

**ANÁLISIS DE VARIABLES PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA  
OBTENCIÓN DE HARINA DE LOMBRIZ A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS**



**JENNY MARCELA GÓMEZ CASTAÑO**

**UNIVERSIDAD EAN  
FACULTAD DE POSTGRADOS  
ESPECIALIZACION EN GESTION DE RESIDUOS SOLIDOS  
BOGOTÁ, D.C.  
2012**

**ANÁLISIS DE VARIABLES PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA  
OBTENCIÓN DE HARINA DE LOMBRIZ A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS**

**JENNY MARCELA GÓMEZ CASTAÑO**

**DIRECTOR: ING. MSC. JOSE ALEJANDRO MARTINEZ S.**

**UNIVERSIDAD EAN**

**FACULTAD DE POSTGRADOS**

**ESPECIALIZACION EN GESTION DE RESIDUOS SOLIDOS**

**BOGOTÁ, D.C.**

**2012**

## I. TABLA DE CONTENIDO

I.	TABLA DE CONTENIDO.....	3
II.	RESUMEN .....	6
III.	INTRODUCCIÓN .....	7
IV.	OBJETIVOS .....	8
2.	ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS ORGÁNICOS .....	13
3.	EL HUMUS DE LOMBRIZ.....	21
3.1	Características del proceso de compostaje como alimento para la lombriz .....	21
4.	PLANTEAMIENTO DE VARIABLES Y ALTERNATIVAS .....	28

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.	Generación de RSU per cápita de países de Europa, EEUU y ALC .....	10
Tabla 2.	Caracterización Física de Residuos Relleno Sanitario Doña Juana .....	11
Tabla 3.	Alternativas para el manejo de residuos sólidos orgánicos .....	13
Tabla 4.	<b>Condiciones óptimas para el compostaje</b> .....	20
Tabla 5.	Condiciones ambientales para el crecimiento de la lombriz.....	21
Tabla 6.	Composición del humus de lombriz.....	24
Tabla 7.	Contenido nutricional del humus líquido .....	25
Tabla 8.	Análisis de la harina de lombriz .....	26
Tabla 9.	Análisis de la harina de lombriz .....	26
Tabla 10.	Variables a controlar y procesos.....	29
Tabla 11.	Requerimientos técnicos para las diferentes alternativas .....	29

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura No. 1</b>	<b>Relación entre RSD-RSU y PIB per cápita (USD\$ 2000)</b> .....	9
<b>Figura No. 2</b>	<b>Generación per capita de RSD y RSU en ALC (kg/hab/día)</b> .....	10
<b>Figura No. 3</b>	<b>Generación de RSU en Bogotá</b> .....	12
<b>Figura No. 4</b>	<b>Proceso de elaboración de la harina de lombriz</b> .....	14
<b>Figura No. 5</b>	<b>Fases del compostaje.</b> .....	18
<b>Figura No. 6</b>	<b>Características de la lombriz roja californiana</b> .....	22
<b>Figura No. 1</b>	<b>Harina de lombriz</b> .....	25
<b>Figura No. 2</b>	<b>Construcción técnica del tambor y los elementos principales</b> .....	30
<b>Figura No. 3</b>	<b>Modelo 3D de una planta de compostaje en tambores con dos unidades;</b> Calvià, Mallorca	30
<b>Figura No. 4</b>	<b>Planta de compostaje en tambores para residuos orgánicos en Calvià,</b> Mallorca; capacidad 5.000 t/a.....	31
<b>Figura No. 5</b>	<b>Tambores para compostaje</b> .....	31

## **GLOSARIO**

- ALC: América Latina y el Caribe.
- AIDIS: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
- OPS/OMS: Organización Panamericana de la Salud / Organización Mundial de la Salud.
- EVAL: Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe.
- RSD: Residuos sólidos Domiciliarios.
- RSU: Residuos sólidos Urbanos.

## II. RESUMEN

Dada la creciente generación de residuos sólidos orgánicos atribuida a los modelos económicos, las cada vez mayores concentraciones humanas en las grandes urbes y sus desbordados estilos de vida; así como la problemática aún no totalmente resuelta de la disposición final de estos residuos; es claro que las entidades estatales y la inversión privada tienen un reto importante en la evaluación de alternativas tecnológicas y las diversas variables que las afectan ó impacten positivamente la administración y gestión de los residuos sólidos orgánicos, de forma tal que se puedan diseñar, evaluar, implementar y mejorar, métodos y procesos enfocados en lograr realizar un aprovechamiento eficiente desde el punto de vista técnico, económico y social que permitan agregar el máximo valor a la gestión de los residuos sólidos orgánicos y al mismo tiempo, identificar nuevos nichos tanto de mercado como de procesos que terminen en la redefinición de variables, la generación de diversos subproductos con buen potencial de comercialización, y un correspondiente beneficio para la comunidad en general.

Para ello, es necesario partir de las características propias de los residuos en Latinoamérica y luego proceder a hacer un énfasis en la situación que se presenta en Bogotá, con miras a conocer las cantidades de residuos generados, las principales variables y sus afectaciones y de ésta manera llegar a un estimativo de cantidades mínimas y alternativas orientadas a dar viabilidad a un proyecto sea rentable y cumpla con las expectativas esperadas.

Posteriormente se presenta la descripción de las actividades de cada proceso con el objeto de dar a conocer las evaluaciones, las condiciones apropiadas y los diferentes escenarios planteados para que cada parte del proceso sea direccionado de una manera adecuada, garantizando con ello una puesta en operación eficiente y sobre todo con una producción ininterrumpida y de largo plazo con sostenibilidad en el tiempo.

En la orientación de direccionar la generación y comercialización de nuevos productos, se estructuró en éste trabajo, una serie de alternativas para la obtención de otro tipo de subproductos asociados al proceso de gestión de residuos, tales como la fabricación de la harina de lombriz, identificando en cada etapa los puntos críticos con sus descripciones y acciones de mitigación de sus impactos; a raíz de lo cual se precise la mejor opción tanto técnica como económica

### III. INTRODUCCIÓN

Por medio de la presente investigación se pretende analizar diferentes escenarios donde se logren identificar en detalle las principales alternativas para la disposición final de los residuos sólidos orgánicos generados en la industria; esto, teniendo como base los datos de producción de residuos sólidos orgánicos en la ciudad de Bogotá, y la importancia de realizar un aprovechamiento de los mismos, con el fin de disminuir la cantidad de residuos a disponer en el relleno sanitario Doña Juana, actualmente se ha identificado que el 65% del total de residuos dispuestos en éste relleno, corresponden a residuos sólidos orgánicos. Entre los principales enfoques de ésta investigación, están los de; aumentar la vida útil del Relleno Sanitario Doña Juana a través de la implementación de un proyecto de gestión de residuos sostenible y rentable.

La mala disposición en rellenos sanitarios no tecnificados, es un problema de contaminación a gran escala y a todo nivel, ya que mediante estas prácticas se contaminan todos los elementos del medio que entren en contacto con los residuos, siendo principalmente los recursos de agua los más afectados; el no tratamiento o inadecuado manejo de lixiviados producto de la descomposición de los mismos, provoca contaminación tanto en aguas subterráneas como en las aguas superficiales debido a la infiltración producida, la generación de dichos lixiviados está dada en mayor proporción por los residuos sólidos orgánicos, además de esto, la generación de biogás ocasionada por los mismos residuos, es uno de los tipos de gases que ocasiona el efecto invernadero con las consecuencias ya conocidas por todos.

En éste contexto, se debe volcar la mirada sobre las alternativas para manejar este tipo de residuos y devolverlos al ciclo productivo de la mejor manera posible, el aprovechamiento de dichos residuos en la generación de humus como fertilizante tiene grandes beneficios para el suelo, sin embargo deben continuarse explorando nuevas alternativas ya que si bien el humus es una excelente opción, de la generación de ésta a partir de lombricultivo, resultan otros tipo de subproductos poco explorados e investigados que se pueden procesar y comercializar y que bajo el marco de cumplimiento de una serie de parámetros resultan ser una alternativa proteica formidable, aprovechable y muy benéficos para la alimentación de animales y de seres humanos. Si bien es cierto que en la actualidad la población humana aún manifiesta un cierto rechazo ante la inclusión de éste tipo de producto en su dieta diaria, también es cierto y factible que con una serie de campañas educativas y bien orientadas, se puede lograr no sólo convertirlo en parte de la dieta de las personas, sino llegar a aumentar su consumo de manera significativa, máxime en los países de economías insipientes en donde las posibilidades de contar con una buena y balanceada alimentación en una gran porción de la población es casi nula. El modelo además de ofrecer una buena alternativa en la mitigación del impacto de los residuos sólidos urbanos, también ofrece innegables beneficios tanto económicos como nutricionales para la población humana y animal.

## **IV. OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Analizar las alternativas tecnológicas y la viabilidad económica para la producción de harina de lombriz y otros subproductos a partir del proceso de gestión de los residuos sólidos orgánicos generados en la industria.

### **Objetivos específicos**

- Plantear diferentes alternativas tecnológicas para la obtención de harina de lombriz a partir de los residuos sólidos orgánicos.
- Evaluar las variables que inciden en los modelos tecnológicos propuestos desde el punto de vista técnico.
- Evaluar las variables que inciden en los modelos tecnológicos propuestos desde el punto de vista económico.
- Identificar el modelo idóneo a implementar bajo unas variables parametrizadas, de forma tal que pueda ser el óptimo más adecuado técnico y económico con base en los análisis realizados.

### **1. ANTECEDENTES**

La mala disposición en rellenos sanitarios no tecnificados, es un problema de contaminación a todo nivel, ya que mediante estas prácticas se contaminan todos los elementos del medio que entren en contacto con los residuos. La generación de lixiviados producto de la descomposición de los mismos, provoca contaminación tanto en aguas subterráneas como en las aguas superficiales debido a la infiltración producida, ésta generación está dada en mayor proporción por los residuos sólidos orgánicos, además de esto, el biogás producto de los mismos residuos es uno de los factores que ocasiona el efecto invernadero con las consecuencias ya conocidas por todos.

Las condiciones expuestas, además de poder llegar a presentar una serie de riesgos de tipo geológico; asociado a otro tipo de factores tales como el crecimiento de la población urbana, el desarrollo industrial y la urbanización no planeada, generan un incremento creciente y descontrolado en la cantidad y variedad de residuos que diariamente son dispuestos en rellenos sanitarios generando altos, aunque necesarios, costos de operación y una gran diversidad de dificultades asociadas con la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales de las ciudades.

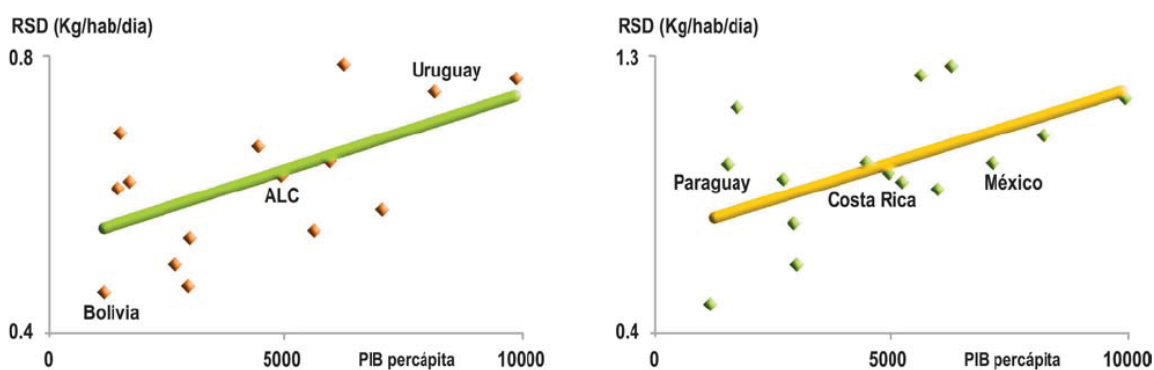


La selección de sitios aptos para la ubicación de rellenos sanitarios, cada vez en más compleja debido a la gran cantidad de variables que deben ser monitoreadas y garantizadas, así como los conflictos tanto ambientales como sociales que esto conlleva; por tal razón, la búsqueda de nuevas alternativas y mejora de los procesos existentes para el manejo de residuos sólidos orgánicos, resulta benéfica no sólo para el medio ambiente porque aumenta la vida útil de los sitios de disposición final y disminuye los costos de operación, sino porque de alguna manera ofrece mejores condiciones de vida para la población humana de las ciudades.

### 1.1 LA GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

La Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS), la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS) y el BID realizaron por segunda vez la Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe 2010 -- (EVAL 2010; la primera evaluación de este estilo fue realizada en el año 2002 y se denominó EVAL 2002. Entre los principales resultados de la EVAL 2010, se obtuvo la información de la generación de residuos en los países de ALC, en la evaluación se analiza la relación existente entre Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD) - Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y PIB per cápita (USD\$ 2000), la cual se muestra en la FIGURA 1, donde se evidencia la relación directamente proporcional entre el nivel de actividad económica y la tasa de generación de residuos sólidos tanto domiciliarios como urbanos, así como el aumento de la cantidad de residuos a manejar.

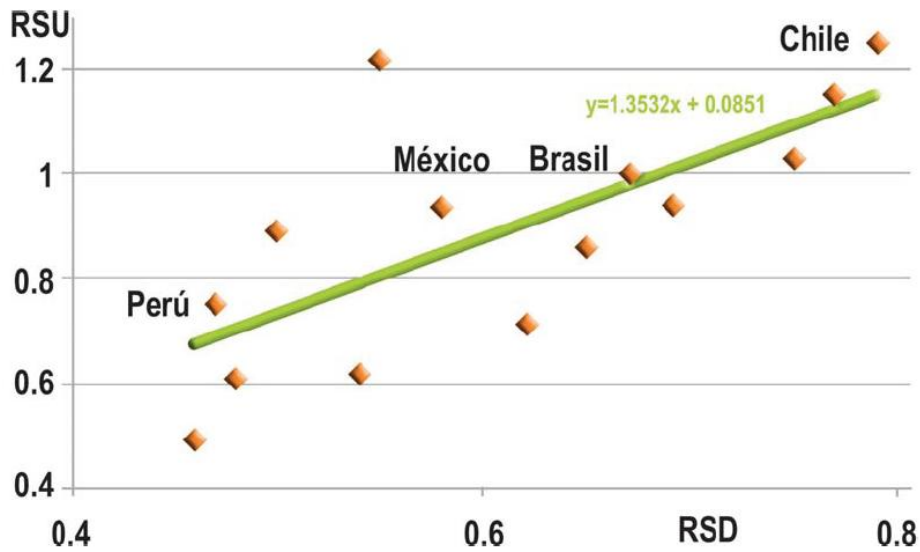
Figura No. 1 Relación entre RSD-RSU y PIB per cápita (USD\$ 2000)



Fuente: EVAL 2010.

La EVAL 2010 estimó que la generación per cápita de RSD en América Latina y el Caribe llega a 0,63 kg/hab/ día, mientras que la de RSU asciende a 0,93 kg/hab/ día. Se estima además que la generación urbana diaria aproximada de 295.000 ton de RSD y 436.000 de RSU.

Figura No. 2 Generación per capita de RSD y RSU en ALC (kg/hab/día)



Fuente: EVAL 2010.

Los valores de RSU estimados son inferiores a las cifras de generación per cápita de RSU de varios países desarrollados de Europa y de Estados Unidos, como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 1. Generación de RSU per cápita de países de Europa, EEUU y ALC

PAISES / REGIÓN	KG/HAB/DÍA
Estados Unidos	2,08
Suiza	1,95
Alemania	1,59
España	1,59
Reino Unido	1,56
Italia	1,51
Francia	1,48
Suecia	1,42
América Latina y El Caribe	0,93

Fuente: EVAL 2010

[http://www.oecd-ilibrary.org/environment/oecd-factbook-2010/municipal-waste\\_factbook-2010-64-en](http://www.oecd-ilibrary.org/environment/oecd-factbook-2010/municipal-waste_factbook-2010-64-en)  
revisado en Mayo de 2012

Dicha evaluación, también hace referencia al poco control sobre la generación de residuos que se tiene en la región, ya que las caracterizaciones se realizan de acuerdo con lo dispuesto, y resulta claro que lo dispuesto no siempre es lo generado.

## 1.2 ANALISIS DE LA SITUACION EN BOGOTÁ

Para hacer el análisis en la ciudad de Bogotá, se usará información pública de la operación del Relleno Sanitario Doña Juana, disponible en la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP). Según dicha información y de acuerdo con la caracterización de residuos ingresados al Relleno Sanitario Doña Juana, la materia orgánica sigue siendo el tipo de residuo con mayor ingreso, presentándose un 68,46%; el sector de grandes generadores es el que presenta menor porcentaje, en comparación con los demás sectores caracterizados en el año 2012. El plástico se encuentra en segundo lugar con un porcentaje de 14,91%. Los textiles se encuentran en tercer lugar con un porcentaje de 5,13%. De dicha caracterización se tiene que menos del 20,64% de los residuos ingresados son potencialmente reciclables. Los valores presentados en la caracterización de residuos realizada en el mes de abril de 2012, se encuentran en la siguiente tabla y se presentan gráficamente en la Figura 3.

**Tabla 2.** Caracterización Física de Residuos Relleno Sanitario Doña Juana

MATERIAL	ASE 2 %	ASE 3 %	ASE 4 %	ASE 5 %	ASE 6 %
Cartón	2,7	1,5	1,5	4,1	0,0
Caucho	0,0	0,0	0,0	1,0	0,3
Cenizas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cerámica	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0
Cuero	2,8	0,0	0,0	3,3	0,5
Hueso	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ladrillo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Madera	0,0	0,1	0,5	0,4	1,3
Materia Orgánica	66,4	68,5	68,2	50,8	88,5
Metales	1,9	0,4	0,7	1,7	0,2
Minerales	0,0	0,1	7,4	6,3	0,5
Papel	1,4	1,1	2,1	3,2	0,9
Plástico	18,0	15,5	11,9	21,9	7,3
Textil	6,9	11,6	4,3	1,9	1,0
Vidrio	0,0	1,2	3,4	5,2	0,4
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fuente: CGR Doña Juana. Mayo 2012.

ASE 2: Consorcio ATESA grandes generadores.

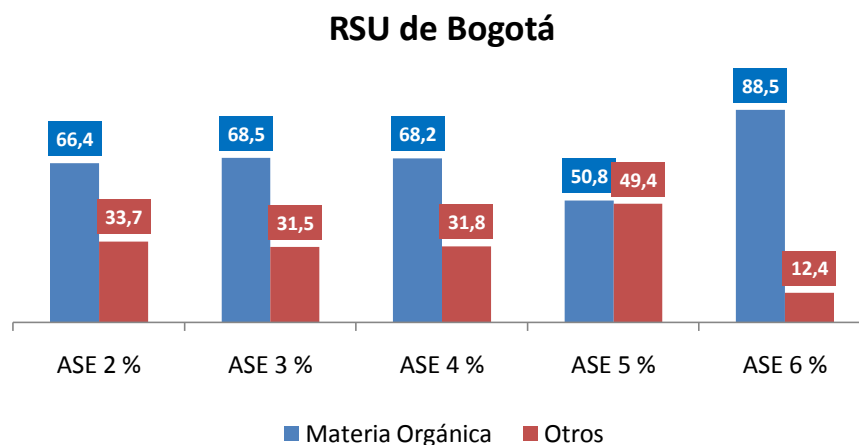
ASE 3: Consorcio Aseo Capital grandes generadores.

ASE 4: Consorcio Aseo Capital grandes generadores.

ASE 5: Consorcio Lime.

ASE 6: Consorcio Ciudad Limpia.

Figura No. 3 Generación de RSU en Bogotá



Si bien se observa una variación entre las diferentes zonas concesionadas y la contribución a nivel porcentual de residuos orgánicos, el promedio estimado alrededor del 68% es representativo de la situación como ciudad visto de una forma sistémica, y será el dato que se usará para los análisis posteriores realizados en el presente documento.

La creación de alternativas en la producción y comercialización de nuevos productos y/o subproductos asociados o generados partir del proceso de gestión de residuos sólidos que hagan que la rentabilidad y eficiencia de los mismos mejore; de manera indirecta y de forma proporcional, también impulsará temas y proyectos asociados a la selección o separación de residuos sólidos orgánicos en la ciudad. En ésta medida, éste proyecto está enfocado en acompañar otros esfuerzos que en la misma dirección se vienen adelantando de manera callada pero consistente y que se han venido gestando y liderando principalmente desde el interior de universidades y centros de investigación en Colombia.

## 2. ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

Para el manejo de residuos sólidos orgánicos, se han utilizado diversas alternativas, a continuación se presentan algunas de ellas, con su descripción.

**Tabla 3.** Alternativas para el manejo de residuos sólidos orgánicos

ALTERNATIVA	DESCRIPCIÓN
Compostaje	Proceso de descomposición de la materia orgánica, a partir de microorganismos, puede ser aeróbica o anaeróbica.
Generación de Biogás	A partir de la disposición final, mediante el uso de chimeneas.
Biocombustible	Cualquier tipo de combustible líquido, sólido o gaseoso, proveniente de la biomasa.
Bocashi	Proceso japonés mediante el cual se utiliza la materia orgánica de una forma similar al compostaje, con temperaturas por debajo de los 45-50 °C, hasta que la actividad microbiana disminuye al disminuir la humedad del material. Este proceso es considerado COMPOSTAJE INCOMPLETO. Es un proceso aeróbico.
Biofertilizantes	Fertilizantes que aumentan el contenido de nutrientes en el suelo o que aumentan la disponibilidad de los mismos. EJ: bacterias fijadoras de nitrógeno.
Biofermentos	Fertilizantes foliares, que son preparados a partir de la fermentación de materia orgánica.

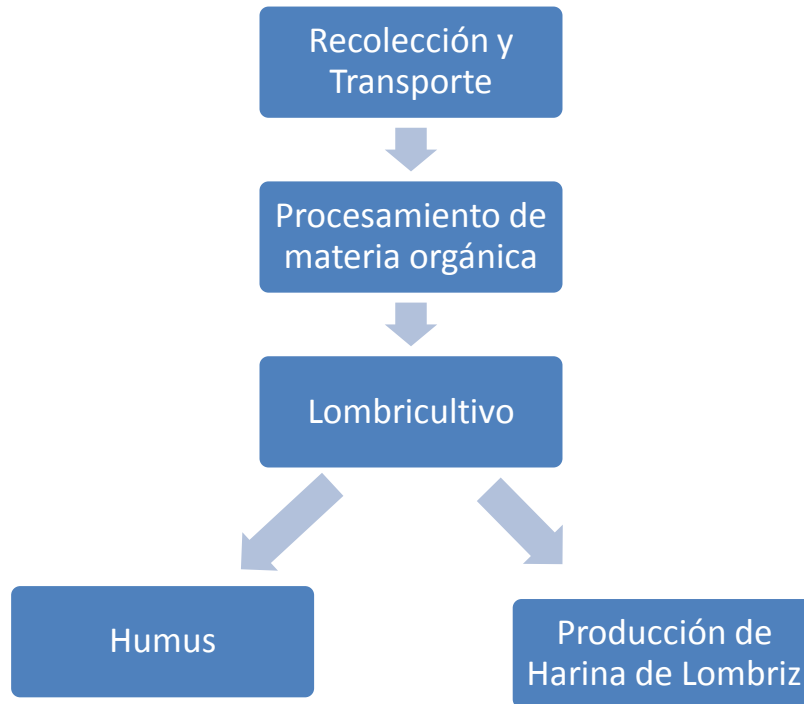
La fracción orgánica de la mayoría de los RSU, puede considerarse compuesta por proteínas, aminoácidos, lípidos, hidratos de carbono, celulosa, lignina y ceniza. Si se someten estos materiales orgánicos a descomposición aeróbica y microbacteriana, el producto final que queda después de cesar casi toda la actividad microbiológica es un material de humus comúnmente conocido como compost.

La descomposición de las sustancias involucradas se lleva a cabo por la presencia de hongos y bacterias, el proceso de descomposición se puede llevar a cabo a través de medios aeróbicos, es decir, con la presencia de aire y las bacterias lo respiran, o anaeróbicos, en los cuales no hay aire presente y el proceso lo realizan bacterias que no usan oxígeno en su proceso vital.

## 2.1 Elaboración de harina de lombriz a partir de residuos orgánicos

Para centrar el estudio en la elaboración de harina de lombriz a partir de los residuos sólidos orgánicos, es necesario conocer el proceso de elaboración de la misma, así como establecer los puntos críticos.

**Figura No. 4 Proceso de elaboración de la harina de lombriz**



### **Recolección y Transporte:**

Para desarrollar el producto final se requiere definir el lugar y el tipo de residuos que se va a utilizar, esto es, buscar que los residuos sean generados en un lugar no muy lejano del centro de producción de la harina, así como buscar que el tipo de residuos sea lo más homogéneo posible, así de esta manera no se requiere realizar preselección, además se está evitando la contaminación de los residuos.

Estos lugares, pueden ser, plazas de mercado, centrales de abastos, y lugares en general donde se produzca gran cantidad de residuos sólidos orgánicos.

Otro factor importante es el transporte de los residuos hasta el sitio de producción, se debe evitar largos recorridos, ya que esto incrementara los costos de producción, de tal manera que los trayectos deben ser diseñados con el propósito de disminuir estos costos.

### **Procesamiento de la materia orgánica:**

Este es el punto más crítico en el proceso de producción de harina de lombriz, debido a que en este punto es donde se requiere mayor cuidado. El compostaje, es la parte del proceso donde se prepara el alimento para entregarlo posteriormente a la lombriz.

Se define como el punto más crítico, debido a que variables como tiempo, temperatura, humedad, pH, entre otros, que van a influir en los tiempos de producción y la calidad del producto final.

### **Lombricultivo:**

En vista de que lo que se busca es la producción a gran escala de harina de lombriz, este proceso, el cultivo de la lombriz, tiene la mayor importancia, ya que es aquí de donde se obtendrá la materia prima para la fabricación de la harina. Cuando se realiza la cosecha, una parte de las lombrices es destinada a la continuidad del criadero, y la otra a la producción de harina.

### **Humus:**

Como producto terminado se obtiene el humus, que es un fertilizante orgánico cuyas bondades han sido ampliamente difundidas. Por cada tonelada de materia orgánica fresca se puede obtener 500 kilos de humus.

### **Producción de Harina de Lombriz:**

Esta harina tiene un alto valor proteico, lo que la hace un importante suplemento nutricional tanto para animales como para seres humanos, sin embargo, el mercado para la carne de lombriz es aún muy limitado por la falta de cultura en la comunidad ya que existe rechazo a la inclusión de la carne en el menú diario.

Se calcula que por cada tonelada de materia orgánica fresca se puede obtener 100 kilos de carne de lombriz, y 18 kilos de harina.

Se ha demostrado a partir de estudios realizados por la Universidad de la Habana (Facultad de Biología) en unión con la Universidad de Guadalajara (Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias), que las lombrices tienen la capacidad de eliminar organismos patógenos contenidos en la materia orgánica.

De acuerdo con lo visto, el punto crítico para la producción a escala de la harina de lombriz, está dado en la preparación del alimento para suministrar a las lombrices; por esto, se ampliará el tema y se revisará las alternativas para dicha preparación.

## **2.2 El compostaje como alternativa de agregación de valor.**

La preparación del alimento para las lombrices, se realiza a partir de compostaje, que es un proceso que se realiza a partir de la descomposición del material orgánico por acción de los

microorganismos, a través de un proceso de fermentación aerobio, una aireación adecuada, temperatura óptima, nutrientes necesarios, pH y humedad.

Se puede llevar a cabo de dos formas: Compostaje aerobio, y compostaje anaerobio.

### 2.2.1 Compostaje aerobio:

Es el proceso más frecuentemente utilizado para la conversión de la fracción orgánica de los RSU a un material húmico estable conocido como compost. Las posibles aplicaciones del compostaje aerobio son:

- Residuos de jardín.
- RSU separados.
- RSU no seleccionados.
- Compostaje conjunto con fangos de aguas residuales.

Durante el proceso de compostaje aerobio, están activos diversos microorganismos aerobios facultativos y obligados.

Las fases del proceso son<sup>1</sup>:

**Mesófila:** se lleva a cabo con la presencia de hongos y bacterias, siendo las segundas quienes inician el proceso por su gran tamaño, estas bacterias se multiplican y consumen los carbohidratos más fácilmente degradables, produciendo un aumento de temperatura desde la temperatura ambiente hasta más o menos 40°C.

Cuando se inicia el proceso, las moléculas de azúcares, almidones y proteínas de rápido uso energético, sirven de sustrato inicial a los microorganismos mesófilos, cuya actividad y multiplicación van calentando los materiales orgánicos dispuestos a compostar. Hay liberación de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, lo cual reduce el contenido de carbono (C) del compost y el porcentaje de la fracción mineral tiende a aumentar. En este inicio del proceso mesofílico hay abundancia de N – NH<sub>4</sub> que prima sobre el N - NO<sub>3</sub>; dominan las bacterias y los hongos mesófilos.

**Termófila:** En esta fase, la temperatura sube de 40°C a 70°C; desaparecen los organismos mesófilos, mueren las semillas que se encuentren allí e inician la degradación los organismos termófilos. En los seis primeros días, la temperatura debe llegar y mantenerse a más de 40°C, buscando la reducción o supresión de patógenos contaminantes del hombre y de las plantas de cultivo.

Al alcanzar la etapa termofílica (>40°C), se inicia la degradación de las moléculas de más difícil descomposición como la holocelulosa (celulosa más hemicelulosa) y lignina, así como ceras, grasas, aceites y resinas.

Como la actividad es máxima, se alcanzan las máximas temperaturas, y también se llega a la máxima la liberación de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, lo cual reduce el contenido de Carbono del compost en elaboración, y hace más elevado el porcentaje de minerales con respecto a la etapa mesófila; sigue predominando el N – NH<sub>4</sub> sobre el N - NO<sub>3</sub>, pero, menos marcado que en la fase mesófila de arranque.

---

<sup>1</sup> <http://cideabuga.org/descargas/unicefco/compost/htms/m3.htm#fases>



En esta etapa se refuerza el carácter biooxidativo del proceso: la materia se utiliza para síntesis de los microorganismos y no es totalmente oxidada; el nitrógeno amoniacal  $N - NH_4$  de la cadena proteína –aminoácido –aminas –amonio puede o no perderse hacia la atmósfera, antes de pasar a la forma  $N - NO_3$ .

Esto es función de la relación C/N de los materiales orgánicos a compostar; se pierde N, si la relación es baja y se puede llegar a pérdidas nulas con relaciones altas. En la etapa termofílica hay lugar a la formación de fitotoxinas, importantes para la eliminación de patógenos que afectan al hombre o a las plantas que se cultivan; aquí dominan las bacterias, los actinomicetos y los hongos termofílicos.

En sentido estricto, no podría hablarse del compost cuando, a pesar del proceso aeróbico no se alcanzan temperaturas mayores que  $45^{\circ}C$ , las cuales distinguen la etapa termofílica.

**Enfriamiento:** en esta etapa, la temperatura disminuye, desde la más alta alcanzada durante el proceso, hasta llegar a la del ambiente; se va consumiendo el material fácilmente degradable, desaparecen los hongos termófilos y el proceso continúa por organismos esporulados y actinomicetos; cuando se inicia la etapa de enfriamiento, los hongos termófilos que resistieron en las zonas menos calientes del proceso, realizan la degradación de la celulosa.

Esta etapa de enfriamiento se empieza a generar por una reducción de la población microbial, la cual ya no encuentra suficiente sustrato alimenticio, continúa la descomposición de los materiales más resistentes y parte del sustrato presente lo constituye la necromasa microbial.

Se acentúa la formación de nitratos dominantes sobre las formas amoniacales; se sigue reduciendo, pero más atenuadamente el contenido de C de la masa en compostaje. Los nitratos ( $N - NO_3$ ) y otras sales, así como la abundancia de K en solución, aumentan la salinidad. Empieza la degradación de las sustancias fitotóxicas (muchas de ellas ácidos orgánicos, como el acético).

La población de microorganismos es dominada por bacterias mesofílicas. La formación de sustancias húmicas, sobre todo ácidos húmicos, se ve favorecida por la aireación y el pH cercano a la neutralidad.

Estas tres etapas del proceso se suceden en términos de alrededor de 4 semanas y para su mayor eficiencia se requiere voltear el material al menos una vez por semana.

**Maduración:** puede considerarse esta etapa como el complemento final de las fases del proceso de fermentación, disminuyendo la actividad metabólica; en esta etapa, tiene lugar un proceso de fermentación mucho más lento y se pueden presentar aumentos de temperatura, no siendo necesario el suministro de oxígeno, porque es suficiente el que se encuentra en los espacios libres de la masa.

Esta fase debe producirse mínimo entre 20 a 30 días; una vez finalizado el proceso de maduración, es decir, cuando el producto presenta características físicas y químicas estables, el compost puede almacenarse hasta el momento de su utilización.

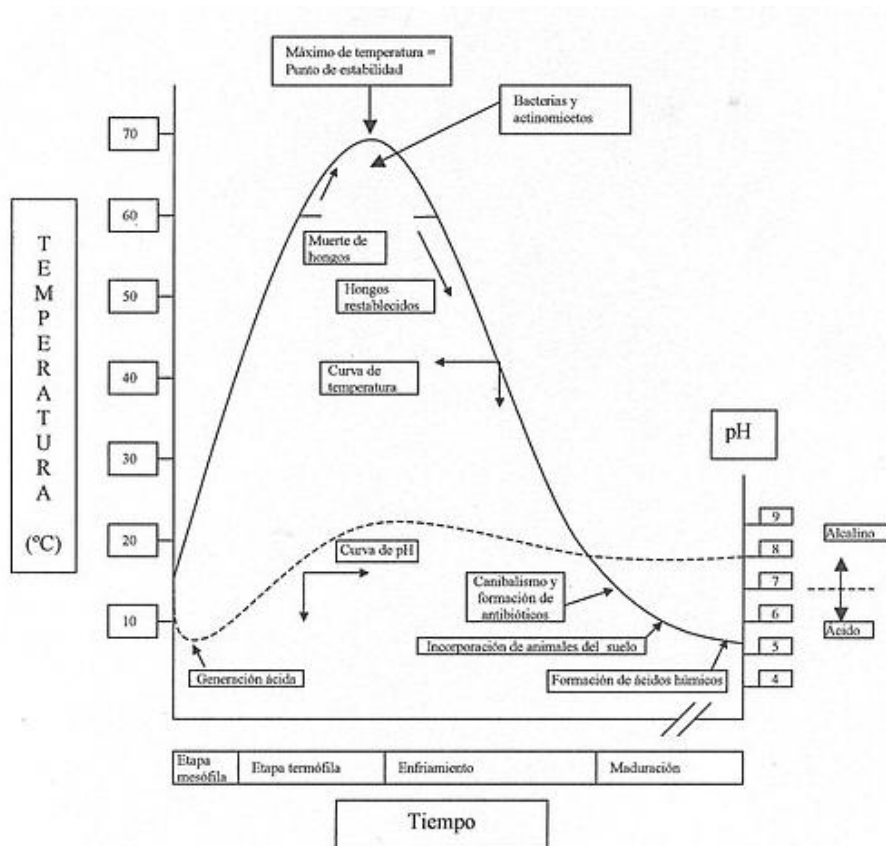
En esta fase, los cambios son menores día a día, pero, con aumento en el porcentaje de la fracción mineral y los nitratos y la disminución en el porcentaje de carbono, liberación de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), y amoníaco ( $\text{N} - \text{NH}_4$ ); también se eleva la cantidad de actinomicetos, responsables del típico olor a tierra orgánica fresca y de gran parte de la antibiosis.

Respecto a la evolución de las moléculas orgánicas contaminantes, los patrones de degradación de pesticidas durante el compostaje son similares a los que ocurren en el suelo, pero con mayor aceleración, excepto para algunos productos.

Los insecticidas organofosforados y carbamatos y la mayoría de los herbicidas no se detectan al final del proceso, pero, se encuentra que los compuestos organoclorados son resistentes a la biodegradación.

Por esta razón se recomienda que no se utilice como materia prima aquellos residuos de los cuales se tiene evidencia que contienen compuestos organoclorados por herbicidas o insecticidas.

Figura No. 5 Fases del compostaje.



Fuente: Manual práctico de compostaje, <http://www.abarrataldea.org/manual.htm>

### 2.2.2 Compostaje anaerobio<sup>2</sup>:

La digestión anaeróbica, es un proceso al cual se someten los RSU para obtener de ellos biogás y compost. Esta degradación implica actuación en serie de unas determinadas familias de bacterias.

Fases de la digestión anaerobia:

**Fase hidrolítica:** fase principal ya que es imprescindible que la materia orgánica se encuentre disuelta para que las bacterias seguidamente puedan actuar.

**Fase acetogénica:** las moléculas se convierten en ácidos simples (el más importante es el acético).

**Fase metanogénica:** es la única fase estrictamente anaerobia en la que las bacterias convierten el ácido acético en metano y CO<sub>2</sub>.

### 2.3 Beneficios del compostaje

Entre los beneficios que presenta el compostaje en el manejo de los residuos orgánicos, se encuentran:

- a. Efectos en la estructura de la tierra:
  - Los millones de microorganismos que viven en el compost, contribuyen a formar y estabilizar la tierra.
  - Aumenta la capacidad de retención del agua en el suelo.
  - Hace porosos los suelos difíciles.
  - Mejora su ventilación y calentamiento.
- b. Efecto sobre los nutrientes de las plantas.
  - El compost contiene una gran reserva de nutrientes que poco a poco entrega a las plantas.
  - Al aumentar el contenido de materia orgánica del suelo, evita la erosión y la desertificación.
- c. Efectos sobre la calidad del suelo.
  - Únicamente proporciona elementos orgánicos, que son transformados y pasan al ciclo de la naturaleza.
  - Evita el peligro que supone para el suelo y el agua subterránea el uso de fertilizantes químicos.
- d. Ventajas ecológicas:
  - disminuye la producción de lixiviados y biogás.

---

<sup>2</sup> Sitio web del Centro de Biología Molecular Severo Ochoa, Universidad Autónoma de Madrid, España. <http://www.cbm.uam.es/ilsanz/docencia/archivos/Resumen26.pdf>

- al disminuir la cantidad de residuos sólidos a disposición final, se presenta un aumento de la vida útil de rellenos sanitarios, menor impacto al paisaje, al suelo y a las aguas subterráneas.
  - Producción de humus que puede servir como estabilizador contra la erosión.
  - El compost es un fertilizador natural que no produce sobrecarga química al Suelo.
- e. Beneficios económicos.
- Aumento de la vida útil del relleno sanitario municipal.
  - Venta o uso del compost.

**Tabla 4. Condiciones óptimas para el compostaje**

CONDICIÓN	RANGO ACEPTABLE	CONDICIÓN ÓPTIMA
Relación C:N	20:1 - 40:1	25:1-30:1
Humedad	40% - 65%	50%-60%
Oxígeno	5% +	Aproximadamente 8%
pH	5,5 - 9,0	6,5 - 8,0
Temperatura (°C)	55°C- 75°C	65°C- 70°C
Tamaño de partícula	0,5 - 1,0	Variable

Fuente: RYNK, R. On - Farm composting handbook. Northeast Regional Agricultural Engineering service. Cooperative extensión. New York, USA, 1992; p.186.

En la naturaleza, el humus es un producto que resulta de la desintegración de materia orgánica (cuerpo de animales y vegetales) logrando de esta manera la fertilización de los suelos. Este proceso en la naturaleza es tan lento que se requiere años para su obtención.

El proceso se puede acelerar a través del uso de la lombriz comúnmente conocida como californiana o roja, logrando así que este humus sea un fertilizante sin agregados químicos. El humus de lombriz, presenta grandes beneficios para los suelos, como son:

- ✓ Permite una excelente fertilización.
- ✓ Mejora la textura de los suelos permitiendo una mejor aireación y movilización de agua.
- ✓ Incrementa el intercambio de nutrientes.
- ✓ Favorece el crecimiento de los pelos radicales de las plantas nuevas o trasplantadas.

### 3. EL HUMUS DE LOMBRIZ

La cantidad de humus producido por las lombrices, es igual para cada individuo dentro de la misma especie. Las lombrices comen una cantidad equivalente a su propio peso, y expulsan el 60% de la misma en forma de humus, solo se puede lograr una mayor cantidad de humus, aumentando la cantidad de lombrices.

#### 3.1 Características del proceso de compostaje como alimento para la lombriz

Este proceso se puede realizar en los siguientes escenarios:

- Sin predigestión
- Predigestión aerobia
- Pre digestión anaeróbica
- Predigestion aerobica controlada

En un capítulo posterior se analizará cada escenario desde el punto de vista técnico y económico.

#### 3.2 Lombricultivo

Es una biotecnología que utiliza a una especie domesticada de lombriz, como una herramienta de trabajo que recicla todo tipo de materia orgánica, obteniendo como fruto de este trabajo humus, carne y harina de lombriz.

La lombricultura es un negocio de expansión y en un futuro será el medio más rápido y eficiente para la recuperación de suelos en las zonas rurales<sup>3</sup>.

Las lombrices requieren condiciones ambientales óptimas para su buen desarrollo, uno de estos factores es la humedad, dado que la lombriz requiere de un buen nivel para la alimentación y la respiración, las humedades superiores al 80% pueden ocasionar la muerte. En la misma medida se encuentra la temperatura, la cual presenta un rango muy limitado entre 20 y 33 grados centígrados. Las condiciones ambientales para el establecimiento de la lombriz se encuentran descritas en la siguiente tabla:

**Tabla 5.** Condiciones ambientales para el crecimiento de la lombriz

<b>CONDICIONES AMBIENTALES</b>	
Temperatura óptima para crecimiento	12-25°C
Temperatura óptima para formacion de cocones	12-15°C

<sup>3</sup> TECNOCENCIA. Especial residuos. Disposición y manejo. Diciembre de 2002. \_Sitio en internet\_. <http://www.tecnociencia.es/especiales/residuos/> \_Consulta: Julio 2012

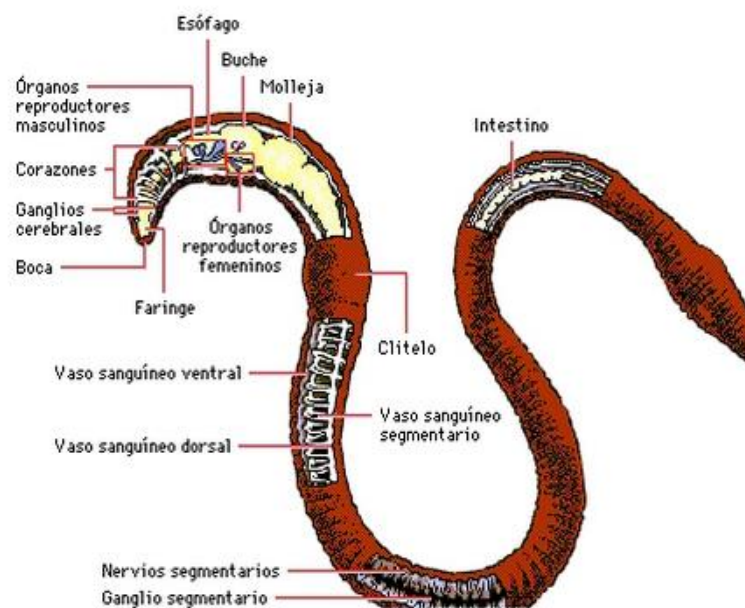
CONDICIONES AMBIENTALES	
Temperatura máxima tolerable	42°C
Temperatura mínima para la reproducción	7°C
Temperatura mínima tolerable	0°C
pH óptimo	6,8 a 7,2
pH tolerable	3,7 a 8,7
Humedad relativa óptima	82,5% de la Humedad Absoluta

Otro aspecto de gran importancia, es el alimento que se les suministra a las lombrices, éste debe estar pre tratado, en razón a que como se trata de un cultivo de explotación intensiva, no se puede suministrar aliento fresco, pues el proceso de fermentación de la materia orgánica suministrada puede ocasionar la muerte de las lombrices.

### 3.3 Lombriz roja californiana

Su nombre se debe a que en el estado de California EEUU, fue donde se descubrieron las propiedades para el ecosistema, y fue el lugar donde se instalaron los primeros criaderos.

**Figura No. 6** Características de la lombriz roja californiana



Fuente: <http://humusabonoorganicofutroneo.globered.com/categoria.asp?idcat=21>, consultado en Julio de 2012

### **Clasificación zoológica:**

Reino: animal.

Tipo: anélido.

Clase: Oligoqueto

Orden: opisthoro.

Familia: lombricidae.

Género: eisenia.

Especie: e.foetida.

Las características internas de las lombrices son:

**Cutícula:** es una lámina delgada de color marrón brillante, quitinosa, fina y transparente.

**Epidermis:** situada debajo de la cutícula, es un epitelio simple con células glandulares que producen una secreción.

**Capas musculares:** son dos, una circular externa y otra longitudinal interna.

**Peritoneo:** es una capa mas interna y limita exteriormente con el celoma de la lombriz.

**Celoma:** es una cavidad que contiene líquido celómico y se extiende a lo largo del animal, dividida por los septos, actuando como esqueleto hidrostático.

**Aparato circulatorio:** formado por vasos sanguíneos. Las lombrices tienen dos vasos sanguíneos, uno dorsal y el otro ventral. Poseen también otros vasos y capilares que llevan la sangre a todo el cuerpo. La sangre circula por un sistema cerrado constituido por cinco pares de corazones.

**Aparato respiratorio:** es primitivo, el intercambio de oxígeno se produce a través de la pared del cuerpo.

**Sistema digestivo:** en la pared superior de la apertura bucal se sitúa el prostomio, con forma de labio. Las células del paladar, son las encargadas de seleccionar el alimento que pasa posteriormente al esófago donde se localizan las glándulas calcíferas. Estas glándulas segregan iones de calcio, contribuyendo a la regulación del equilibrio ácido básico, tendiendo a neutralizar los valores de pH. Luego se encuentra el buche, en el cual el alimento es retenido para dirigirse al intestino.

**Aparato excretor:** formado por nefridios, dos para cada anillo, las células internas son ciliadas y sus movimientos permiten retirar los desechos del celoma.

**Sistema nervioso:** es ganglionar. Posee un par de ganglios supra esofágicos, de los que parte una cadena ganglionar.

La lombriz californiana se alimenta de animales, vegetales y minerales. Antes de comer tejidos vegetales los humedece con un líquido similar a la secreción del páncreas humano, lo cual constituye una pre digestión.

Es fotofóbica, vive entre 15 y 17 años, llega a medir hasta 8 cm de largo, su peso varía entre 0,6 y 1 gramo, respira a través de la piel, madura sexualmente a los 90 días de su nacimiento; otras características son:

- Dependiendo de las condiciones de crianza, se pueden obtener 1300 lombrices al cabo de un año.
- Es hermafrodita incompleta (tiene ambos sexos pero necesita de otro ejemplar para fecundarse).
- En condiciones ideales deposita un Cocon (huevo) cada 7 días. Dicho Cocon eclosiona luego de 15 días y se pueden obtener de 2 a 20 pequeñas lombrices. En promedio 7 lombrices.
- Si las características del medio no son las apropiadas las lombrices no nacen, retrasando su alumbramiento hasta que mejoren las condiciones.
- Al momento de nacer son totalmente independientes.

- Características como el no sangrar al producirse un corte de su cuerpo, y ser totalmente inmune al medio contaminado en el cual vive, como la elevada capacidad de regeneración de sus tejidos, son motivos de investigación para la aplicación en el ser humano.
- Longevidad: hasta 16 años dependiendo de las condiciones de crianza.
- Deyecciones: materia orgánica estabilizada con una riqueza en flora bacteriana de 2 billones de colonias vivas por gramo de humus producido.
- Edad sexual: 90 días.
- Producción anual promedio: 1500 crías.

Estos invertebrados están capacitados para procesar todo tipo de residuo orgánico, debidamente pre-tratado, produciendo una degradación y mineralización de los mismos, logrando finalmente que lo ingerido se transforme en humus, inocuo para la salud y el medio ambiente (Velázquez et. Al. 1986).

### 3.4 Usos de la lombriz

#### 3.4.1 Humus

Este abono, contiene una carga microbiana alta, lo que hace que proteja la raíz, ayuda a aumentar la disponibilidad de nutrientes asimilables.

El humus es el producto resultante de la digestión y deyecciones hechas por la lombriz roja californiana, al digerir y transformar desechos de origen vegetal y animal. El humus es un fertilizante orgánico, de estructura coloidal, desmenuzable, granuloso, ligero e inoloro de color café oscuro, no es putrescible ni fermentable, mejora las características organolépticas de las plantas.

**Tabla 6.** Composición del humus de lombriz

<b>COMPOSICIÓN DEL HUMUS DE LOMBRIZ</b>	
Humedad	30-60%
pH	6,8-7,2
Nitrógeno	1- 2,6%
Fósforo	2-8 %
Potasio	1- 2,5%
Calcio	2-8 %
Magnesio	1- 2,5%
Materia Orgánica	30-70%
Carbono Orgánico	14-30%
Ácidos Fúlvicos	14-30%
Ácidos Húmicos	2,8-5,8%
Sodio	0,02%
Cobre	0,05%
Hierro	0,02%
Manganeso	0,006%
Relación C/N	10   11



### 3.4.2 humus líquido

Producto extractado, concentrado, enriquecido y estabilizado, procedente de las deyecciones de las lombrices (Humus de lombriz) y puesto a punto para su empleo en irrigación. Este humus, es activador del crecimiento y floración de todas las plantas en cualquier época del año. Ideal para plantación y trasplante.

**Tabla 7.** Contenido nutricional del humus líquido

CONTENIDO NUTRICIONAL	
Ácidos húmicos y fúlvicos	12.5%
Nitrógeno amoniacal (N)	2.03%
Nitrógeno total	3.43%
Nitrato (NO <sub>3</sub> )	14000 ppm (1.4%)

### 3.4.3 Harina de lombriz

La harina de lombriz es ampliamente utilizada en la alimentación de aves, peces y cerdos, como materia prima en la elaboración de los concentrados para estos animales.

Esta harina es utilizada para consumo humano, debido a su alto valor proteico en la elaboración de hamburguesas y embutidos, aun que el uso ha sido en un porcentaje pequeño, debido a que se ha presentado rechazo por parte de la comunidad para incluir en la dieta este tipo de harina. Esta proteína se puede incorporar en mínimas cantidades a las preparaciones de manera que el sabor sea imperceptible y de esa manera, ir educando la población, acerca de los beneficios que esta harina tiene.

**Figura No. 1** Harina de lombriz



Fuente: <http://www.cecytech.edu.mx/Pdf/manuallombricultura.pdf>

Se ha demostrado ampliamente los grandes beneficios de la harina de lombriz para consumo humano, estos son:

- Fortalece los músculos.
- Estimula el equilibrio bioquímico, las funciones vitales.
- Proporciona alivio a fatigas físicas y mentales.
- Recupera tejidos lesionados y tejidos inflamados, por su contenido de histamina.
- Ayuda en la formación de colágeno.
- Recupera tejido lesionados.
- Ayuda en el proceso de crecimiento.
- Previene anemias.
- Participa en la eliminación de toxinas.

**Tabla 8.** Análisis de la harina de lombriz

<b>PRINCIPALES COMPONENTES NUTRICIONALES</b>	
Materia seca	18,60%
Proteína	70%
Grasas y lípidos	6,56%
Fibra	3,30%
Carbohidratos	17,60%
Cenizas	7,59%
Calcio	0,50%
Fósforo	0,90%

Fuente: <http://www.promin.com.br>, Consultado en Julio de 2012

**Tabla 9.** Análisis de la harina de lombriz

<b>AMINOACIDOS</b>	<b>%</b>	<b>VITAMINAS Y MINERALES</b>	<b>mg</b>
Alanina	5.53	Vit. A (Retinol/Caroteno)	Vestigios
Arginina	6.51	Vit. B1 (Tiamina)	16
Ác. Aspártico	11.60	Vit. B3 (Niacina)	36
Cisteína	1.83	Vit. B12 (Cobalamina)	6
Ác. Glutámico	14.20	Vit. B6 (Piridoxina)	6
Glicina	5.00	Biotina (Vit. H)	32
Histidina	2.57	Ácido Aminobenzoico	30
Isoleucina	4.69	Ácido Pantotenico	10.3
Leucina	7.59	Ácido Fólico (Vit. M)	2.1
Lisina	7.56	Colina (Complejo B)	275

AMINOACIDOS	%	VITAMINAS Y MINERALES	mg
Metionina	2.20	Inositol (Complejo B)	350
Fenilalanina	4.01	Ácido Lipoico	Vestigios
Prolina	5.30	Vit. D	Vestigios
Serina	5.03	Hierro	2.7
Triptofano	1.40	Selenio	Vestigios
Treonina	5.20	Cromo	Vestigios
Tiosina	2.97	Calcio	Vestigios
Valina	5.00	Fósforo	Vestigios

Fuente: <http://www.promin.com.br>, Consultado en Julio de 2012

#### 3.4.4 Otros usos de la lombriz roja californiana

Se presentan otros usos como:

- Pie de cría: para nuevos cultivos de lombrices.
- Para consumo: la carne de lombriz se utiliza usualmente como comida para animales (pollos, pájaros, ranas, peces tanto de agua salada como dulce). La carne de lombriz contiene del 64 al 82% de proteínas.

## 4. PLANTEAMIENTO DE VARIABLES Y ALTERNATIVAS

En el presente capítulo se presentarán las alternativas para realizar el compostaje, de tal manera que el producto final esté dado en las mejores condiciones para ser suministrado a la lombriz.

### 4.1 Alternativas

Teniendo en cuenta que el objetivo del presente documento, es el análisis de viabilidad técnico y económico de la producción de harina de lombriz, se requieren condiciones especiales para optimizar la producción de la misma para que el proyecto sea factible. A continuación se presenta una descripción de las diferentes alternativas para el cultivo de lombrices.

- **Sin predigestión (A1)**

Este proceso no es viable para el cultivo de lombrices, ya que éstas requieren que el alimento que se les va a proporcionar tenga ciertas características, como el tamaño de la partícula, y que la materia orgánica debe estar en estado de descomposición, ya que durante el periodo de fermentación, se alcanzan elevadas temperaturas (hasta 75°C), que ocasionarán la muerte a las lombrices.

- **Predigestión aerobia (B1)**

El compostaje aerobico es un proceso de degradacion biologica en donde los microorganismos transforman los compuestos organicos mediante reacciones metabólicas, en las que se separan los electrones de los compuestos y se oxidan las estructuras de carbono a dióxido de carbono y agua. Nunca se produce oxidacion completa debido a que una parte del materia organico se transforma y otra no es biodegradable. (Eweis et al 1.999).

- **Predigestión anaeróbica (B2)**

El compostaje anaerobio es la descomposición del material orgánico en ausencia de oxígeno obteniendose como productos metabólicos finales metano, dióxido de carbono y numerosos compuestos orgánicos de bajo peso molecular como ácidos y alcoholes. Los sistemas de compostaje anaerobio dada su complejidad se utilizan en menor proporción que los aerobios, pero son importantes ya que permiten generar biogás a partir de residuos humanos, animales, agrícolas y residuos sólidos urbanos.

- **Predigestion aeróbica controlada (B3)**

Esta alternativa consiste en controlar mecánicamente los parámetros mas importantes para tener los mejores resultados y disminuir tiempos en el proceso de compostaje.

Los principales parámetros a controlar son: temperatura, humedad y Ph.

### 4.2 Variables

Para lograr los resultados esperados, es necesario poder controlar ciertos parámetros que inciden directamente en la calidad del producto, como son: pH, temperatura, humedad.

A continuación se describe la posibilidad de controlar estas variables, en cada alternativa propuesta.

**Tabla 10.** Variables a controlar y procesos

VARIABLE		PROCESO			
		SIN PREDIGESTIÓN	PREDIGESTIÓN AEROBIA	PREDIGESTIÓN AEROBIA CONTROLADA	PREDIGESTIÓN ANAEROBIA
V1	Temperatura	No se puede controlar.	No se puede controlar.	Se puede controlar	No se puede controlar.
V2	Humedad	No se puede controlar.	No se puede controlar.	Se puede controlar	No se puede controlar.
V3	pH	No se puede controlar.	No se puede controlar.	Se puede controlar	No se puede controlar.
V4	Tiempo	No se puede controlar.	No se puede controlar.	Se puede controlar	No se puede controlar.

De acuerdo con lo anterior, la posibilidad de controlar estas variables en el proceso, muestran como con un compostaje (o predigestión) controlado se pueden tener los mejores resultados en la calidad de la alimentación que se debe entregar a la lombriz.

**Tabla 11.** Requerimientos técnicos para las diferentes alternativas

REQUERIMIENTOS	ALTERNATIVA			
	SIN PREDIGESTIÓN	PREDIGESTIÓN AEROBIA	PREDIGESTIÓN AEROBIA CONTROLADA	PREDIGESTIÓN ANAEROBIA
Personal	Si Requiere	Si Requiere	Si Requiere	Si Requiere
Personal especializado	No Requiere	No Requiere	Si Requiere	No Requiere
Costos	Costos bajos de operación	Costos bajos de operación	Costos medios de operación	Costos bajos de operación
Facilidad de operación	Muy fácil	Fácil	Fácil	Fácil
Control	Si Requiere	Si Requiere	No Requiere	No Requiere
Tiempo	Muy alto	Alto	Muy bajo	Muy alto

De acuerdo con lo expuesto en la anterior tabla, se evidencia que si bien se puede seleccionar cualquier alternativa, para el caso de este estudio, que se refiere a producción industrial es necesario optimizar procesos de manera que la producción se conserve constante y no se presenten altibajos o paradas que repercutan en la rentabilidad del negocio.

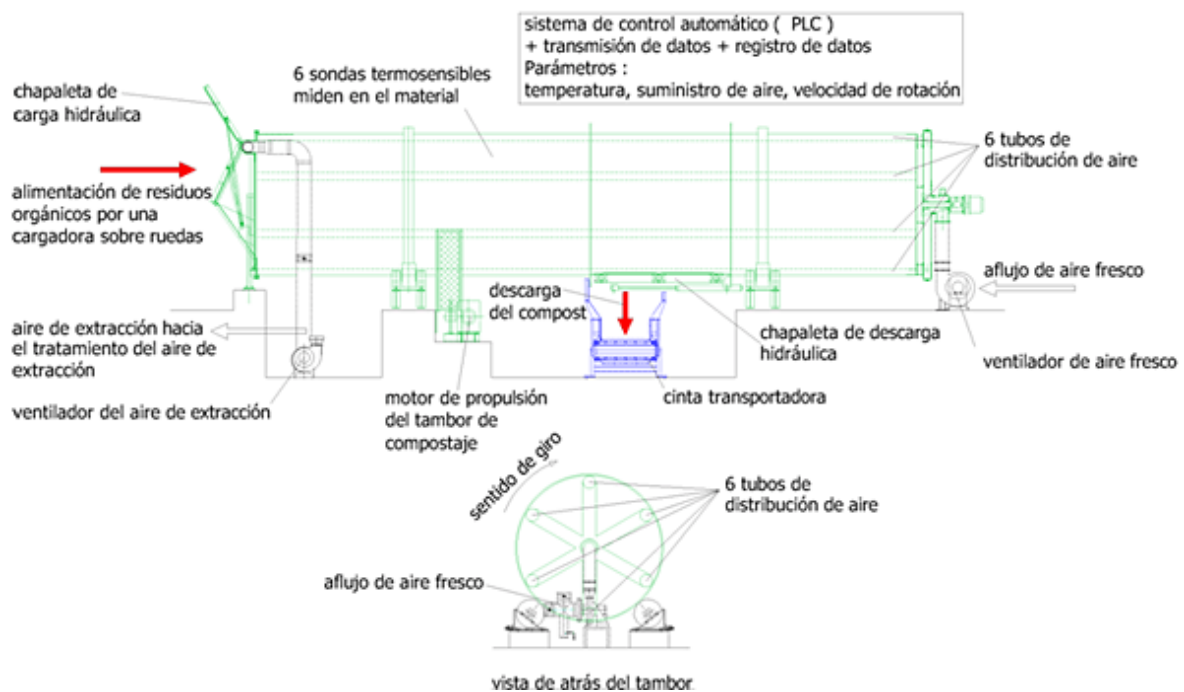
Para realizar el proceso de predigestión aerobia controlada, se requiere la implementación de un equipo que garantice la disminución del tiempo de preparación del alimento para la lombriz, a continuación se presenta un ejemplo del tipo de tecnología a utilizar para desarrollar el proceso:

Consta de un proceso dinámico de compostaje en tambores, cuyo funcionamiento se describe a continuación:

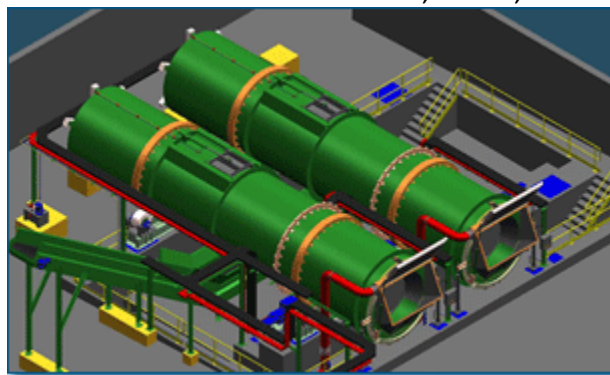
El proceso ocurre en un lugar cerrado, con ventilación forzada, regulación de temperatura y con una capa anticorrosiva. El proceso es un sistema dinámico que tiene la posibilidad de mover de forma controlada el tambor a una velocidad máxima de una rotación por minuto.

El tambor es un sistema cerrado propulsado por depresión de donde se aspira el aire maloliente mediante un ventilador y se trata este aire en un biofiltro.

**Figura No. 2** Construcción técnica del tambor y los elementos principales  
Compostaje en tambores



**Figura No. 3** Modelo 3D de una planta de compostaje en tambores con dos unidades; Calvià, Mallorca



Se explota el tambor teniendo la oportunidad de controlar y vigilar permanentemente el tiempo de marcha en inercia y la temperatura. La alimentación con residuos orgánicos mediante una tapa hidráulica puede efectuarse automáticamente o por una cargadora sobre ruedas. En general, se convierten los residuos orgánicos en compost en unos 2-3 días en el tambor. Después de 2 días se han cumplido con el grado de compostaje para alimentar las lombrices.

Después del proceso de compostaje en los tambores, se descarga automáticamente el compost fresco mediante una tapa y se lo transporta mediante una cinta transportadora hacia la eliminación de las sustancias perturbadoras. Este proceso garantiza la separación estricta de las zonas puras de las impuras. Se eliminan las impurezas mediante separación mecánica de un separador magnético, un tamiz y un separador por aire después del compostaje intensivo.

**Figura No. 4** Planta de compostaje en tambores para residuos orgánicos en Calvià, Mallorca; capacidad 5.000 t/a



En Alemania siete plantas de compostaje en tambores están en servicio. En Calvià y Palma de Mallorca Ros Roca ya ha realizado dos plantas con este sistema.

**Figura No. 5** Tambores para compostaje



### 4.3 Producción Estimada De Humus

PARA UNA PRODUCCION DE 2.400Kg/día DE HUMUS

Galpón de 120 m<sup>2</sup>

$120 \text{ m}^2 / 2 = 60 \text{ m}^2$  (área útil)

4.000.000 gr/día de alimento \* 60% (que devuelve la lombriz como humus).

$4.000.000 * 60\% = 2.400.000 \text{ gr/ día}$ .

$2.4 \text{ T/día} * 30 = 72 \text{ T/ mes}$

Con el enriquecimiento balanceo inoculación; y mineralización, se pueden esperar ventas de: 650.000/T

TON \$ 650.000 \* 2.4/T = \$ 1.560.000 ingreso bruto /día

$2.4 \text{ T/día} * 30 = 72/\text{mes}$ .  $72 * 650.000 = 46.800.000 \text{ mes}$

Para el volumen de HUMUS se esperarían \$ 46.800.000 de pesos al mes, lo que para el año significaría ingresos brutos de \$561.600.000 de pesos.

**Nota:** en los ingresos brutos esta contemplada la producción de humus líquido como tiempo de amortización.

Para la harina se requieren 12 meses para ajustar el proceso.

Los estudios arrojan como resultado un tiempo de gracia para el arranque y puesta en marcha de la planta de 6 meses debido a procesos biológicos y de mercadeo como la consecución del M.O. para funcionamiento a tope, durante éste tiempo la planta se autoabastece y las utilidades aumentan progresivamente conforme con el crecimiento de la producción y del mercado. Después de este tiempo de gracia se espera un rendimiento por metro cuadrado igual o superior al ejercicio anterior.

### 4.4 Producción estimada de humus líquido

La producción de humus líquido depende realmente de la cantidad de humus sólido que se destine para ser procesado y transformado en humus líquido.

Se ha planteado la destinación inicial de tres toneladas de humus sólido semanal para tal fin.

La planta instalada con la tecnología seleccionada, estará en capacidad de producir 1/5 cinco m<sup>3</sup> de humus líquido por cada m<sup>3</sup> de humus sólido que se emplee.

El proceso de producción del humus líquido tarda entre 4 y 5 días, por lo que se iniciará progresivamente con los m<sup>3</sup> de humus requeridos.

3 Toneladas de humus sólido equivalen a 4 m<sup>3</sup> de Humus.



#### 4.5 Producción estimada de harina de lombriz

De la producción estimada de humus se toma la cantidad de sustrato con la que se alimentarán las lombrices. (5.22T/día)

Tomando en cuenta que la lombriz ingiere su peso corporal diariamente de sustrato, se deberá equiparar el peso de sustrato con el peso de las lombrices para que el proceso se lleve a cabo en un día.

5.22T/día sustrato  $\longrightarrow$  5.22T/día de lombrices

Teniendo en cuenta que la lombriz roja californiana duplica su población cada tres meses, se tomará como base este peso y se distribuirá en cada uno de estos tres meses.

5.22T/día de lombrices  
 $\frac{\quad}{3} = 156.6T$  de lombrices al mes

De cada 100Kg de lombriz viva se obtienen 25Kg de harina de lombriz, por lo tanto la producción mensual de harina de lombriz será el 25% de este peso:

156.6T \* 25% = 117.45Kg  $\longrightarrow$  Harina de lombriz

## CONCLUSIONES

- El manejo de los residuos sólidos a partir de lombricultivo tiene innumerables ventajas como se evidenció en el desarrollo del proyecto, tanto a nivel ecológico como de salud, ya que estudios han demostrado la capacidad de la lombriz para descontaminar los residuos. El principal inconveniente encontrado en la producción industrial de harina de lombriz, se encuentra en el suministro del alimento para las lombrices debido a que éste debe estar en las condiciones mencionadas a lo largo del documento.
- La viabilidad del proyecto radica en la cantidad de residuos a tratar, ya que para que el proceso no se interrumpa se debe contar con disponibilidad de la cantidad de residuos identificada en el análisis económico.
- El mayor riesgo en el suministro de la alimentación, está en la dosis no adecuada de proteína que se le suministra a la lombriz (superior al 45%), ya que puede ocurrir envenenamiento por altas dosis, esto ocurre cuando proteínas no fermentadas totalmente, se acidifican y liberan gases nocivos, a veces mortales, en el hábitat de la lombriz.
- Luego de analizar las diferentes alternativas, se determinó que la mas viable técnica y económicamente es la predigestión aerobia controlada, ya que si bien los costos iniciales son altos, este proceso ayuda a mantener constante la producción de tal manera pueda ser rentable.
- Finalmente los costos de la implementacion de este proceso son altos, pero si se compara con los resultados obtenidos, teniendo en cuenta el equilibrio que genera para la producción, y que ademas garantiza que las cantidades de residuos recibidos para procesar no van a tener que ser almacenados en grandes extensiones de tierra por la agilidad en la preparacion del alimento de la lombriz, estos costos se verán compensados con la rentabilidad del producto final.

## BIBLIOGRAFÍA

- [www.promin.com.br](http://www.promin.com.br), consultado en Julio de 2012.
- [www.cecytech.edu.mx/Pdf/manuallombricultura.pdf](http://www.cecytech.edu.mx/Pdf/manuallombricultura.pdf).
- Informe de la Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y El Caribe 2010, EVAL 2010.
- [http://www.oecd-ilibrary.org/environment/oecd-factbook-2010/municipal-waste\\_factbook-2010-64-en](http://www.oecd-ilibrary.org/environment/oecd-factbook-2010/municipal-waste_factbook-2010-64-en) revisado en Mayo de 2012
- CGR Doña Juana. Mayo 2012.
- <http://cideabuga.org/descargas/unicefco/compost/htms/m3.htm#fases>
- Manual práctico de compostaje, <http://www.abarrataldea.org/manual.htm>
- Sitio web del Centro de Biología Molecular Severo Ochoa, Universidad Autónoma de Madrid, España. <http://www.cbm.uam.es/jlsanz/docencia/archivos/Resumen26.pdf>
- Ferruzzi Carlos, 1986, Manual de Lombricultura.
- <http://www.angelfire.com/ia2/ingenieriaagricola/lombrices.htm>
- Tchobanoglous G, Theisen Hilary, A. Vigil Samuel, 1994, Gestión Integral de Residuos