcina fresca más paja de trigo.

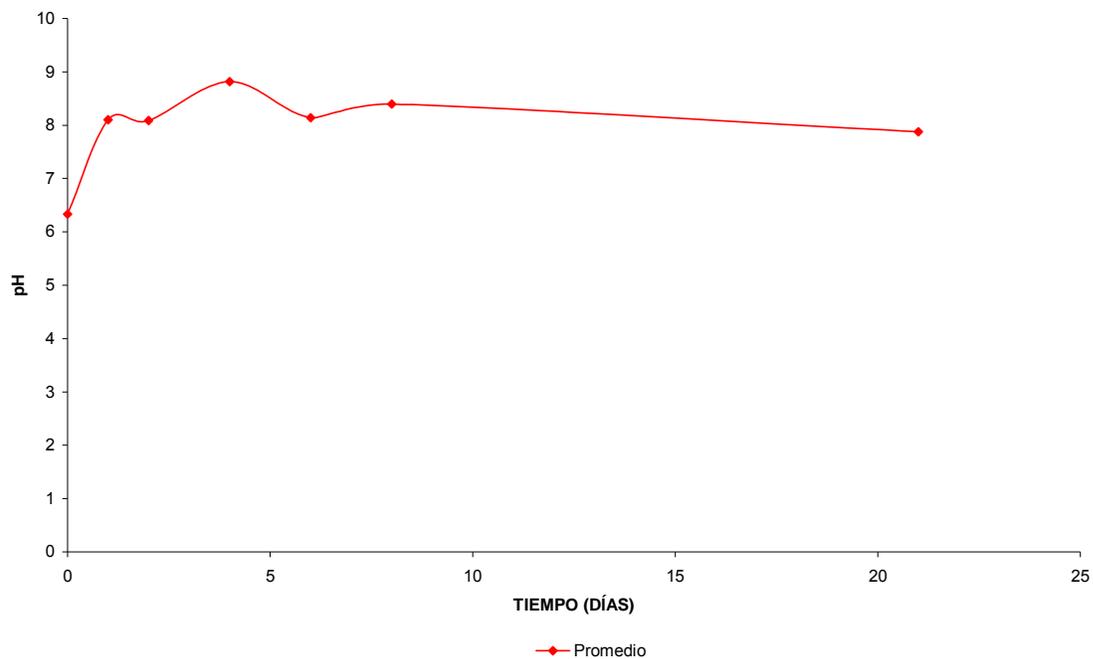
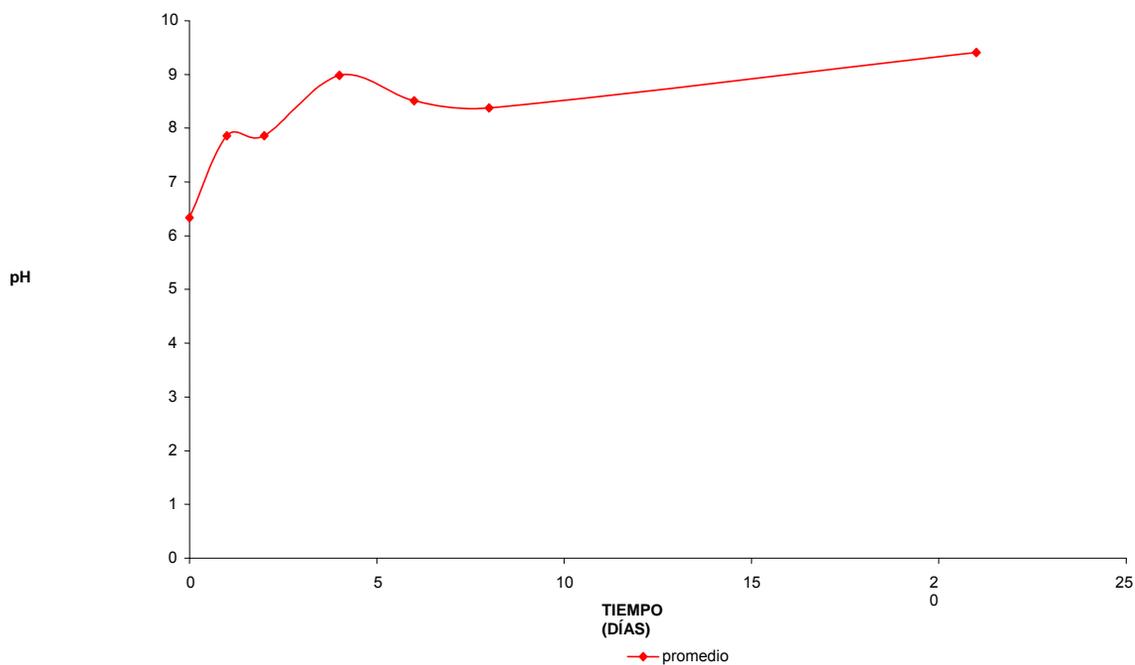


Figura No.13. Valores de pH en el proceso de composteo de excreta porcina fresca más paja de trigo (blanco o control).



En la tabla No.7. se muestran los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para las mezclas de los materiales al inicio y al final de ser sometidos a los proceso de fermentación en estado sólido.

Para los tratamientos realizados a los lodos de la laguna de oxidación, se observó que la humedad disminuyó más de un 50%, por evaporación, ya que los reactores se encontraban a la intemperie en los meses de verano. La relación C:N disminuyó debido a la liberación de nitrógeno en forma de amoníaco. El pH aumentó ligeramente, ya que para la fecha en la que se tomaron los últimos monitoreos el proceso de composteo aún no terminaba. La cantidad de coliformes fecales registrados por el método del número más probable fue menor que lo establecido por el proyecto de norma NOM-004-ECOL, ya que se encontraron 50 UFC/g o unidades formadoras de colonias por gramo.

Para el estiércol de cerdo, con una cantidad inicial de 9000 UFC/g se redujo a 340 UFC/g mediante el proceso de composteo. Lo anterior debido a las temperaturas mayores de 45°C generadas en el bioreactor. El pH se incrementó de 5.5 a 8.5 donde permaneció hasta el último monitoreo. La relación C:N no presentó variación importante y la humedad disminuyó como era de esperarse.

La mezcla utilizada para el vermicompostaje y su blanco presentaron un pH inicial de 6.3 y se incrementó hasta 9.4 para el blanco y 7.9 para el bioreactor de vermicomposteo. El bioreactor con lombrices terminó con una C:N de 52 y el blanco con 58. Según Edwards (1995), la lombriz de tierra regula la relación C/N de su medio ya sea consumiendo materia orgánica con alto contenido en nitrógeno o carbono para reducir o aumentar la C:N estabilizándola entre 10 y 15. La humedad se mantuvo constante durante el experimento debido a las exigencias de humedad de la lombriz, esto permitió el desarrollo de microorganismos

patógenos los cuales sobrepasaron las 9000 UFC/g. Se han realizado experimentos en los cuales los niveles de microorganismos patógenos disminuyen debido a que se alimentan de éstos y son destruidos al pasar por el tracto digestivo de la lombriz (Edwards, 1995). En el presente experimento no se presentó una disminución de la cantidad de coliformes fecales, probablemente a que el tiempo de composteo no fue suficiente para que los patógenos fueran eliminados.

Tabla No. 7. Principales análisis fisicoquímicos y microbiológicos de los materiales de mezclas y productos.

Tratamientos	pH	Porcentaje M.O	Porcentaje Carbono	Porcentaje Nitrógeno	Relación C/N	Porcentaje Humedad	NMP (coliformes totales)	NMP (coliformes fecales)
Lodo de laguna de oxidación porcina	8.4	97.1	56.33	3.1	34	80.5	5000	600
Composta de lodo de laguna de oxidación porcina	8.7	56.1	32.54	1.9	17	39.9	60	50
Excreta porcina fresca más paja de trigo	5.5	82.3	47.73	2.5	30	64.2	9000	9000
Composta de excreta fresca porcina más paja de trigo	8.5	60.2	34.95	1.8	20	45.4	3000	340
Vermicomposta de excreta fresca porcina, mas paja de trigo.	7.9	87.4	50.68	0.10	52	80.7	≥9000	≥900
Blanco de vermicomposta de excreta fresca porcina, mas paja de trigo.	9.4	88.7	51.5	0.8	58.	80.3	≥9000	≥9000

De los cinco sustratos resultantes en los diferentes tratamientos, el único adecuado resultó ser la mezcla de cerdaza fresca con paja de trigo (en una proporción de 1:5), como se muestra en la tabla No.8. al presentar 0% de fugas; es decir, ninguna lombriz abandono el sustrato. La relación C:N de esta mezcla es sumamente alta, aproximadamente de 82, lo cual en teoría no es adecuado para la lombriz (Shuldt 2004). Sin embargo, la aceptación de la cerdaza fresca como alimento por parte de la lombriz se atribuye a que la cantidad de cerdaza era muy pequeña en comparación con la fuente de carbono, esto permitió que la lombriz pudiera consumir el estiércol antes de que aumentara el pH y la temperatura por descomposición microbiana, tal y como lo reporta Elvira (1995) al mezclar pulpa residual de la industria papelera (como fuente de carbono) con estiércol de cerdo, resultando en una disminución de la C:N, como es el caso en el presente experimento.

Tabla No.8. Resultados de la prueba de las 50 lombrices.

TRATAMIENTO	CANTIDAD INICIAL DE LOMBRICES	*CANTIDAD FINAL DE LOMBRICES	PORCENTAJE DE FUGAS	ACEPTACION COMO SUSTRATO
Lodo de laguna de oxidación porcina	50	0	100%	NO ACEPTABLE
Composta de lodo de laguna de oxidación porcina	50	0	100%	NO ACEPTABLE
Excreta porcina fresca mas paja de trigo	50	0	100%	NO ACEPTABLE
Composta de excreta fresca porcina mas paja de trigo	50	0	100%	NO ACEPTABLE
Vermicomposta de excreta fresca porcina, mas paja de trigo.	50	50	0%	ACEPTABLE
Blanco de vermicomposta de excreta fresca porcina, mas paja de trigo.	-	-	-	-

* Lombrices dentro de la caja y vivas

Los cuatro tratamientos restantes no produjeron sustratos adecuados para alimentar lombrices, debido principalmente a la baja relación carbono nitrógeno que presentaron, probablemente el tiempo de composteo del material resultó ser muy corto.

VI CONCLUSIONES.

La fermentación en estado sólido es adecuada para ser utilizada como estrategia para tratar el estiércol generado por las granjas porcícolas.

La cerdaza fresca puede ser utilizada como sustrato para la producción de lombriz de tierra *E. foetida*, si se mezcla con paja de trigo en una proporción de 1:4 v/v. Sin embargo, se requiere un periodo de tiempo considerable para reducir la cantidad de coliformes fecales en el sustrato.

El composteo del lodo de la laguna de oxidación porcina y el estiércol de cerdo fresco fue adecuado para disminuir la cantidad de coliformes fecales hasta límites permisibles por la normatividad mexicana para biosólidos.

Los productos de la fermentación en estado sólido del lodo de la laguna de oxidación y la cerdaza pueden ser utilizados como fertilizante agrícola debido a la cantidad de materia orgánica y nitrógeno que contienen.

Se comprobó la hipótesis postulada, ya que la cerdaza fresca resultó ser un sustrato adecuado para la lombriz de tierra *Eisenia sp.*

Los productos del composteo de la cerdaza y el lodo de la laguna de oxidación no fueron aceptados por la lombriz. Debido probablemente al corto periodo de tiempo en el que fue procesado.

VI BIBLIOGRAFÍA.

Barois, jJ. and Lavelle, P. 1986. Changes in respiration rate and some physicochemical properties of a tropical soil during transit through *Pontoscolex corethrurus* (glossoscolecidae, Oligochaeta). **Soil Biol. Biochem.**, 18: 539-41.

Bassalik, K. On silicate descomposition by soil bacteria. **Z. Garungus-physiol.**, 2: 1-32.

Bolton P. J. and Philipson, J. Burrowin, 1976. Feeding, egestion and energy budgets of *Allolobora rosea* (Saviny) (*Lumbricidae*). **Oecologia**, 32: 225-245.

Brouché, M. B. 1982. Ecosystème prairial. 4.3 Un exemple d'activité animale: Le role des lombriciens. **Acta Oecol. Gen**, 3: 127-154.

Cannel E. and Moo-Young M. Solid-Stata Fermentation Systems. **Process Biochemistry**, 3: 2-7. Cardoso, L., Ramírez E. 2002. Vermicomposting of Sewage Sudge: a New Technology for México. **Water Science and Technology**. 46: 153-158.

Cooke, A. and Luxton, M. 1980. Effect of microbes on food selection by *Lumbricus terrestris*. **Rev. Ecol. Biol. Sol.** 17: 365-70

Cooke, A. The effects of fungi on food selection by *lumbricus terrestris* L. in *Earthworms Ecology*, Chapman and Hall, London, 365-73.

Cruz E., Martínez., Placencia J., Garcia E., García M., Ferrer R. 1997. Evaluación Microbiológica de un policultivo de Lombrices de Tierra en la depuración del Residual Porcino. (ver <http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/rccpn/rev42/eliza2.htm>)

Curtis, H. Y Barnes N.S. 2000. *Biología*. Editorial Medica Panamericana, USA. pp. 568, 569, 577, 764, 852, 1149.

Donham, K., Reynolds, S., Whitten P., Merchant, J., Buermeister, I., and Poperdorf W. 1995. "Respiratory dysfunction in swine production facility workers." **American Journal of Industrial Medicine.** 27: 405-418.

Edward, C.A. and Bohlen P. J. 1996. *Biology and Ecology of earth worms*. 3 ed. Chapman and Hall. NY.

Edwards, C y Clive A. 1995. Historical overview of vermicomposting. **BioCycle**, 3: 56.

Edwards, C. A. and Fletcher, K. E. 1988. Interactions between earthworms and microorganisms in organic-matter breakdown. **Agric. Ecosyst. Environ**, 24: 235-47.

Edwards, W. M., Norton. L. D. y Redmod, C. E. 1988. Characterizing macropores than affect infiltration into nontilled soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 43: 851-856.

Elvira, C, Dominguez, J., Sampedro, L, Mato, S. 1995. Vermicomposting for the paper pulp industry. *BioCycle*. 36: 62-63.

Fagar M., Cracogna M., Iglesias M. 1996. Respuesta de la Lombriz Roja (*Eisenia foetida*) Frente a Diferentes Alimentos. Revista veterinaria. (ver <http://www.unne.edu.ar/cyt/agrarias/a-058.pdf>)

García M., Domínguez P., Martínez F., Covas M., 1996. Obtención de Humus y Lombrices de Tierra (*Eisenia Foetida*) a Partir de Residuos Porcinos y Desechos de la Industria Azucarera. Revista Computarizada de Producción Porcina. (ver <http://www.sian.info.ve./porcinos/publicaciones/rccpm/REV31/MARIDIA1.htm>)

García M., Reinés M., Domínguez P., Mederos C., Gutiérrez A. 1997. Utilización de Excretas Porcinas en la Cría de Lombrices de Tierra. Incluso de Lombrices Frescas en Dietas Para Cerdos. (ver <http://www.sian.info.ve./porcinos/publicaciones/rccpn/Rev41/MARIDIANN.htm>)

Gerard, B. M. 1960. The biology of certain British earthworms in relation to environmental conditions. Ph. Thesis, London.

Gerritse, K.J. Phosphorus compounds in pig slurry and their retention in the soil. 1997. Commission of the European Communities, Luxembourg, 257–266.

Grant, W. C. 1955. Studies on moisture relationships in earthworms". **Ecology**, 36: 400-407.

Hallett, L., Viljoen, S. A. y Reinecke, A. J. 1992. Moisture requirement in the life cycle of *Perionyx excavatus* (oligochaeta). **Soil. Biol. Biochem.** 24: 1333-1340.

Kollmannsperger, F. 1956. Lumbricidae of Humid and arid regions and their effect on soil fertility. **VI Congr. Int. Sci Sol. Rapp. C.** 293-297.

Kollmannsperger, F. 1952. Über die Bedeutung des Regenwuirmes für die Fruchtbarkeit des Bodens. **Decheniana**, 165: 105-06,.

Kretzschmar, A. y Brochou, C. 1991. Weight response to the soil water potencial of the earthworms *Aporrectodea longa*. **Biol. Fertil. Soild**, 12: 209-212

Madge, D. S. 1969. Field and laboratory studies on the activities of two especies of tropical earthworms". **Pedobiologia**, 9: 188-214

Martin W., S. Prayitno, F. Schuchardt. 2004. Greenhouse gas emission during storage of pig manure on a pilot scale. **Bioresource Technology**. 95: 235–244.

Monroy Oscar H., Viniegra Gustavo G., 1990. Biotecnología para el aprovechamiento de los desperdicios orgánicos. AGT. ADITOR S.A., México DF.

NORDSTROM, G.A. and McQUITTY, J.B.. 1976. Manure gases in the animal environment, A literature review (with particular reference to cattle housing)". **Department of Agricultural Engineering**, 76:1-80

Parmelee. R. W. y Crossley, D. A. 1998. Earthworm production and role in the nitrogen cycle of a no-tillage agroecosystem on the Georgia piedmont. **Pedobiologia**, 32: 351-361

Phillips, and Pain.1998. Gaseus emissions form the different stages of European livestock farming. Proccedings of the international Workshop on Environmentally Friendly Management of Farm Animal Wasted. Ed. T. Matsunaka. 67-72.

Roots, B.I. 1955. The water relation to earthworms. II. Resistance to desiccation concentration of the bathing medium. **J. exp. Biol**, 32: 765-774.

Roots, B.I. 1956. 1956. The water relation of earthworms. II. Resistance to desiccation and inmersion and behaviour when submerged and when allowed choice of environmental. **J. Exp. Biol.**, 33: 29-44.

Ruschmann, G. 1953. Antibioses and Symbioses of soil organisms and their significance in soil fertility. Earthworms symbioses and antibioses. Z. Acker. **PflBau**, 96: 201-18.

Satchel, J. E. "Lumbricidae, in soil Biology, (eds. A. Burgess and F. Raw)" Academic Press, London, 1967, 259-322.

Shuldt, M. 2004. Lombricultura fácil. Miguel Suldt, Argentina.

Taccalino P., Roux J., Agüero C. 1996. Comportamiento reproductivo de *Eisenia foetida* (lombriz roja de California) durante las cuatro estaciones del año y alimentadas con distintos compostajes. Revista veterinaria. (Ver <http://www.unne.edu.ar/cyt/2001/4-Veterinarias/v-040.pdf>)

Teotia, S. P., L. and McCalla T VI. 1950. Effect of stubble mulching on number and activity of earthworms. **Neb. Agric.Exp.** 165-220.

Varley M.A., Wiserman J. 2001. The Waner Pig Nutrition and Management. **CABI Publishing**, USA, pp. 259-263.

Wang P., Changa C.M., Watson M.E., Dick W.A., Chen Y., Hoitink H.A.J. 2004. Maturity indices for composted dairy and pig manures. **Soild Biology and Biochemistry**, 32: 767-776.

<http://www.union.org.mx/guia/actividadesyagravios/actividadesagropecuarias.htm>

02 de Febrero del 2006

<http://www.congresocbta.unam.mx/PVA05.htm>, 13 de Febrero del 2006

<http://www.cipav.org.co/cipav/confr/iespejo.htm> 22 de Febrero del 2006

<http://www.inegi.gob.mx> 27 de Febrero del 2006

(http://www.teorema.com.mx/articulos.php?id_sec=48&id_art=907&id_ejemplar=0).
27 de Febrero del 2006

(http://www.teorema.com.mx/articulos.php?id_sec=43&id_art=821&id_ejemplar=0).
27 de Febrero del 2006

(http://www.teorema.com.mx/articulos.php?id_sec=50&id_art=751) 27 de Febrero
del 2006