



Universidad Tecnológica de la Mixteca

**“DISEÑO DE UN PROCESO DE LOMBRICOMPOSTEO UTILIZANDO EL
METODO QFD (QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT) PARA EL
ESTABLECIMIENTO DE UNA PLANTA PILOTO EN LA UTM”**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO INDUSTRIAL

PRESENTA:
BRENDA GARCÍA JARQUÍN

DIRECTOR DE TESIS:
MC. JOSÉ ALFREDO CARAZO LUNA

Huajuapán de León Oaxaca, Oax., a 23 de abril del 2009

Resumen

El calentamiento global es una preocupación mundial que día con día progresa y que traerá consecuencias catastróficas si no se remedia a tiempo. Éste es producto de la contaminación masiva la cual es generada por el aumento de desechos de todo tipo.

Actualmente, 1/3 de los desechos generados en México son de tipo orgánico, a los cuales escasamente se les brinda el tratamiento necesario. Se observó que solamente en la UTM, se generan diariamente 800 kg de basura diaria donde 150 kg son desechos orgánicos que provienen de las residencias del profesorado de la Universidad.

Existen métodos de reciclaje para desechos orgánicos, entre los más conocidos están el composteo y el lombricomposteo. Sin embargo, el proceso de lombricomposteo actual o tradicional, presenta muchas cuestiones de producción, materiales, diseño y costos los cuales se pueden mejorar utilizando herramientas de la Ingeniería Concurrente, propias de la Ingeniería Industrial.

Para llegar a proponer dichas mejoras, se prosiguió de la siguiente forma:

- Primero se analizó la literatura existente para conocer los factores, condiciones y Normas existentes y comprender aspectos técnicos de la Lombricultura.
- Posteriormente, se planteó la primera fase del QFD (Casa de la calidad) para determinar los requerimientos del producto final (lombricomposta) proponiendo alternativas ingenieriles para resolverlos. Dichos requerimientos del producto se basaron en sus normas de calidad actuales y requerimientos del proceso en base a la literatura existente.
- De las alternativas antes propuestas, surgió la necesidad de medir parámetros fisicoquímicos, proponer y construir modelos a escala para maduración y migración

de las lombrices con sus respectivos experimentos y la necesidad de montar lombricomposteo en un prototipo para la comprobación de hipótesis. Todo esto está contemplado en la fase 2 del QFD (Matriz de desarrollo de componentes), donde se proponen las herramientas para resolver los requerimientos. Herramientas que fueron analizadas y justificadas previamente.

- Luego, para pasar a la siguiente fase (Matriz de planeación del proceso), se realizaron los experimentos propuestos para cada componente seleccionando el que mejor se adaptaba a las necesidades. También se describieron los procesos o modos de operación para cada componente o parte del diseño. Los valores meta fueron obtenidos de literatura existente, así como de los resultados de la experimentación.

- En la fase 4 llamada planeación de producción, se evaluaron tanto las operaciones requeridas como mantenimiento o control de la producción así como los requerimientos del personal que lo pueda operar.

- Por último se desarrolló el Análisis de producción, Análisis comparativo del proceso tradicional contra el propuesto, y la presentación de un presupuesto del costo del modelo. La comprobación de la hipótesis inicial y objetivos planteados.

Dedicatoria

A quienes con empeño y desvelo han dado todo sin escatimar esfuerzos para concluir una parte muy importante en mi vida.

Los mismos que me han heredado el regalo más grande que todo hijo puede anhelar, el amor.

A ellos, los cuales representan a mi Dios en esta vida, mis padres.

Agradecimientos

A la planta de profesores de Ingeniería Industrial, por guiarme y aconsejarme en el desarrollo del presente proyecto y en el transcurso de mi formación.

Al Instituto de Hidrología por el apoyo recibido para la realización de la experimentación, especialmente a la Mtra. Brenda Iris Licona Morán.

Al Director de tesis, el Mtro. José Alfredo Carazo Luna por el respaldo y ayuda recibida durante el desarrollo del proyecto.

Al resto de mi familia y amigos que siempre estuvieron presentes acompañándome en todo momento, especialmente a mi hermano, Héctor y Juan Carlos.

Mike, por que estuvo siempre ahí cuando más lo necesité.

Capítulo I. ESTRUCTURACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Introducción

Actualmente se registra un volumen creciente en la generación de desechos orgánicos a nivel mundial. Por ejemplo, en la ciudad de México una familia promedio de cinco integrantes, produce mensualmente un metro cúbico de basura, lo que significa tres millones de metros cúbicos mensuales de la cantidad de basura total en la Cd. Capital, de la cual se considera que el 51% son residuos orgánicos y el 34% son reciclables (Dondi et al., 2007, p.2).

En Oaxaca escasamente existen Pymes que transformen algún desecho, la mayoría de ellos para venta (Navajas, 2008, p.12).

El problema ecológico provocado por los desechos es *demasiado grande como para considerar que ya esté resuelto*. (Lorian, 2001, pp.43-44).

Reciclar los residuos orgánicos plantea un desafío ambiental, económico y social de índole mundial: En el municipio de Huajuapán de León donde la generación de desechos orgánicos es masiva, no se le da tratamiento alguno (INEGI, 2002, <http://www.inegi.gob.mx>).

Por esto, se debe empezar con fomentar una cultura ecológica en las Instituciones Educativas, por ejemplo, la Universidad Tecnológica de la Mixteca la cual en conjunto con de aulas con sus 15 casas-habitación y 22 departamentos, se generan alrededor de 800 kg. de basura diariamente. De esta cantidad, 150 kg son de tipo orgánico y provienen de la unidad residencial del profesorado de la UTM. Cabe mencionar que hace algunos meses, existía un proveedor encargado de recaudar los desechos con un costo de \$380.00 mensuales, lo que incurría en gastos indirectos para la Institución de \$4560.00 al año. Actualmente no existe alguna compañía o dependencia que se encargue de estos

residuos por lo que el departamento de Mantenimiento se ocupa de desecharlos directamente en barrancos para relleno sanitario sin cuidado alguno.¹

1.2 Planteamiento del problema

En la unidad habitacional del profesorado de la UTM, diariamente se generan 150 kg de desechos orgánicos (Reséndiz, 2009). Estos desechos son trasladados y vaciados a relleno sanitarios cercanos a la Institución, una vez que estos rellenos se saturan, se cubren en la superficie y se buscan otros más próximos y así sucesivamente². El problema radica en que esta solución es temporal y la contaminación es masiva.

Actualmente, el lombricomposteo es una técnica muy efectiva de reciclaje y tratamiento de desechos orgánicos, sin embargo dicha técnica según literatura existente presenta algunas cuestiones de espacios los cuales se pueden optimizar mediante herramientas de mejora de la Ingeniería Industrial como el QFD.

¹ Dato proporcionado por el Jefe de Mantenimiento de la Universidad, Ing. Agustín Vicente López Vega

1.3 Hipótesis

El rediseño del proceso de lombricomposteo contribuirá a la reducción de costos y superficie terrestre conservando la calidad del producto final, aumentando la producción de lombricomposta y aprovechando los residuos orgánicos generados en la unidad habitacional de la UTM.

1.4 Justificación

La literatura actual que describe el proceso tradicional de lombricomposteo, no es lo suficientemente eficiente puesto que el área que se necesita se proyecta demasiado extensa. Esta situación tiene posibilidades de mejora, puesto que se puede producir la misma cantidad o más en un área mucho menor, ya que en vez de extenderse perimetralmente sobre la superficie, se puede expandir cúbicamente aumentando el espacio volumétrico verticalmente. Esto claro, sin alterar negativamente la calidad del producto final. Con posibilidades incluso de reducción de costos.

Para proponer alternativas para el proceso de lombricomposteo, se analizó un proyecto tradicional que se ejecuta actualmente en el Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Dicho proyecto obedece a las mismas características del proceso tradicional que manejan muchos agricultores actualmente.

1.5 Alcances y delimitaciones

- El sustrato se obtendrá de los desechos orgánicos provenientes de la unidad habitacional de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Debido a la alcalinidad requerida para el lombricomposteo, se descartan en los desechos orgánicos como cítricos.
- Se utilizará suelo proveniente de la zona de composteo o invernaderos de la UTM.
- Para el manejo de la lombricultura, existen diversos tipos de lombrices, sin embargo, por la gran cantidad de ventajas según su metabolismo, se emplearán lombrices rojas californianas (*eisenia foetida*).
- Para verificar la madurez y calidad de la lombricomposta se deben realizar las técnicas establecidas en NMX-FF-109-SCFI-2007 las cuales se realizarán en el Laboratorio de Físicoquímica y Edafología del Instituto de Hidrología de la UTM.
- Solo se propone el diseño y funcionamiento de prototipos, dejando las bases para que en trabajos posteriores se proponga el diseño de la planta.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Proponer un diseño de proceso para obtener lombricomposta a partir de los desechos orgánicos de la UTM por medio de la metodología QFD para reducir espacios, costos e incrementar la producción.

1.6.1.1 Objetivo específico I

Diseñar contenedores para lombricomposta mediante herramientas de la Ingeniería Industrial que permitan determinar los mejores materiales y diseño de prototipo.

1.6.1.2 Objetivo específico II

Comprobar la calidad y madurez de la lombricomposta montada en el contenedor seleccionado mediante análisis fisicoquímicos normalizados.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

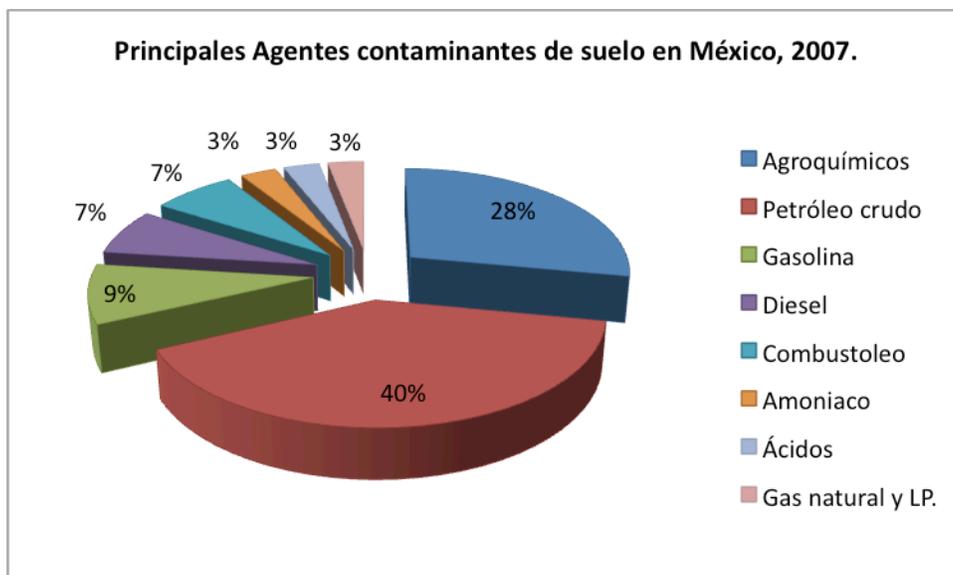
La contaminación, se produce por la introducción de cualquier sustancia o forma de energía con potencial para provocar daños, irreversibles o no, en el medio inicial (Brisson, I. E. y Powell J. C., 1995, pp.67-98).

Se denomina contaminación ambiental a la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o bien de una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación y goce de los mismos (Dondi, et al., 2007, pp.27-29).

2.1.1 Contaminación y reciclaje en México

En México la contaminación aumenta día con día en proporción inversa al reciclaje, si hablamos de desechos biodegradables abundan principalmente los desechos de comida, donde en México se generan 25 millones de tons. anualmente, de las cuales cuatro millones se concentran en el Distrito Federal y el resto en el sureste del país (Craighill, A y J. Powell, 1996, p.90).

En todo el país existen problemas de contaminación aún no cuantificados con precisión. Sin embargo, pueden mencionarse de manera cualitativa los problemas de contaminación generados por el uso de agroquímicos, tanto fertilizantes (en especial los nitrogenados) como de pesticidas (fungicidas, herbicidas e insecticidas) (INEGI-SEMARNAP, 1997). A continuación se mencionan algunas de las principales fuentes de contaminación de suelos en México.



Gráfica 1. Principales sustancias involucradas en el suelo Nacional reportadas a la PROFEPA entre 2006 y 2007 (PROFEPA, 2007).

Como se puede observar en la gráfica 1, los agroquímicos representan el 28% de la contaminación del suelo en México según la PROFEPA, lo cual significa que existe una preocupación, ya que este estadístico indica las sustancias presentes en las emergencias ambientales, las cuales ocasionan problemas severos e irreversibles. De acuerdo con estadísticas de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), cada año se presentan en México un promedio de 550 emergencias ambientales asociadas con materiales y residuos peligrosos. (SEMARNAT, 2007).

El uso excesivo de agroquímicos, así como el inadecuado manejo y disposición de sus envases, ha sido un problema generalizado en México. Muchos de los plaguicidas empleados en el país hasta la fecha, se han prohibido en otros países por su toxicidad. Sin embargo, el número de plaguicidas se incrementa a razón de 10% al año. Esto ha permitido que el número de productos que entran en contacto con la población, se incremente en más de seis veces (CICOPLAFEST, 2000).

Todas estas sustancias son compuestos químicos tóxicos y por su aplicación en tierras de cultivo, evidentemente son compuestos que se encuentran como contaminantes de grandes extensiones de suelos en todo el país. (CICOPLAFEST, 1996).

2.1.2 Contaminación y reciclaje en Oaxaca

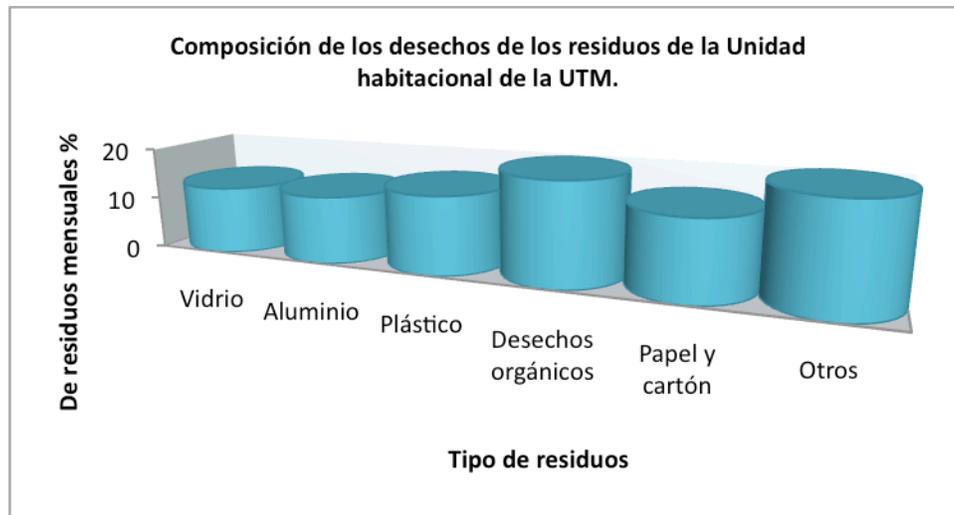
En el sureste mexicano, principalmente en Oaxaca, no existe una cultura por el reciclaje de desechos, los contaminantes aun son abandonados sin conciencia alguna en reservas ecológicas, lagos, caminos, barrancas o terrenos deshabitados, lo que da lugar a una infección masiva bacteriana. (Craighill, A y J. Powell, 1996, pp.456-467).

2.2 Métodos de reciclaje de desechos orgánicos

Reciclar es la acción de volver a introducir en el ciclo de producción de los productos junto a otros materiales y consumo productos materiales obtenidos de residuos.

Haciendo referencia a que el uso de agroquímicos representa el 28% del deterioro del suelo Nacional, en la Universidad Tecnológica de la Mixteca se utilizan 990 kg de agroquímicos al año³, y el 20% de los desechos generados ahí, son de tipo orgánico, los cuales por sus propiedades biológico- químicas, tienen la capacidad de transformarse en elemento nutriente para el suelo, lo que da como resultado la disminución de agroquímicos y pesticidas. Ve gráfica 2.

³ Dato proporcionado por Reséndiz (2009).



Gráfica 2. Composición de los desechos de los residuos de la Unidad Habitacional de la UTM. Los datos fueron obtenidos a partir de un Estudio de Campo realizado en colaboración del personal de Mantenimiento de la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Fuente: Elaboración propia.

Para reciclar desechos orgánicos, existen dos métodos principalmente, el composteo y lombricomposteo.

2.2.1 Composteo

El composteo es la degradación controlada de desechos sólidos orgánicos con microorganismos, por medio de una respiración aeróbica o anaeróbica, hasta convertirlos en humus estable. Los organismos más abundantes en la composta son las bacterias, las cuales generan el calor asociado con el composteo y las que realizan la descomposición principal de los materiales orgánicos, preparando los materiales para el siguiente grupo de organismos que continuarán la degradación (Marwick, 2008, p.31).

Sus ventajas son:

- ✓ La composta sirve como aporte de nutrientes para el cultivo, mejora la calidad del suelo debido a que fomenta la formación de agregados, mejorando la estructura de cualquier tipo de suelo y tiene efecto sobre otras características del suelo como son: incrementar la oxigenación, la capacidad de retención de humedad, la

aireación, las poblaciones de microorganismos, etcétera. Todo lo anterior se refleja en un mejor desarrollo del cultivo (Ibídem, 2008).

Sus desventajas son:

- ✓ Para que la relación carbono nitrógeno, la humedad y la oxigenación sean las adecuadas, debe aumentar su temperatura entre 60 °C y 70 °C para lo cual requiere alrededor de 30 días, es decir el proceso es muy lento.
- ✓ Debido a la naturaleza de los diferentes materiales a compostar los microorganismos utilizan el carbón como energía y el nitrógeno para la síntesis de proteína, si la relación tiene una proporción muy elevada de nitrógeno éste se perderá como amoniaco generando malos olores, si el elemento excedente es el carbono el proceso se realiza de manera lenta.
- ✓ La calidad en nutrientes, humus y microorganismos es mucho menor en comparación con la lombricomposta (Ibídem, 2008).

2.2.2 Lombricomposteo

La lombricomposta, vermicomposta o humus de lombriz es el producto resultante de la transformación digestiva y metabólica de la materia orgánica, mediante lombrices de tierra, denominada lombricultura o lombricomposteo. Se utiliza fundamentalmente como mejorador o enmienda orgánica de suelos, inoculante microbiano, enraizador, germinador, sustrato de crecimiento, entre otros (Espinoza, 1999, p.42).

La lombriz cava túneles en el suelo blando y húmedo, succiona o chupa el desecho orgánico y digiere de ella las partículas vegetales o animales en descomposición,

expulsando los elementos no digeribles y los residuos metabólicos, que son los que forman el humus (Ibidem, 1999).

La lombriz de tierra se alimenta de desechos orgánicos y según avanza en este deposita sus desechos, convirtiéndolos en abono fértil, mejor que el que podría lograrse usando abonos artificiales. Los excrementos de la lombriz contienen 5 veces más nitrógeno, 7 veces más fósforo, 5 veces más potasio y 2 veces más calcio que el material orgánico que ingirieron (Lorian, 2001, pp.43-44).

La especie que se utiliza, es la roja californiana *Eisenia foetida*, es una especie domesticada que se reproduce rápidamente, alcanzando en poco tiempo altas densidades de población (Ibidem, 2001). Véase Fig.1.



Fig.1. Lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) utilizada para la lombricultura (SAGARPA, 2002).

Su clasificación taxonómica es la siguiente: Reino: Animal, Phylum: Anélida, Familia: Lumbricidae, Género: *Eisenia*, Especie: *foetida* (SAGARPA, 2002).

2.2.2.1 Condiciones para el desarrollo de las lombrices

Las condiciones ambientales para un óptimo desarrollo son una temperatura de 19 a 20 °C, con una humedad del 80%, un pH de desarrollo entre 6.5 y 7.5 y con baja luminosidad, ya que teme a la luz, pues los rayos ultravioleta las matan. En estas condiciones una lombriz produce unas 1,500 lombrices por año que producen el 60% de la ingesta en forma de humus (Stanley, 2007).

Pueden vivir con poco O₂ y altas cantidades de CO₂. Pueden vivir en un rango de pH de 4 a 8, pero lo adecuado es 7 (neutro). Hay residuos que pueden ser ácidos como de cítricos, domiciliarios, etc, que pueden corregirse con cal apagada común y carbonato de Ca.

Entre sus enemigos en el proceso están los invertebrados, como babosa, hormigas ciempiés, etc. Vertebrados, como aves, batracios, roedores, etc. Ácaros.

En su etapa reproductiva las lombrices al fecundarse, generan cocones que se incuban entre 20-30 días a 25 °C y en 40-60 días más maduran. Se produce un cocón cada 10 días, conteniendo entre 3 y 20 lombrices. El ciclo dura unos 3 meses. Se desarrollan mejor a 20-25 °C, se inactivan a 0°C, pueden desarrollar su ciclo normalmente a 15-18°C y la ideal para formar cocones de 12 a 15 (Ibídem, 2007).

Comen, con mucha voracidad, todo tipo de desechos agropecuarios (estiércoles, rastrojos de cultivos, residuos de hortalizas y frutas, malezas, etc.). El alimento debe presentarse poroso, húmedo, no compactado y/o anegado (García, 2002).

2.2.2.2 Ventajas del manejo de la lombricultura

- ✓ El manejo de la lombriz es muy fácil ya que son resistentes y adaptables a cualquier tipo de suelo y clima (LOMBRICOR, 2000).
- ✓ La naturaleza de la lombriz es hermafrodita, es decir, poseen ambos sexos, basta con dos organismos para comenzar la reproducción.
- ✓ La temperatura ideal para que se reproduzcan es de 21 centígrados.
- ✓ Incrementa la flora microbiana y fauna del suelo en los terrenos de cultivo.
- ✓ Los elementos nutritivos (N, P, K, Ca, Mg y B), están disponibles para las plantas.
- ✓ Favorece la retención de agua en el suelo.

- ✓ La lombricomposta presenta una carga de microorganismos muy alta, de varios millones por gramo de material seco, lo que genera una alta carga enzimática y bacteriana, que ayuda en la solubilización de los nutrientes en el suelo.
- ✓ Es un abono de mayor calidad, la forma de distribución es igual y se puede utilizar en todos los cultivos. La lombricomposta tiene más nutrientes, humus y microorganismos por gramo seco que la composta lo que la convierte en un excelente mejorador de suelos (Ibídem, 2007).
- ✓ La propagación de lombrices es muy acelerada y los excedentes de lombriz se pueden comercializar como: pie de cría para instalar otras plantas de lombricomposta, carnada para pesca, alimentación de peces, aves y ganado o usándola en forma de harina. También puede utilizarse en la alimentación humana, la lombriz tiene un alto contenido de proteínas, además de un excelente contenido de aminoácidos y vitaminas (extraído de Manual de lombricultura.org.mx el 15 de noviembre del 2008).
- ✓ La extraordinaria capacidad productiva de la *Eisenia foetida*, permite amortizar rápidamente su capital invertido, y encontrarnos en un tiempo breve con una actividad altamente productiva. Madura sexualmente entre las 10 y 12 semanas de vida, deposita cada 7 a 10 días, una capsula huevo que da origen de 3 a 12 lombrices. Un criadero de lombrices en fase de expansión, se duplica cada 2 meses (Ibídem, 2008). Ver figura 2.

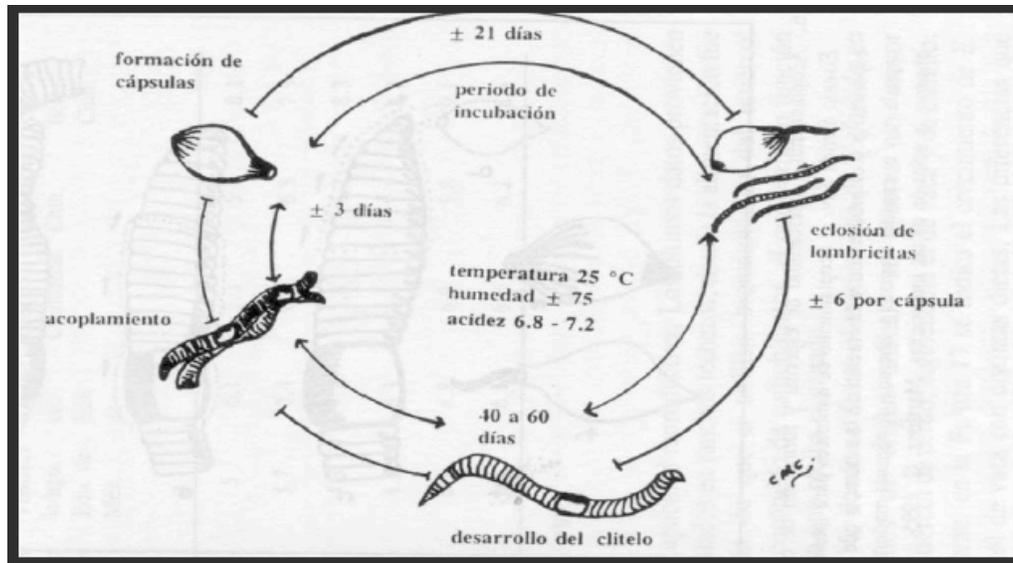


Fig.2. Ciclo de vida de la Eisenia foetida (Martínez, 1999)

- ✓ La harina de lombriz contiene del 60 al 80% de proteína cruda que le ubica como uno de los alimentos de mayor calidad que se pueda encontrar en la naturaleza. Sus propiedades se pueden utilizar para producir carne de altísima calidad y a muy bajo costo; con una rentabilidad y productividad no alcanzada jamás por otra actividad destinada a la obtención de carne (Dondi et al., 1999).
- ✓ De la lombriz se pueden obtener otros productos base para la industria farmacéutica. A partir del líquido celomático, se han producido antibióticos para uso humano.
- ✓ 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.
- ✓ Existe una gran demanda de lombrices y humus de lombriz en Europa, mientras que los mercados potenciales para la exportación son pocos entre ellos África, Arabia y Asia (Ibídem, 1999).

- ✓ Una lombriz adulta come diariamente su propio peso (aprox. 0.8 g) el 60% lo excreta como abono y el 40% restante lo metaboliza. Lo más destacable es la habilidad de transformar residuos de muy poco valor nutricional, difícil destrucción y de olores desagradables (Espinoza, 2002).
- ✓ La lombricomposta se puede aplicar en los cultivos libremente ya que con este tipo de abonos es muy difícil causar intoxicación por exceso. (Baumol, W. y W. Oates, 1994, pp.156-178).
- ✓ La alta tasa de reproducción de la lombriz y un rápido desarrollo, permiten obtener altos volúmenes de ésta por área en tiempos cortos ya que en un periodo de 2 meses, duplica su población (www.wormsargentina.com, 2001). La lombriz contiene de 60 a 70% de proteína, de 7 a 10% de grasa, de 8 a 20% de carbohidratos, de 2 a 3% de minerales (Lorian et al., 1994).

La desventaja que se puede encontrar con respecto al proceso de composteo es el costo, puesto que es más elevado debido al cuidado de la lombriz (Ibídem, 1994).

Además que la lombriz es el único animal en el mundo que no transmite ni padece enfermedades, pero existe un síndrome que lo afecta y es conocido como Gozzo ácido o Síndrome Protéico. Se debe a que cuando a la lombriz se le suministran sustratos con altos contenidos en proteína, no son asimilados y se presentan inflamaciones en todo el cuerpo, y muriendo a las pocas horas. Por esto, se recomienda, solo suministrar desechos orgánicos derivados de frutas y verduras (Cuevas, 1991).

2.2.2.3 Composición de la lombricomposta

En la tabla 3 se pueden observar los elementos que componen el producto final llamado humus o lombricomposta.

Elementos ⁴	Unidades	Rango
pH	-	6.8-7.2
N_{total}	%	1.5 a 3.35
P_{total}	ppm ⁵	700 a 2500
K_{total}	ppm	4400 a 7700
C/N⁶	-	10 a 13
CIC⁷	meq/100g	75 a 81
Ca_{total}	%	2.8 a 8.7
Mg_{total}	ppm	260 a 576
Mn_{total}	ppm	0.2 a 0.5
Cu_{total}	ppm	85 a 490
Zn_{total}	ppm	87 a 404

Tabla 1. Contenido nutrimental de la lombricomposta. Extraído de www.sagarpa.gob.mx/desarrollorural.

2.2.2.5 Valores fitohormonales principales.

El humus de lombriz es un abono rico en hormonas, sustancias producidas por el metabolismo secundario de las bacterias, que estimulan los procesos biológicos de la planta. Estos “agentes reguladores del crecimiento” son:

⁴ Para la descripción de cada elemento, consultar Anexo 1.

⁵ ppm significa partes por millón. 1 ppm corresponde a 1 µg/g, 1 mg/kg ó (para el agua) 1 mg/l.

⁶ Relación carbono / nitrógeno (C/N). Relación del peso existente en productos residuales entre el carbono (C) y el nitrógeno (N). En el proceso de maduración de un suelo hay un enriquecimiento paulatino de carbono. La relación C/N va bajando durante el proceso, hasta llegar a valores cercanos a 10-15 y es cuando el material está listo para ser utilizado.

⁷ CIC (capacidad de Intercambio catiónico). Es la capacidad que tiene un suelo para retener y liberar iones positivos, merced a su contenido en arcillas. Es una medida de un material (coloide) para retener cationes intercambiables. La capacidad de intercambio generalmente se expresa en términos de miligramos equivalentes de hidrogeno por 100 g de coloide, cuya denominación abreviada es mili equivalente por 100 gramos o meq/100 g.

1. La auxina, que provoca el alargamiento de las células de los brotes, incrementa la floración, la cantidad y dimensión de los frutos;
2. La Giberelina, favorece el desarrollo de las flores, la germinabilidad de las semillas y aumenta la dimensión de algunos frutos;
3. La Citoquinina, retarda el envejecimiento de los tejidos vegetales, facilita la formación de los tubérculos y la acumulación de almidones en ellos (Aquino, 2003).

2.2.2.5 Proceso Tradicional

La Lombricultura o lombricomposteo es una biotecnología⁸ que utiliza, a una especie domesticada de lombriz, como una herramienta de trabajo.

Se construyen una serie de camas las cuales son el sitio designado para la crianza de lombrices y producción de humus de lombriz las cuales consisten en cajas generalmente de madera o concreto sobre la superficie terrestre las cuales contendrán el abono orgánico y todos los desechos destinados para la lombricultura. Estas son construidas de manera que poseen ranuras en los lados laterales para que cuando las lombrices hayan concluido el humus emigren hacia la cama más cercana (Lorian, 2001).

El ancho recomendable de las camas es máximo de 1,5 metros, el largo puede ser cualquiera, deben tener un pequeño canal recolector en ambos lados de la cama, por lo que deberá tener una ligera pendiente del centro hacia los lados, y una pendiente a lo largo de por lo menos el 1%, y contar con un colector al final de la pendiente para el humus líquido. La desventaja de esto último es que las lombrices emigran hacia el fondo

⁸ La biotecnología es la tecnología basada en la biología, especialmente usada en agricultura, farmacia, ciencia de los alimentos, ciencias forestales y medicina. Se desarrolla en un enfoque multidisciplinario que involucra varias disciplinas y ciencias.

excavando la tierra y huyen hacia un lugar desconocido donde será difícil encontrarlas (Ibídem, 2001).



Fig.3. Cama habitual para cultivar la lombricomposta (SAGARPA, 2002).

Se requiere al menos 500 m² de terreno para construir 20 camas de 1,5m x 5m x 0,5m situadas en toda el área del terreno con aprox. 7,5kg de lombrices por cama para el arranque del proceso. Este espacio requerido es el que se maneja actualmente según Lombricor SA de CV (2004), puesto que el area neta es de 150 m² y el resto se destina para pasillos los cuales son de 1,5 de lado entre camas.

La construcción de cada cama de este tipo se estima en aprox. \$ 4,124.43 según datos estimados de la Asociación Mexicana de Lombricultores, A. C. (AMEXL).

Cada cama al inicio del proceso contiene aprox. 9.375 lombrices los cuales producen diariamente un total de 103,5 kg de lombricomposta diaria (Lombricor SA de CV ,2004).

En el mercado, actualmente la bolsa de 5 kilogramos de dicho fertilizante en el mercado cuesta alrededor de \$30 mientras que una tonelada está en \$1.500. La ventaja de este producto es que no caduca, no pierde humedad y puede ser aplicado sin ningún tipo de protección debido a que es totalmente inocuo (Ibidem, 2004).

El pie de cría (1kg de lombriz) para un proyecto de lombricultura cuesta aproximadamente \$1.500 pesos y sirve para 0,5 m³ de producción con alimento suficiente y condiciones de clima y humedad adecuados (SAGARPA, 2008).

2.2.2.6 Aplicación del abono de lombriz

La cantidad de abono de lombriz por aplicar a un suelo en particular dependerá del análisis químico de este; sin embargo, un criterio general es el de aplicar de 2 a 4 ton/ha de lombricomposta para suelos con buen contenido de materia orgánica. El abono se incorpora con el último paso de rastra, en forma conjunta con la semilla o al momento del deshierbe y aporque⁹ (Ibídem, 2008).

2.3 Metodologías

2.3.1 QFD

El Modelo QFD (Quality Function Deployment) o Despliegue de la Función de la Calidad es una metodología utilizada para probar los conceptos iniciales del diseño del producto o proceso. Fue iniciada por Yoji Akao y Shigeru Mizuno en Mitsubishi Motors. Normalmente se utiliza como parte de la Ingeniería Concurrente¹⁰ (Craighill, A y J. Powell, 1996).

Este método es un proceso estructurado por medio de matrices, que toma los requerimientos del mercado (“la voz del cliente”) y las traduce en requerimientos técnicos (“la voz del ingeniero”) para cada etapa del desarrollo de productos o procesos; además de ser una herramienta de planeación, es un vehículo de comunicación. Se centra básicamente en la evaluación de alternativas de materiales, diseños, especificaciones y requerimientos según las necesidades técnicas (Lorian Matus, K., 2001).

⁹ Aporque es el acto de poner tierra al pie de las plantas, sea como lampa, sea con arados especiales de doble vertedera para darles mayor consistencia y así conseguir que crezcan nuevas raíces para asegurar nutrición más completa de la planta y conservar la humedad durante más tiempo.

¹⁰ Es un enfoque para la manufactura que permite el diseño y desarrollo simultáneo de productos, procesos y actividades de apoyo. Pretende que los desarrolladores, desde un principio, tengan en cuenta todos los elementos del ciclo de vida del producto, desde el diseño conceptual, hasta su disponibilidad incluyendo, calidad, coste y necesidades de los usuarios.

El uso de las matrices sirve de guía a través del diseño del proceso. Con esto, las compañías o ingenieros pueden producir nuevos productos o procesos; o mejorar los existentes, con periodos de desarrollo más cortos, a menor costo y con una elevada satisfacción del mercado (Ibídem, 2001).

Fases

El QFD es un proceso que debe ser adaptado de acuerdo a la situación particular de cada proyecto; la forma más común de esta metodología se desarrolla en cuatro fases en forma de filtro (Navajas Marín, M., 2008). Véase fig.4.

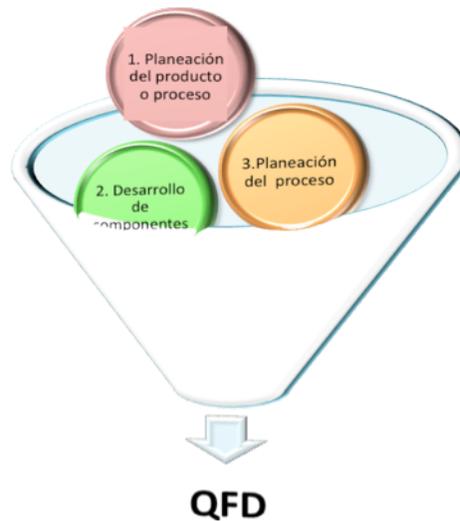


Fig. 4. Fases del Método QFD. Extraído de Mendoza (2006).

Fase 1: Planeación del producto o proceso. En esta etapa se realiza la “Casa de la Calidad”, la cual, por su forma, se usa para comparar los requerimientos que se deseen con las características técnicas del producto o proceso (Ibídem, 2008).

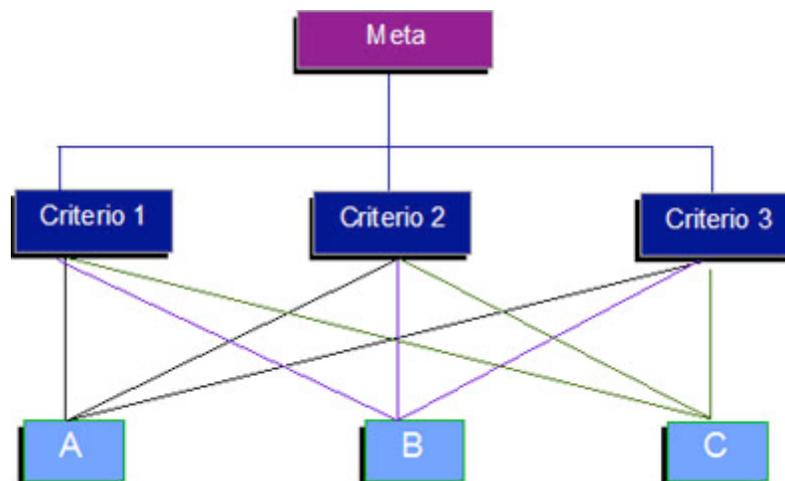
Fase 2: Desarrollo de componentes. De acuerdo a los requerimientos técnicos encontrados en la fase anterior, se pueden determinar las características necesarias que satisfacen los requerimientos de diseño así como sus valores meta (Ibídem, 2008).

Fase 3: Planeación del proceso. Aquí se buscan las actividades de manufactura que se usarán para el funcionamiento del proceso, obteniendo con ello una lista priorizada de parámetros de procesos claves, junto con sus valores óptimos (Ibídem, 2008).

Fase 4: Planeación de producción. En esta etapa se determinan cuatro tipos de requerimientos: requerimientos críticos de control, requerimientos de mantenimiento de producción, requerimientos a prueba de error y requerimientos de entrenamiento (Brisson, I. E. y Powell J. C., 1995, pp.67-98).

2.3.2 ANALISIS DE DECISIONES AHP

La idea básica del AHP es que la complejidad de una decisión se puede descomponer en una jerarquía, en la que el primer nivel corresponde a la meta y los niveles subyacentes a los criterios de decisión y las alternativas, ubicándose siempre estas últimas en el nivel inferior (Extraído de Herramientas administrativas de Investigación de operaciones, Taja, 2000). Por ejemplo, una estructura jerárquica con tres criterios para seleccionar una de tres alternativas (A, B o C) se ve así:



Una vez establecida la jerarquía, los criterios en cada nivel jerárquico se comparan por pares, usando una matriz de comparación y una escala numérica (de valores cardinales) que corresponde a expresiones verbales comúnmente usadas:

Importancia o preferencia	Valor cardinal
Igual	1
Moderada	3
Fuerte	5
Muy Fuerte	7
Extremadamente fuerte	9

En la escala anterior, los valores pares se asignan para denotar importancias o preferencia intermedias entre dos valores noes (por ejemplo, el valor de 2 corresponde a una importancia entre igual y moderada) (Ibidem, 2000).

2.3.2.1 Calculo del eigenvvalor y RC.

Para Gass y Rapcsak (2004), AHP descompone un problema complejo en jerarquías, donde cada nivel es descompuesto en elementos específicos. El objetivo principal se coloca en el primer nivel, los criterios, subcriterios y alternativas de decisión se listan en los niveles descendientes de la jerarquía. AHP analiza los factores que intervienen en el proceso de decisiones sin requerir que estos se encuentren en una escala común, convirtiéndola en una de las técnicas de decisión más empleada para resolver problemas socioeconómicos; ya que incorpora factores sociales, culturales y otras consideraciones no económicas en el proceso de toma de decisiones.

Los niveles de importancia o ponderación de los criterios se estiman por medio de comparaciones apareadas entre estos. Esta comparación se lleva a cabo usando una escala, la cual aparece en la lista de la Ec. (1).

$$S = \left\{ \frac{1}{9}, \frac{1}{8}, \frac{1}{7}, \frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 \right\} \quad (1)$$

En el caso de n atributos la comparación apareada del elemento i con el elemento j es colocado en la posición de a_{ij} de la matriz A de comparaciones apareadas, tal como se ilustra en (2).

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Los valores recíprocos de estas comparaciones son colocados en la posición a_{ji} de A , con la finalidad de preservar la consistencia del juicio. El decisor participante debe comparar la importancia relativa de un elemento con respecto a un segundo, usando la escala de 9 puntos mostrada en el cuadro 1. Por ejemplo, si el elemento 1 fue calificado con fuerte dominancia sobre el elemento 2, entonces en la posición a_{12} se coloca un 5 y recíprocamente en la posición de a_{21} se coloca $1/5$. Según Saaty (1992), una vez que se han ingresado los juicios correspondientes en la matriz de comparaciones apareadas, el problema se reduce al cálculo de eigenvalores y eigenvectores, los que representan las prioridades y el índice de consistencia del proceso respectivamente.

Por lo general se tiene que resolver la ecuación (3):

$$A * w = \lambda * w \quad (3)$$

Donde:

A = Matriz recíproca de comparaciones apareadas (juicios de importancia/preferencia de un criterio sobre otro)

λ = Máximo Eigenvalor de A

w = Eigenvector correspondiente a λ

Cuadro 1. Escala de 9 puntos para comparaciones apareadas

Importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos elementos contribuyen idénticamente al objetivo.
3	Dominancia débil	La experiencia manifiesta que existe una débil dominancia de un elemento sobre otro.
5	Fuerte dominancia	La experiencia manifiesta una fuerte dominancia de un elemento sobre otro.
7	Demostrada dominancia	La dominancia de un elemento sobre otro es completamente demostrada.
9	Absoluta dominancia	Las evidencias demuestran que un elemento es absolutamente dominado por otro.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios	Son valores intermedios de decisión.

Las ventajas del uso de la técnica AHP son reportadas por Beynon (2002) quien indica que existen al menos 3: 1. Se permite evaluaciones en las que existen factores de orden cualitativo. 2. Se obtiene pesos asignados a cada uno de los elementos, los cuales son usados como criterio de decisión. 3. El uso de computadoras permite conducir análisis de sensibilidad en los resultados. Otra de las ventajas del uso de AHP, que manifiestan Harker y Vargas (1987), es que esta técnica facilita el consenso entre las personas que actúan como decisores, cuando se trabaja en grupos, al facilitar la comunicación entre ellos. Según Condon (2003), AHP permite identificar y tomar en cuenta las inconsistencias de los decisores, ya que rara vez estos son consistentes en sus juicios con respecto a factores cualitativos. Así, AHP incorpora en el análisis un Índice de Consistencia (IC) y una Relación de Consistencia (RC), para medir la calidad de los juicios emitidos por un decisor. Se considera que un RC <0,1 es aceptable, en caso de que sea mayor, se debe pedir al decisor que haga sus valoraciones o juicios nuevamente.

$$IC = \frac{\lambda_{MAX} - n}{n - 1} \quad (4)$$

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad (5)$$

El índice RC está en función de IC y de IA, donde este último representa un Índice Aleatorio, estimado del promedio del IC de 500 matrices recíprocas positivas generadas de manera aleatoria (Saaty 1992). El RC es una medida de la relación del error cometido

por el decisor y el error aleatorio, este debe ser menor al 0,1 ó 10%. El cuadro 2 muestra los IA para diferentes números de atributos, los cuales son representados por *ny* este a su vez indica el tamaño de la matriz de comparaciones apareadas.

Por su parte Tung y Tang (1998) declaran que AHP tiene la capacidad de manejar problemas complejos de la vida real, ya que comparado con 5 modelos para determinar pesos y prioridades, se encontró que AHP produjo los resultados más confiables de todos los modelos probados.

Cuadro 2. Índices aleatorios de consistencia.

n	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

2.3.3 ANÁLISIS TAGUCHI

El objetivo de Taguchi es un buen diseño, es decir, un producto, sistema o proceso que trabaje bien en la presencia de influencias degradantes, productos que otorguen valor sin dañarse y servicios duraderos. Taguchi primero determina los factores de control que intervienen en el diseño, su interdependencia y luego genera una serie ortogonal especificando el número de experimentos que se requieren para llegar a la solución óptima. Esto se resume en tomar todas las combinaciones posibles de variables y reducirlas a una docena de experimentos que pueden determinar la vía más económica para alcanzar una meta. No sólo muestra cuál es el mejor camino sino que también dice cuál será el costo si se toma el incorrecto (Tsu, 1994).

La parte fundamental de la metodología ideada por el matemático japonés G. Taguchi es la optimización de productos y procesos, a fin de asegurar productos robustos, de alta calidad y bajo costo (Ibídem, 1994).

La metodología Taguchi consta de tres etapas:

- a) Diseño del sistema
- b) Diseño de parámetros
- c) Diseño de tolerancias

De estas tres etapas, la más importante es el diseño de parámetros cuyos objetivos son:

- a) Identificar qué factores afectan la característica de calidad en cuanto a su magnitud y en cuanto a su variabilidad.
- b) Definir los niveles “óptimos” en que debe fijarse cada parámetro o factor, a fin de optimizar la operación del producto y hacerlo lo más robusto posible.
- c) Identificar factores que no afectan substancialmente la característica de calidad a fin de liberar el control de estos factores y ahorrar costos de pruebas.

Para lograr lo anterior se ha manejado una serie de herramientas estadísticas conocida como diseño de experimentos, tratadas anteriormente.

Taguchi ha propuesto una alternativa no del todo diferente que se conoce como: Arreglos Ortogonales y las Gráficas Lineales.

La herramienta utilizada normalmente son diseños Factoriales fraccionados, sin embargo cuando el número de factores se ve incrementado, las posibles interacciones aumentan, así como la complicaciones para identificar cuáles son las condiciones específicas a experimentar.

Un arreglo ortogonal se puede comparar con una replicación factorial fraccionada, de manera que conserva el concepto de ortogonalidad y contrastes. Un experimento factorial fraccionado es también un arreglo ortogonal (Ibídem, 1994).

Taguchi desarrolló una serie de arreglos particulares que denominó:

La $(b)^c$

Donde:

a = Representa el número de pruebas o condiciones experimentales que se tomarán.

Esto es el número de renglones o líneas en el arreglo.

b = Representa los diferentes niveles a los que se tomará cada factor.

c = Es el número de efectos independientes que se pueden analizar, esto es el número de columnas.

Arreglos ortogonales para experimentos a dos niveles

En esta sección, se analiza qué son, cómo se usan y cuáles son los arreglos ortogonales más importantes para experimentos en los que cada factor toma dos niveles.

Un arreglo ortogonal es una tabla de números. Como ejemplo de un arreglo ortogonal tenemos el siguiente:

FACTORES (c)				
No. (a)	A	B	C	Resultado
1	1	1	1	Y1
2	1	2	2	Y2
3	2	1	1	Y3
4	2	2	1	Y4

1 , 2 = Niveles de los Factores (b)

De acuerdo con la notación empleada por Taguchi al arreglo mostrado como ejemplo, se le llama un arreglo L4, por tener cuatro renglones.

En general, para un arreglo a dos niveles, el número de columnas (efectos o factores) que se pueden analizar, es igual al número de renglones menos 1.

Taguchi ha desarrollado una serie de arreglos para experimentos con factores a dos niveles, los más utilizados y difundidos según el número de factores a analizar son:

No. de factores a analizar	Arreglo a utilizar	No. de condiciones a probar
Entre 1 y 3	L4	4
Entre 4 y 7	L8	8
Entre 8 y 11	L12	12
Entre 12 y 15	L16	16
Entre 16 y 31	L32	32
Entre 32 y 63	L64	64

Analisis Señal/ Ruido

De todos los factores que afectan un proceso, se pueden extraer dos grupos:

- Factores de ruido. Son aquellos que no podemos, queremos o deseamos controlar, y más bien deseamos que nuestros procesos y productos sean insensibles a su impacto.
- Factores de diseño. Son aquellos que si podemos controlar en nuestro proceso de producción, y deseamos encontrar a qué nivel operarlos, a fin de optimizar el producto o proceso, esto es, que los productos sean de alta calidad y bajo costo (Tao Kiang, 2000).

El análisis se realiza de la siguiente manera:

1. Dentro de los factores a estudiar, separe los de ruido y los de diseño o control.
2. Dentro de los factores de diseño, identifique aquellos que afectan la variabilidad del proceso. Utilícelos para minimizar la variabilidad.
3. Dentro de los factores de diseño, identifique aquellos que afectan la media, sin afectar la variabilidad. Utilícelos para optimizar la media.
4. Identifique aquellos factores de diseño que no afectan ni media ni variabilidad. Utilícelos para reducir costos.

Es deseable tener una cantidad o expresión que de alguna manera, involucre media y variación, o que por lo menos, ayude a que nuestras conclusiones sean más confiables.

Esta cantidad ya existe y se llama índice señal ruido, denotado como SN o SR de aquí en adelante.

EL ÍNDICE SE DISEÑÓ DE TAL MANERA, QUE PRODUCTOS MÁS ROBUSTOS SIEMPRE TENGA UN MAYOR VALOR DEL ÍNDICE S/N.

En seguida se muestran los tres casos:

Caso nominal es mejor

Suponga que se tienen “r” lecturas, $y_1, y_2, y_3, \dots, y_r$, el índice SN a utilizar es:

$$SN = 10 \log \left[\frac{(S_m - V_m)}{r} \sqrt{V_m} \right] \text{ donde } S_m = (y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_r) / r$$

$$V_m = \left[\frac{(y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + \dots + y_r^2)}{r} - S_m^2 \right] / (r - 1)$$

Se reconoce a V_m como la varianza de los “r” datos. S_n estima el logaritmo de base 10 de la relación (media/desviación estándar)².

En ocasiones se utiliza:

$$SN = -10 \log V_m$$

Caso menor es mejor

Para el caso de menor es mejor, el índice recomendado es:

$$SN = -10 \log \left[\frac{(y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_r)}{r} \right]$$

Esta cantidad estima el logaritmo de base 10 de (media² + varianza)

Caso mayor es mejor

Para el caso mayor es mejor se recomienda:

$$SN = -10 \log \left[\frac{(1/y_1)^2 + (1/y_2)^2 + (1/y_3)^2 + \dots + (1/y_r)^2}{r} \right]$$

Esta cantidad funciona de una manera similar al caso anterior, pero con el inverso.

Maximizar una cantidad es equivalente a minimizar el inverso.

El uso de logaritmos pretende hacer la respuesta más “lineal” y el signo negativo es para que siempre se maximice el índice SN. Se multiplica por 10 para obtener decibeles.

En un experimento señal ruido, generalmente se incluye un grupo de factores de ruido, contra los que específicamente se desea hacer robusto el producto, y que se pueden controlar durante un experimento.

Un diseño de experimentos para un análisis señal a ruido consiste de dos partes, un arreglo ortogonal o matriz de diseño o interno y un arreglo ortogonal o matriz de ruido o externo. Las columnas de una matriz de diseño representan parámetros de diseño. Las columnas de la matriz de ruido representan factores de ruido.

CAPÍTULO III.METODOLOGÍA

3.1 Despliegue de la función de la calidad (QFD)

3.1.1 Matriz de planeación del producto o Casa de la Calidad

La médula central del Despliegue de la Función de la Calidad (QFD) radica en la 1ª fase, que es la Matriz de planeación del producto o Casa de la calidad, nombrada así por la forma que adaptan sus matrices. Ver fig. 5.

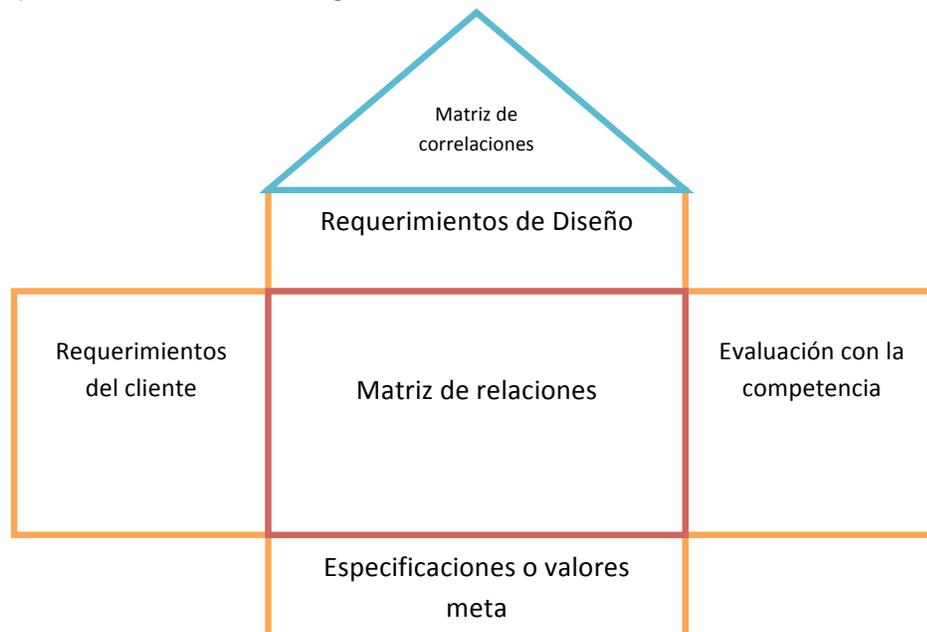


Fig. 5. Casa de la calidad o Matriz de planeación del producto. Fuente: Mendoza, 2005.

Enfocada a nuestro proyecto tenemos:

Requerimientos del cliente

Los requerimientos del cliente son características o deseos que el consumidor expresa tuviera algún producto. Generalmente se acude con los consumidores y se les aplican herramientas de tipo cualitativas como cuestionarios, encuestas, etc. Sin embargo, en este caso, el producto final en cuestión es la lombricomposta, entonces, los requerimientos medibles están en función de las normas de madurez y calidad puesto

que los agricultores solo buscan que el producto cumpla con sus funciones de la mejor manera al menor costo.

Por otro lado, en esta misma sección tenemos los requerimientos del recipiente de producción. Con ayuda de la literatura existente se identificaron las debilidades del proceso tradicional las cuales siguen presentes y se pretenden mejorar o eliminar. Dichos defectos se convirtieron en requerimientos o necesidades del proceso para obtener el producto final.

Requerimientos de Diseño

Los requerimientos de diseño son alternativas o respuestas ingenieriles a los requerimientos del cliente.

1. Para el requerimiento de diseño de **humus tamizado** se propuso una tamizadora o criba de mallas conectadas sucesivamente para cuando la lombricomposta madurara, simplemente se hiciera pasar a través de estas mallas. Dichas mallas deben ser de apertura menor a 5mm. debido a la presentación de tamaño de grano según NMX-FF-109 SCFI-2007.
2. Con respecto al requerimiento de **humus maduro de 1ª calidad** se proponen estudiar y realizar las especificaciones fisicoquímicas de la NMX-FF-109-SCFI-2007, la cual establece las 9 técnicas de laboratorio que se deben ejecutar con sus rangos permisibles para determinar la calidad y madurez de lombricomposta como producto final. Ver tabla 2.

Característica	Valor
Nitrógeno total	De 1 a 4% (base seca)
Materia orgánica	De 20% a 50%(base seca)
Relación C/N	≤20
Humedad	De 20 a 40% (sobre materia húmeda) ¹¹
Ph	de 5.5 a 8.5 ¹²
Conductividad eléctrica ¹³	≤ 4 dS m ⁻¹
Capacidad de intercambio catiónico	> 40 cmol kg ⁻¹
Densidad aparente sobre materia seca (peso volumétrico)	0.40 a 0.90 g mL ⁻¹
Materiales adicionados	Ausente

Tabla 2. Especificaciones fisicoquímicas que debe cumplir la lombricomposta en estándares de calidad (NMX-FF-109-SCFI-2007, 2007). Sin embargo, Pardini, (2000), señala que la calidad de lombricomposta comercial puede ser medida solo por pH, conductividad eléctrica, biomasa y nitrógeno total.

Además que también para que una lombricomposta sea de 1ª calidad, se deben controlar los parámetros de supervivencia de la lombriz, las cuales según Lombricor SA. de CV. Se establecen en la tabla 2. Dichas técnicas se ejecutan en la fase 2. Ver tabla 3.

Parámetro	Rango
Sombra	80 - 90%
Temperatura	19 – 22 °C
Humedad	70 - 80%
pH	7 a 9
Conductividad eléctrica ¹⁴	≤ 1 dS m ⁻¹
Sustratos balanceados, blandos y húmedos como frutas y verduras, sin cítricos ni materia inorgánica. ¹⁵	23.44 kg de sustrato por 1 kg de lombrices. ¹⁶

Tabla 3. Parámetros de supervivencia de la lombriz roja californiana. (Lombricor, 2008)

3. El tercer requerimiento de producto llamado **Humus libre de lombrices, materia orgánica o materiales extraños como plásticos, vidrios, etc.** es un requerimiento de la NMX-FF-109-SCFI-2007, que se puede solucionar con una

¹¹ Algunos materiales de origen vegetal, como la pulpa de café, tienen una capacidad higroscópica mayor a los equivalentes producidos con residuos de origen animal, por lo que para este caso se acepta una humedad hasta de 60%.

¹² Se prefiere material con un pH de 7. El material procedente de zonas tropicales puede tener pH menor a 7 y los materiales provenientes de zonas áridas pueden tener pH mayor a 7.

¹³ dS m⁻¹ = decisiemens X metro

¹⁴ dS m⁻¹ = decisiemens X metro

¹⁵ Este tipo de alimentación se provee generalmente a lombrices adultas

¹⁶ Esta proporción se calculó en base a datos básicos proporcionados por el autor. Ver desglose en Anexo 2.

inspección de juicio después del cernido. Esta inspección es definida por Shingeo Shingo como aquella que consiste en separar los productos defectuosos de aquellos aceptables en base a juicios de valor. Así, después del cernido, pueden permanecer remanentes extraños, los cuales, debido a la homogeneidad de la lombricomposta, se pueden extraer manualmente en base a la observación.

4. El requerimiento ***Humus libre de olores desagradables como abonos animales*** se propone solucionarlo con el control de las condiciones de supervivencia principalmente la selección de los sustratos balanceados, blandos y húmedos como frutas y verduras.
5. El requerimiento ***Humus color café oscuro a negro*** es una especificación que para obtenerla, se deben cumplir los rangos de las técnicas establecidas en NMX-FF-109-SCFI-2007, pues esta característica es propia de la madurez del producto. Además, que la inspección de juicio después del cernido contribuiría con la verificación de esta característica.
6. El requerimiento llamado ***Humus sin presencia de semillas germinadas o plantas*** es un requisito normalizado que se pretende cumplir con en control de humedad en el producto final, el cual se establece en un 20-40%, el cernido para separar semillas presentes y el control de la humedad y temperatura en el proceso los cuales son del 70-80% y 19-22°C respectivamente.

Por otro lado, con respecto a las necesidades de las camas de concreto de producción tradicional, los defectos identificados según García (2009), ITVO (2008) y productores tradicionales por observación propia se tienen las siguientes necesidades o requerimientos.

7. El requerimiento ***Recipiente que evite la fuga de lombrices a rumbos desconocidos*** necesita que se propongan, construyan y experimenten con

modelos prototipo como mínimo con 3 (Freund,2006). Sin embargo, se plantearon 10 geometrías que se muestran en la fase 2 del QFD. La construcción de los modelos permitirá determinar la geometría apropiada, las condiciones fisicoquímicas de supervivencia y de migración que eviten la fuga o controlen la migración de las lombrices.

8. Para el requerimiento **Recipiente de bajo costo, de materiales no tóxicos y compatibles con las lombrices** se propone evaluar los materiales posibles de acuerdo a los existentes mediante el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) el cual permite tomar decisiones mediante alternativas como materiales que correspondan a criterios específicos como corrosividad, toxicidad, costos, etc. Para la compatibilidad de los materiales con las lombrices, es necesario realizar experimentos con los modelos prototipo y las lombrices. Además, de hacer pruebas fisicoquímicas para verificar calidad.
9. En el requerimiento **Recipiente que conserve las condiciones de supervivencia de las lombrices** se propone realizar también experimentos exploratorios con los modelos prototipo variando y leyendo factores como pH, humedad, sombra, conductividad eléctrica y alimento. Para la lectura de factores como pH y conductividad que son los más importantes (Espinoza, 2006), se propone la implementación de sensores que puedan medirlos.
10. El requerimiento siguiente, **Recolector de lixiviados**, se consideró como una necesidad puesto que en el proceso tradicional los lixiviados se filtran por el suelo afectando las propiedades de éste, pues debido a la carga orgánica son contaminantes para los suelos, pero aceleran el proceso de lombricomposteo si se volviesen a vaciar. Por ello, es importante recolectarlos para realizar un proceso de reciclaje. Se propone la construcción de los modelos prototipo para poder ubicar dónde se puede colocar o de que forma puede captar mejor los lixiviados.

Además, que también se necesitan evaluar los materiales óptimos para su construcción debido a las propiedades del líquido, por ello, se deben evaluar mediante el AHP de decisiones de materiales.

11. Para el requerimiento 11 llamado ***Recipiente libre de plagas y depredadores*** se deben modelar los prototipos para que el diseño además de funcional y compatible, este exento de plagas o depredadores como hormigas, aves, topos, víboras, etc. que puedan comer las lombrices. También interviene la evaluación de materiales mediante el AHP, puesto los materiales deben adaptarse a la geometría del prototipo.

12. El requerimiento el cual establece que el ***Recipiente debe encerrar olores***, se relaciona con el anterior puesto que se debe diseñar un prototipo que no deje escapar los malos olores debido al proceso de descomposición del alimento. Se deben evaluar materiales, diseño y condiciones fisicoquímicas del proceso para controlar parámetros.

13. Y el último requerimiento llamado ***Recipiente que reduzca espacios respecto al proceso tradicional*** se puede solucionar de igual manera experimentando con modelos prototipo.

Evaluación

El apartado de evaluación se refiere a la calificación que se le asigna a los requerimientos del producto tanto al producto propio como al de la competencia más fuerte o más cercana. Esta calificación está escalada del 1 al 5, que va de lo más carente a lo más completo en escala gradual ascendente.

Para el producto propio se identificó con el símbolo ∫. Para el de la competencia se identificó con el símbolo €. Como competencia se consideró el proceso tradicional

existente, el cual se practica actualmente por agricultores, Instituciones y empresas vigentes. Ver marco teórico.

Requerimiento	Evaluación					Explicación
	1	2	3	4	5	
Humus de lombriz tamizado.	€				∫	En el tradicional a la lombricomposta manualmente se extraen los residuos sólidos y lombrices visibles. Con la tamizadora se obtiene lombricomposta libre de residuos sólidos con un tamaño de grano de 3,86 mm. de diam.
Humus maduro de 1a calidad				€	∫	Generalmente, la lombricomposta comercial es de 2a y 3a calidad puesto que solo cumple especificaciones de humedad, densidad y pH. En este producto se pretende cumplir también nitrógeno y biomasa para obtener 1a calidad.
Humus libre de lombrices, materia orgánica o materiales extraños como plásticos, etc.		€			∫	En el propuesto, aparte del tamizado, se propone una inspección de juicio después del cernido para extraer todo material extraño. En el tradicional aun existe material extraño presente en proporciones del 10-15%.
Humus libre de olores desagradables como abonos animales				€	∫	En el tradicional, se acostumbra utilizar el abono de ganado vacuno y cunicola como sustrato, en el propuesto, se pretende aprovechar los residuos orgánicos provenientes de la UTM, los cuales en su mayoría son frutas y verduras.
Humus color café oscuro a negro					∫€	En ambos procesos se obtiene la misma característica física.
Humus sin presencia de semillas germinadas o plantas			∫€			Para cuidar esta característica, se debe controlar la humedad del producto (20-40%) para evitar la germinación de semillas presentes. Sin embargo, no se logra una calificación de 5 puesto que el sustrato suministrado son frutas y verduras.
Recipiente que evite la fuga de lombrices a rumbos desconocidos					∫	En el propuesto, el mecanismo del modelo apilado, no permitirá de ninguna forma la fuga de lombrices, puesto que el rumbo mas cercano es otra cama. En el tradicional ni siquiera se ha considerado esta cuestión, la fuga es masiva.
Recipiente de bajo costo, de materiales no tóxicos y compatibles con las lombrices					∫€	En el propuesto, análisis AHP determinan los materiales adecuados al menor costo y los experimentos exploratorios determinan la compatibilidad con las lombrices. En el tradicional, los materiales actuales como el concreto no afecta negativamente a las lombrices y debido a la durabilidad del material el costo es relativamente bajo en el tiempo, sin embargo, los costos incurren en producción de lombricomposta y pérdida de lombrices por fuga.
Recipiente que conserve las condiciones de supervivencia de las lombrices		€			∫	Las condiciones de supervivencia están en función de parámetros cuantificables como pH, conductividad eléctrica, humedad, sombra, temperatura y sustratos suministrados. Todos se pueden controlar en el propuesto. Los primeros 2 con sensores, humedad por proceso de riego, sombra con una malla de polietileno, temperatura con termopar y los sustratos por medio de inspección. En el tradicional solo se controlan pH, humedad y temperatura.
Recipiente recolector de lixiviados				€	∫	En el tradicional, se construyen canales donde se recolectan lixiviados, sin embargo, son de madera generalmente y se filtran al suelo contaminando. En el propuesto, con ayuda de las matrices de materiales, se puede seleccionar alguno con propiedades anticorrosivas, no porosas, etc. como los polímeros.
Recipiente libre de plagas y depredadores					∫	En el propuesto se tienen recipientes apilados de un material artificial cubiertos por malla sombra, lo que evita la reproducción, propagación o presencia de plagas o depredadores como aves, hormigas o reptiles y escape de olores desagradables En el tradicional, no hay cuidado de esto al respecto ya que son camas extendidas en la tierra, en contacto directo con el suelo al aire libre.
Recipiente encierre olores					∫	
Recipiente que reduzca espacios respecto al proceso tradicional					∫	

RELACIONES		
●	9	Relación fuerte
0	3	Relación media
Δ	1	Relación negativa

Factores que pasaron por el filtro de Pareto		Importancia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Tamizadora con mallas de separación.	4	●									
2	Especificaciones fisicoquímicas de la NMX-FF-109-SCFI-2007 para producto final	5		●							●	
3	Modelos prototipo para la producción	5			●		●				0	
4	Implementación de sensores de parámetros controlables	3		●		●				●		
5	Experimentos exploratorios en modelos a escala con ANOVA	5			●		●				0	0
6	Análisis de decisiones para materiales.	4	Δ		●		0	●				
7	Sombra	4							●			
8	Conductividad eléctrica	4								●		

Mallas de acero inoxidable de 6.27mm, 4.27mm y 3.66 mm.

Análisis fisicoquímicos: pH, C.E, biomasa y nitrógeno total.

Esferoides obtenidos por reacciones de fibra de vidrio con resina epoxi.

Sensor USB para pH con sensibilidad de 0 a 14

Humedad de 1 70-80%, sistemas con bilabios, triturados y biobal

Proceso analítico jerárquico (AHP) para materiales.

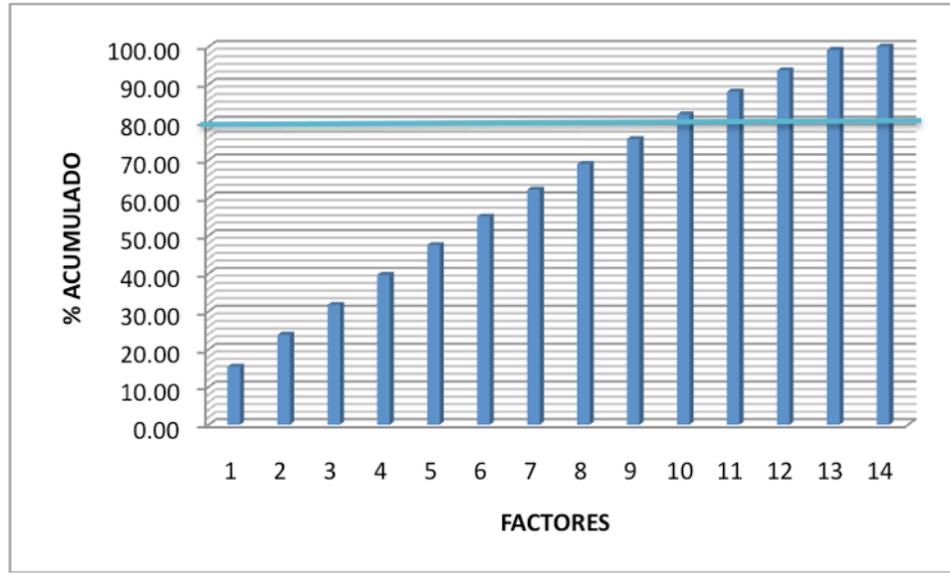
Malla sombra de polietileno al 80%.

Sensor de C.E para baja salinidad de hasta 20 µS

Acomodo de recipientes aptados

Modelo de esferoides aptados de fibra de vidrio a una distancia de 9 cm.

DIAGRAMA PARETTO



Grafica 3. Factores de gráfica Pareto para fase 1. Relación 80/20. Elaboración propia

Datos ordenados	%	Datos acumulados	% acumulado	
243	15.28			
135	8.49	243	15.28	
126	7.92	378	23.77	
126	7.92	504	31.70	
125	7.86	630	39.62	
120	7.55	755	47.48	
113	7.11	875	55.03	
108	6.79	988	62.14	
105	6.60	1096	68.93	
103	6.48	1201	75.53	
96	6.04	1304	82.01	
90	5.66	1400	88.05	
86	5.41	1490	93.71	
14	0.88	1576	99.12	
TOTAL	1590	100	1590	100

Tabla 4. Factores ponderados de gráfica Pareto para fase 1. Relación 80/20. Elaboración propia

3.1.2 Matriz de desarrollo de componentes

Para determinar los componentes de los factores antes filtrados mediante Pareto, se llevaron a cabo diversos análisis, experimentos y metodologías que se describirán a continuación.

Factores filtrados

1. Para el factor llamado ***Tamizadora con mallas de separación*** se proponen como componentes las mallas de aperturas: 6,27 mm. de diam., 4,27 mm. de diam. y 3,86 mm. de diam. en alambre de acero inoxidable rizado de calibre 14, 16 y 18 respectivamente. Se seleccionaron mallas de acero inoxidable debido a que el medio en el que se someterán es húmedo. Ver análisis de materiales en anexo 2b. El alambre es rizado debido a que en los experimentos exploratorios se observó que al momento de pasar por los alambres, los filos de estos las lastimaba.

Lorian (2002), establece que las medidas máximas de la lombriz roja californiana son de hasta 6-9 cm. de largo y 5-7 mm. de diam. (considerando adultas) por lo tanto, la malla de 6.27 mm. se coloca al inicio de la criba la malla ya que se desean separar primero las lombrices del producto. Una vez tamizada de lombrices adultas, la lombricomposta pasa por otro filtro de 4,27 mm. para separar lombrices mas pequeñas y residuos orgánicos que en ocasiones quedan remanentes. Pardinas (2001) establece que el tamaño de partícula de residuos sólidos orgánicos es menor a 0,5 cm, luego que suelen quedar residuos como huesos, troncos o material extraño como plásticos los cuales son necesarios extraer para presentación del producto. Después, se hace pasar por una malla de 3,86 mm. ya que este tamaño de grano es el requerido para humus de 1ª calidad según Lombricultura 21 SA. De CV. (2000).

2. Para el factor **Especificaciones fisicoquímicas de la NMX-FF-109-SCFI-2007 para producto final** se montó el lombricomposteo. Para ello, se adquirió lombriz roja californiana, suelo de la zona de invernadero de la UTM, se hizo el precomposteo de los desechos obtenidos en la UTM, se maduró, se obtuvo la lombricomposta final y se le hicieron los análisis respectivos.

3.1.2.1 ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS

ANÁLISIS DE SALINIDAD Y FERTILIDAD PARA SUELOS

Se analizaron las propiedades de suelo mediante estudios de laboratorio. Esto, con la finalidad de que cumpla con las características de salinidad y fertilidad adecuadas para la sobrevivencia de las lombrices para el lombricomposteo.

Dichos estudios están contemplados en la NOM-021-RECNAT-2000¹⁷ que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de los suelos, estudios, muestreo y análisis.

Muestreo de Suelo

1. La unidad de muestreo fue el área destinada a compostaje en la UTM.
2. La ubicación del sitio de muestreo se evaluó mediante el método zig-zag. Este método se inicia por un lado del terreno, escogiendo al azar el punto de partida para definir el plano de muestreo que cubra homogéneamente la unidad de muestreo. Se aplica a terrenos homogéneos con superficies no mayores a 10 has.
3. La profundidad del muestreo se realizó en una distancia de 20-30 cm. Ya que esta profundidad es recomendable donde la función objetivo es determinar la fertilidad de los suelos (NOM-021-RECNAT-2000, 2000).

¹⁷ Descripción detallada en Anexo 2.

4. Las muestras fueron simples o individuales. El número fue de 3 debido a la homogeneidad del terreno. Para los análisis de laboratorio, se hicieron 4 veces, sin embargo, solo evaluaron por triplicado, es decir, un total de 9 muestras debido a que se omitió la que arrojó valores mas alejados. Cada muestra fue de 500 grs. removiendo todo residuo sólido orgánico visible.
5. Se identificaron de la siguiente manera:

Suelos	Muestra triplicada	Denominación
Suelo 1	Suelo 1.1	El numero entero indica el suelo, el numero decimal indica la iteración de la muestra.
	Suelo 1.2	
	Suelo 1.3	
Suelo 2	Suelo 2.1	
	Suelo 2.2	
	Suelo 2.3	
Suelo 3	Suelo 3.1	
	Suelo 3.2	
	Suelo 3.3	

Tabla 5. Identificación de las muestras de suelo. Fecha: 01-octubre-08.

6. Fecha de colecta del 01-octubre-2008.
7. Se dejaron secar al aire libre extendidas en papel kraft durante 5 días para obtener un buen secado.
8. Según la Norma referente al NOM-021-RECNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de los suelos, estudios, muestreo y análisis, las muestras secas se tamizan con una malla de 5mm. Para análisis posteriores, se volverá a tamizar con otras mallas.



Fig.6.1



Fig. 6.2



Fig. 6.3

Figs. 6.1, 6.2 y 6.3. En la fig. 6.1 se observa como se recibió la muestra en el laboratorio el día 06 de octubre del 2008. En la fig. 6.2 las muestras previamente secadas, se tamizaron con la malla de 5mm. En la fig. 6.3 se muestra un comparativo entre el suelo original contra el tamizado.

9. Haciendo referencia a la NOM-021-RECNAT-2000, para evaluar fertilidad y salinidad del suelo se deben ejecutar las siguientes técnicas: Ph y conductividad eléctrica.

DETERMINACIÓN DE Ph

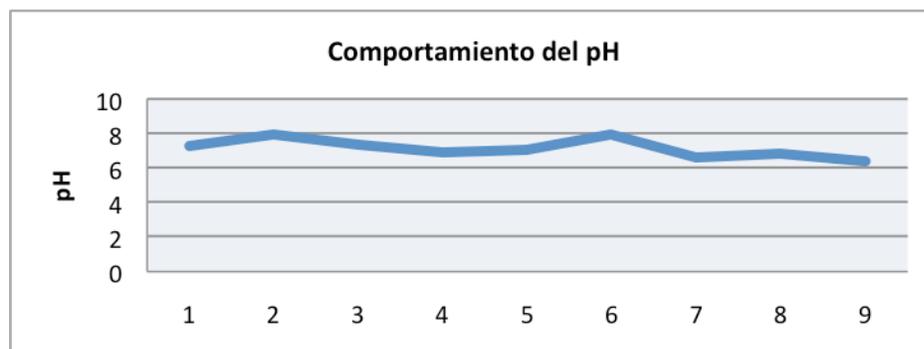
Resultados:

Muestra	Ph
Suelo 1.1	7,24
Suelo 1.2	7,93
Suelo 1.3	7,38
Suelo 2.1	6,89
Suelo 2.2	7,02
Suelo 2.3	7,94
Suelo 3.1	6,64
Suelo 3.2	6,84
Suelo 3.3	6,38

Tabla 6. Determinación de pH en las muestras de suelo. Fecha: 06-octubre-08.

Muestras	Media	Varianza	Desv. Estándar
1	7.52	0.13	0.36
2	7.28	0.32	0.57
3	6.62	0.05	0.22
Total:	7.14	0.29	0.53

Tabla 7. Comportamiento estadístico del pH en las muestras de suelo. Fecha: 06-octubre-08.



Gráfica 4. Comportamiento de pH en las muestras de suelo. Fecha: 06-octubre-08.

En la tabla anterior se puede mostrar que la mayoría de las muestras poseen un grado de alcalinidad casi neutro pues son cercanos a un Ph de 7. En el rango de Ph de 6,5 a 7 el proceso de fijación simbiótica del nitrógeno alcanza su máxima eficiencia. Ver Tabla 6. Además en este rango el P, Ca, Mg y Mo presentan su máxima disponibilidad, lo que aumenta permeabilidad y aireación en el suelo.



Fig. 7. Prueba de pH mediante Potenciometro de sensor de vidrio.

Clasificación	Ph
Fuertemente ácido	<5
Moderadamente ácido	5.1 – 6.5
Neutro	6.6 – 7.3
Medianamente alcalino	7.4 – 8.5
Fuertemente alcalino	>8.5

Tabla 8. Clasificación de pH para fertilidad de suelos. Fuente: (NOM-021-RECNAT-2000,2000).

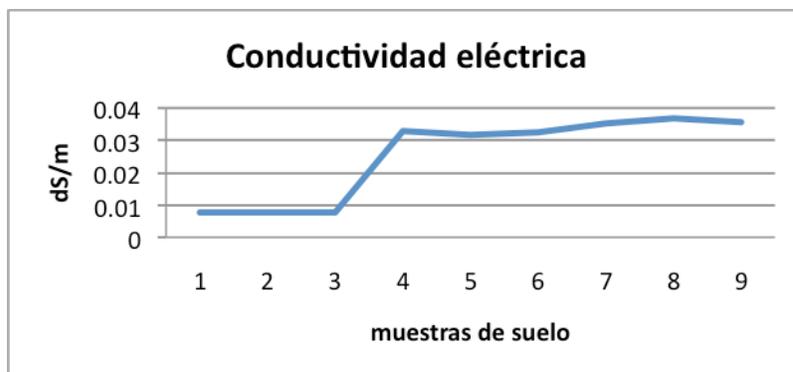
DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Muestra	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/m}$) ¹⁸
Suelo 1.1	780
Suelo 1.2	769
Suelo 1.3	774
Suelo 2.1	3.24 ¹⁹
Suelo 2.2	3.15
Suelo 2.3	3.21
Suelo 3.1	3.50
Suelo 3.2	3.67
Suelo 3.3	3.52

Tabla 9. Determinación de conductividad eléctrica en las muestras de suelo. Fecha: 06-octubre-08.

¹⁸ La unidad de la conductividad eléctrica es el **S/m** (**siemens** por **metro**). Consultar Anexo 1.

¹⁹ Debido a la alta concentración de sales en la solución, se agregó 100 ml más de agua desionizada. Extracto 1:2 tanto en la muestra 2 y 3. Consultar 1.2 Conductividad Eléctrica en Anexo 1.



Gráfica 5. Comportamiento de conductividad eléctrica en las muestras de suelo. Fecha: 06-octubre-08.

Muestras	Media	Varianza	Desv. Estandar
1	0,01	0	5×10^{-5}
2	0,03	2×10^{-7}	4×10^{-4}
3	0,04	9×10^{-7}	9×10^{-4}
Total:	0,03	1.7×10^{-5}	1.3×10^{-3}

Tabla 10. Comportamiento estadístico en ds/m de la conductividad eléctrica en las muestras de suelo. Fecha: 06-octubre-

Interpretación de conductividad eléctrica

CE dS m^{-1} a 25°C	Efectos
< 1.0	Efectos despreciables de la salinidad
1.1 - 2.0	Muy ligeramente salino
2.1 - 4.0	Moderadamente salino
4.1 - 8.0	Suelo salino
8.1 - 16.0	Fuertemente salino
> 16.0	Muy fuertemente salino

Tabla 11. Parámetros de conductividad eléctrica en suelos. Fuente: (NOM-021-RECNAT-2000,2000).

En las muestras 2 y 3, la conductividad eléctrica fue casi 4 veces más que la muestra 1. Esto expresa que los suelos de esta zona que es donde se concentraban mas ingredientes orgánicos son más salinos, sin embargo, todas estas concentraciones según la Tabla 10, tienen efectos despreciables de la salinidad pues son menores a 1.0 ds/m, lo que significa que las plantas que pueden crecer aquí, no son afectadas de manera negativa por sales minerales, pues es rico en materia orgánica. Esto es bueno, ya que un exceso en sales,

causa problemas de manejo de los suelos afectan el desarrollo de los cultivos susceptibles a ellos y disturban las propiedades físico – químicas del suelo (Núñez, 1981). Ver Anexo 2.

ANÁLISIS DEL PROCESO DE LOMBRICOMPOSTEO

Precomposteo

Se obtuvieron residuos orgánicos tales como frutas y verduras diversas provenientes de la unidad habitacional de la UTM. Se realizaron dos lotes, uno por cada recipiente. A cada recipiente se le nombró como Lote 1 y Lote 2.

Cabe mencionar que antes de realizar el vaciado de las frutas y verduras, se llevó a cabo un precomposteo. La importancia de conocer el tiempo de precomposteo estriba en que a partir de este momento se puede realizar la siembra de la lombriz a este sustrato ya que se puede garantizar la sobrevivencia de la misma; es decir, existen las condiciones fisicoquímicas en las cuales la lombriz no morirá, además de contar con su fuente de alimento.

Es el tiempo de precomposteo donde se observan las mayores discrepancias en cuanto resultados obtenidos en diferentes reportes consultados. Aguilar, (1997) reporta un periodo de precomposteo de 10 a 20 días según el sustrato utilizado, Farell, (1998), refiere solo a 10 días, Oropeza, (2000) reporta un periodo de 2 semanas al igual que Santa María, (1996), mientras que Hernández, (1996), reporta un periodo de 80 días.

Con base en lo anterior, se observa que no se cuenta con un registro exacto del tiempo de precomposteo, en el presente trabajo se estableció dicho periodo mediante la medición de la temperatura desde el inicio del precomposteo al momento de llegar a una estabilización de la temperatura, se considera que la etapa termofílica ha concluido y por lo tanto la adecuada para la incorporación de la lombriz. Según Santa María, (1996) valores inferiores a 25°C son las adecuadas.

Fragmentación de los residuos orgánicos sólidos

Los desechos orgánicos los cuales, se fragmentaron en materia con volumen menor.

Se obtuvieron dos tallas de los Residuos Sólidos Orgánicos:

- Textura fina para el lote 1 que comprendía una talla aproximada de 10 mm. mediante una molienda con un extractor de jugos marca Moulinex y
- Textura gruesa para el lote 2 que comprendía una talla aproximada de 1-3 cm², la fragmentación se realizó con un cuchillo casero.



Fig. 8. Fragmentación de los residuos sólidos. Fecha 07-Agosto-2008

Para esta actividad se decidió utilizar recipientes de plástico para lograr que los residuos no se esparcieran y de algún modo, tener un mejor control sobre ellos, estos recipientes totalmente ranurados (Fig. 8.) tienen las características de no interferir en el proceso del precomposteo, ya que la aireación, el contacto con el agua de lluvia y la incidencia solar no obstaculicen el proceso.

La humedad de los residuos se controló en forma cualitativa durante todo el proyecto, es decir, los residuos sólidos orgánicos se mantuvieron húmedos mediante riegos con agua, tratando de que estos no llegaran a secar.

La medición de la temperatura se llevó a cabo cada día en un horario de 8:00 a 8:30 horas antes que la radiación solar influyera en la temperatura de cada lote, pues las mediciones no hubieran sido confiables.

Desarrollo Técnico.

Volumen

Al término de 8 días, considerando que se inició el 09 de enero del 2009, el volumen disminuyó un 20% en los lotes 1 y 2 al efectuarse la molienda de los residuos sólidos orgánicos. Al final del tratamiento el volumen disminuyó el 50%. (Fig. 9).

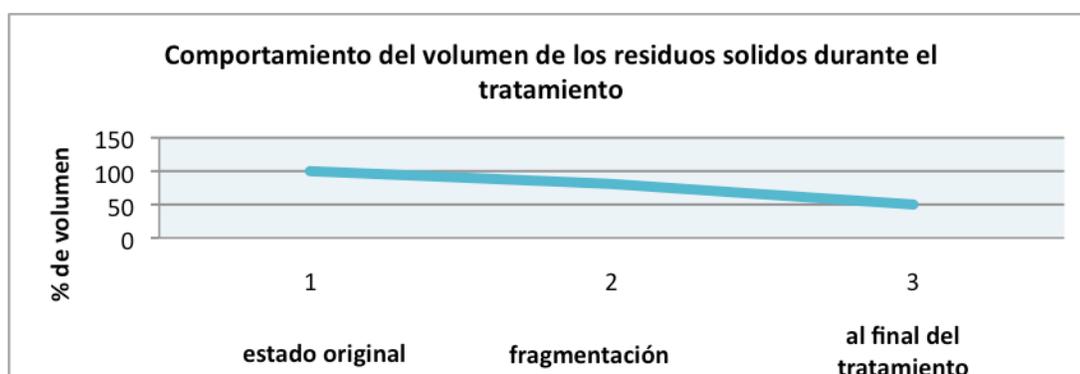


Fig. 9. Reducción del volumen de los residuos sólidos. Fecha 09-enero-2009

Temperatura.

Se tomaron los promedios cada día, de las lecturas, durante el precomposteo para el lote 1 y 2 respectivamente. Ver fig. 10 y 11.

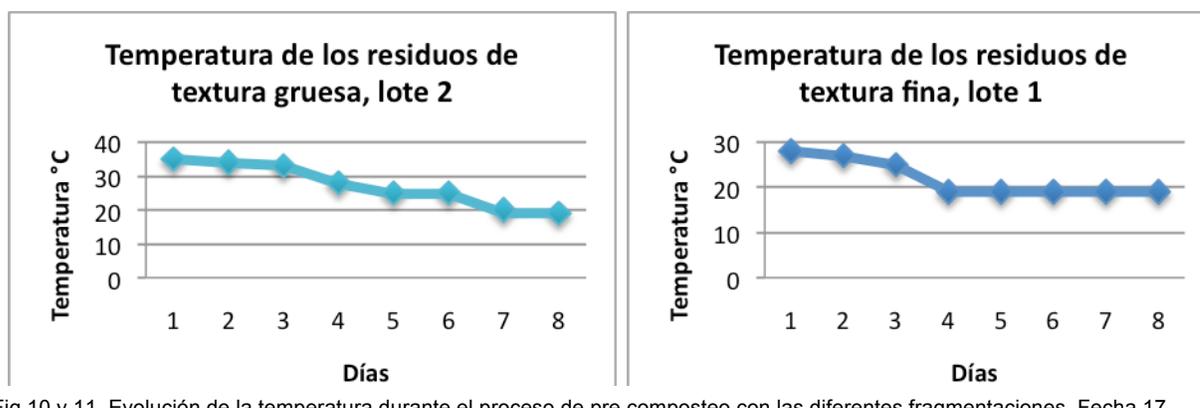


Fig.10 y 11. Evolución de la temperatura durante el proceso de pre-composteo con las diferentes fragmentaciones. Fecha 17-enero-2009

Como se observa en las figuras 10 y 11, en el primer día las temperaturas se elevaron a más de 30°C, se hace notoria la diferencia que en los residuos más finos, que son del lote 1, la temperatura descendió mucho más rápido, pues a partir del día 4, ya se tenían temperaturas de 20°C, cuando en el lote 2, de texturas gruesas, esta temperatura se alcanzó en el día 7 y 8. Lo que se concluye, que entre más pequeño sea el tamaño de partícula, más rápidamente se puede sembrar la lombriz, pues en los días donde se alcanzaron estas temperaturas menores a 25°C, se llevó a cabo el vaciado de lombrices.

Lote 3 o testigo: No existió variación en la temperatura desde el inicio del tratamiento, esta se mantuvo constante, pudo deberse a que la degradación de estos residuos sólidos orgánicos se dio de forma muy lenta, o que esta no se llevó a cabo, ya que al final los residuos sólidos orgánicos, presentaban una apariencia física sin modificaciones apreciables.

3.1.2.2 Preparación del lombricomposteo

Posteriormente, ya preparado el precomposteo, el 17 de enero del 2009, se montó un prototipo con recipientes de fibra de vidrio las cuales contenían aprox. 500 grs. de lombriz roja californiana en pie (*eisenia foetida*) la cual fue adquirida a principios de agosto del 2008.

Ver fig.12.



Fig. 12. Lombriz roja californiana . Fecha 13-Agosto-2008



Fig. 13. Prototipo para el desarrollo de la lombricomposta. Fecha 07-enero-2009

En la fig.13 se muestra el diseño de prototipo antes mencionado, donde se montaron en el recipiente superior, los 500 grs. de lombriz y desechos orgánicos del lote 1, conjuntamente con 2 kg de suelo proveniente del área de compostaje de la UTM y analizado con estudios agroquímicos previamente.

De acuerdo a la cantidad de lombricomposta proyectada en el prototipo, se planeó su madurez en aprox. 2 meses, por lo que el 15 de febrero a mas tardar se podría analizar dicha madurez.

Cabe señalar que el día 21 de marzo del 2008, ya no existía sustrato visible, sin embargo algunas lombrices del recipiente superior, empezaron a salir por los orificios inferiores, sin embargo, algunas caían al suelo, otras terminaban heridas por los filos de las orillas de los orificios, etc. Razón suficiente para estudiar el comportamiento de migración de estos seres con diferentes factores. Independientemente que ya se había previsto la realización de dichos experimentos. Ver *Experimentos de campo para el Análisis de migración de las lombrices rojas californianas. (Eisenia Foetida)*.

Según la Norma referente al NMX-FF-109-SCFI-2007, la madurez del humus de lombriz o lombricomposta se tiene que analizar según sus técnicas establecidas. Para ello, se realiza el muestreo de humus que se describe a continuación.

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA LOMBRICOMPOSTA

MUESTREO DEL HUMUS

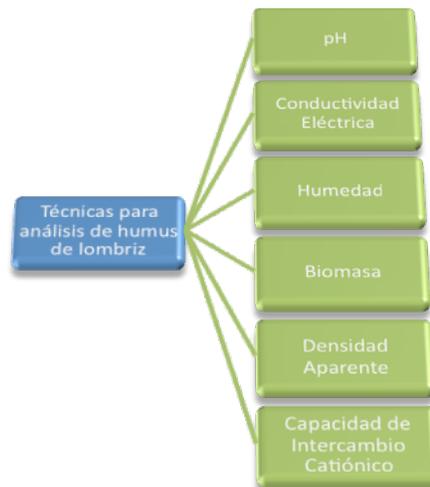
1. La unidad de muestreo fue la lombricomposta madurada en el prototipo.
2. La profundidad del muestreo se realizó en una distancia de 5-10 cm.
3. La muestra se extrajo con una cucharilla, la cual se removió circularmente para obtener muestra expandida.
4. La ubicación del muestreo se realizó en 4 partes aleatorias de la bandeja.
5. Las muestras fueron 4 simples o individuales. Para los análisis de laboratorio, solo se evaluaron por triplicado, es decir, un total de 9 muestras debido a que se omitió la más alejada de los datos similares. Cada muestra fue de 100 grs. removiendo todo residuo orgánico u organismo vivo.
6. Se identificaron de la siguiente manera:

Muestra	Muestra triplicada	Denominación
Humus 1	Humus 1.1	El numero entero indica la muestra, el numero decimal indica la iteración de la muestra.
	Humus 1.2	
	Humus 1.3	
Humus 2	Humus 2.1	
	Humus 2.2	
	Humus 2.3	
Humus 3	Humus 3.1	
	Humus 3.2	
	Humus 3.3	

Tabla 12. Identificación de las muestras de humus. Fecha: 15-octubre-08.

7. Fecha de colecta del 15-octubre-2008.
8. Se dejaron secar al aire libre extendidas en papel kraft durante 5 días para obtener un buen secado.
9. Según la Norma referente al NMX-FF-109-SCFI-2007, las muestras secas se tamizan con una malla de 5mm. Para análisis posteriores, se volverá a tamizar con otras mallas.

10. Haciendo referencia la Norma referente al NMX-FF-109-SCFI-2007, se deben ejecutar las siguientes técnicas: Ph, conductividad eléctrica, humedad, determinación de biomasa, Nitrógeno Total, CIC y densidad aparente. Ver cuadro 1.



Cuadro 1. Técnicas para análisis de humus de lombriz (PROY-NMX-FF-109-SCFD-2007,2007).

Sin embargo, Pardinas, (2000), señala que la calidad de lombricomposta comercial puede ser medida solo por pH, conductividad eléctrica, biomasa y nitrógeno total.

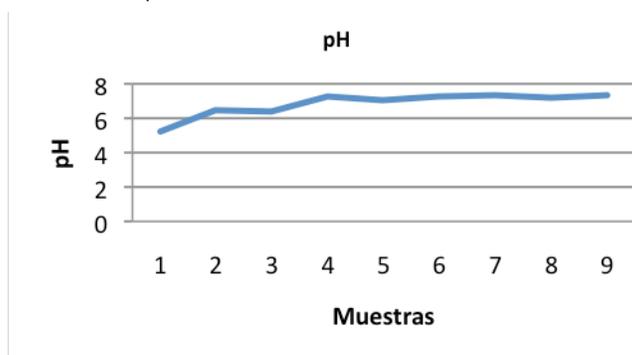
DETERMINACIÓN DE pH

Resultados:

Muestra	pH (dS m ⁻¹)
Humus 1.1	5,23
Humus 1.2	6,45
Humus 1.3	6,34
Humus 2.1	7,23
Humus 2.2	6,98
Humus 2.3	7,23
Humus 3.1	7,34
Humus 3.2	7,12
Humus 3.3	7,34

Muestras	Media	Varianza	Desv. Estandar
1	6.01	0.46	0.67
2	7.15	0.02	0.14
3	7.27	0.02	0.13
Total:	6.81	0.16	0.32

Tabla 13. Determinación de pH en las muestras de humus. Fecha: 15-marzo-09.



Se observa que los valores de alcalinidad tienen una media de 6,81; lo cual expresa según norma, esta en los límites ya que ésta especifica que la madurez óptima se encuentra entre 5,5-8,5.

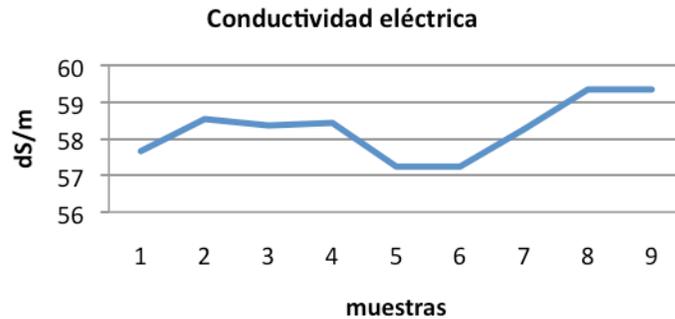
Gráfica 6. Comportamiento de pH en las muestras de humus. Fecha: 15-marzo-09

DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Resultados:

Muestra	Conductividad eléctrica (CE), (dS/m)
Humus 1.1	1,34
Humus 1.2	0,42
Humus 1.3	1,31
Humus 2.1	1,42
Humus 2.2	1,31
Humus 2.3	1,67
Humus 3.1	1,74
Humus 3.2	1,43
Humus 3.3	1,65

Tabla 14. Determinación de conductividad eléctrica en las muestras de humus. Fecha: 16-marzo-09.



Gráfica 7. Comportamiento de conductividad eléctrica (CE) en las muestras de humus. Fecha: 16-marzo-09

Muestras	Media	Varianza	Desv. Estándar
1	1,02	0,27	0,52
2	1,47	0,03	0,18
3	1,61	0,03	0,16
Total:	1,37	0,11	0,29

Tabla 15. Comportamiento estadístico de la conductividad eléctrica en las muestras de humus. Fecha: 16-marzo-09

La media es de 1,37, lo cual está en rango, pues la CE debe ser ≤ 4 ds/m. Esto se interpreta como que la concentración salina está controlada.

DETERMINACIÓN DE CENIZAS

Muestra	% Cenizas ²⁰	% Materia orgánica ²¹	% Carbono orgánico ²²
Humus 1.1	45,53	56,53	57,65
Humus 1.2	42,23	55,34	58,54
Humus 1.3	44,23	57,54	58,34
Humus 2.1	43,43	55,53	58,42
Humus 2.2	43,43	53,43	57,24
Humus 2.3	46,43	52,76	57,27

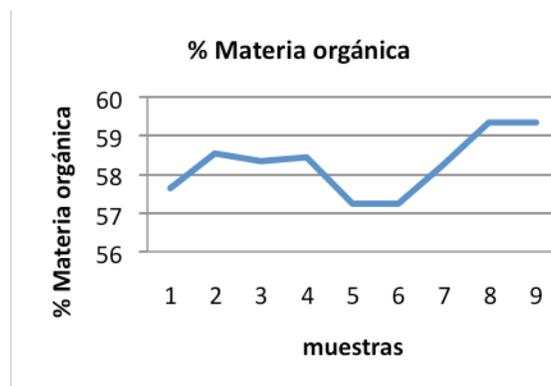
^{20, 6, 7} La determinación en % de cenizas, materia orgánica y carbono orgánico se calcularon mediante la expresión matemática contenida en la Norma referente al PROY-NMX-FF-109-SCFD-2007 detallada en Anexo 2.

Humus 3.1	44,43	55,43	58,23
Humus 3.2	44,23	54,34	59,32
Humus 3.3	44,23	52,75	59,34

Tabla 16. Determinación de cenizas mediante quemado en mufla en las muestras de humus. Fecha: 16-marzo-09

Muestras	Media	Varianza	Desv. Estándar
1	58,18	0,22	0,47
2	57,64	0,45	0,67
3	58,96	0,40	0,64
Total:	58,26	0,36	0,59

Tabla 17. Comportamiento estadístico de Biomasa en humus.



Según especificaciones de Norma, las concentraciones de materia orgánica establecen un rango de 20-50%. Donde la media es cercana al 60%, es decir, el humus es rico en biomasa, la cual está formada por un complejo de macromoléculas en estado coloidal constituido por proteínas, azúcares, ácidos orgánicos, minerales, etc., en constante estado de degradación y síntesis .

DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL MEDIANTE EL MÉTODO KJELDAHL



Fig. 14.1

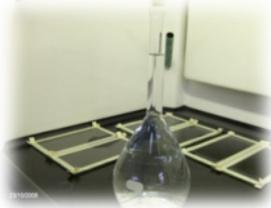


Fig. 14.2

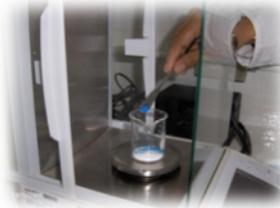


Fig. 14.3



Fig. 14.4

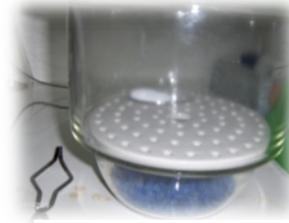


Fig. 14.5



Fig. 14.6

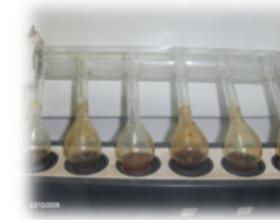


Fig. 14.7

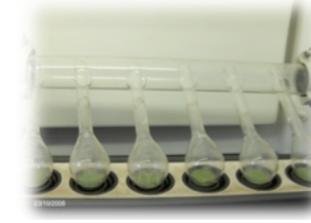


Fig. 14.8



Fig. 14.9



Fig. 14.10



Fig. 14.11



Fig. 14.12



Fig. 14.13



Fig. 14.14



Fig. 14.15



Fig. 14.16



Fig. 14.17

Fig. 14.1-14.17. Proceso de Determinación de Nitrógeno Total mediante el Método de Kjeldahl.

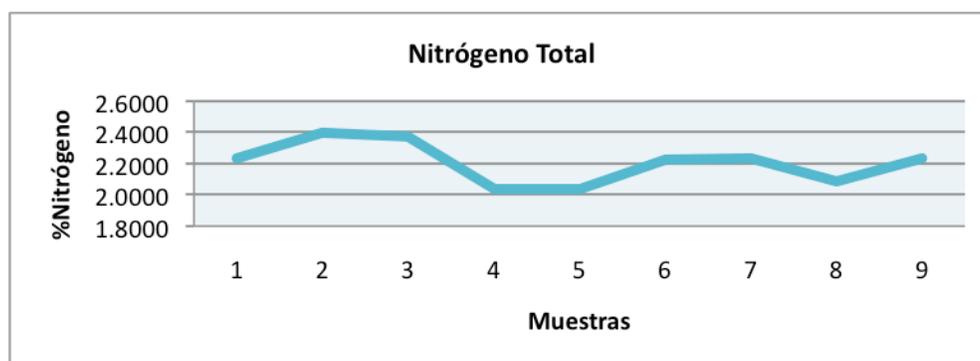
En la Fig. 14.1 se muestra el suelo molido con un molino granulométrico a 400 rpm. En la fig. 14.2 se muestra la preparación del ácido bórico al 4%. Las figs. 14.3 y 14.4 muestran la preparación del catalizador (sulfato cúprico con sulfato de sodio). En la fig. 14.5 se muestra el carbonato de sodio enfriándose previo a un secado en la estufa por 24 hrs. Las figs. 14.6, 14.7 y 14.8 muestran el digestado en un micro-Kjeldahl, dicho proceso para evolucionar de color negro a verdoso duró 45 min. La fig. 14.9 es una imagen de las muestras digestadas, las cuales al vaciarse a los matraces fueron enjuagadas con agua destilada. Estas muestras se volvieron a vaciar a un matraz bola para su posterior destilado, a lo cual se le agregó 100 ml de hidróxido de sodio al 40 %, una cucharilla de granalla de zinc y 4 gotas de naranja de metilo como se ve en la Fig. 14.10. En la Fig. 14.11 de dicha solución está destilando el ácido sulfúrico después de 10 min. En la Fig. 14.12 se muestra como se preparó el hidróxido de sodio, se tuvo que someter a calor puesto que la concentración era sobresaturada. La fig. 14.13 muestra el tren de destilación el cual conecta al matraz bola de la fig. 14.10 con otro matraz erlenmeyer el cual contiene 50 mL de ácido bórico al 4 % mas 50 mL de agua destilada y de 4 gotas del indicador universal. De la fig. 14.13 - fig. 14.15 se puede observar el proceso de destilado después de 45 min. Se puede observar la titulación de rojo a verde en el matraz erlenmeyer debido a la destilación del nitrógeno. En la fig. 14.16 se muestra el equipo de recirculación de agua el cual permite la condensación del vapor. Y en la fig. 14.17 se muestra la titulación mediante ácido sulfúrico

Muestras	Agregado de Na ₂ CO ₃	Vol.H ₂ SO ₄ (ml.)	Normalidad	Ph	peso muestra (grs.)	%N
Promedio Alícuotas:::>	0,05	2,30	0,43	3,98		
1.1	0,05	16,20	0,06	3,93	0,50	2,23
1.2	0,05	24,20	0,04	3,45	0,50	2,39
1.3	0,05	22,65	0,04	3,66	0,50	2,37
2.1	0,05	18,30	0,05	3,99	0,56	2,03
2.2	0,05	12,60	0,07	3,60	0,50	2,05
2.3	0,05	15,85	0,06	3,99	0,50	2,22
3.1	0,05	16,60	0,06	3,99	0,50	2,23
3.2	0,05	15,65	0,06	4,20	0,53	2,08
3.3	0,05	17,60	0,05	3,30	0,51	2,23
blanco	0,05	3,25	0,30	4,18	0,50	

Tabla 18. Resultados de Nitrógeno Total en las muestras de humus. Fecha: 24-marzo-09

Muestras	Media	Varianza	Desv. Estandar
1	2,34	7.6 x10 ⁻³	0,08
2	2,11	0,01	0,10
3	2,19	7.2 x10 ⁻³	0,08
Total:	2,21	0,01	0,12

Tabla 19. Comportamiento estadístico del Nitrógeno Total en las muestras de humus. Fecha: 24-marzo-09.



Gráfica 8. Determinación de Nitrógeno Total en las muestras de humus. Fecha: 24-marzo-09

Según especificaciones de la Norma referente al NMX-FF-109-SCFI-2007 que establece las especificaciones para el estándar de humus de lombriz. El % de Nitrógeno hallado en las muestras está dentro de los rangos contemplados, lo que significa que cumple las especificaciones, pues oscila entre 2-2.5% de contenido de Nitrógeno en base seca. Ver Tabla 20.

**Especificaciones Fisicoquímicas del Humus de Lombriz
(Lombricomposta)**

Característica	Valor
Nitrógeno total	De 1 a 4% (base seca)

Tabla 20. Rango permitido para concentraciones de Nitrógeno en humus de lombriz.

Especificaciones de equipo utilizado

EQUIPO UTILIZADO	ESPECIFICACIONES
Balanza analítica de laboratorio	Balanza analítica calibrada a 0, serie Extend capacidad 420 g. con una legibilidad de 0,1mg. Tiempo de respuesta de 1-2 seg. Platillo de pesada: 90mm de diam., repetibilidad de 0,1mg., linealidad de 0,2 mg.
Potenciómetro para medir pH	Potenciómetro para pH con electrodo de vidrio, medición de 0-14. Precisión: +- 0,001 pH, 1 mV, 0,1°C. Error de medida: +- 2 mV.
Conductímetro para medir conductividad eléctrica	Conductímetro portátil Labprocess. Escalas: 0,00.....199,9,200....1999uS/cm. Constante célula K= 1 y 0,1 cm ⁻¹ . Error de medida: +- 1% en toda la escala. Calibración: Automática en 1 punto, con reconocimiento de 4 patrones (84,1413 µS, 12,88 y 111 mS) y manual en cualquier valor. Temperatura: 20 ó 25 °C.
Estufa de circulación forzada	Estufa de circulación forzada de aire y temperatura controlada de 40 a 150°C. Legibilidad de 10°C. Capacidad para 19 l.
Termómetro digital	Termómetro digital -10 a +150°C con sonda incorporada en acero inoxidable de 120 mm. de longitud. Legibilidad de 0,1°C. Función Hold, cabezal recto.

Conclusiones de análisis fisicoquímicos: Concluidas las practicas de pH, conductividad, biomasa y nitrógeno, todas están en rango. Por lo tanto, la geometría, materiales y condiciones del modelo propuesto no afectan negativamente los estándares de calidad establecidos.

Además, que el establecimiento de una planta en la UTM, donde fue destinado el área de compostaje, dicho suelo existente fue analizado y también cumple con las especificaciones

satisfactoriamente de la NOM-021-RECNAT-2000 que establece fertilidad, salinidad, muestreo y análisis de suelos.

- 4 Para el factor 3, **Modelos prototipo para la maduración y producción** se propusieron 10 modelos distintos para llevar a cabo el proceso de maduración de lombricomposteo y se realizaron experimentos de tipo exploratorio. Fueron diseñados en software Solid Works 2007 y construidos escala 1:2 en material fibra de vidrio petatillo con resina epoxi 1E421 color gris, textura cartulina. Ver factor 6 de la fase 2 de QFD.

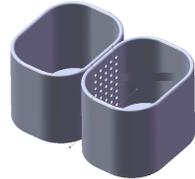
3.1.2.3 EXPERIMENTOS EXPLORATORIOS PARA MODELOS

Tipo experimento: Exploratorio.

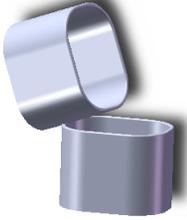
Propósito: La finalidad de construir estos modelos, es experimentar con las lombrices para determinar cuál es el apropiado para evitar la fuga de las lombrices. Se pretende que mediante cierto mecanismo, las lombrices puedan emigrar al siguiente recipiente sin problema alguno.

Muestreo: El método de muestreo fue el muestreo simple sin reposición ya que en una exhibición se tomó solamente una muestra de 100 grs. de lombriz roja californiana adulta (con clitelio) con 50 grs. de suelo proveniente de la zona de invernadero de la UTM previamente analizada. Se realizaron ocho repeticiones en un periodo de 15 días, para obtener mayor precisión en los datos.

Funcionamiento: Todos los modelos prototipo constan de 2 recipientes, ya que uno contendrá a las lombrices con suelo y otro contendrá el sustrato. El sustrato suministrado fueron 75 gr. de una combinación de frutas y verduras sin cítricos (Lombricor, 2007). Se monitoreó cada 3 horas para contabilizar cuántas lombrices en ese lapso de tiempo, se trasladaban al recipiente que contenía el sustrato.

Mecanismo de transporte	Funcionamiento	Ventajas	Desventajas	Diseño CAD
Canal cerrado (tubo)	Dos recipientes cilíndricos de resina con fibra de vidrio de 250 ml. se conectaron por medio de un tubo vacío de PVC. de ½" de diam. las lombrices tienen que trasladarse por el tubo.	<ul style="list-style-type: none"> • El tubo cerrado impide totalmente que las lombrices se desvíen. 	<ul style="list-style-type: none"> • El diámetro es reducido considerando que las lombrices en promedio tienen 1-2 mm. de espesor. 	
Canal abierto (medio tubo)	Dos recipientes cilíndricos de resina con fibra de vidrio de 250 ml. se conectaron por medio de un medio tubo vacío de PVC. de ½" de diam.	<ul style="list-style-type: none"> • El canal abierto ofrece la ventaja de que el trayecto de las lombrices es visible a comparación del cerrado. 	<ul style="list-style-type: none"> • pesar de que el canal abierto es una guía, algunas de lombrices suelen salirse del canal. 	
Canal abierto con sustrato dirigido	Dos recipientes cilíndricos de resina con fibra de vidrio de 250 ml. se conectaron por medio de un medio tubo relleno de sustrato (frutas y verduras) de PVC. de ½" de diam.	<ul style="list-style-type: none"> • Los canales abiertos rellenos de sustrato, ofrecen la ventaja de que se induce a la lombriz a circular forzosamente en el interior del canal. 	<ul style="list-style-type: none"> • o se salen del canal, sin embargo, las lombrices se detienen mucho tiempo dentro del canal hasta consumir todo el sustrato a su paso. 	
Orificios laterales	Dos recipientes cúbicos con aristas redondeadas de 3.5 cm de radio, de resina con fibra de vidrio de 250 ml. se conectaron	<ul style="list-style-type: none"> • El mecanismo es relativamente sencillo y por consiguiente barato. 	<ul style="list-style-type: none"> • En este mecanismo fue donde menor número de lombrices pasaron debido 	

	lateralmente uniendo las caras que tenían orificios.		a que 1. No siguen trayectorias rectas, 2. Los orificios superiores no fueron alcanzados debido a que las lombrices sólo excavan hacia abajo. Y 3. No conciben un orificio como una salida para cada una de ellas.	
Orificios lado top	Dos recipientes cúbicos con aristas redondeadas de 3.5 cm de radio, de resina con fibra de vidrio de 250 ml. se conectaron por el lado superior uniendo las caras que tenían orificios.	<ul style="list-style-type: none"> • El mecanismo cambiado de posición ofrece la ventaja de que las lombrices excavan hacia abajo y tendrán que caer. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aunque las lombrices excavan hacia abajo, no reconocen que un orificio representa una salida para cada una, las que bajaban, lo hacían por coincidencia. Además que habían algunas que solo se asomaban y no bajaban. 	
Recipiente perforado en el interior de otro no perforado.	Dos recipientes cilíndricos de resina con fibra de vidrio de 250 ml. El de menor diámetro está perforado y se introduce en el interior del de mayor diámetro, este a su vez está relleno de sustrato en descomposición.	<ul style="list-style-type: none"> • Este cambio en el mecanismo representó 39 lombrices de diferencia con respecto al anterior, la gran ventaja es que el sustrato en descomposición las rodeaba totalmente, lo que las acercaba más. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los orificios tuvieron que ser más grandes y continuos, lo que ocasionó que parte de la vermicomposta se filtrara hacia el sustrato. 	

<p>Orificios con conexión de tubos</p>	<p>Dos recipientes cúbicos con aristas redondeadas de 3.5 cm de radio, de resina con fibra de vidrio de 250 ml. se conectaron uno sobre otro uniendo las caras que tenían orificios, los cuales estaban a su vez conectados por tubos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> este mecanismo no difirió mucho del de orificios lado Top. Modelo sencillo. 	<ul style="list-style-type: none"> El costo y complejidad de elaboración fueron mucho más altos que el de orificios lado Top, lo que no resulta costeable, contra las 6 lombrices de diferencia obtenidas. 	
<p>Contenedores inclinados</p>	<p>Dos recipientes cúbicos con aristas redondeadas de 3.5 cm de radio, de resina con fibra de vidrio de 250 ml. se conectaron para que por fuerza gravitacional, las lombrices bajen por un grado de inclinación de 60°C.</p>	<ul style="list-style-type: none"> a inclinación de 60°C permitió que por gravedad, resbalaran fácilmente las lombrices, pero algunas de ellas no bajaban completamente y se estancaron en la inclinación. 	<ul style="list-style-type: none"> parte de que resulta tedioso buscar el ángulo ideal, también permite el paso de la luz, lo que las desanima a bajar. 	
<p>Contenedores cúbicos conectados por mallas</p>	<p>Dos recipientes cúbicos con aristas redondeadas de 3.5 cm de radio, de resina con fibra de vidrio de 250 ml. se conectaron uno sobre otro, donde el lugar de orificios, no hay fondo, solo hay una malla de plástico del No. 10, donde pueden atravesar las lombrices.</p>	<ul style="list-style-type: none"> a mayor ventaja de este mecanismo es que los orificios son mas continuos y la red no permite la filtración de la vermicomposta, además de la sencillez y bajo costo. 	<ul style="list-style-type: none"> pesar de la mayor amplitud del espacio en la malla, algunas lombrices se adhieren a las paredes del recipiente debido a la superficie recta. 	

<p>Embudos interconectados</p>	<p>Dos o más recipientes de resina con fibra de vidrio de 250 ml, en forma de embudos, los cuales en el lado inferior, o radio menor, están interconectados y a su vez en esa conexión, existe una malla divisoria por donde pueden atravesar las lombrices.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • a resina con fibra de vidrio forman un material muy maleable lo cual permite realizar con ellos formas caprichosas. Debido a que las superficies rectas se pueden reemplazar por superficies cóncavas, se moldeó un tipo embudo. • a forma de los embudos permitió el paso casi por gravedad de las lombrices, pues resbalaban fácilmente en el interior de las paredes. • La conexión entre embudos fue dividida por mallas del No. 15 donde las lombrices podían transitar fácilmente. • las conexiones selladas y el color mate, no 	<ul style="list-style-type: none"> • as formas del esferoide se pueden moldear a través de un molde prefabricado en madera o malla. Este es un requerimiento extra antes de construir el prototipo. 	
--------------------------------	--	---	--	---

Tabla 21. Especificaciones de funcionamiento de los mecanismos de transporte para las lombrices. Fuente: elaboración propia.

Resumen de resultados del registro de datos del experimento²³

No.	MECANISMO DE TRANSPORTE	Total lombrices migrantes
1	Canal cerrado (tubo)	127
2	Canal abierto (medio tubo)	116
3	Canal con sustrato dirigido	124
4	Orificios laterales	52
5	Orificios lado top	85
6	Recipiente perforado en el interior de otro no perforado.	124
7	Orificios con conexión de tubos	91
8	Contenedores inclinados	160
9	Contenedores cúbicos conectados por mallas	182
10	Embudos interconectados	231

Tabla 22. Experimento: Mecanismo de transporte como factor variante. Fuente: elaboración propia. Fecha: 25 de diciembre del 2008.

Resultados con Análisis Tukey para la selección de medias

Diferencia mínima significativa:::~::~>		6.97
Modelo	Media	Parámetro seleccionado
10	28.8a	Modelos 10,9,1,6
9	22.75ab	
1	18.5bc	
6	15.87bc	
8	15.62c	
5	15.50c	
3	15.50c	
2	14.50c	
7	14.00c	
4	14.00c	

Letras diferentes son parámetros estadísticamente diferentes.

De acuerdo a la tabla anterior, los modelos 8, 5, 3, 2, 7 y 4 pertenecen a un mismo grupo pues según la clasificación en cuanto a la Diferencia mínima significativa, no tienen alta significancia con respecto a los modelos de tipo a, ab y bc. Por lo tanto, se eligieron los modelos pertenecientes a estos grupos: 10, 9, 1, 6. Dichos modelos ahora serán analizados con el método Taguchi variando el factor que no se determinó totalmente, el cual fue la distancia.

²³ Si se desea analizar a detalle los datos de los experimentos realizados, ir a Anexo 5.

3.1.2.4 EXPERIMENTACIÓN TAGUCHI

Una vez realizados los experimentos de tipo exploratorio en los 10 modelos de prototipos, por análisis de DMS (Diferencia mínima significativa) se determinó que 4 de ellos serían estudiados mediante método Taguchi ya que este método permite determinar las mejores combinaciones de variables para fabricar un producto o diseñar un proceso.

Propósito:

Determinar el mejor modelo de prototipo de los seleccionados, para alcanzar el mayor número de lombrices migrantes.

Materiales:

a) Para la construcción de los modelos

- 2 kg de fibra de vidrio tipo petatillo.
- 1 kg resina epoxi 1E421 color gris, textura cartulina.
- 150 grs. de catalizador
- Malla sombra al 80%
- 1.5 m² de mallas de acero inoxidable de 6.27 mm de apertura, calibre de alambre 14 en 3 mesh x 3 mesh

b) Para el proceso de experimentación

- 3,5 kg de lombriz roja californiana adulta (con clitelio)
- 1 kg de suelo proveniente de la zona invernadero de la UTM
- 3 kg de desechos orgánicos de frutas y verduras combinadas sin cítricos

Equipo:

EQUIPO UTILIZADO	ESPECIFICACIONES
Balanza analítica de laboratorio	Balanza analítica calibrada a 0, serie Extend capacidad 420 g. con una legibilidad de 0,1mg. Tiempo de respuesta de 1-2 seg. Platillo de pesada: 90mm de diam., repetibilidad de 0,1mg., linealidad de 0,2 mg.
Regla metálica	Regla metálica marca Afford con capacidad de medición de 30 cm. con una legibilidad de 1mm.
Cinta métrica	Cinta métrica marca Afford de vinil flexible con capacidad de medición de 100 cm con una legibilidad de 1mm.
Reloj digital	Reloj digital marca Citizen con cronómetro. Medición de 24 horas. Legibilidad de 1 seg.

Metodología:

El tipo de experimento es exploratorio pues se desean conocer qué combinación de factores es la mejor para lograr un mayor índice de respuesta. Se determinaron 2 factores, 4 niveles. Factor 1: modelo, factor 2: distancia. Niveles: 8, 9, 11 y 12 cm. Concluyendo con una matriz ortogonal L16. Es decir, 16 corridas o experimentos. Se realizaron 2 replicas, resultando 32 experimentos.

La combinación de factor modelo con distancia se eligió puesto que se desea saber en qué modelo a qué distancia hay mayor migración, por esa razón se eligió el criterio de análisis de relación "Mayor es mejor". Para los niveles, en los análisis exploratorios, se determinó que la mejor distancia es a 10 cm, sin embargo, se tomaron por conveniencia práctica dos cifras arriba y dos debajo de 10 cm.

Por conveniencia del contenido de los recipientes, los cuales tienen capacidad para 250 grs. el número de muestra fue de 100 grs. de lombrices con 50 grs. de suelo variándoles las distancias para llegar al sustrato de 75 grs. Se eligieron los 100 grs. de lombriz viva adulta (con clitelio) de forma aleatoria sin reposición. El sustrato idóneo suministrado según Félix Damián (2006), fue una combinación de frutas y verduras sin cítricos. Se eligió un tiempo de 5,5 horas para establecer un estándar de tiempo.

Se montaron los 4 prototipos a una misma hora y lugar con las proporciones ya especificadas experimentando la misma distancia al mismo tiempo para obtener homogeneidad en los datos.

Debido a que en los experimentos exploratorios ya se había percibido que las geometrías de los recipientes con mayor ventaja para el desplazamiento de las lombrices son las cilíndricas, se construyeron este tipo de recipientes a escala de 1:10 con fibra de vidrio tipo petatillo en mezcla de resina epoxi 1E421 color gris, textura cartulina. En los mecanismos con mallas, se utilizó malla de acero inoxidable AISI302 de alambre perfil circular, apertura de 6.27 mm. calibre de alambre, 14. El registro de los datos en la experimentación se encuentra en el Anexo 5. Ver diseños.

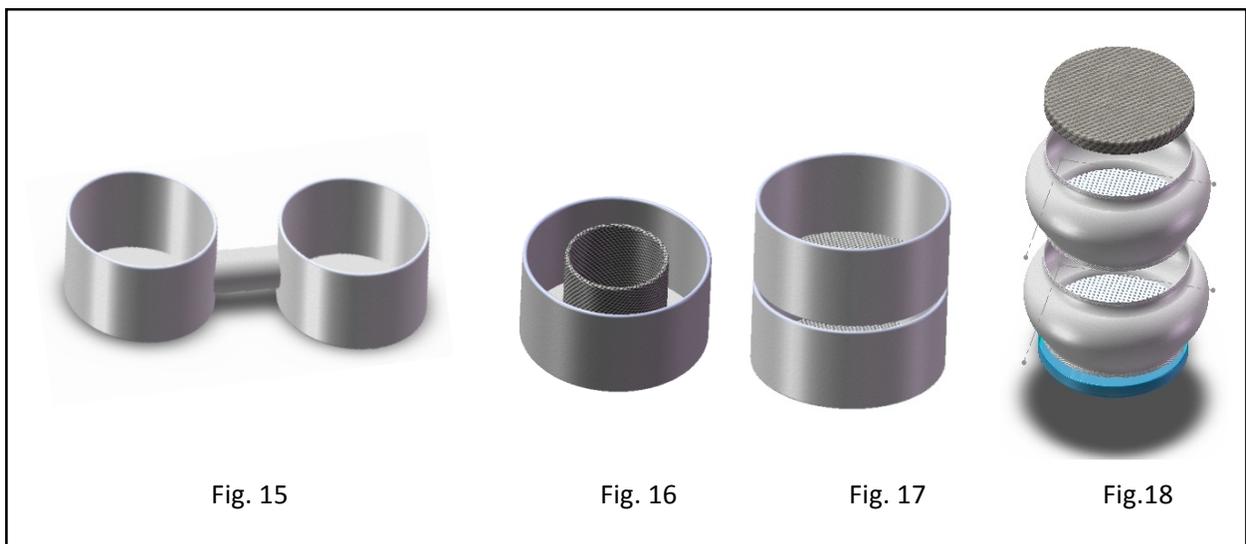


Fig. 15-18. Modelos para experimentación de migración. Canal cerrado, recipiente perforado en el interior de otro no perforado, contenedores conectados por mallas y embudos interconectados.

Resumen de registro de datos de experimentos Taguchi

FACTOR PROTOTIPO	REPLICA	FACTOR DISTANCIA	Total lombrices migrantes	DIFERENCIA DESV. ESTANDAR ²⁴	PROMEDIO POR NIVEL
1. Canal cerrado	1	8 cm.+ - 0,5 mm.	85		
	2	8 cm.+ - 0,5 mm.	82		
		Total a 8 cm.+ - 0,5 mm.:	167	0.26	83.5
	1	9 cm.+ - 0,5 mm.	99		
	2	9 cm.+ - 0,5 mm.	98		
		Total a 9 cm.+ - 0,5 mm.:	197	0.49	98.5
	1	11 cm.+ - 0,5 mm.	48		
	2	11 cm.+ - 0,5 mm.	41		
		Total a 11 cm.+ - 0,5 mm.:	89	0.24	44.5
	1	12 cm.+ - 0,5 mm.	28		
	2	12 cm.+ - 0,5 mm.	31		
		Total a 12 cm.+ - 0,5 mm.:	59	0.15	29.5
			TOTAL Canal cerrado:	512	
2. Recipiente perforado en el interior de otro no perforado	1	8 cm.+ - 0,5 mm.	87		
	2	8 cm.+ - 0,5 mm.	84		
		Total a 8 cm.+ - 0,5 mm.:	171	0.12	85.5
	1	9 cm.+ - 0,5 mm.	101		
	2	9 cm.+ - 0,5 mm.	102		
		Total a 9 cm.+ - 0,5 mm.:	203	0.06	101.5
	1	11 cm.+ - 0,5 mm.	57		
	2	11 cm.+ - 0,5 mm.	54		
		Total a 11 cm.+ - 0,5 mm.:	111	0.15	55.5
	1	12 cm.+ - 0,5 mm.	25		
	2	12 cm.+ - 0,5 mm.	21		
		Total a 12 cm.+ - 0,5 mm.:	46	0.13	23
			TOTAL Recip. interno:	531	
3. Contenedores	1	8 cm.+ - 0,5 mm.	89		

²⁴ Para la fiabilidad en el número de replicas, Montgomery (2002) sostiene que la diferencia entre desviaciones estándar de las muestras debe ser menor a 1. Si se cumple dicha proposición, el número de replicas es mínimamente suficiente.

conectados por mallas	2	8 cm.+ - 0,5 mm.	84		
		Total a 8 cm.+ - 0,5 mm.:	173	0.38	86.5
	1	9 cm.+ - 0,5 mm.	100		
	2	9 cm.+ - 0,5 mm.	104		
FACTOR PROTOTIPO	REPLICA	FACTOR DISTANCIA	Total lombrices migrantes	DIFERENCIA DESV. ESTANDAR ²⁵	PROMEDIO POR NIVEL
3. Contenedores conectados por mallas		Total a 9 cm.+ - 0,5 mm.:	204	0.32	102
	1	11 cm.+ - 0,5 mm.	58		
	2	11 cm.+ - 0,5 mm.	53		
		Total a 11 cm.+ - 0,5 mm.:	111	0.01	55.5
	1	12 cm.+ - 0,5 mm.	31		
	2	12 cm.+ - 0,5 mm.	30		
		Total a 12 cm.+ - 0,5 mm.:	61	0.12	30.5
		TOTAL recip. mallas:	549		
4. Embudos interconectados	1	8 cm.+ - 0,5 mm.	83		
	2	8 cm.+ - 0,5 mm.	84		
		Total a 8 cm.+ - 0,5 mm.:	167	0.09	83.5
	1	9 cm.+ - 0,5 mm.	108		
	2	9 cm.+ - 0,5 mm.	104		
		Total a 9 cm.+ - 0,5 mm.:	212	0.09	106
	1	11 cm.+ - 0,5 mm.	75		
	2	11 cm.+ - 0,5 mm.	76		
		Total a 11 cm.+ - 0,5 mm.:	151	0.25	75.5
	1	12 cm.+ - 0,5 mm.	59		
	2	12 cm.+ - 0,5 mm.	61		
		Total a 12 cm.+ - 0,5 mm.:	120	0.32	60
		TOTAL embudos int.:	650		

²⁵ Para la fiabilidad en el número de replicas, Montgomery (2002) sostiene que la diferencia entre desviaciones estándar de las muestras debe ser menor a 1. Si se cumple dicha proposición, el número de replicas es mínimamente suficiente.

Gráficas de resultados Taguchi

Una vez realizados los experimentos, los resultados fueron analizados con el software Minitab para Diseños Taguchi. El criterio de análisis fue la relación estándar "Mayor es mejor", puesto que la finalidad del experimento es encontrar qué combinación es la mejor para que más lombrices puedan emigrar fácilmente.

GRÁFICA DE MEDIAS

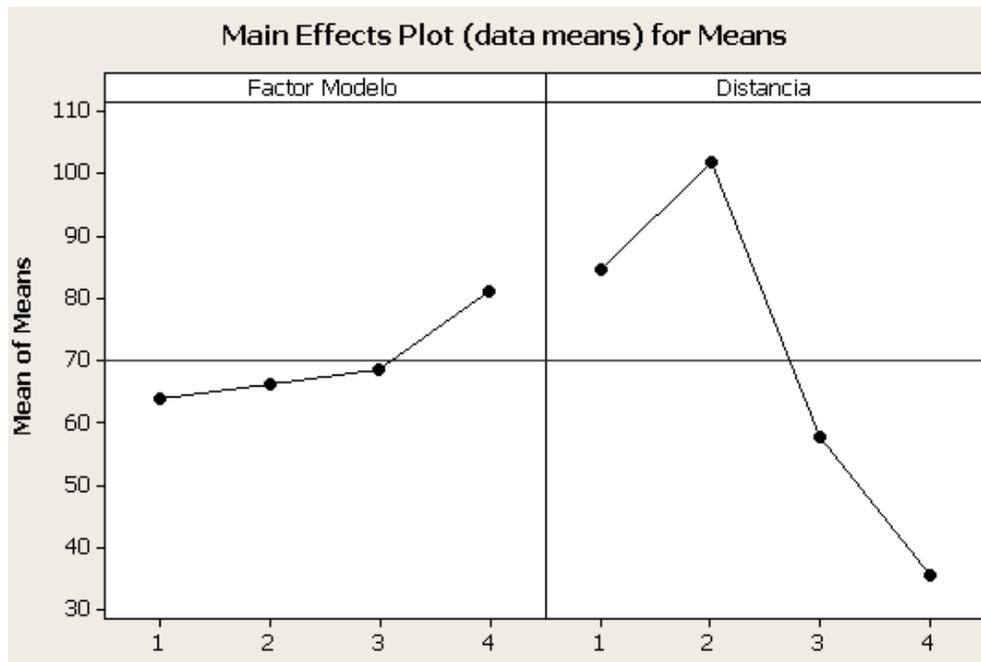


Gráfico 9. Efectos principales de la gráfica de medias en Taguchi. Fuente: Software Minitab.

La grafica de medias nos informa sobre si el proceso se mantiene estable durante los lapsos de tiempo entre muestreos. La gráfica superior indica los factores con mayor estabilidad.

Dichos factores son el modelo 4 y distancia 2, los cuales se refieren al modelo de embudos interconectados a una distancia de separación entre recipientes de 9 cm.

GRÁFICA DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR

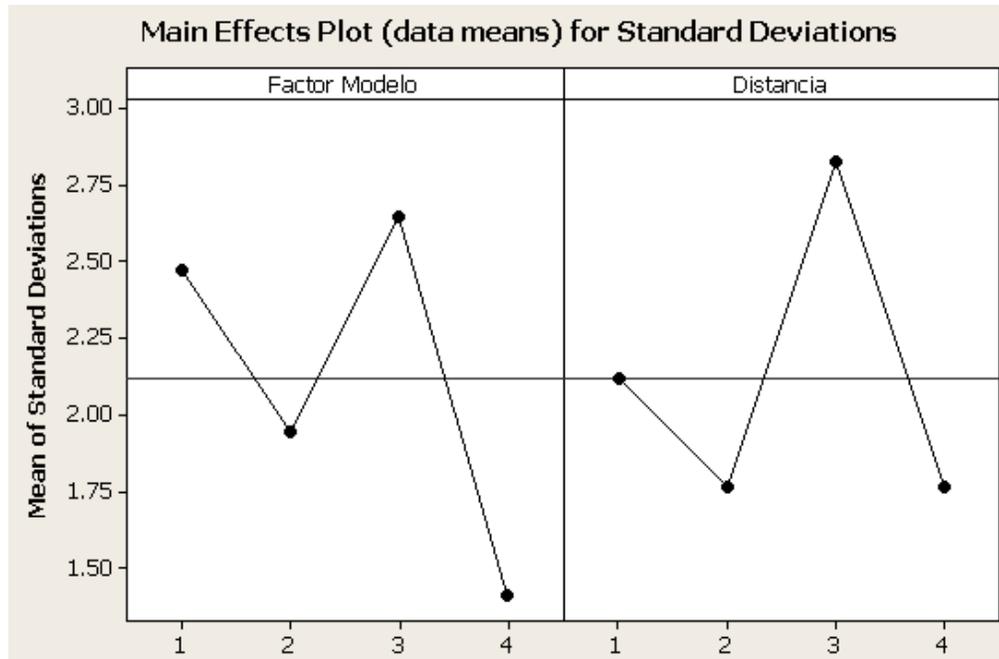


Gráfico 10. Efectos principales de la gráfica de desviación estándar en Taguchi. Fuente: Software Minitab.

La desviación estándar es una medida del grado de dispersión de los datos del valor promedio. Dicho de otra manera, la desviación estándar es simplemente el "promedio" o variación esperada con respecto de la media aritmética. Es una medida de variabilidad o inestabilidad de los datos de las réplicas. Por tanto, el modelo 3 (contenedores conectados por mallas) a una distancia 3 (11 cm) son los que presentan mayor desviación o alejamiento de la media. Ver gráfico 10.

GRÁFICA DE RATIO SEÑAL/RUIDO

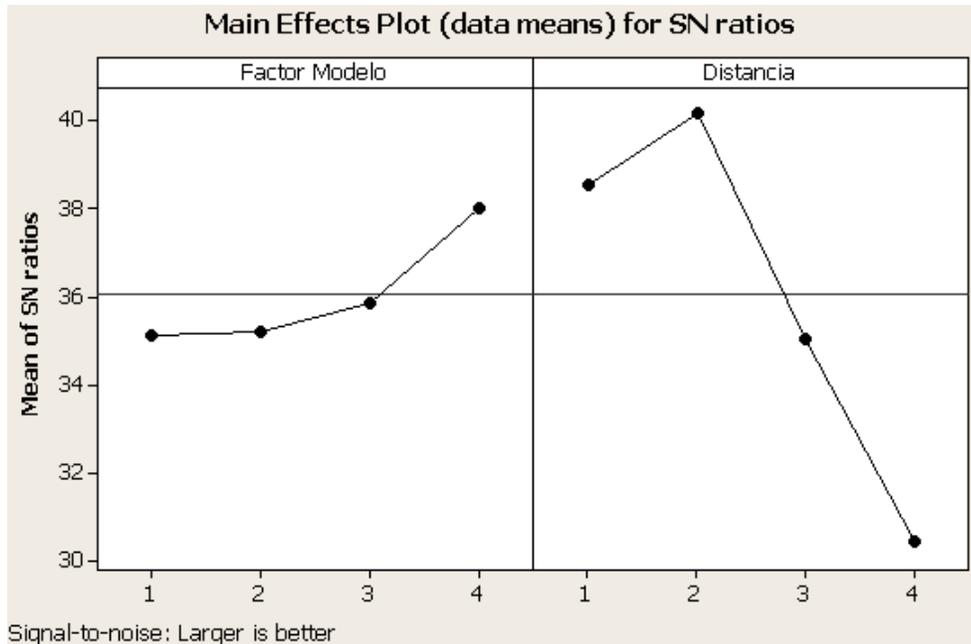


Gráfico 11. Efectos principales de la gráfica de ratio señal/ruido en Taguchi. Fuente: Software Minitab.

La relación entre la media del factor a optimizar y su variabilidad Taguchi las integra en una relación y la define como un "ratio" entre la posición de la variable y su grado de variación. Taguchi aporta una relación que se define de distinta manera según la naturaleza de la característica de la calidad a optimizar, de tal forma que prefiere cambiar la definición de señal/ruido para que siempre tengamos un único criterio para juzgar la relación, y es el de "mayor es mejor" y eso para cualquiera de las funciones del SN. Por lo tanto, A MAYOR RELACIÓN SEÑAL/RUIDO, LOS PRODUCTOS SON MAS INSENSIBLES A LA VARIACIÓN, Y POR TANTO, MAS ROBUSTOS (Wu, 2000).

De este modo, el diseño con menos variación y más robustez en sus variables es el modelo 4, distancia 2. Que corresponde exactamente al de medias, modelo de embudos interconectados o esferoides a una distancia de 9 cm. Y lo robusto de un producto implica que su característica funcional no se ve afectada por ruido y por ruido entendemos como aquellos factores que causan variación y pérdida de calidad.

5 El requerimiento 4 llamado ***Implementación de sensores de parámetros controlables*** responde inherentemente a los análisis fisicoquímicos de la NMX-FF-109-SCFI-2007 para el control de parámetros durante el proceso y para el producto final.

García (2008) establece que el pH y la Conductividad eléctrica son factores sumamente importantes para controlar la acidez y salinidad en el proceso, así como para determinar la madurez de la lombricomposta de forma inmediata.

NOM-021-RECNAT-2000, establece que la salinidad ideal del suelo con sustrato debe ser menor a 1 dS/m. Y de acuerdo a la NMX-FF-109-SCFI-2007, la salinidad de la lombricomposta como producto final debe ser ≤ 4 dS/m.

Estas mismas normas, determinan que para ambos, la alcalinidad debe estar entre 7-9 en calidad neutra. Sin embargo, es necesario inspeccionar el pH durante el proceso de maduración, ya que debido a que los desechos orgánicos suelen ser variados, (previando que no existan demasiados cítricos como naranja, limón, toronja, lima, etc.) existen desechos con altos contenidos de azúcar, factor que altera la alcalinidad del proceso.

La evaluación para su adquisición de los existentes en el mercado con las características antes descritas fue llevada a cabo mediante método AHP.

3.1.2.5 ANALISIS AHP PARA SELECCIÓN DE SENSORES

META: Obtener el mejor tipo de sensor de entre las alternativas que cumpla con las especificaciones de los criterios para la medición de pH y conductividad.

Tipo de sensor	Criterios	Alternativas
pH	Portabilidad Precisión	a) USB b) Bimetálico c) Digital d) Estándar
Conductividad eléctrica	No corrosivo Vida útil prolongada	a) Tipo Clarck b) Bimetálico c) Digital d) Estándar

DESCRIPCIÓN DE LOS CRITERIOS:

- e) **PORTABILIDAD:** Por cuestión de costos y practicidad, se propone que se adquiriera un solo sensor de pH y conductividad eléctrica independientemente del número de prototipos, puesto que el modo de funcionamiento será sumergir el sensor por la parte de arriba de los esferoides para simplemente tomar la lectura y llevar registro.
- f) **PRESICIÓN:** La precisión es importante pues se requiere que mida rangos hasta de 10, puesto que se debe controlar una alcalinidad en base húmeda de 7-9 para pH. Y para conductividad se requiere una legibilidad de 0,1 dS/m.
- g) **NO CORROSIVO:** El medio en el que se sumerge para tomar la lectura es húmedo del 70-80%, por lo que se requiere que el sensor sea de un material inoxidable.
- h) **VIDA UTIL PROLONGADA:** Ya se había mencionado que solo con un dispositivo se pretende medir el pH y con otro la conductividad de los prototipos que existan, entonces, debe estar construido de un material resistente que permita la múltiple utilización.

MATRICES

- Matriz de factores para ambos sensores

	No corrosivo	Portabilidad	Precisión	Vida util larga	
No corrosivo	1	3	3	1/5	
Portabilidad	1/3	1	3	1/7	
Preciso	1/3	1/3	1	1	
Vida util larga	5	7	1	1	
	6.67	11.33	8	3	1/3

Matrices de criterios para sensor pH

- Matriz criterio a). No corrosivo

	USB	bimetálico	digital	estándar	
USB	1	3	7	9	
bimetálico	1/3	1	5	7	
digital	1/7	1/5	1	7	
estándar	1/9	1/7	1/7	1	
	1.59	4.34	13.14	24.00	

- Matriz criterio b). Portabilidad

	USB	bimetálico	digital	estándar	
USB	1	1	3	5	
bimetálico	1	1	1	5	
digital	1/3	1	1	5	
estándar	1/5	1/5	1/5	1	
	2.53	3.20	5.20	16.00	

- Matriz criterio c). Precisión

	USB	bimetálico	digital	estándar	
USB	1	3	5	9	
bimetálico	1/3	1	3	7	
digital	1/5	1/3	1	7	
estándar	1/9	1/7	1/7	1	
	1.64	4.48	9.14	24.00	

- Matriz criterio d). Vida útil larga

	USB	bimetálico	digital	estándar
USB	1	5	3	5
bimetálico	1/5	1	3	3
digital	1/3	1/3	1	3
estándar	1/5	1/3	1/3	1
	1.73	6.67	7.33	12.00

- Matriz de resultados

	No corrosivo	Portabilidad	Precisión	Vida útil larga	RESULTADOS
	0.218767934	0.143552726	0.157810258	0.479869082	
USB	0.14	0.06	0.10	0.28	0.63
bimetálico	0.05	0.06	0.03	0.06	0.21
digital	0.02	0.02	0.02	0.09	0.09
estándar	0.02	0.01	0.01	0.06	0.07
	0.22	0.14	0.16	0.48	1

Relación de Consistencia = 0.0023 < 0.1. Por lo tanto, los juicios son coherentes.²⁶

Se llegó a la conclusión de que el sensor USB para pH cumple con los requerimientos establecidos inicialmente y los juicios emitidos para evaluarlos son coherentes.

Matrices de criterios para sensor de conductividad eléctrica

- Matriz criterio a). No corrosivo

	Tipo Clarck	bimetálico	digital	estándar
Tipo Clarck	1	1/5	3	5
bimetálico	5	1	5	7
digital	1/3	1/5	1	3
estándar	1/5	1/7	1/3	1
	6.53	1.54	9.33	16.00

²⁶ Para profundizar en este cálculo, consultar marco teórico, metodologías.

- Matriz criterio b). Portabilidad

	Tipo Clarck	bimetálico	digital	estándar
Tipo Clarck	1	1	3	5
bimetálico	1	1	3	5
digital	1/3	1/3	1	7
estándar	1/5	1/5	1/7	1
	2.53	2.53	7.14	18.00

- Matriz criterio c). Precisión

	Tipo Clarck	bimetálico	digital	estándar
Tipo Clarck	1	1/5	3	3
bimetálico	5	1	3	5
digital	1/3	1/3	1	3
estándar	1/3	1/5	1/3	1
	6.67	1.73	7.33	12.00

- Matriz criterio d). Vida útil larga

	Tipo Clarck	bimetálico	digital	estándar
Tipo Clarck	1	1/5	3	5
bimetálico	5	1	7	9
digital	1/3	1/7	1	3
estándar	1/5	1/9	1/3	1
	6.53	1.45	11.33	18.00

Matriz de resultados

	No corrosivo	Portabilidad	Precisión	Vida util larga	RESULTADOS
	0.218767934	0.143552726	0.157810258	0.479869082	
Tipo Clarck	0.03	0.06	0.02	0.07	0.15306122
bimetálico	0.17	0.06	0.12	0.37	0.76530612
digital	0.01	0.02	0.01	0.02	0.05102041
estándar	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03061224
	0.22	0.14	0.16	0.48	1

Relación de Consistencia = 0.054 < 0.1. Por lo tanto, los juicios son coherentes.

Se llegó a la conclusión de que el sensor bimetálico para conductividad eléctrica para baja salinidad cumple con los requerimientos establecidos inicialmente y los juicios emitidos para evaluarlos son coherentes.

Parámetros controlables durante el proceso			
Parámetro	Imagen	Equipo con especificaciones	Precio y Distribuidor
pH		Sensor USB para pH. Sensible de rangos de 0 a 14. Los resultados se muestran en display en potencias de mVolts, cuenta con memoria flash 9. Electrodo inoxidable para permanencia en fangos. Incluye su cable USB de 180 cm. Legibilidad de 0,10.	\$ 870.67 IVA incluido. Distribuidor: Electrónica Estudio
Conductividad eléctrica		Sensor bimetálico para baja salinidad. Apto para sumergir en fangos. Rangos de 20 μ S hasta 20 mS. Constante de célula de $Kcm^{-1} = 0,1$ y 1. Material: Inox. ISI316. Temperatura de trabajo: 250°C máx. Rosca $\frac{1}{4}$ pulg. NPT. Presión de 16 bar mas. A 25°C. Sensor temp. Pt100. Legibilidad de 0,001 μ S.	\$ 1,112.43 IVA incluido. Distribuidor: DPF Sensors

- 6** Para el factor ***Experimentos exploratorios en modelo escala*** se evaluaron diversos factores para determinar qué condiciones son las mas favorables para facilitar la supervivencia y controlar la migración de las lombrices.

3.1.2.6 EXPERIMENTOS DE CAMPO PARA EL ANÁLISIS DE LA MIGRACIÓN DE LAS LOMBRICES ROJAS CALIFORNIANAS (*Eisenia Foetida*).

Propósito:

La finalidad de los experimentos es identificar los principales factores que influyen en mayor medida para incitar a las lombrices a emigrar de un sitio a otro. La migración de las lombrices determinará el diseño del sistema donde se desarrolle el lombricomposteo. El diseño experimental es de tipo exploratorio, ya que solo se desea conocer fenómenos donde la variable más importante es la migración de las lombrices.

Materiales:

- Lombrices californianas (*eisenia foetida*).
- Sustratos diversos como frutas y verduras en grado medio de descomposición.
- Suelo proveniente del área de compostaje de la UTM, el cual fue analizado en los análisis fisicoquímicos.
- Los demás materiales varían según el tipo de experimento a montar.

Muestreo:

- Por conveniencia del contenido de los recipientes, los cuales tienen capacidad para 250 grs. el número de muestra fue de 100 grs. de lombrices con 50 grs. de

suelo y sustrato de 75 grs. Se eligieron los 100 grs. de lombriz viva adulta (con clitelio) de forma aleatoria sin reposición.

- Conforme se realizaban los experimentos, se elegía el factor donde emigraban mas lombrices y los demás se descartaban para el siguiente experimento y así sucesivamente hasta encontrar los factores que favorecían en mayor escala el fenómeno de migración.
- En cada experimento se realizaban simultáneamente los sub-experimentos de los factores, por ejemplo en el experimento 1, se montaron las pruebas piloto y se observaron al mismo tiempo el de frutas, el de verduras y la combinación; es decir, los tres factores se efectuaron en los mismos 15 días. Se realizaron 8 repeticiones, monitoreando cada 3 horas, con el fin de encontrar la mayor precisión en los datos obtenidos. En total, se realizaron 7 experimentos.

Equipo:

EQUIPO UTILIZADO	ESPECIFICACIONES
Balanza analítica de laboratorio	Balanza analítica calibrada a 0, serie Extend capacidad 420 g. con una legibilidad de 0,1mg. Tiempo de respuesta de 1-2 seg. Platillo de pesada: 90mm de diam., repetibilidad de 0,1mg., linealidad de 0,2 mg.
Potenciómetro para medir pH	Potenciómetro para pH con electrodo de vidrio, medición de 0-14. Precisión: +- 0,001 pH, 1 mV, 0,1°C. Error de medida: +- 2 mV.
Regla metálica	Regla metálica marca Afford con capacidad de medición de 30 cm. con una legibilidad de 1mm.
Cinta métrica	Cinta métrica marca Afford de vinil flexible con capacidad de medición de 100 cm con una legibilidad de 1mm.
Analizador de humedad	Analizador de humedad Sartorius con capacidad de 30 g., legibilidad de 0,0001 g.

Resumen de resultados²⁷:

²⁷ Para mayor información de los experimentos exploratorios, consultar Anexo 5.

De acuerdo a los experimentos de tipo exploratorio, literatura existente, método Taguchi y matrices AHP para determinar las mejores condiciones para facilitar la migración de las lombrices, se tiene el siguiente resumen.

No.	FACTOR	RANGO
1	pH	7-9
2	Alimento	Combinado: frutas, verduras, entre otros.
3	Sombra	Malla al 80%
4	Humedad	70-80%
5	Distancia ²⁸	11cm
6	Material ²⁹	Resina c/ fibra de vidrio color mate moldeado en forma de embudo
7	Masa de sustrato	La mayor, de 200 grs.
8	Mecanismo de transporte	Embudos interconectados

7 El factor **Análisis de decisiones para materiales** es una herramienta que tiene como finalidad tomar decisiones a partir de una lista de alternativas que corresponden a criterios específicos por medio de la asignación de calificaciones jerarquizadas. Dicha herramienta se utilizó principalmente para la selección de materiales, independientemente que se llevaron a cabo experimentos exploratorios para verificar compatibilidad con las lombrices.

Se evaluaron los materiales para el modelo prototipo que fue seleccionado anteriormente llamado esferoides interconectados para maduración, y el prototipo para tamizar la lombricomposta.

²⁸ Para determinar la distancia exacta, se exploró rodeando a la distancia favorecida de 10 cm. con 2 números arriba y dos abajo, de los cuales, con método Taguchi, resultó ser de 11 cm. Ver Anexo 5

²⁹ Para determinar mejor material se analizó con matrices de decisión AHP. Ver Anexo 3

3.1.2.7 Matriz de Proceso Analítico Jerárquico o AHP para Materiales.

META: Obtener el mejor material de entre las alternativas que cumpla con las especificaciones de los criterios para la construcción de los *contenedores de maduración* de lombricomposteo.

CRITERIOS: Se requiere un material con las siguientes características:

- a) No poroso
- b) Anticorrosivo
- c) Moldeable
- d) Bajo costo
- e) Opacidad
- f) No tóxico

ALTERNATIVAS: Debido a las características antes mencionadas se tienen los siguientes materiales como las siguientes alternativas:

- Madera
- Fibra de vidrio
- Acero
- Acrílico
- PVC
- Vidrio

La descripción de los materiales antes mencionados, se describen en Anexo 3.

DESCRIPCIÓN DE LOS CRITERIOS

a) **NO POROSO:** El proceso de lombricomposteo requiere de la mezcla de sustratos como desechos orgánicos diversos, suelo, agua y lombrices. Estos elementos contienen

gran cantidad de agua, además que se debe conservar una humedad del 70-80%. Dicho requerimiento es esencial en el desarrollo de las lombrices, por lo que se debe encontrar un material donde la porosidad sea mínima, pues la presencia de esta, contribuye a la filtración de líquidos y desgaste del material a corto plazo.

b) ANTICORROSIVO: El proceso de lombricomposteo requiere permanecer en una humedad de rango elevado, por lo que se requiere un material que no se corra fácilmente, puesto que el contenido de líquidos de la lombricomposta es saturado. Luego que si se llegara a corroer, el material desprendido puede generar toxicidad para las lombrices, además que se inicia un deterioro gradual en el material.

c) MOLDEABLE: La geometría de los contenedores de maduración es de forma esferoide oblato, es una forma que requiere costos de elaboración excesivos en algunos materiales como el acero o materiales rígidos que no se prestan fácilmente para el moldeo.

d) BAJO COSTO: Uno de los principales criterios en toda propuesta es la obtención de eficiencia al menor costo. Luego que según modelo propuesto se requieren 3 esferoides por prototipo, y las dimensiones son considerables, por lo que se requiere un material con bajo costo.

e) OPACIDAD: En los requerimientos biológicos de la lombriz *eisenia foetida* y experimentos exploratorios, esta necesita sobrevivir bajo sombra en un rango del 80-90%, además que esta especie es fotofóbica por lo que al sumergirse en un ambiente opaco, podrá desarrollarse mas fácilmente pues no se permitirá el paso de la luz.

f) **NO TOXICIDAD:** Los recipientes serán utilizados para llevar a cabo proceso natural el cual genera como producto final un abono que su valor radica en su naturaleza orgánica, es importante encontrar un material que no se degrade o desprenda residuos tóxicos durante su uso.

IMPORTANCIA DE VALORES CARDINALES

Importancia o preferencia	Valor cardinal	Explicación
Igual	1	Dos elementos contribuyen idénticamente al objetivo.
Moderada	3	La experiencia manifiesta que existe una débil dominancia de un elemento sobre otro.
Fuerte	5	La experiencia manifiesta una fuerte dominancia de un elemento sobre otro.
Muy Fuerte	7	La dominancia de un elemento sobre otro es completamente demostrada.
Extremadamente fuerte	9	Las evidencias demuestran que un elemento es absolutamente dominado por otro.

Tabla 23. Escala de puntos para comparaciones apareadas. Extraído de www.mag.go.cr/rev_agr/inicio.htm.

Estos valores son utilizados a lo largo del desarrollo de todas las matrices para cada uno de los materiales evaluados.

La relación de consistencia (RC) mide la calidad de los juicios emitidos por un decisor. Se considera que un $RC < 0.1$ es aceptable.

MATRICES

	No poroso	Anticorrosivo	Moldeable	Bajo costo	Opacidad	No tóxico
No poroso	1	1/3	5	1/3	3	1/7
Anticorrosivo	3	1	7	5	7	1/3
Moldeable	1/5	1/7	1	1/5	1/3	1/9
Bajo costo	3	1/5	5	1	5	1/5
Opacidad	1/3	1/7	3	1/5	1	1/3
No tóxico	7	3	9	5	3	1
Σ:	14.53	4.82	30.00	11.73	19.33	2.12

- Matriz criterio a). No porosidad

	Madera	Fibra de vidrio	Acero Inox.	Acrílico	PVC	Vidrio
Madera	1	1/7	1/9	1/5	1/5	1/5
Fibra de vidrio	7	1	1	3	3	3
Acero	9	1	1	3	3	3
Acrílico	5	1/3	1/3	1	1	1
PVC	5	1/3	1/3	1	1	1
Vidrio	5	1/3	1/3	1	1	1
Σ:	32.00	3.14	3.11	9.20	9.20	9.20

- Matriz criterio b). Anticorrosivo

	Madera	Fibra de vidrio	Acero Inox.	Acrílico	PVC	Vidrio
Madera	1	1/7	1/7	1/3	1/3	1/3
Fibra de vidrio	7	1	1	1	1	3
Acero Inoxidable	7	1	1	3	3	3
Acrílico	3	1	1/3	1	1	1
PVC	3	1	1/3	1	1	1
Vidrio	3	1/3	1/3	1	1	1
Σ:	24.00	4.48	3.14	7.33	7.33	9.33

- Matriz criterio c). Moldeable

	Madera	Fibra de vidrio	Acero Inox.	Acrílico	PVC	Vidrio
Madera	1	1/9	1/3	1/3	1/5	1/3
Fibra de vidrio	9	1	9	9	5	7
Acero Inoxidable	3	1/9	1	1/9	1/9	1/5
Acrílico	3	1/9	9	1	1	3
PVC	5	1/5	9	1	1	3
Vidrio	3	1/7	5	1/3	1/3	1
Σ:	24.00	1.68	33.33	11.78	7.64	14.53

- Matriz criterio d). Bajo costo

	Madera	Fibra de vidrio	Acero Inox.	Acrílico	PVC	Vidrio
Madera	1	3	9	3	3	3
Fibra de vidrio	1/3	1	9	7	7	5
Acero Inoxidable	1/9	1/9	1	1/9	1/9	1/9
Acrílico	1/3	1/7	9	1	1/3	3
PVC	1/3	1/7	9	3	1	3
Vidrio	1/3	1/5	9	1/3	1/3	1
Σ:	2.44	4.60	46.00	14.44	11.78	15.11

- Matriz criterio e). Opacidad

	Madera	Fibra de vidrio	Acero Inox.	Acrílico	PVC	Vidrio
Madera	1	1	1	9	1	7
Fibra de vidrio	1	1	1	9	1	9
Acero Inoxidable	1	1	1	9	1	7
Acrílico	1/9	1/9	1/9	1	1/5	1
PVC	1	1	1	5	1	3
Vidrio	1/7	1/9	1/7	1	1/3	1
Σ :	4.25	4.22	4.25	34.00	4.53	28.00

- Matriz criterio f) No toxicidad

	Madera	Fibra de vidrio	Acero Inox.	Acrílico	PVC	Vidrio
Madera	1	1	3	1	1	1
Fibra de vidrio	1	1	3	3	1	1
Acero Inoxidable	1/3	1/3	1	1	1	1
Acrílico	1	1/3	1	1	1	1
PVC	1	1	1	1	1	1
Vidrio	1	1	1	1	1	1
Σ :	5.33	4.67	10.00	8.00	6.00	6.00

- Matriz de resultados

	No poroso	Anticorrosivo	Moldeable	Bajo costo	Opacidad	No tóxico	Resultados
	0.09	0.27	0.03	0.14	0.06	0.41	
Madera	0.00	0.01	0.00	0.05	0.02	0.08	0.14
Fibra de vidrio	0.03	0.06	0.01	0.05	0.02	0.10	0.31
Acero Inoxidable	0.03	0.09	0.00	0.00	0.02	0.05	0.18
Acrílico	0.01	0.04	0.00	0.02	0.00	0.06	0.11
PVC	0.01	0.04	0.00	0.02	0.01	0.07	0.15
Vidrio	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.07	0.10
Σ :	0.09	0.27	0.03	0.14	0.06	0.41	1.00

Relación de Consistencia = 0.0046 < 0.1. Por lo tanto, los juicios son coherentes.

Una vez realizado el proceso analítico jerárquico o AHP para encontrar el material óptimo para la construcción de los contenedores de maduración de lombricomposteo, se establecieron los criterios mas importantes y los materiales mas adecuados, de los

cuales, la **Fibra de vidrio** resultó ser el material idóneo para los criterios que se solicitan al inicio del análisis según los datos de tabla de Resultados.

Matriz de Proceso Analítico Jerárquico o AHP para Materiales.

META: Obtener el mejor material de entre las alternativas que cumpla con las especificaciones de los criterios para la construcción del *colector para lixiviados* , el cual es complemento del prototipo de maduración de lombricomposteo.

CRITERIOS: Se requiere un material con las siguientes características:

- a) No frágil
- b) Bajo costo
- c) Traslúcido

DESCRIPCIÓN DE LOS CRITERIOS

NO FRÁGIL: El colector de lixiviados es un componente que se situará en la parte inferior del prototipo, éste tendrá que soportar a los 3 recipientes esferoides de , las mallas y sobre todo el contenido de cada recipiente que suman 79 kg.

BAJO COSTO: Este factor siempre se considera puesto que se busca un material con las especificaciones requeridas al menor costo posible.

TRASLÚCIDO: La función de este componente es recolectar todos los líquidos provenientes de la descomposición de los desechos orgánicos que se resbalen por las mallas, aunque no es mucha cantidad, es necesario recolectarlos por limpieza y volver a

vaciarlos a los recipientes. Debido a que son líquidos constantes, es necesario visualizar el nivel del líquido, para vaciarlo a la lombricomposta, por ello se necesita que sea un material transparente.

ALTERNATIVAS: Debido a las características antes mencionadas se tienen los siguientes materiales como las siguientes alternativas:

- Acrílico
- PVC
- Vidrio

La descripción de los materiales antes mencionados, se describen en Anexo 3.

MATRICES

- Matriz de factores

	Resistente	Bajo costo	Traslucido
Resistente	1	5	3
Bajo costo	1/5	1	3
Traslucido	1/3	1/3	1
	1.53	6.33	7

- Matriz criterio a). Resistente

	Acrílico	PVC	Vidrio
Acrílico	1	3	9
PVC	1/3	1	7
Vidrio	1/9	1/7	1
	1.44	4.14	17

- Matriz criterio b). Bajo costo

	Acrílico	PVC	Vidrio
Acrílico	1	3	5
PVC	1/3	1	3
Vidrio	1/5	1/3	1
	1.53	4.33	9

- Matriz criterio c). Traslúcido

	Acrilico	PVC	Vidrio
Acrilico	1	9	1
PVC	1/9	1	1/7
Vidrio	1	7	1
	2.11	17.00	2.14285714

- Matriz de resultados

	Resistente	Bajo costo	Traslucido	Resultados
	5/8	0.238	1/7	
Acrilico	0.40	0.15	0.07	0.59
PVC	0.18	0.06	0.01	0.20
Vidrio	0.04	0.03	0.06	0.20
	0.62	0.24	0.14	1.00

Relación de Consistencia =0.0067 <0.1. Por lo tanto, los juicios son coherentes.

Según tabla de resultados anterior, el acrílico es el mejor material para construir el colector de lixiviados que cumple con los requerimientos especificados.

META: Obtener el mejor material de entre las alternativas que cumpla con las especificaciones de los criterios para la construcción del colector de lombricomposteo y los cilindros separadores para la criba.

CRITERIOS: Se requiere un material con las siguientes características:

- Resistente
- Bajo costo
- Durable

DESCRIPCIÓN DE LOS CRITERIOS

RESISTENTE: El colector tendrá como función depositar todo el material cribado (lombricomposta separada de lombrices y desechos orgánicos), su posición es en la parte inferior de la criba, soporta otros cilindros que contienen a las mallas de la criba

BAJO COSTO: La función principal de los cilindros es dar soporte a las mallas y la del colector es contener a la lombricomposta limpia, por lo tanto, sus funciones no requieren una alta demanda en calidad, por lo tanto, se requiere un material de bajo costo.

DURABLE: El uso de estos recipientes será constante una vez que se establezca el proceso después de los primeros 2 meses de maduración, el cribado siempre será necesario una vez que se complete la maduración de la lombricomposta, por ello se requiere un material que además de soportar la vibración constante, también tenga un tiempo de vida prolongado por la constante utilización de la criba.

ALTERNATIVAS: Debido a las características antes mencionadas se tienen los siguientes materiales como las siguientes alternativas:

- Acrílico
- PVC
- PET

La descripción de los materiales antes mencionados, se describen en Anexo 3.

MATRICES

- Matriz de factores

	Resistente	Bajo costo	Durable
Resistente	1	3	1/5
Bajo costo	1/3	1	7
Durable	5	1/7	1
	6.33	4.14	8.2

- Matriz criterio a). Resistente

	Acrilico	PVC	PET
Acrilico	1	1/5	1/3
PVC	5	1	3
PET	3	1/3	1
	9.00	1.53	4.33

- Matriz criterio b). Bajo costo

	Acrilico	PVC	PET
Acrilico	1	1/3	1/5
PVC	3	1	3
PET	5	1/3	1
	9.00	1.67	4.2

- Matriz criterio c). Durable

	Acrilico	PVC	PET
Acrilico	1	1/3	1/3
PVC	3	1	5
PET	3	1/5	1
	7.00	1.53	6.33

- Matriz de resultados

	Resistente	Bajo costo	Durable	Resultados
	0.302	0.382	0.315	
Acrilico	0.03	0.05	0.04	0.12
PVC	0.19	0.21	0.20	0.60
Vidrio	0.08	0.13	0.08	0.28
	0.30	0.38	0.32	1

Relación de Consistencia =0.008 <0.1. Por lo tanto, los juicios son coherentes.

El PVC resultó ser el mejor material en cuanto a la resistencia, bajo costo y durabilidad.

Es un material de fácil acceso y manejo.

META: Obtener el mejor tipo de malla que satisfaga los criterios especificados. Las mallas son aquellas que se colocarán en el fondo de cada recipiente esferoide para permitir el paso de las lombrices hacia los mas cercanos. Son las mismas utilizadas también en el fondo de los cilindros de PVC para la criba de lombricomposta.

CRITERIOS: Se requiere un material con las siguientes características:

- a) No corrosivo
- b) Bajo costo
- c) Antifricción

DESCRIPCIÓN DE LOS CRITERIOS

NO CORROSIVO: Los recipientes de maduración contienen desechos orgánicos ricos en agua y la humedad para el proceso requerida esta entre 70-80%, por lo tanto, se requiere un material que no se oxide ni deteriore con la presencia de humedad.

BAJO COSTO: Cada recipiente requiere de una malla en el fondo, por prototipo propuesto mas criba, son 6 mallas, además cada malla requiere 100 cm de diámetro.

ANTIFRICCIÓN: Según experimentos exploratorios, las lombrices necesitan emigrar a través de las aperturas de las mallas, se observó que cuando lo hacían, algunas, eran heridas debido al filo de los hilos de las mallas, es importante que estos hilos sean gruesos y redondeados para evitar dichos problemas.

ALTERNATIVAS: Debido a las características antes mencionadas se tienen los siguientes productos como las siguientes alternativas:

- Tipo mosquitero plástica
- De acero inoxidable plisada
- Malla común para criba

La descripción de los productos antes mencionados, se describen en Anexo 2b.

MATRICES

- Matriz de factores

	No corrosivo	Bajo costo	antifricción
No corrosivo	1	3	3
Bajo costo	1/3	1	3
antifricción	1/3	1/3	1
	1.67	4.33	7

- Matriz criterio a). No corrosivo

	tipo mosquitero	malla acero inox. tipo plisada	malla para cribas
tipo mosquitero	1	1	5
malla acero inox. tipo plisada	1	1	9
malla para cribas	1/5	1/9	1
	2.20	2.11	15

- Matriz criterio b). Bajo costo

	tipo mosquitero	malla acero inox.	malla para cribas
tipo mosquitero	1	7	5
malla acero inox. tipo plisada	1/7	1	3
malla para cribas	1/5	1/3	1
	1.34	8.33	9

- Matriz criterio c). Antifricción

	tipo mosquitero	malla acero inox. tipo plisada	malla para cribas
tipo mosquitero	1	1/9	1/3
malla acero inox. tipo plisada	9	1	9
malla para cribas	3	1/9	1
	13.00	1.22	10.33

- Matriz de resultados

No corrosivo	Bajo costo	Antifricción
--------------	------------	--------------

	0.573	0.286	0.139	
tipo mosquitero	0.24	0.20	0.01	0.40
malla acero inox. tipo plisada	0.29	0.05	0.11	0.50
malla para cribas	0.04	0.03	0.02	0.10
	0.57	0.29	0.14	1.00

Relación de Consistencia = 0.0023 < 0.1. Por lo tanto, los juicios son coherentes.

La malla de acero inoxidable resultó ser más favorable sobre todo porque los alambres que la componen son de perfil circular inoxidable, lo cual permite el fácil deslizamiento de las lombrices. Además que el material de acero es más durable, no tóxico y resistente, factores favorables ya que soportaran el contenido de lombricomposta.

- 8 Los factores 8 y 9 son parámetros que se pueden controlar con el factor 4 pues la implementación de sensores tiene la capacidad de registrar y controlar los parámetros, en este caso es el pH y conductividad eléctrica. El factor 7 llamado sombra, es otro factor que se determinó en los experimentos exploratorios.

RELACIONES		
●	9	Relación fuerte
0	3	Relación media
Δ	1	Relación negativa

Factores que pasaron por el filtro de Pareto		Importancia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Tamizadora con mallas de separación.	4	●									
2	Especificaciones fisicoquímicas de la NMX-FF-109-SCFI-2007 para producto final	5		●							●	
3	Modelos prototipo para la producción	5			●		●				0	
4	Implementación de sensores de parámetros controlables	3		●		●				●		
5	Experimentos exploratorios en modelos a escala con ANOVA	5			●		●				0	0
6	Análisis de decisiones para materiales.	4	Δ		●		0	●				
7	Sombra	4							●			
8	Conductividad eléctrica	4								●		

3.1.2.8 DIAGRAMA PARETTO PARA FASE 2

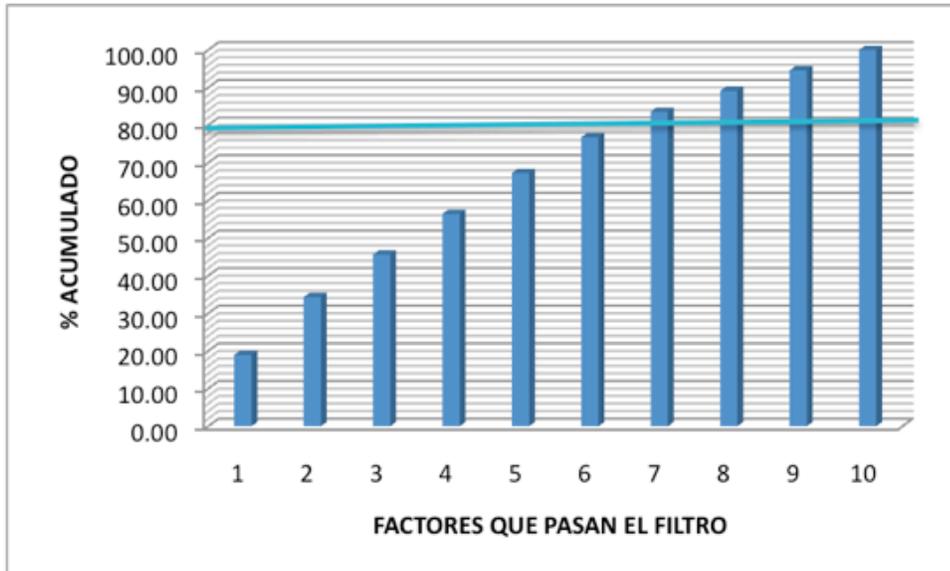


Gráfico 12. Diagrama Paretto para factores de fase 2. Elaboración propia.

	Datos ordenados	%	Datos acumulados	% acumulado
	126	18.98		
	102	15.36	126	18.98
	75	11.30	228	34.34
	72	10.84	303	45.63
	72	10.84	375	56.48
	63	9.49	447	67.32
	45	6.78	510	76.81
	37	5.57	555	83.58
	36	5.42	592	89.16
	36	5.42	628	94.58
TOTAL	664	100	664	100

Tabla 24. Tabla de datos Paretto para factores de fase 2. Elaboración propia.

3.1.3 Matriz de planeación del proceso

De la fase anterior se filtraron 6 componentes, los cuales requieren se describa el proceso general para entender la relación funcional de cada uno y como sistema.

DIAGRAMA DE PROCESO PROPUESTO

Trabajo: Producción de Lombricomposta

Método: Propuesto

Elaboró: Brenda García Jarquín

Fecha: 29/03/2009

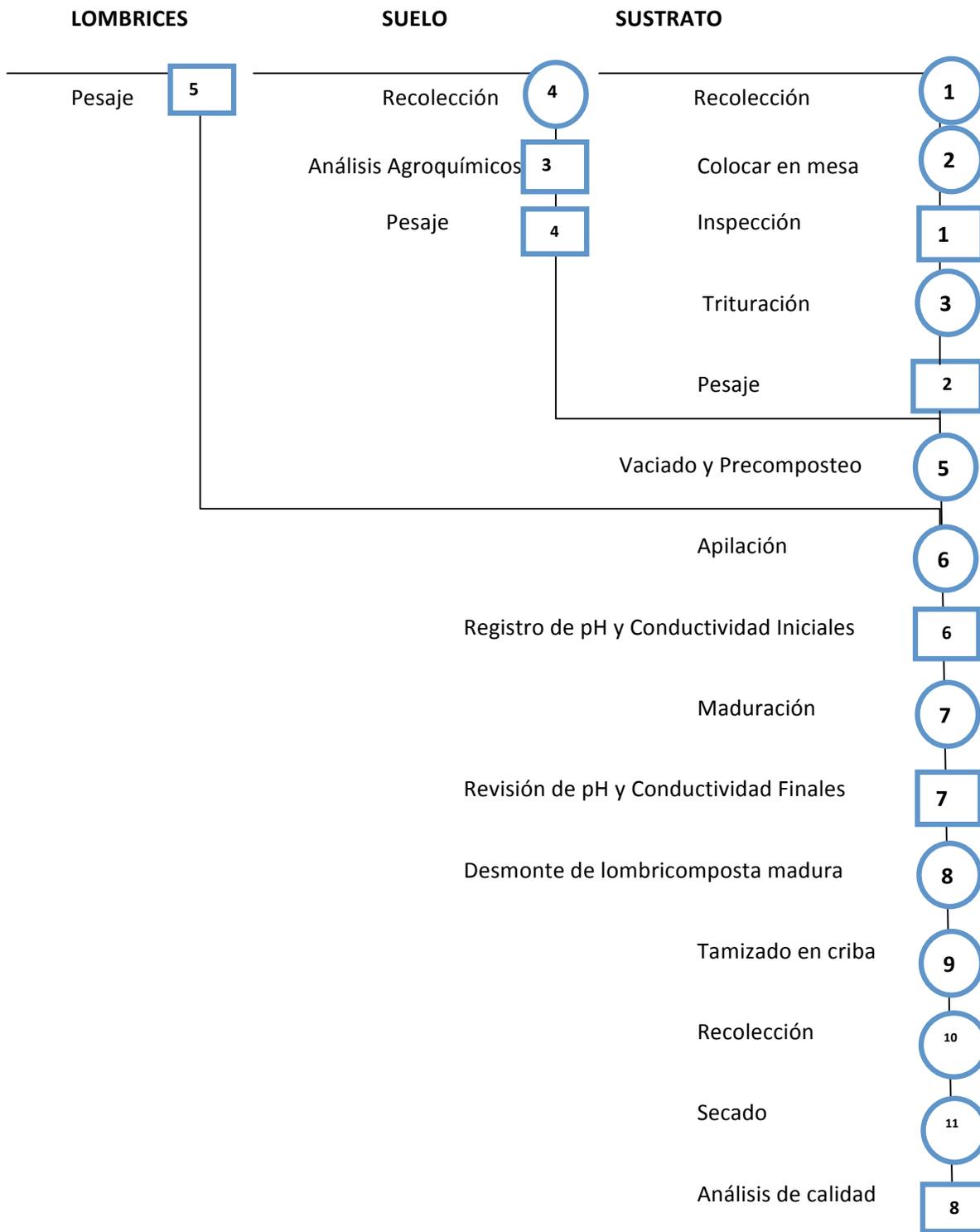
Detalles del método propuesto	Operación					Análisis				Observaciones
	Operación	Transporte	Inyección	Retorno	Almacenaje	¿Qué?	¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Cómo?	
Vaciado de sustrato y suelo previamente pesados y seleccionados. ³⁰	●	→	□	D	▽	X			X	La cantidad de sustrato suministrado es de 75 kg y 1,6 kg de suelo. Existen estudios fisicoquímicos de salinidad y fertilidad, los cuales indican que la zona ideal para extraer suelo, es en la zona de compostaje.
Transporte de los recipientes al área de maduración	○	→	□	D	▽	X				Los recipientes esféricos llenos de sustrato previo a compostar.
Precomposteo	○	→	□	D	▽			X		Este recipiente con el sustrato y suelo se deja precompostar durante 7 días.
Vaciado de lombrices a recipiente con sustrato precompostado	●	→	□	D	▽			X		Después del precomposteo, en el día 7 le son vaciados 3,2 kg de lombriz.
Maduración	○	→	■	D	▽			X	X	La maduración empieza en este momento y dura 23 días más. Ya que se requieren 30 días de maduración
Registro del pH y Conductividad Eléctrica iniciales						X				El pH y conductividad eléctrica son detectados mediante los sensores ya especificados en los anexos. Donde inicialmente el pH debe ser 7-8 y la CE. <=1 dS/m.
Revisión de humedad	●	→	□	D	▽				X	Durante el proceso se debe conservar una humedad del 70-80%. Este proceso se lleva a cabo de la siguiente forma: Se sumerge una varilla de acero inoxidable graduada de 30 cm de longitud en el interior de los esferoides hasta tocar fondo. Se extrae y si la mitad sale húmeda, esta bien. De lo contrario, si menos de la mitad está húmeda, se suministra agua corriente, o bien líquido de los lixiviados.
Intercalado de recipientes para migración								X	X	El día 23 se intercalará un recipiente con sustrato y suelo previamente compostado, por debajo del recipiente en maduración. Esto tiene como finalidad que a partir de ese día, las lombrices empiecen a emigrar puesto que para esta fecha, el sustrato fue consumido en un 77% y buscarán nuevo medio de supervivencia

☒ Cabe señalar que el secado del producto terminado es una actividad inherente al proceso, es decir, es necesaria. Sin embargo, para agilizarlo, se propone colocar un extractor de aire en el área de producto terminado.

Detalles del método propuesto	Operación					Análisis				Observaciones
	Operación	Transporte	Inspección	Retraso	Almacenaje	¿Qué?	¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Cómo?	
Revisión de pH y Conductividad eléctrica para verificar madurez.	○	➔	□	⌋	▽				X	En el día 30 se ha culminado la maduración de la lombricomposta. Se lee el pH y conductividad eléctrica mediante los sensores donde el pH debe ser 7-8 y la CE. <=4 dS/m.
Transporte a área de criba	○	➔	□	⌋	▽	X			X	El recipiente con lombricomposta madura se desmonta y se transporta al área de cribado donde se tamiza el producto obteniendo un tamaño de grano de 3,86 mm de diámetro.
Transporte al área de secado	○	➔	■	⌋	▽	X			X	La lombricomposta tamizada se transporta al área de secado donde se extiende sobre papel kraft sobre unos anaqueles expuestos a un extractor de aire disminuyendo la humedad al 20% en 0,7 horas.
Pruebas de biomasa y nitrógeno	○	➔	□	⌋	▽				X	Una vez listo el producto con 20 % de humedad, se extrae una muestra de 10g por cada esferoide y se lleva al laboratorio de edafología para determinar cantidad de biomasa y nitrógeno según NMX-FF-109-SCFI-2007.
Almacenamiento del producto terminado						X				La lombricomposta es vaciada a los depósitos de almacenamiento.

RESUMEN		
Símbolo	Operación	Total
○	Operación	3
➔	Transporte	3
□	Inspección	4
⌋	Retraso	0
▽	Almacenamiento	3

3.1.3.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO GENERAL PROPUESTO³¹



Resumen de diagrama de flujo de proceso

SIMBOLO	FUNCIÓN	OPERACIÓN
	Operación	11
	Inspección	8

Fase 3. Matriz de planeación del proceso

RELACIONES		
●	2	Relación fuerte
○	3	Relación media
△	1	Relación negativa

1	Análisis físico-químicos para madurez: pH y CO ₂ . Para calidad, biomasa y nitrógeno.	3
2	Esferoides oblatos interconectados por resaca en fibra de vidrio con resina epoxi.	3
3	Sensor USB para PH con sensibilidad de 0 a 14	3
4	Humedad del 70-80%, analizales combinados, Intinados y blandos	4
5	Sensor de CO ₂ para baja salinidad de hasta 20 mS	3
6	Acomodo de recipientes aplicados	3

Importancia absoluta

Evaluación

Nuevo/Dificultad técnica

Filtro/Transmisión

	pH (2)	CO ₂ (3)	Humedad (4)	CO ₂ (5)	Importancia absoluta (6)	
1	●			○	130	
2	●	●			128	
3	●		●		24	
4	△	●			128	
5	●			●	117	
6					171	
	2	3	6	4	5	1
	X					X
	X	X		X		X

Diagrama Paretto para Fase 3

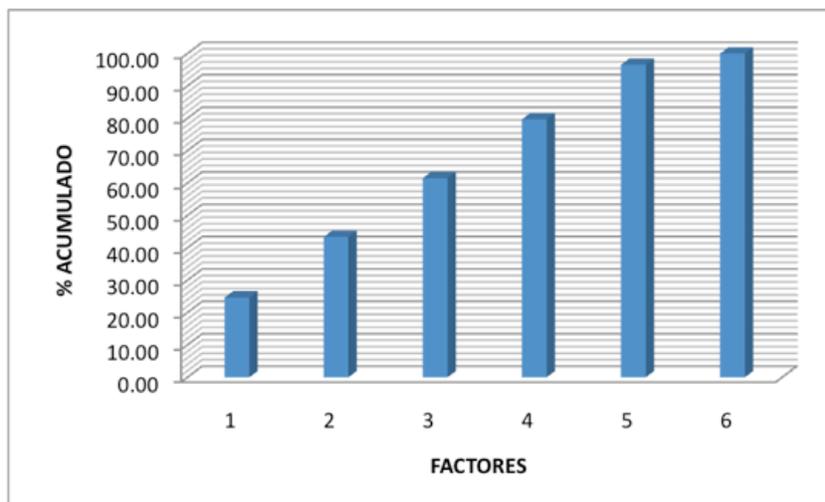


Gráfico 13. Diagrama Paretto para factores de fase 3. Elaboración propia.

	Datos ordenados	%	Datos acumulados	% acumulado
	171	24.64		
	130	18.73	171	24.64
	126	18.16	301	43.37
	26	18.16	427	61.53
	117	16.86	553	79.68
	24	3.46	670	96.54
TOTAL	694	100	694	100

Tabla 25. Datos para análisis Paretto para factores de fase 3. Elaboración propia.

3.1.4 Planeación de producción

En esta etapa se determinan cuatro diferentes tipos de requerimientos: a) Requerimientos críticos de control, b) Requerimientos de mantenimiento de producción, c) Requerimientos a prueba de error, d) Requerimientos de entrenamiento y educación.

Parámetros de proceso críticos. Son los parámetros filtrados de la etapa 3. Aquellos parámetros de proceso trasladados por falta de capacidad de proceso, se requiere tratarlos con cuidado para asignarles un valor justo. Puede ser necesario ajustar los valores máximo y mínimo al considerar estos parámetros.

Evaluación de la operación. Cada parámetro de proceso se evalúa en base a: a) dificultad de controlar el proceso, b) frecuencia de problemas detectados o pronosticados, c) severidad de los problemas del proceso, d) habilidad para detectar problemas si ocurren. Esta evaluación se hace en una escala de 1 a 3, siendo 3 la máxima dificultad, la mayor frecuencia, la mayor severidad y la no probabilidad de detección del problema. Los números asignados se multiplican por los valores de importancia para obtener un total para cada parámetro de proceso, el cual da una pauta de la importancia de controlar determinados parámetros de proceso.

EVALUACIÓN DE LA OPERACIÓN					
Parámetro	Importancia	Dificultad	Severidad	Frecuencia	Problemas
Análisis fisicoquímicos para madurez: pH y CE. Para calidad:	Se le asigna calificación de 5 puesto que es	Se le asignó la mayor	Es prioritario	Una vez	En este

biomasa y nitrógeno.	prioritario controlar la madurez para no desfasar los tiempos de producción. Y el control de biomasa y nitrógeno determinan el grado de calidad del producto.	calificación (3) puesto que los análisis de calidad requieren la ejecución de las técnicas en laboratorio.	realizar estos análisis ya que si no se controla la madurez, difícilmente puede existir calidad.	montado el lombricomposteo, se ejecutan los análisis al inicio, a los 15 días y por último en el día 30. Si en este día aun no esta madura, puede que en los siguientes 10 días se de la madurez.	requerimiento , casi no se presentan problemas pues los sensores determinan la madurez. Los únicos problemas podrían presentarse en los análisis de laboratorio a la hora de ejecutarlos.
Vaciado de los recursos para la maduración: lombrices, desechos precompostados y suelo.	La máxima importancia radica en que este proceso es vital para iniciar el lombricomposteo. Si no se da, simplemente, no funciona.	La única dificultad que existe es que antes de vaciar los recursos a los esferoides se deben pesar.	La severidad radica en la importancia de la ejecución de este proceso. Es prioritario.	Esta tarea se ejecuta solo al inicio del proceso. Una sola vez.	El vaciado no presenta mayor problema puesto que solo se deben pesar los desechos con suelo para precompostar y posteriormente vaciar las lombrices a los 7 días.
Selección del sustrato o desechos orgánicos y control de humedad.	Los desechos seleccionados son frutas y verduras sin cítricos o materia artificial. Sin embargo, si existiesen algunos otros orgánicos, las	La dificultad es mínima, pues la selección de sustrato solo es por inspección a juicio y el control de humedad se hace por	La rigidez para practicar la selección de desechos puede ser menor y cuando sean desechos orgánicos. El control de	La frecuencia de la selección del sustrato, es solamente cuando se recibe el sustrato y se va a precompostar. El control d	La inspección a juicio y el control de humedad no exigen mucha precisión, por ello, no hay mayor problema.

	<p>lombrices tienen la capacidad de digerirlos siempre y cuando sean blandos y húmedos.</p> <p>La importancia del control de la humedad radica en mantener a las lombrices en su medio para sobrevivir la cual debe estar entre 70-80%.</p>	<p>medio del hundimiento de la varilla.</p>	<p>humedad no tiene que ser muy estricto, pues es un proceso no muy preciso, es mas bien experimental.</p>	<p>e la humedad se ejecuta cada 8 días, es decir, 3 veces por esferoide.</p>	
<p>Apilación de contenedores con recursos en su interior listos para madurar.</p>	<p>La importancia de la apilación radica en que esta es la forma en que se evitara la fuga de las lombrices y ahorrara el uso de superficie terrestre.</p>	<p>La dificultad no es significativa pues para cuando se tengan que apilar para la migración, el recipiente pesará 52,88 kg. peso el cual se puede sostener con un cargador mecánico.</p>	<p>La severidad radica en que se tiene que ejecutar la apilación para evitar la fuga de las lombrices.</p>	<p>Se ejecuta hasta el día 23, que es cuando hay migración.</p>	<p>El único problema seria la colocación del recipiente en el cargador mecánico.</p>

Al final de las evaluaciones de operación se tiene que el parámetro **Análisis fisicoquímicos para madurez: pH y CE. Para calidad: biomasa y nitrógeno** requiere mayor control durante su ejecución, puesto que requiere que los análisis de madurez y calidad se lleven a cabo de una forma precisa y correcta, pues estos parámetros determinaran el contenido de nutrientes y posicionamiento en el mercado del producto.

Requerimientos de planeación. Esta sección se emplea para identificar factores de control, mantenimiento, a prueba de error y capacitación que se necesitaran implementar para llevar a cabo la fabricación del producto.

PLANEACIÓN DE REQUERIMIENTOS					
Parámetro	Control	Mantto.	Pruebas y error	Capacitación	Toma de tiempos
Análisis fisicoquímicos para madurez: pH y CE. Para calidad: biomasa y nitrógeno.	Solo se requiere que mediante hojas de registro de datos, se lleve el control de la calidad. Estos registros pueden servir como historial para ubicar el posicionamiento del grado de calidad del producto en el mercado.			Solo es necesaria para llevar a cabo los análisis de calidad, puesto que deben ser en el laboratorio.	
Vaciado de los recursos para la maduración: lombrices, desechos precompostados y suelo.	El control consiste en el pesaje de los recursos para posteriormente ser vaciados a los recipientes. No debe			Se debe informar que la proporción es de 75 kg de desechos,	

	haber mucha exactitud pues se trata de seres vivos			3,2 kg de lombrices y 1,6 de suelo.	
Selección del sustrato o desechos orgánicos y control de humedad.	La selección del sustrato se puede controlar por medio de la inspección y la humedad por medio del hundimiento de la varilla.			Se debe capacitar solo para informar el proceso de la varilla para humedad.	

					Evaluación de la operación		Planeación de requerimientos									
Fase 4. Planeación de producción																
PARAMETROS DE PROCESO CRITICOS					Importancia	Dificultad	Severidad	Frecuencia	Problemas	Total	Control	Mantenimiento	Pruebas y error	Capacitación	Toma de tiempos	
1 Análisis fisicoquímicos para madurez: pH y CE. Para calidad: biomasa y nitrógeno.					5	3	3	2	1	90	✓			✓		
2 Vaciado de los recursos para la maduración: lombrices, desechos precompostados y suelo.					5	1	3	1	1	15	✓			✓		
3 Selección del sustrato o desechos orgánicos y control de humedad.					4	1	2	2	1	16	✓			✓		
4 Apilación de contenedores con recursos en su interior listos para madurar.					5	1	3	1	1	15						

3.2 COMPARACIÓN DE VOLUMENES DE PRODUCCION

- Citado marco teórico y literatura existente, se tiene que por cada metro cubico de espacio, le corresponden 2 kg de lombrices rojas californianas.
- A cada m³ le corresponden 47 kg de sustrato. 1m³ de desechos son consumidos por los 2kg de lombrices en 30 días.
- Las lombrices solo necesitan suelo para subsistir en un medio húmedo, donde, por cada kg de lombrices, les corresponde ½ kg de suelo. *Ver marco teórico.*
- Cada lombriz pesa de 0,8-1g, donde, diariamente, consume su peso, de lo cual, el 60% lo excreta en forma de lombricomposta, y el 40% restante lo utiliza para cumplir su metabolismo. *Ver marco teórico.*
- La densidad aproximada del sustrato suministrado es de 48.1 kg/m³.
- Cada recipiente esferoide tiene capacidad para 1.67 m³ de espacio cúbico.
- Reséndiz (2009), registra que en las residencias del profesorado de la UTM, se generan alrededor de 140kg-150kg de desechos orgánicos diariamente.
- Debido al espacio en esferoides y densidad del sustrato, los recipientes pueden contener de 72.5 – 75 kg de sustrato pudiendo contener 3.2- 3,5kg de lombriz roja californiana y 1.68-2 kg de suelo húmedo al 90%.
- La alta tasa capacidad de reproducción de este tipo de lombriz permite duplicar su población en un periodo de 2 meses, logrando densidades de población de entre 4.000 y 5.000 individuos por m³. *Ver marco teórico.*

- Los desechos orgánicos deben precompostarse al menos 7 días para alcanzar la densidad, temperatura y humedad requeridas.

3.2.1 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PROCESO TRADICIONAL CON EL PROPUESTO

Parámetro	Tradicional	Propuesto
Volumen::>	3,75 m ³	1,67 m ³
Área ocupada por prototipo::>	7,5 m ²	1,58 m ²
Masa lombrices al inicio::>	7,5 kg	3,2 kg
Cantidad de Lombrices por cama::>	9.375 Uds.	4.175 Uds.
Masa de sustrato o desechos correspondientes:	176 kg	75 kg
Producción diaria de lombricomposta por cama:	4,5 kg	1,92 kg
Producción de lombricomposta en el 1er periodo::>	103,5 kg	88,32 kg ^[33]

Tabla 26. Parámetros cuantificables comparativos. Fuente: elaboración propia.

Si consideramos que en el proceso tradicional donde en 500 m² caben 20 camas ocupando un área neta productiva (sin pasillos) de 150m² considerando también que el periodo es de 23 días (menos 7 días de precomposteo), se tiene que para el 2º periodo de producción se producirían 2.070 kg de lombricomposta.

Con el propuesto, para este mismo periodo, cada cama (4 contenedores apilados) está produciendo 88,32 kg diarios. Por lo tanto, para el 2º periodo se tendrán 2.031,36 kg ³⁴ de lombricomposta con la diferencia que el área productiva neta será de 47,63 m².

Es decir, con la misma área del proceso tradicional que son 150 m², el lugar de producir 2.070 kg, con el propuesto se podrían producir 6.397 kg, pues se está optimizando 3,149 veces más el área terrestre.

Por consiguiente, la masa de lombriz también se optimizará puesto que en el tradicional se pierde del 35%-40% de lombrices por fuga o extravío (Curtis, 2002). Con el propuesto, no existirán pérdidas pues el único destino será el esferoide siguiente con sustratos precompostados listos para ser consumidos.

Para el 1er periodo, (tiempo para emigrar) en el tradicional probablemente se perderán minimamente 2,62 kg de lombriz por extravío. En el propuesto no hay forma de escape.

Para el 2º periodo, (tiempo para duplicar la población de lombrices), en el tradicional quedarán 4,88 kg. Comparado con el propuesto donde la población ascenderá a 6,24 kg.

3.2.2 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CONDICIONES DEL PROCESO TRADICIONAL CON EL PROPUESTO

Tradicional	Propuesto
<ul style="list-style-type: none"> ✚ Debido a que en este proceso las camas tiene contacto directo con el suelo, cuando las lombrices ya no tienen sustrato suficiente, emigran hacia el interior de la tierra, extraviándose gran cantidad de ellas hacia rumbos desconocidos. 	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Debido a que la apilación de los recipientes es continua, cuando deseen emigrar, lo harán al recipiente más próximo, aunado a que en los próximos ya contendrán desechos frescos.
<ul style="list-style-type: none"> ✚ Generalmente, en el tradicional son camas abiertas sin protección, lo cual 	

<p>propicia:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ El acercamiento de depredadores como aves, topos, cien pies, roedores, hormigas, etc., donde las lombrices les sirven de alimento. ▪ El no tener protección en la parte superior, permite el paso de los rayos solares, esto es perjudicial en gran medida ya que : <ul style="list-style-type: none"> • Las lombrices son foto fóbicas (intolerantes a la luz y el calor). • El aumento de temperatura deshidrata más rápido el sustrato disminuyendo la humedad, además que las • lombrices solo pueden sobrevivir en temperaturas no mayores a los 30°C. 	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Para resolver el problema del paso de luz, calor y depredadores, se propone colocar la malla sombra al 90%.
<ul style="list-style-type: none"> ✚ Ya se había mencionado que este tipo de camas tienen contacto directo con el suelo, por lo que los lixiviados se pierden por filtración. Algunas tienen canales de madera recolectores de lixiviados, sin embargo, debido al material el cual es poroso y debido a la alta concentración de celulosa (50-60%), el tiempo de degradación es muy corto, lo cual propicia que la vida útil sea muy corta debido a la humedad. 	<ul style="list-style-type: none"> ✚ El análisis para seleccionar el mejor material se encuentra en <i>Análisis QFD (Quality Function Deployment). Fase 1. Matriz de planeación del producto</i>. Del cual resultó que el mejor material por propiedades anticorrosivas, no poroso, no frágil, reciclable, resistencia mecánica y bajo costo fue el acrílico. Ver <i>propiedades en Anexo 3.b</i>).
<ul style="list-style-type: none"> ✚ Generalmente, el control del lombricomposteo en este tipo de camas, es incierto, ya que difícilmente se sabe cuando está ácido el sustrato (lo cual propicia la muerte de las lombrices), o bien, cuando ya está madura para extraer la lombricomposta. 	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Para resolver el problema del control de variables, se propone implementar sensores de pH y Conductividad Eléctrica..

<ul style="list-style-type: none"> ✦ Existen actualmente, algunas propuestas como recipientes plásticos prismáticos (cajas) con orificios en el fondo para cultivar la lombricomposta, sin embargo, esta propuesta no ha funcionado a la perfección, ya que como se descubrió en los <i>Experimentos de Migración</i>, <ul style="list-style-type: none"> ✓ Debido a la geometría y material (el cual tiene propiedades estáticas), propician que las lombrices se adhieren a las paredes rectas que las rodean. ✓ Debido a que los orificios en el fondo del plástico solo son perforaciones, estos al tener aristas muy finas (contornos filosos), las lombrices al pasar por ahí, terminan heridas. 	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Esta geometría fue analizada mediante los <i>Experimentos exploratorios</i>. Donde se decidió que la geometría de los recipientes sería de esferoide oblato y los orificios fueron sustituidos por las malla. Mallas las cuales son de acero inoxidable, apertura contemplada para el diámetro de las lombrices y alambre de perfil circular para permitir el fácil acceso de las lombrices sin riesgo de daños por filos.
<ul style="list-style-type: none"> ✦ El proceso de recolección y cribado es sumamente tedioso, impreciso y con demasiadas operaciones, debido a que es manual y el equipo suministrado no son mas que palas y revisión de lombrices por inspección. 	<ul style="list-style-type: none"> ✦ El proceso de recolección es por medio de vaciado manual (Reséndiz, 2009). ✦ El cribado manual y la inspección de lombrices vivas son sustituidas por una tamizadora.
<ul style="list-style-type: none"> ✦ El proceso de secado tradicionalmente al aire libre es de 3.5 días exponiendo el producto final a cambios climáticos imprevistos. 	<ul style="list-style-type: none"> ✦ El proceso de secado se reduce a 46.6 min = 0.77 horas mediante un extractor de aire de ventilación forzada que extrae la humedad. Evitando además la afectación por imprevistos climáticos.
<ul style="list-style-type: none"> ✦ En el mismo proceso de secado, se requiere expandir el producto con un grosor permitido de 1.5 cm, al aire libre permitiendo el secado en 3.5 días, 	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Se propone el secado sobre material absorbente (papel kraft) y expandirlo sobre anaqueles de estantes separados, colocados en el área de

alcanzando perímetros vastos de terreno para el secado exponiendo el producto a imprevistos climáticos.	producto terminado donde existe el extractor de aire por ventilación forzada.
---	---

Tabla 27. Parámetros no cuantificables comparativos. Fuente: elaboración propia.

Capítulo IV. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1 Comprobación de Hipótesis

Recordando la Hipótesis planteada en el Capítulo I, la cual estipula que “El rediseño del proceso de lombricomposteo contribuirá con la reducción de 1. Superficie terrestre, 2. Aumentando la producción de lombricomposta, 3. Conservando la calidad del producto final, y 4. Aprovechando los residuos orgánicos generados en la unidad habitacional de la UTM. Se ve realizada satisfactoriamente, ya que, en base a una meta de producción se tiene que:

1 y 2. La superficie terrestre se optimiza puesto que en el área productiva que se maneja tradicionalmente que es de 150 m², se están produciendo normalmente 2.070 kg después del arranque del proceso, donde para esta misma área con el propuesto se producirían 6.397 kg, es decir 3,149 veces mas.

3. Se puede constatar en la fase 2 la cual es la matriz de desarrollo de componentes, en el requerimiento *Especificaciones fisicoquímicas de la NMX-FF-109-SCFI-2007 para producto final*, que efectivamente se cumplen todos los rangos de las técnicas para calidad y madurez contempladas.

4. Al establecer el diseño de los contenedores en base a la demanda de desechos generados en la unidad habitacional de la UTM, se están aprovechando los residuos mediante un método de reciclaje como el lombricomposteo.

4.2 Comprobación de Objetivos

Citando del *Capítulo I*, el objetivo general el cual es “Proponer un diseño de proceso para obtener lombricomposta a partir de los desechos orgánicos de la UTM por medio de la metodología para reducir espacios, costos e incrementar la producción” se ve realizado en la Fase 2 de desarrollo de componentes, donde a través de los experimentos y matrices de materiales, se logra un diseño de prototipo y la reducción de espacios, costos y aumento de producción se realizan en la hipótesis antes resuelta.

El Objetivo específico I, el cual estipula que “Diseñar contenedores para lombricomposta mediante herramientas de la Ingeniería Industrial que permitan determinar los mejores materiales y diseño de prototipo” se ve comprobado pues se logró la hipótesis aplicando herramientas como QFD, AHP, Taguchi, Diagramas de proceso, Diagramas de flujo de proceso y Diseño CAD/CAM.

En Objetivo específico II, se establece la comprobación de la calidad y madurez de la lombricomposta montada en el contenedor seleccionado mediante análisis fisicoquímicos normalizados, se ve realizado con el método Taguchi, pues se realizaron 16 experimentos con 2 replicas cada uno, se verificó migración y después, el producto madurado en el prototipo seleccionado se le analizó madurez con pH y CE y calidad con biomasa y nitrógeno, los cuales, cumplen los rangos.

4.3 Recomendaciones

- Para la medición de parámetros de laboratorio se determinó que en el proceso se implementarían sensores de pH y conductividad eléctrica. Sin embargo, existe la posibilidad de que se estudie más a fondo otros parámetros químicos y se

puedan implementar algunos otros sensores que determinen incluso la calidad como CIC o materia orgánica de la lombricomposta, lo que ahorraría los análisis fisicoquímicos al final del secado de la lombricomposta.

- Durante el ejercicio de los experimentos de migración, se interactuaron solamente con algunas variables mediante 7 experimentos. Estos estudios fueron bastante benéficos ya que aportaron gran cantidad de datos para la determinación del diseño. Sin embargo, para estudios de más profundidad y exactitud, se recomienda realizar más experimentos con algunas otras variables como implementando nitrógeno, oxigenación o algunos otros de interés. El mundo de los anélidos, especialmente de la *Eisenia foetida*, está poco explorado, sin embargo debido a las bondades que posee como un sistema inmune perfecto, propiedades de regeneración, sobrevivencia a condiciones extremas y altos contenidos en proteínas, son privilegios exclusivos de estos seres dignos de estudiar.

ANEXOS

A N E X O S

ANEXO 1. Justificación de Análisis de Laboratorio

EL PH DE LOS SUELOS

Desde el punto visto químico, el pH se define como la capacidad que tiene una sustancia ácida de liberar protones hidrógeno (H^+) o de una sustancia básica de liberar aniones hidroxilo (OH^-). Desde un punto de vista del cultivo de las plantas, el pH del suelo es el resultado de la relación que existe entre las concentraciones de H^+ y OH^- . Si predominan los protones estaremos hablando de un suelo ácido, mientras que si son los grupos hidroxilo los que están en mayores concentraciones el suelo será de tipo alcalino.

Tipos de suelos según el pH:

- **Suelos neutros:** Los que tienen un pH situado entre 6,8 y 7,2.
- **Suelos ácidos:** Los que tienen un pH inferior a 6,8.

- **Suelos alcalinos o básicos:** Los que tienen un pH superior a 7,2.

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

Cuando se habla de Conductividad Eléctrica de un suelo, usualmente se hace referencia a la Conductividad Eléctrica de su extracto de saturación. Y la Conductividad Eléctrica, como tal, es determinada en un medio líquido. En los suelos salinos las plantas son muy sensibles a la concentración del suelo, a pesar de lo cual no se presta atención debido a su concentración de sales con relación a la variación normal a la capacidad de campo. Se encuentra por lo tanto una variación de hasta 10 veces en el porcentaje de marchites permanente en algunos suelos (Richards, 1973). La salinidad afecta los cultivos y por ende la producción por lo que el conocimiento de los tratamientos y las áreas a tratar es fundamental para la actividad económica.

HUMEDAD EN EL SUELO

Se denomina **humedad del suelo** a la cantidad de agua por volumen de tierra que hay en un terreno. Su medición exacta se realiza gravimétricamente, pesando una muestra de tierra antes y después del secado.

MATERIA ORGANICA O BIOMASA EN SUELOS

La materia orgánica es esencial para la fertilidad y la buena producción agropecuaria. Los suelos sin materia orgánica son suelos pobres y de características físicas inadecuadas para el crecimiento de las plantas. Cualquier residuo vegetal o animal es materia orgánica, y su descomposición lo transforma en materiales importantes en la composición del suelo y en la producción de plantas. La materia orgánica bruta es descompuesta por microorganismos y transformada en materia adecuada para el crecimiento de las plantas y que se conoce como **humus**. El humus es un estado de descomposición de la materia orgánica, o sea, es materia orgánica no totalmente descompuesta.

NITRÓGENO TOTAL EN SUELOS

Las formas minerales del Nitrógeno en suelo provienen generalmente de la descomposición de los residuos orgánicos de Nitrógeno, materiales frescos orgánicos, abonos orgánicos, humus etc.

La determinación de Nitrógeno total en el suelo se realiza mediante el método Kjeldhal clásico o Kjeldhal modificado en algunas ocasiones.

Principio del Método . El proceso se desarrolla en dos etapas:

1. Digestión: Por medio del ácido sulfúrico se destruye la materia orgánica. Este actúa como oxidante, los gases de H_2SO_4 que se forman a una temperatura de $338^\circ C$ se disocian en forma de SO_3 y H_2O . El SO_3 se descompone en SO_2 y oxígeno, el oxígeno oxida el Carbono y el Hidrógeno de la materia orgánica para convertirlos en CO_2 y H_2O . El Nitrógeno se convierte en NH_3 que con el ácido Sulfúrico forma el Sulfato de Amonio.

Los nitratos del suelo en presencia del ácido sulfúrico forman ácido nítrico. Estos por lo general no entran en la digestión Kjeldhal normal salvo que se tomen medidas especiales como la incorporación de Zinc, Aleación Devarda y/o Tiosulfato de Sodio.

Destilación: Se realiza con hidróxido de Sodio (NaOH) mediante el cual el sulfato de Amonio se destila como amoníaco y se recibe en una solución de ácido Bórico (H_3BO_4). Posteriormente el NH_4^+ se titula con ácido Sulfúrico.

FÓSFORO TOTAL EN SUELOS (P_{TOTAL})

Las plantas absorben únicamente el fósforo que está en la solución del suelo en forma de HPO_4^{-2} (ión fosfato monoácido) y $H_2PO_4^{-1}$ (ión fosfato diácido). Cualquier fertilizante ya sea de origen orgánico o mineral debe transformarse primero en esas especies (formas químicas) antes de ser utilizado por el cultivo. Las diferencias entre los residuos orgánicos y los fertilizantes minerales son principalmente dos: 1) velocidad de disponibilidad para el cultivo (los residuos orgánicos tienen que ser primero descompuestos por los microbios, mientras que los abonos minerales ya tienen los compuestos en la forma que la planta los utiliza) y 2) concentración (los residuos orgánicos tienen concentraciones más bajas de fósforo que los compuestos minerales). Para garantizar una producción rentable y devolver al suelo el fósforo que ha sido extraído por la cosecha, los agricultores deben aplicar fósforo a sus cultivos. Es esta la forma de asegurar la fertilidad y la calidad del recurso suelo.

POTASIO TOTAL EN SUELOS (K_{TOTAL})

El potasio es uno de los tres nutrientes minerales que necesitan las plantas en mayor cantidad. Muchos cultivos como por ejemplo el banano, el tomate y la papa requieren más potasio que cualquier otro nutriente mineral. Las plantas absorben el potasio que se

encuentra en la solución del suelo en forma del catión K^+ . La cantidad de K en la solución del suelo esta en función (controlada por) de la liberación del potasio intercambiable, generalmente localizado alrededor de las partículas (micelas) de arcilla. Los cultivos extraen grandes cantidades de potasio del suelo para su crecimiento y desarrollo y como es de esperarse, la falta de éste elemento, influye negativamente en el rendimiento y calidad del cultivo. Además, la deficiencia de potasio aumenta la vulnerabilidad del cultivo a enfermedades y lo hace menos resistente a condiciones de "stress" tales como sequías.

RELACIÓN CARBONO-NITRÓGENO EN SUELOS (C/N)

Estas relaciones caracterizan los diversos materiales orgánicos biodegradables (MO), orientándonos acerca de cómo disponer y/o combinarlos a los fines de optimizar un compostaje apropiado de los mismos. Es sabido que para que ello ocurra se requiere que la MO generada posea una relación de 30 (eventualmente 25) a 40 partes de carbono (C) por cada una de nitrógeno (N).

Estas proporciones caracterizan a las distintas MO (materia orgánica) y nos permiten anticipar como combinarlas para que se descompongan adecuadamente. Mucho carbono (relaciones altas) hace muy lento al compostaje y mucho nitrógeno (relaciones bajas) pueden generar problemas para las lombrices.

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO EN SUELOS (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la capacidad que tiene un suelo para retener y liberar iones positivos, merced a su contenido en arcillas. Éstas están cargadas negativamente, por lo que suelos con mayores concentraciones de arcillas exhiben

capacidades de intercambio catiónico mayores. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es una medida de un material (coloide) para retener cationes intercambiables.

La capacidad de intercambio generalmente se expresa en términos de miligramos equivalentes de hidrogeno por 100 g de coloide, cuya denominación abreviada es mili equivalente por 100 gramos o meq/100 g. Por definición, se convierte en el peso de un elemento que desplaza un peso atómico de hidrogeno. Un peso equivalente es igual al peso atómico dividido entre la valencia: En el laboratorio la CIC se mide en términos de la suma de las concentraciones en partes por millón (ppm) de los cationes desplazados, estos valores son convertidos a meq/100 g de la forma siguiente:

$$\text{meq/100 g} = \text{ppm del catión} / (\text{peso equivalente} \times 10)$$

CALCIO EN SUELOS (Ca_{TOTAL})

El calcio tiene una función muy importante en el crecimiento y nutrición de la planta, como también en la deposición de la pared celular.

Las funciones primarias del calcio son:

- Mantener un balance químico en la tierra, reduce la salinidad del suelo y mejora la penetración del agua.
- El calcio tiene una función metabólica crítica en la eliminación de carbohidratos.
- El calcio neutraliza los ácidos celulares.

MAGNESIO EN SUELOS (Mg_{TOTAL})

El requerimiento de magnesio (Mg) para un óptimo crecimiento de los cultivos es de un 0.15-0.35% del peso seco de las partes vegetativas. La clorosis de las hojas expandidas totalmente es el síntoma visible más obvio de la deficiencia de Mg. De acuerdo con la función del Mg en la síntesis de proteína, la proporción del nitrógeno proteico declina y el nitrógeno no-proteico se incrementa en las hojas con deficiencia de Mg. Cuando se calculan el área foliar y las unidades de clorofila, el valor de la fotosíntesis es menor en las hojas de plantas deficientes de Mg, pues es un constituyente de este pigmento.

La cantidad de Mg tomada por las plantas es usualmente menor que con respecto al calcio o al potasio. La concentración de magnesio en la solución del suelo es típicamente de 5 a 50 ppm en regiones templadas, aunque pueden ser observadas concentraciones entre 120 y 2400 ppm.

MANGANESO EN SUELOS (Mn_{TOTAL})

El contenido de Mn en la litosfera es de aproximadamente 900 mg/Kg.

El Mn que existe en el suelo proviene de óxidos, carbonatos, silicatos y sulfatos.

Debido a sus diferentes grados de oxidación (II, III y IV) y a la propiedad de pasar con facilidad de unas formas a otras, el comportamiento del Mn en el suelo es complejo.

Los valores normales de Mn en suelo son entre 20 y 3000 mg/Kg.

Unos niveles orientativos sobre la fertilidad del suelo son:

COBRE EN SUELOS (Cu_{TOTAL})

Los mecanismos de absorción del cobre por las plantas no se conocen en detalle, aunque hay evidencias de que se trata de un proceso de absorción activo; no obstante, cuando se alcanzan niveles de toxicidad de cobre en los suelos pueden ocurrir fenómenos de absorción pasiva. La distribución del cobre dentro de la planta tiende generalmente a acumularse en sus órganos reproductivos; así, la mayor concentración de cobre ha sido encontrada en el embrión de los granos de cereales (de 8 a 18 mg/kg materia seca) y en la cubierta de la semilla (de 8 a 23 mg/kg), mientras que considerando el total de la misma el valor mayor registrado fue 4 mg/kg.

ZINC EN SUELOS (Zn TOTAL)

El promedio de contenido de zinc en suelos no contaminadas va desde 17 a 160 ppm. La gran mayoría de zinc está presente en la estructura de celosía del suelo y por lo tanto no está disponible para satisfacer las necesidades nutritivas de las plantas. El zinc disponible en el suelo se disuelve en la solución del suelo en formas iónicas ó complejas y se puede hallar en sitios intercambiables de minerales de arcilla y materia orgánica ó adsorbido en las superficies de los suelos como Zn^{2+} , $ZnOH^+$, ó $ZnCl^+$. La solubilidad de zinc depende en alta parte del pH del suelo. Cuanto más alto el pH del suelo, lo menos soluble se hace el zinc. La presencia de $CaCO_3$ promueve la reducción del contenido de zinc soluble por la adsorción específica de Zn^{2+} , a y oclusión por los carbonatos. La “adsorción y oclusión de Zn por los carbonatos son las mayores causas por la pobre

disponibilidad de Zn disponible y la aparición de la deficiencia de Zn en suelos calcias. Grandes aplicaciones de fertilizantes de fósforo a suelos bajo en zinc disponible también puede causar la deficiencia de zinc.

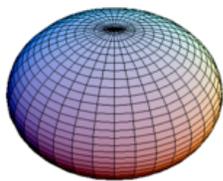
ANEXOS

ANEXO 2. Especificaciones para el Prototipo final

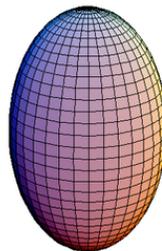
a) Propiedades Geométricas de los cuerpos empleados en el prototipo

ESFEROIDE

Un **esferoide** es un elipsoide de revolución, es decir, la superficie que se obtiene al hacer girar una elipse alrededor de uno de sus ejes principales. Si la elipse gira alrededor de su eje mayor, la superficie se llama esferoide prolato. Si el eje de giro es el menor, la superficie se llama esferoide oblato. La esfera es un caso especial de la esferoide, en que la elipse es un círculo generador. Un esferoide es un caso especial de un elipsoide, donde dos de los tres ejes principales son iguales.



Esferoide oblato.



Esferoide prolato.

Volumen

El volumen de un esferoide prolato es: $\frac{4}{3}\pi ab^2$

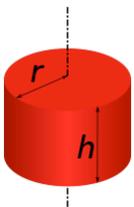
El volumen de un esferoide oblato es: $\frac{4}{3}\pi a^2b$

siendo a la longitud del semieje principal y b la del semieje secundario. Obtenido de "<http://es.wikipedia.org/wiki/Esferoide>"

CILINDRO

Un **cilindro** es una figura geométrica limitada por una superficie cilíndrica cerrada lateral y dos planos que la cortan en sus bases.

Como cuerpo de revolución, se obtiene mediante el giro de una superficie rectangular alrededor de uno de sus lados.



- El **eje del cilindro** es la recta que pasa por los centros geométricos de las bases; es paralelo a la generatriz.

Área de la superficie cilíndrica

El área de la superficie de un cilindro es: la suma de la superficie lateral A_l más la superficie de las dos bases $2A_b$

En un cilindro recto de base circular, es:

$$A = A_l + 2A_b = 2\pi rh + 2\pi r^2 = 2\pi r(h + r)$$

Volumen del cilindro

El volumen de un cilindro es el producto del área de la base A_b por la altura del cilindro h . El volumen de un cilindro de base circular, es:

$$V = \pi r^2 h$$

siendo la altura del cilindro la distancia entre las bases.

Anexo 2. Especificaciones para el Prototipo final

b) Propiedades de materiales empleados en el diseño del Prototipo

FIBRA DE VIDRIO.

¿PORQUÉ FIBRA DE VIDRIO? El plástico reforzado es un material compuesto; constituido por una estructura resistente de fibra de vidrio y un material plástico que actúa como aglomerante, conocido como resina. Como todo material compuesto, el plástico reforzado presenta ventajas superiores a sus componentes por separado. El refuerzo de fibra de vidrio, provee al compuesto resistencia mecánica, estabilidad dimensional y resistencia al calor. La resina plástica aporta: resistencia química dieléctrica y comportamiento a la intemperie.

La Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, (ASTM, por sus siglas en inglés) ha demostrado que los productos fabricados con resina poliéster y fibra de vidrio no fomentan el crecimiento de moho, hongos ni bacterias; a causa de sus propiedades físicas, hidráulicas y químicas.

Propiedades: 1. Físicas: los plásticos reforzados son un material flexible pero a su vez, muy resistentes mecánicamente. Su peso específico es mucho menor que el de los materiales tradicionales, lo cual hace que los productos de plástico reforzados posean una alta resistencia y muy ligeros.

2. Hidráulicas: los productos de fibra de vidrio pueden tener acabado superficial e interno, debido a que estos se moldean sobre matrices de una sola pieza. A causa de sus propiedades anticorrosivas y que no son atacados por ningún microorganismo, el periodo de vida de un producto fabricado con plásticos reforzados es prolongado.

3. Químicas. Los plásticos reforzados son inertes a una gran cantidad de compuestos. La inercia química, esta influenciada por la temperatura, el tipo de resina usada, y la concentración del producto agresivo. La elección de la resina correcta

BENEFICIOS:

- Total resistencia a la corrosión
- Térmicamente aislante y altamente resistente al calor
- Alta resistencia a los ácidos más corrosivos
- Gran absorción de energía al impacto
- Alta duración a la intemperie

Definición : serie de fibras que están tejidas y unidas por medio de un aglutinante como las fibras textiles, esto a base del estiramiento del vidrio fundido hasta lograr diámetros inferiores a una centésima de mm. Se pueden producir tantos hilos multifilamento largos y continuos como fibras cortas de 25 o 30 cm. de largo. Los tejidos de fibra de vidrio en combinación con resinas , constituyen un aislamiento eléctrico excelente. Impregnado fibra de vidrio con resinas poliéster se forma un tipo compuesto que combina la solidez y estabilidad química del vidrio con la resistencia al impacto del plástico.

La resina poliéster es un poliéster insaturado a base de ácido (oftortálico, tereftalático o isoftálico), con un alto contenido de moléculas unitarias que son capaces de reaccionar con otras parecidas o diferentes para la formación de un polímero. Es apropiada para usos generales en la preparación de manufacturas de plástico reforzado con fibra de vidrio de dimensiones medianas y grandes. Puede ser aplicada en moldeo manual con brocha y rodillo o con equipo de aspersión.

TIPOS DE RESINA POLIESTER COMERCIALES: Isoftálicas, Ortoftálicas, Retardantes a la flama, Tereftálicas, Bisfenólica, Epóxicas.

TIPOS DE FIBRA DE VIDRIO COMERCIALES: Colchoneta (MAT), Roving (hilo), Petatillo, Filamento cortado, Tela marina, Rovicore, Hilo continuo.

En cuanto a la densidad de la fibra de vidrio en sí, la misma es de 1,6, mientras que su resistencia en relación con el tema de la tracción oscila entre 400 y 500 N/mm.

Características de la fibra de vidrio

Su temperatura ideal para ser fundido es de 1250°C. En lo que respecta a su constitución, se trata de un material compuesto por el sílice –la arinsena y el cuarzo poseen vidrio en su composición por la cal y por el carbonato de sodio.



En el caso puntual de la fibra, su composición es la siguiente. La misma **es el resultado de la unión de la malla de vidrio con una resina epoxi**. Esta última es, a su vez, líquida en un comienzo, aunque luego pasa a solidificarse y a mantener la forma final o aquella que había sido adquirida previamente del molde utilizado. Sin embargo, para que esa resina se pueda solidificar en un periodo de tiempo fijo, hay que acelerar la reacción química. Esto se efectúa mediante el empleo de un catalizador, que puede resultar extremadamente tóxico, reactivo e incluso muy volátil. Por todos estos motivos es que se recomienda extremar los cuidados durante el uso del catalizador.

Usos de la fibra de vidrio

La fibra de vidrio, es un excelente aislante térmico, al tiempo que es inerte a diversas sustancias como el caso de los ácidos. Otros rasgos son su tendencia a la maleabilidad y su la resistencia a la tracción. Debido a todas esas importantes cualidades, **es empleada en muchos ámbitos, aunque los principales son el industrial y el artístico**. En el segundo caso se la emplea para la realización de **productos de manualidad o de bricolaje**. Otro de los usos más comunes es el de reforzar el plástico mediante el empleo de la fibra, que tiene como finalidad muchas veces la **construcción de tanques**.

CLASIFICACIÓN DE LAS RESINAS COMERCIALES

CARACTERISTICA	Resina fenólica	Resina úrica	Resina de melamina	Resina epóxica
Peso específico	1.3 a 1.9 Kg./dm ³	1.5 Kg. / dm3	1.5 Kg. / dm3	1.3 Kg. / dm3
Resistencia Tracción	2.5 a 8.4 Kg. / mm ²	3.45 a 9 Kg. / mm2	3.5 a 9 Kg./ mm2	4 a 9 Kg. / mm2
Compresión	7 a 25 Kg. / mm ²	17.5 a 26.5 Kg. / mm2	17.5 a 31 Kg. / mm2	9 a 25 Kg. / mm2
Color	oscuro, marrón, negro	blanco y colores claros	claros	cualquier color
Combustibilidad	arde con gran dificultad	arde con dificultad	arde con dificultad	arde difícilmente, autoextinguiéndose
Permeabilidad a la luz	transparente a opaco	opalescente	opalescente	arde difícilmente, autoextinguiéndose
Envejecimiento	oscurece ligeramente	no tiene	oscurece ligeramente	transparente a opaco.
Temperatura soporte	116 ° C a 175 ° C	130 ° C a 138 ° C	130 ° C a 210 ° C	121 ° C
Nombre comercial	Baquelita, Durita, Resiform	Pollopas, Cellodal, Resimine, Resopla	Novoplay, Ultrapas	Filón, Lamilux
Empleo	Material eléctrico (mangos de interruptores)	Material eléctrico (interruptores, clavijas)	Similar a las resinas úricas	Cascos para embarcaciones, carrocerías de automóviles

Tabla 28. Especificaciones para resinas comerciales. Extraído de poliformas.com.mx

MALLAS DE ACERO INOXIDABLE

La Malla de Acero Inoxidable de Tejido Plano es utilizada muy comúnmente en la separación de mezclas a baja presión. Ideal para la separación de mezclas o compuestos expuestos a la humedad. Aplicaciones: Cernido de granos, filtros, prensado de madera, controles de granulometría, serigrafía, decoración.

Specification List of Stainless Steel Wire Mesh		
Mesh/Inch	Wire Gauge(BWG)	Aperture in mm
3mesh x 3mesh	14	6.27
4mesh x 4mesh	16	4.27
5mesh x 5mesh	18	3.86
6mesh x 6mesh	18	3.04
8mesh x 8mesh	20	2.26
10mesh x 10mesh	20	1.63
20mesh x 20mesh	30	0.95
30mesh x 30mesh	34	0.61
40mesh x 40mesh	36	0.44
50mesh x 50mesh	38	0.36
60mesh x 60mesh	40	0.30
80mesh x 80mesh	42	0.21
100mesh x 100mesh	44	0.172
120mesh x 120mesh	44	0.13
150mesh x 150mesh	46	0.108
160mesh x 160mesh	46	0.097
180mesh x 180mesh	47	0.09
200mesh x 200mesh	47	0.077
250mesh x 250mesh	48	0.061
280mesh x 280mesh	49	0.060
300mesh x 300mesh	49	0.054
350mesh x 350mesh	49	0.042
400mesh x 400mesh	50	0.0385
Roll width: 2'-8"		

Tabla 29. Lista de especificaciones de las mallas de acero inoxidable en el mercado actual. Extraído de http://www.fzwiremesh.com/spwiremesh/wiremesh-htm-sp/stainless_steel_wire.html el 20 de enero del 2009. Cabe señalar que existen otros proveedores que fabrican mallas de otras medidas, sin embargo, por el tipo de aplicación para el que se desea, las clasificadas según uso, son las que se presentan en la Tabla 3.

MALLAS SOMBRA

MALLAS SOMBRA						
CARACTERISTICAS	35 %	40 %	50 %	70 %	80%	90%
Composición	100% Polietileno de Alta Densidad					
Construcción	11 x 14 Hilos por 2.54 cm ²	16 x 16 Hilos por 2.54 cm ²	22 x 14 Hilos por 2.54 cm ²	22 x 22 Hilos por 2.54 cm ²	44 x 15 Hilos por 2.54 cm ²	66 x 12 Hilos por 2.54 cm ²
Peso	83 g/m ²	95 g/m ²	128 g/m ²	165 g/m ²	201 g/m ²	280 g/m ²
Tipo de tejido	plano	plano	plano	plano	plano	plano
Elongación de hilo	25%	25%	25%	25%	25%	25%
Resistencia a la ruptura	3 kg					
Duración a la intemperie	5 años					
Precio promedio	\$ 36.3/m ²	\$ 45.4/m ²	\$ 65/m ²	\$ 83/m ²	\$ 105/m ²	\$ 127.5/m ²

Tabla 30. Lista de especificaciones de las mallas sombra en el mercado actual. Extraído de <http://www.invernaderoax.html> el 14 de febrero del 2009.

ACRILICO

El Acrílico es el polímero de metil metacrilato, PMMA. Es un Termoplástico naturalmente transparente. En forma de lamina se presenta con una gama amplia de espesores, tamaños y de pigmentación. Una característica muy importante es su resistencia excelente contra la intemperie del cual se desprenden muchas de las aplicaciones del material.

Características del material

- Resistencia a la intemperie. Dada la composición plástica del acrílico, no se muestran cambios significativos en sus propiedades físicas o químicas después de exposiciones prolongadas a las condiciones climáticas.
- Propiedades ópticas. La luz transmitida a través del acrílico conserva el 92% de su intensidad inicial (en el rango de luz visible), por lo que se aprecia transparente.
- Resistencia mecánica. Posee una resistencia de 0.2 a 0.5 $lb \cdot ft/in$. En comparación, es 6 veces más resistente que el vidrio.
- Reactividad a químicos. Es inerte en contacto con agua, alcalinos, hidrocarburos alifáticos y ésteres simples. La exposición a disolventes orgánicos, acetonas, e hidrocarburos aromáticos y clorados, podría dañar el material.
- Propiedades eléctricas. El acrílico es un material dieléctrico.
- Densidad. Su densidad volumétrica es de 1.19 gr/cm^3 , ligeramente más pesado que el agua. Su densidad equivale a la mitad de la del vidrio, y un 43% la densidad del aluminio.
- Dureza. Dureza Bracol 50 unidades. Similar a la de metales no ferrosos como el cobre.
- Flamabilidad. Es flamable, a velocidad de 1.2 cm/min .

Termoformado

Un proceso común en el trabajo con el acrílico es darle una forma definida. Para eso se utiliza el proceso de termoformado.

Básicamente consiste en calentar el acrílico a una temperatura adecuada para volverlo suave (no líquido). Posteriormente, el material se agrega a un molde para tomar una forma bidimensional o tridimensional deseada. Al reducir su temperatura, recobra su rigidez original y conserva la forma que se le dio. Para calentar el material pueden utilizarse planchas u hornos eléctricos o radiación infrarroja.

a) PRESUPUESTO ESTIMADO PARA MODELO PROTOTIPO PROPUESTO

El presupuesto que a continuación se presenta, es relativo a la construcción de los componentes en los talleres de la UTM, sin considerar costos de mano de obra y costos indirectos. Considerando además que se cuenta con la técnica de moldeado en resina y la técnica de soldado con acetileno para las mallas. Además que ya se previó que se contara con el equipo adecuado para realizarlo.

No.	Concepto	Ud.	Cant.	Precio U. (\$)	Costo Total (\$)	Gran Total [®]
1	Molde para los recipientes esféricos en malla tipo ciclón.	Pza.	1	88.75	88.75	\$ 88.75
2	Fibra de vidrio tipo petatillo (Woven Roving)	Kg.	1.2	120.00	144.00	\$ 432.00
3	Resina poliéster epoxica Epofex EX401+E 416 Epoxy Laminados- Incluye Catalizador .Kit de 1 Kg.	Kg.	1.5	260.00	390.00	\$ 1170.00
4	Desmoldante Gel-coat con dosificador.	Kg.	0.50	37.00	18.50	\$ 55.50
5	Acetona como limpiador al 99% de grado comercial.	L	0.5	38.00	19.00	\$ 57.00
6	Malla sombra al 80% de 100% Polietileno de Alta Densidad, Calibre 12(milésimas de pulgada), Resistencia del hilo a la ruptura de 3 kg, duración a la intemperie de 5 años.	m ²	1.2	105.00	126.00	\$ 378.00
7	Malla de acero inoxidable AISI302 con apertura de 6.27 mm. , calibre 14 , 3 mesh x 3 mesh. Ancho de rollo de 8 mts.	Rollo	0.10	316.54	31.65	\$ 94.96

8	Anillos de lámina de acero inoxidable de 50 cm de radio, como guía límite de mallas y separador entre recipientes.	m	1.1	81.00	189.10	\$ 567.30
9	Recipiente de PVC, de radio de 50cm x 10 cm de alto, espesor de 3 mm. Mediante el método de vaciado.	Pza.	1	11.50	11.50	\$ 11.50
10	Sensor sumergible para la medida de bajos niveles de conductividad – salinidad. Mediante electrodos de grafito o polímero. Modelo SZ3320.1	Pza.	1	1,112.43	1,112.43	\$ 1,112.43
11	Sensor de Ph PhdgetPHSensor. Sensible de rangos de 0 a 14. Los resultados se muestran en display en potencias de mVolts, cuenta con memoria flash 9. Electrodo inoxidable para permanencia en fangos.	Pza.	1	2,470.67	2,470.67	\$ 1,470.67
				TOTAL::>	4,371.67	\$ 2, 943.54

▣ Este costo, es del prototipo final, el cual consta de 3 recipientes esféricos, por lo tanto, se triplica el costo de los primeros 9 elementos. A excepción del molde, que solo es costo de una sola vez. Los precios consultados son información de proveedores mexicanos que el costo de envío puede aumentar en un 5-10% del costo previsto en el presupuesto. Son cotizaciones enviadas del 25- Enero 2009 al 05- Febrero 2009.

Tabla 31. Presupuesto para la construcción de recipientes de maduración a escala 1:1

10.3 PRESUPUESTO PARA LA ELABORACION DE LOS COMPONENTES DEL PROTOTIPO DE TAMIZADORA (ELABORADO)						
No.	Concepto	Ud.	Cantidad	Precio U (\$)	Costo Total (\$)	Gran Total ¹
1	Malla de acero inoxidable AISI302 con apertura de 6.27 mm. , calibre 14 , 3 mesh x 3 mesh. Ancho de rollo de 8 m.	Rollo	0.10	316.54	31.65	\$ 94.96
2	Malla de acero inoxidable AISI302 con apertura de 4.27 mm. , calibre 16 , 4 mesh x 4 mesh. Ancho de rollo de 8 m.	Rollo	0.10	401.00	40.10	\$ 120.30
3	Malla de acero inoxidable AISI302 con apertura de 1.63mm. , calibre 20 , 10 mesh x 10 mesh. Ancho de rollo de 8 m.	Rollo	0.10	534.00	53.40	\$ 160.20
4	Moldes de PVC de 3mm. de radio de 50 cm x 40 cm de alto, espesor de 3 mm. Elaboración mediante vaciado.	Pza.	1	42.00	42.00	\$ 126.00
5	Anillos de lámina de acero inoxidable de 50 cm de radio, como guía límite de mallas y separador entre recipientes.	m	1.1	81.00	89.10	\$ 267.30
6	Molde de acrílico transparente de 50 cm. de radio x 25cm de alto x 3 mm de espesor.	Pza.	1	62.00	62.00	\$ 62.00
7	Motor Vibratorio Aviteq con par de torsión de 0,1 kg.cm kg.cm a 2763 y fuerzas centrifugas de hasta 119 kN. Peso del motor: 4.4 kg. Conexión a 265/460V, 60 Hz.	Pza.	1	5657.00	5,657.00	\$ 5,657.00
8	Base y soporte del motor vibratorio	Pza.	1	234.00	234.00	\$ 234.00

ANEXO 3. Propiedades de materiales analizados en matrices AHP

MADERA

Es una sustancia fibrosa, organizada, esencialmente heterogénea, producida por un organismo vivo que es el árbol. Sus propiedades y posibilidades de empleo son, en definitiva, la consecuencia de los caracteres, organización y composición química de las células que la constituyen.

Elementos orgánicos de que se componen: Celulosa: 40-50%, Lignina: 25-30%, Hemicelulosa: 20-25% (Hidratos de carbono), Resina, tanino, grasas: % restante

Estos elementos están compuestos de: Elementos esenciales (90%): Carbono: 46-50%, Oxígeno: 38-42%, Hidrógeno: 6%, Nitrógeno: 1% y Otros elementos (10%): Cuerpos simples (Fósforo y azufre) y Compuestos minerales (Potasa, calcio, sodio).

ACERO

El acero es la aleación de hierro y carbono, donde el carbono no supera el 2,1% en peso¹ de la composición de la aleación, alcanzando normalmente porcentajes entre el 0,2% y el 0,3%.

- Su densidad media es de 7850 kg/m³.
- En función de la temperatura el acero se puede contraer, dilatar o fundir.
- El punto de fusión del acero depende del tipo de aleación y los porcentajes de elementos aleantes. El de su componente principal, el hierro es de alrededor de 1510 °C en estado puro (sin alear).
- Su punto de ebullición es de alrededor de 3000 °C.¹⁸
- Es un material muy tenaz.

- Relativamente dúctil. Con él se obtienen hilos delgados llamados alambres.
- Es maleable. Se pueden obtener láminas delgadas llamadas hojalata. La hojalata es una lamina de acero, de entre 0,5 y 0,12 mm de espesor.
- Permite una buena mecanización antes de recibir un tratamiento térmico.
- La dureza de los aceros varía entre la del hierro y la que se puede lograr mediante su aleación u otros procedimientos térmicos o químicos entre los cuales quizá el más conocido sea el templado del acero.
- Se puede soldar con facilidad.
- La corrosión es la mayor desventaja de los aceros ya que el hierro se oxida con suma facilidad incrementando su volumen y provocando grietas superficiales que posibilitan el progreso de la oxidación hasta que se consume la pieza por completo. Existen aleaciones con resistencia a la corrosión como los aceros inoxidables.
- Posee una alta conductividad eléctrica. Aunque depende de su composición es aproximadamente de $3 \cdot 10^6 \text{ S/m}$.
- Los aceros inoxidables contienen principalmente níquel y romo en porcentajes del orden del 10% además de algunos aleantes en menor proporción.
- Un aumento de la temperatura en un elemento de acero provoca un aumento en la longitud del mismo. Este aumento en la longitud puede valorarse por la expresión: $\delta L = \alpha \delta t^\circ L$, siendo α el coeficiente de dilatación, que para el acero vale aproximadamente $1,2 \cdot 10^{-5}$ (es decir $\alpha = 0,000012$).

PVC (POLICLORURO DE VINILO)

Características :

Rango de temperatura de trabajo -15°C +60°C.

Resistencia, rigidez y dureza mecánicas elevadas

Buen aislante eléctrico

Elevada resistencia a sustancias químicas

Autoextingible

Impermeable a gases y líquidos

Mínima absorción de agua

Resistente a la acción de hongos, bacterias, insectos y roedores

Fácil de pegar y soldar Resistente a la intemperie (sol, lluvia, viento y aire marino);

VIDRIO, PROPIEDADES

El vidrio es un material duro, frágil, transparente y amorfo que se usa para hacer ventanas, lentes, botellas y una gran variedad de productos.

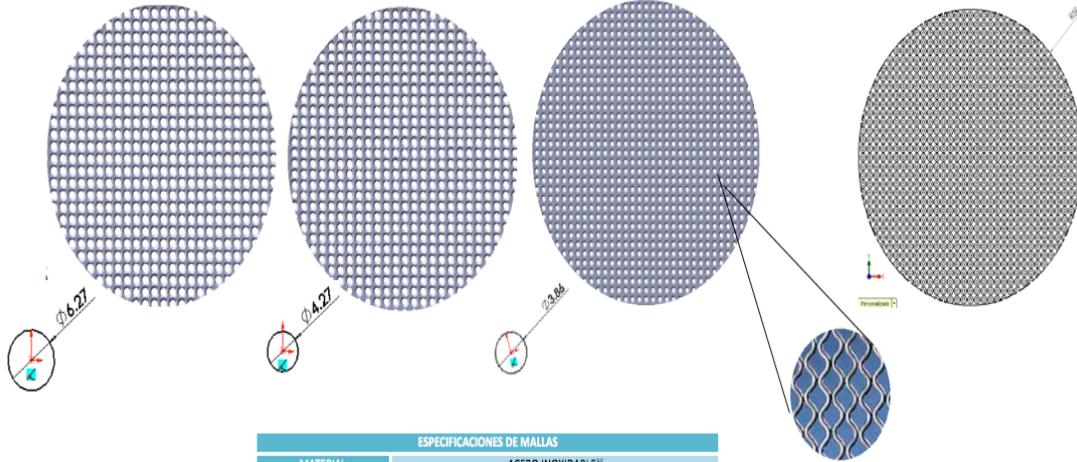
Propiedades del vidrio común

La absorción (o transparencia) a la luz de los vidrios de silicato sódico en la zona del espectro visible (0,40 μ a 0,70 μ) depende de su contenido en elementos de transición (Ni y Fe en el ejemplo). Sin embargo, tanto en el ultravioleta como en el infrarrojo el vidrio se comporta prácticamente como un objeto casi opaco, independientemente de cualquiera de estos elementos.

- La densidad es de 2,5 frente a 2,2 g/cm³).
- El coeficiente de dilatación térmica lineal a temperatura ambiente, es notablemente más alto que el de la sílice fundida (unas 20 veces más), por lo que los objetos de vidrios de silicato sódico son menos resistentes al "choque térmico".

- Su índice de refracción es ligeramente mayor que el del vidrio de cuarzo y puede aumentarse mediante el uso de aditivos.
- La resistencia a la tracción en cualquier tipo de vidrio es una magnitud que depende extraordinariamente del estado de la superficie del objeto en cuestión, por lo que su cuantificación es compleja y poco fiable.
- La resistencia al ataque químico o físico (disolución) de los vidrios comunes es una función de su composición química fundamentalmente. No obstante, en todos ellos esta resistencia es elevada. Se suele medir mediante una serie de pruebas tipificadas internacionalmente. Entre las más usadas:
 - La atacabilidad de los vidrios también se modifica mediante tratamientos superficiales: con SO_2 , Sn, Ti, y otros.
- Para moldear un vidrio es necesaria una viscosidad que se sitúa entre 1000 poises y 5000 poises. En el caso de la sílice son necesarias temperaturas de más de $2600\text{ }^\circ\text{C}$, en tanto que para los vidrios comunes basta con $1200\text{ }^\circ\text{C}$, aproximadamente.
- La absorción de la luz se ve influenciada por la estructura íntima de estas materias transparentes. En el caso de una estructura Si-O la absorción de fotones es baja, incluso para longitudes pequeñas de onda (transparencia a los rayos UVA). No es así cuando a esta sencilla estructura se le añaden otros elementos (Na, Mg Ca, etc.) que inciden decisivamente en la absorción a las longitudes de onda pequeñas (menores de 200 nm) y en las infrarrojas (superiores a 700 nm).

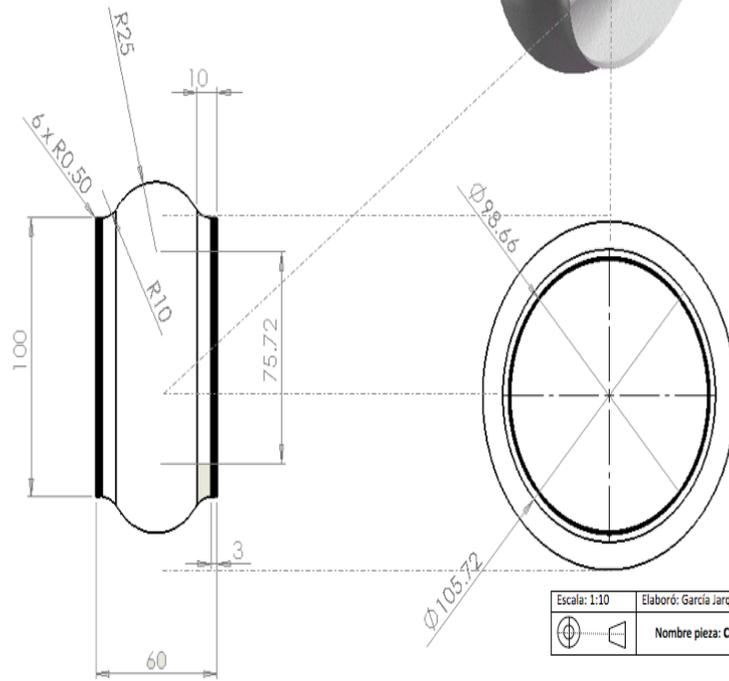
ANEXO 4. PLANOS Y ESPECIFICACIONES



ESPECIFICACIONES DE MALLAS	
MATERIAL:	ACERO INOXIDABLE ³¹⁶
GEOMETRÍA:	MALLA CIRCULAR
ÁREA DE SUPERFICIE:	7853.98 cm ²
MESH/PULG:	Para malla 3a: 3mesh x 3mesh Para malla 3b: 4mesh x 4mesh Para malla 3c: 10mesh x 10mesh
CALIBRE DE ALAMBRE:	Para malla 3a: 14 Para malla 3b: 16 Para malla 3c: 18
UD. DE APERTURA:	mm.

Escala: 1:10	Elaboró: García Jarquín Brenda	Fecha: 05 de Marzo del 2009
	Nombre pieza: MALLAS DE	Acot.: mm.
	SEPARACIÓN	A3 Núm.: 1/7

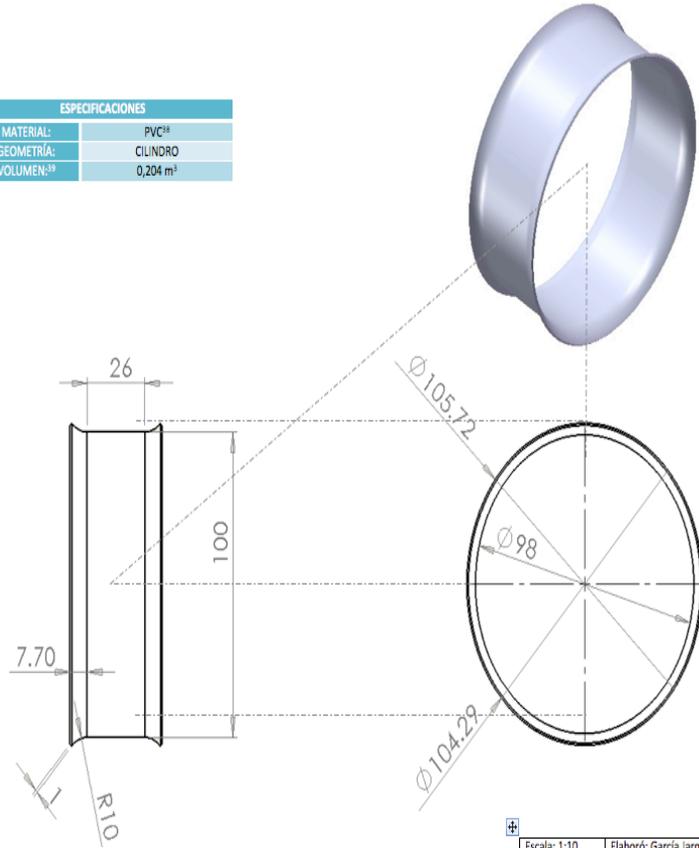
ESPECIFICACIONES	
MATERIAL:	FIBRA DE VIDRIO ³⁵
GEOMETRÍA:	ESFEROIDE OBLATO
VOLUMEN ³⁷ :	1,675 m ³



Escala: 1:10	Elaboró: García Jarquín Brenda	Fecha: 05 de Marzo del 2009
	Nombre pieza: COLECTOR	Acot.: cm.
		A3 Núm.: 2/7

116

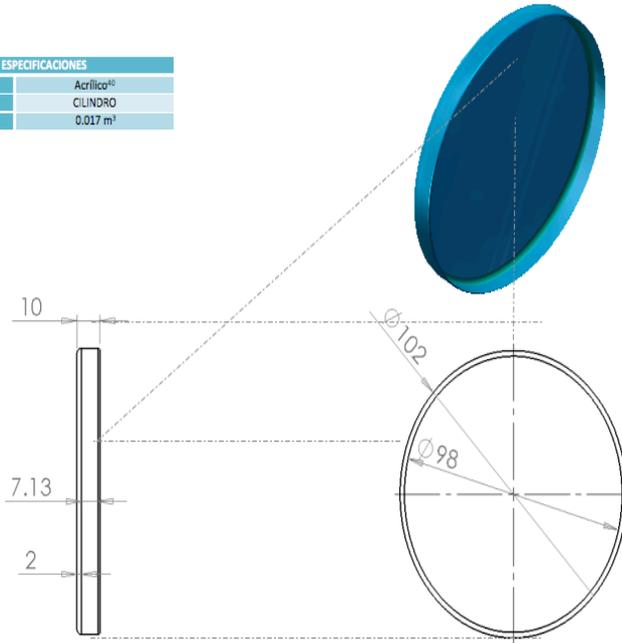
ESPECIFICACIONES	
MATERIAL:	PVC ³⁸
GEOMETRÍA:	CLINDRO
VOLUMEN: ³⁹	0,204 m ³



Escala: 1:10	Elaboró: García Jarquín Brenda	Fecha: 05 de Marzo del 2009
	Nombre pieza:	Acot.: cm.
	SEPARADOR CRIBA	A3 Núm.: 3/7

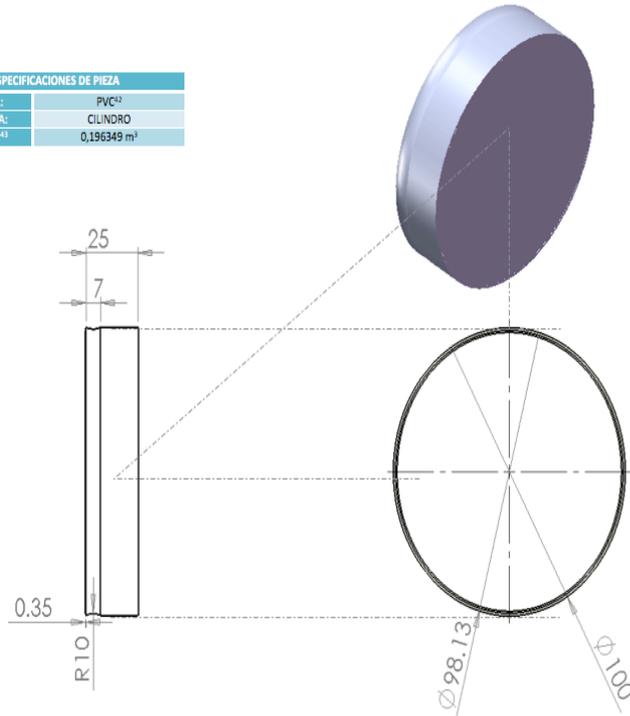
117

ESPECIFICACIONES	
MATERIAL:	Acrílico [®]
GEOMETRÍA:	CILINDRO
VOLUMEN: ⁴¹	0.017 m ³

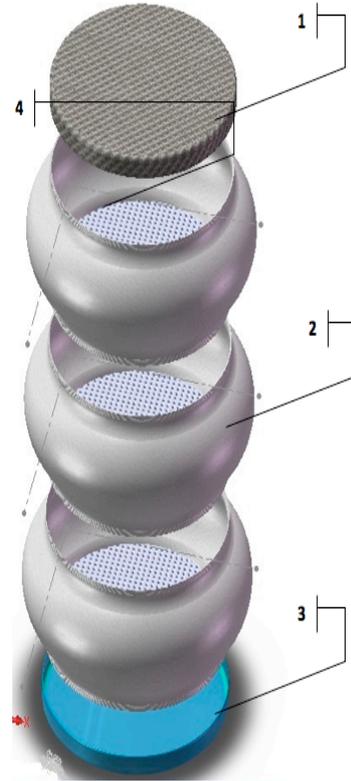


Escala: 1:10	Elaboró: García Jarquín Brenda	Fecha: 05 de Marzo del 2009
	Nombre pieza:	Acot.: cm.
	COLECTOR LIXIVIADOS	A3 Núm.: 4/7

ESPECIFICACIONES DE PIEZA	
MATERIAL:	PVC ⁶²
GEOMETRÍA:	CILINDRO
VOLUMEN ⁴³	0,196349 m ³



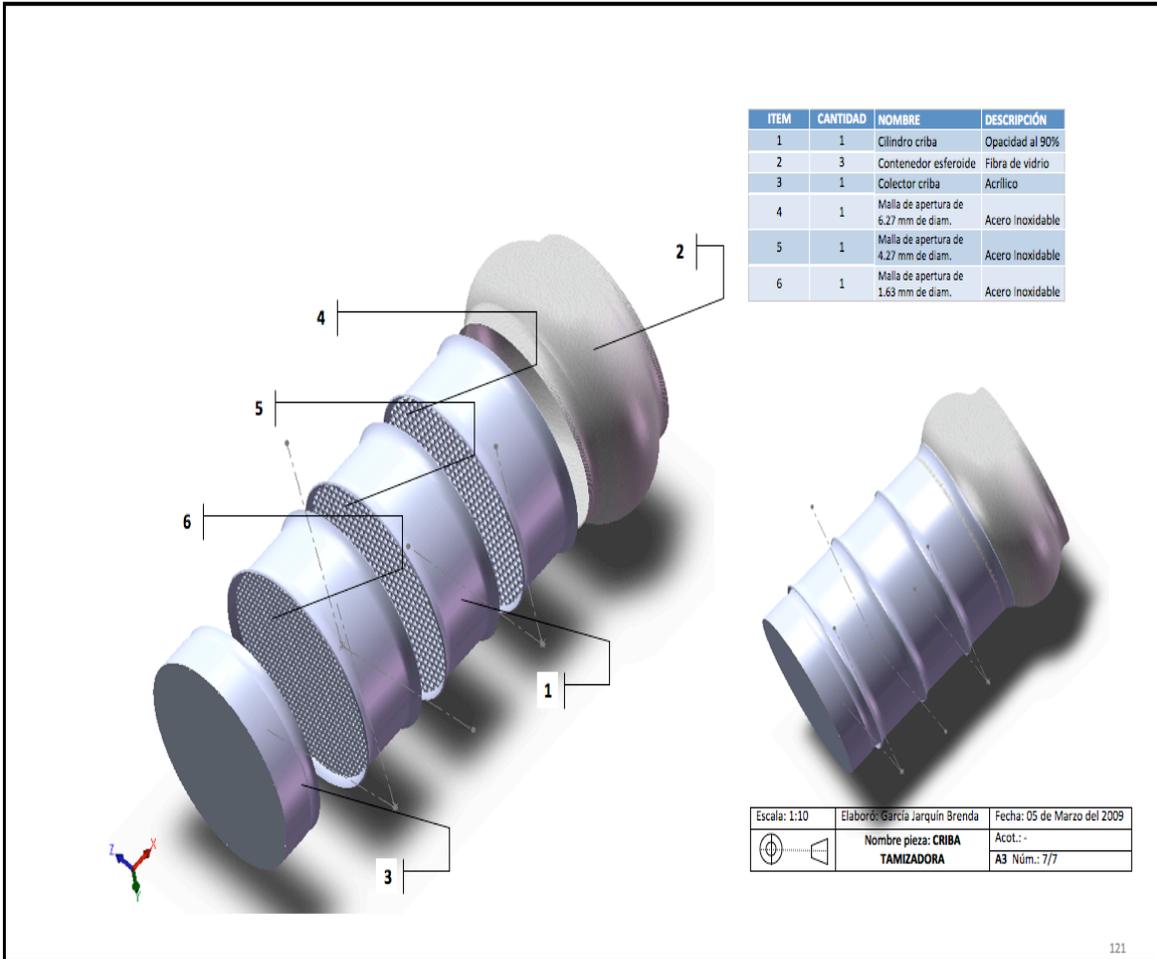
Escala: 1:10	Elaboró: García Jarquín Brenda	Fecha: 05 de Marzo del 2009
	Nombre pieza: COLECTOR	Acot.: cm.
	LOMBRICOMPOSTA	A3 Núm.: 5/7



ITEM	CANTIDAD	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	1	Malla sombra	Opacidad al 90%
2	3	Contenedor esferoide	Fibra de vidrio
3	1	Colector lixiviados	PVC
4	1	Malla de apertura de 6.27 mm de diam.	Acero inoxidable



Escala: 1:10	Elaboró: García Jarquín Brenda	Fecha: 05 de Marzo del 2009
	Nombre pieza: PROTOTIPO DE MADURACIÓN	Acot.: -
		A3 Núm.: 6/7



EXO 5. EXPERIMENTOS PARA EL ANÁLISIS DE LA MIGRACIÓN DE LAS LOMBRICES ROJAS CALIFORNIANAS

(*Eisenia Foetida*).

Objetivo:

La finalidad de los experimentos es identificar los principales factores que influyen en mayor medida para incitar a las lombrices a emigrar de un sitio a otro. La migración de las lombrices determinará el diseño del sistema donde se desarrollará el composteo. El diseño experimental es de tipo exploratorio, ya que solo se desea conocer fenómenos donde la variable importante es la migración de las lombrices.

Materiales:

Lombrices californianas (*eisenia foetida*).

Sustratos diversos como frutas y verduras en grado medio de descomposición.

Suelo proveniente del área de compostaje de la UTM, el cual fue analizado en los análisis fisicoquímicos. Ver capítulo II, tema 2.5.

Los demás materiales varían según el tipo de experimento a montar.

Equipo:

EQUIPO UTILIZADO	ESPECIFICACIONES
Balanza analítica de laboratorio	Balanza analítica calibrada a 0, serie Extend capacidad 420 g. con una legibilidad de 0,1mg. Tiempo de respuesta de 1-2 seg. Platillo de pesada: 90mm de diam., repetibilidad de 0,1mg., linealidad de 0,2 mg.
Potenciómetro para medir pH	Potenciómetro para pH con electrodo de vidrio, medición de 0-14. Precisión: +- 0,001 pH, 1 mV, 0,1°C. Error de medida: +- 2 mV.
Regla metálica	Regla metálica marca Afford con capacidad de medición de 30 cm. con una legibilidad de 1mm.
Cinta métrica	Cinta métrica marca Afford de vinil flexible con capacidad de medición de 100 cm con una legibilidad de 1mm.
Analizador de humedad	Analizador de humedad Sartorius con capacidad de 30 g., legibilidad de 0,0001 g.

Procedimiento:

La forma de selección de las muestras fue aleatoria. Con este método, cada elemento de la población tiene

AERO EXPERIMENTO: 4

FACTOR: DISTANCIA

FECHA: 13-NOVIEMBRE-2008

Día	Tipo Alimento	% Sombra	% Humedad	Dist. (cm)	Repeticiones: Número de lombrices que emigraron							
					I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	C	90	80	5	1	0	1	0	2	2	0	0
2	C	90	80	5	0	1	0	1	2	0	1	2
3	C	90	80	5	1	1	0	2	0	2	2	2
4	C	90	80	5	2	0	2	1	0	1	2	2
5	C	90	80	5	1	0	1	1	2	1	2	2
6	C	90	80	5	0	2	1	1	0	1	0	1
7	C	90	80	5	0	1	1	1	2	0	1	2
8	C	90	80	5	2	1	0	1	2	2	1	1
9	C	90	80	5	2	1	0	0	0	0	1	0
10	C	90	80	5	1	1	2	0	1	2	2	0
11	C	90	80	5	2	0	0	0	2	0	1	1
12	C	90	80	5	2	1	1	0	1	0	0	0
13	C	90	80	5	2	2	0	0	1	1	0	0
14	C	90	80	5	2	1	0	1	0	1	2	2
15	C	90	80	5	2	2	0	0	0	2	1	1
TOTAL:>					20	14	9	9	15	15	16	16
1	C	90	80	10	1	3	1	1	2	3	2	1
2	C	90	80	10	0	3	1	1	1	3	0	2
3	C	90	80	10	1	2	0	3	2	0	2	3
4	C	90	80	10	1	3	1	1	0	2	0	0
5	C	90	80	10	3	3	1	1	0	0	1	2
6	C	90	80	10	0	3	1	2	0	2	0	0
7	C	90	80	10	3	0	0	2	1	2	2	1
8	C	90	80	10	1	3	2	3	0	2	0	2
9	C	90	80	10	3	1	0	3	1	0	0	2
10	C	90	80	10	3	0	0	1	0	1	1	2
11	C	90	80	10	0	1	0	0	2	1	3	2
12	C	90	80	10	2	1	2	0	0	0	0	2
13	C	90	80	10	2	3	3	0	2	0	0	2
14	C	90	80	10	3	2	0	3	3	1	0	2
15	C	90	80	10	1	3	0	3	1	3	1	3
TOTAL:>					24	31	12	24	15	20	12	26
1	C	90	80	15	0	2	1	1	0	0	0	1
2	C	90	80	15	2	2	2	0	1	0	1	2
3	C	90	80	15	0	2	2	0	1	1	1	0
4	C	90	80	15	0	0	1	1	1	1	0	2
5	C	90	80	15	1	1	1	0	2	2	2	1
6	C	90	80	15	1	1	1	1	2	0	2	2
7	C	90	80	15	0	2	2	0	1	0	1	2
8	C	90	80	15	1	1	1	1	2	2	2	0
9	C	90	80	15	0	2	0	2	2	2	2	2
10	C	90	80	15	2	2	0	0	0	1	2	1
11	C	90	80	15	1	1	2	1	1	2	2	1
12	C	90	80	15	0	1	0	1	1	0	1	2

10	15.62a	Distancia a 10 cm.
15	14.25a	

Letras diferentes son parámetros estadísticamente diferentes.

CONCLUSIONES: Durante este experimento, se descubrió que las lombrices no recorren mucha distancia debido desplazamiento por movimientos musculares, la trayectoria fue sesgada.

En los resultados del procedimiento ANOVA se determinó que las tres distancias son estadísticamente iguales embargo, en base al criterio "Mayor es mejor" (se necesita que emigren todas las lombrices posibles), se puede de en base al número de lombrices migrantes, donde en la Tabla 36 se observa que es a 10 cm. Sin embargo, determinar mayor exactitud, mas adelante se explorara con método Taguchi, el cual determinará la mejor distancia el mejor mecanismo de migración.

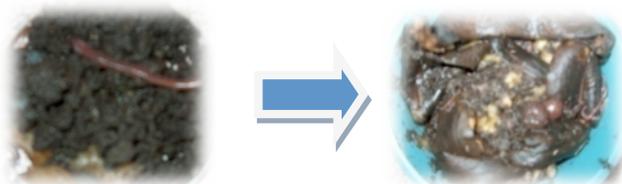


Figura 22. Traslado hacia sustrato. Fecha: 13 de noviembre del 2008.

RO EXPERIMENTO: 5

FACTOR VARIANTE: MATERIAL

FECHA: 27-NOVIEMBRE-2008

HOJA 1/2

Día	Tipo Alimento	% Sombra	% Hum.	Dist. (cm)	Material	Repeticiones: Número de lombrices que emigraron							
						I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	C	90	80	10	1	1	1	2	2	1	1	1	0
2	C	90	80	10	1	0	2	2	0	1	2	2	0
3	C	90	80	10	1	0	2	0	0	1	1	1	0
4	C	90	80	10	1	2	0	0	0	0	1	2	1
5	C	90	80	10	1	2	2	1	2	1	1	2	2
6	C	90	80	10	1	1	2	1	2	2	0	2	2
7	C	90	80	10	1	0	0	1	0	0	2	0	0
8	C	90	80	10	1	0	0	1	0	1	2	0	2
9	C	90	80	10	1	1	1	2	0	2	0	2	1
10	C	90	80	10	1	1	1	2	1	2	1	1	1
11	C	90	80	10	1	0	2	1	1	1	0	1	0
12	C	90	80	10	1	0	0	2	1	1	1	1	1
13	C	90	80	10	1	0	1	1	1	0	2	0	2
14	C	90	80	10	1	2	2	0	2	2	2	2	2
15	C	90	80	10	1	1	1	2	2	1	2	0	0
TOTAL:>						11	17	18	14	16	18	17	14
1	C	90	80	10	2	2	0	0	1	3	1	2	3
2	C	90	80	10	2	1	3	0	2	0	1	2	3
3	C	90	80	10	2	3	0	3	1	0	2	2	2
4	C	90	80	10	2	2	0	0	0	0	2	2	0
5	C	90	80	10	2	1	0	3	2	1	0	3	0
6	C	90	80	10	2	2	1	2	2	0	0	0	2
7	C	90	80	10	2	2	0	2	3	2	3	1	0
8	C	90	80	10	2	2	3	2	0	3	3	1	1
9	C	90	80	10	2	2	3	3	0	1	0	0	2
10	C	90	80	10	2	3	1	1	3	0	0	1	2
11	C	90	80	10	2	0	1	2	1	1	1	2	2
12	C	90	80	10	2	2	1	2	3	2	0	1	3

6	C	90	80	10	4	0	1	2	1	1	0	2	0
7	C	90	80	10	4	2	0	2	0	0	1	0	1
8	C	90	80	10	4	0	1	0	0	2	1	2	1
9	C	90	80	10	4	0	2	0	1	1	2	0	0
10	C	90	80	10	4	1	0	0	2	2	2	1	2
11	C	90	80	10	4	2	2	1	1	0	0	2	2
12	C	90	80	10	4	2	2	2	2	1	0	2	0
13	C	90	80	10	4	1	0	2	1	0	1	0	2
14	C	90	80	10	4	2	0	1	2	1	0	2	1
15	C	90	80	10	4	1	1	2	0	1	2	1	2
TOTAL:>						17	22	21	15	12	14	15	18

ESPECIFICACIONES DEL FACTOR VARIANTE PARA SU IDENTIFICACIÓN

NUM.	MATERIAL	FORMA RECIPIENTE	TOTAL
1	Plástico tipo acrílico obscuro al 40%, grosor de 4mm, con capacidad de 250 ml.	Circular	125
2	Resina c/ fibra de vidrio color mate moldeado en forma de embudo con capacidad de 300 ml.	Circular	171
3	Vidrio obscuro color vino sin textura, grosor de 3mm con capacidad de 250 ml.	Circular	112
4	Madera de pino lijada con lija No. 10, cepillada y sin barnizar ni pintar. Recipiente con capacidad de 250 ml.	Circular	124

Tabla 37. Experimento 5.- Material como factor variante. Fuente: elaboración propia. Fecha: 27 de noviembre del 2008.

ERVACIONES DE TABLA 37: Durante el experimento 4, se planteó la hipótesis que las lombrices podían emigrar que se terminaba el sustrato.

embargo, al inicio del experimento, como se llevó a cabo en recipiente de acrílico, la mayoría de los anélidos acababan en las aristas del recipiente, además, que muchas no se desplazaban porque a pesar de la obscuridad del material, ingresaban algunos rayos de luz, lo cual las intimidaba y muchas se quedaban en el suelo hasta deshidratarse. Se pensó en experimentar cambiando el material del recipiente y la eliminación de las aristas mediante el redondeo de las aristas o bien, la sustitución de formas prismáticas por formas circulares.

Se realizó ANOVA para analizar el material, debido a que la selección del material idóneo se llevó a cabo mediante pruebas de decisión AHP.

Tipo Alimento	% Sombra	% Hum.	Dist. (cm)	Material	Masa sustrato	Repeticiones: Número de lombrices que emigraron							
						I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
C	90	80	10	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1
C	90	80	10	2	1	1	0	0	2	0	0	0	0
C	90	80	10	2	1	2	2	0	2	2	0	1	0
C	90	80	10	2	1	0	2	1	2	1	1	2	1
C	90	80	10	2	1	0	0	2	1	1	0	2	2
C	90	80	10	2	1	2	0	0	2	2	0	1	0
C	90	80	10	2	1	2	2	0	2	0	0	2	1
C	90	80	10	2	1	0	2	2	1	0	2	0	2
C	90	80	10	2	1	0	0	1	2	1	2	2	1
C	90	80	10	2	1	1	0	0	1	2	1	2	2
C	90	80	10	2	1	0	0	0	2	1	0	0	0
C	90	80	10	2	1	0	0	2	2	1	0	2	2
C	90	80	10	2	1	2	1	0	2	1	0	1	2
C	90	80	10	2	1	1	1	2	1	1	0	1	0
C	90	80	10	2	1	2	1	2	0	1	0	0	2
TOTAL:>						15	12	14	23	16	7	17	16
C	90	80	10	2	2	3	3	1	3	1	3	2	1
C	90	80	10	2	2	2	3	3	1	2	0	1	1
C	90	80	10	2	2	1	2	1	3	1	1	3	3
C	90	80	10	2	2	2	3	1	2	0	2	0	2
C	90	80	10	2	2	3	0	0	2	2	1	1	1
C	90	80	10	2	2	3	1	0	2	1	2	0	3
C	90	80	10	2	2	0	2	1	2	1	1	1	3
C	90	80	10	2	2	3	0	3	0	2	3	1	0
C	90	80	10	2	2	3	2	2	2	0	0	1	2
C	90	80	10	2	2	0	0	1	3	0	3	2	1
C	90	80	10	2	2	1	1	3	1	1	1	3	1
C	90	80	10	2	2	3	2	3	2	2	0	0	0
C	90	80	10	2	2	2	0	1	2	0	1	0	1
C	90	80	10	2	2	0	0	2	3	3	1	1	3
C	90	80	10	2	2	2	3	3	3	0	0	3	3
TAL:>						28	22	25	31	16	19	19	25
C	90	80	10	2	3	1	1	2	4	4	0	4	2
C	90	80	10	2	3	3	1	0	4	4	2	4	1
C	90	80	10	2	3	0	0	3	1	4	2	4	1
C	90	80	10	2	3	0	4	0	4	0	4	1	4
C	90	80	10	2	3	1	1	3	2	4	4	3	2
C	90	80	10	2	3	3	0	2	4	1	1	3	3
C	90	80	10	2	3	2	3	2	0	1	4	3	4
C	90	80	10	2	3	1	3	0	4	4	1	3	2
C	90	80	10	2	3	0	0	3	3	0	4	0	3
C	90	80	10	2	3	2	4	3	4	3	2	19	1
C	90	80	10	2	3	4	1	2	0	4	0	4	0
C	90	80	10	2	3	2	4	4	1	3	1	0	3
C	90	80	10	2	3	4	4	3	0	3	3	1	0
C	90	80	10	2	3	1	3	0	1	0	2	0	1
C	90	80	10	2	3	2	2	4	0	0	0	4	4
TAL:>						26	31	31	32	35	30	53	31
Tipo	% Sombra	% Hum.	Dist.	Material	Masa	Repeticiones: Número de lombrices que emigraron							

ERVACIONES DE TABLA 38: Durante el experimento, se pudo percatar que una vez con los factores ya especificados, estancia, material y forma de recipiente entre otros, la cantidad de sustrato destino tendría que ser una cantidad uniforme con los experimentos anteriores se estandarizó con 100 grs. de sustrato (frutas y verduras), sin embargo, se decidió moverse a 200 grs. de sustrato, para ver si difería el comportamiento de las lombrices, a lo cual resultó que aumentando la masa de sustrato, las lombrices más lograron llegar a alimentarse del sustrato destino.

PROCEDIMIENTO ANOVA MEDIANTE EL PAQUETE SAS SYSTEM

Parámetro	Valor
Diferencia mínima significativa	7.71

Resultados con Análisis Tukey para la selección de medias

Masa sustrato	Media	Parámetro seleccionado
4	34.13a	Masa de 200 grs.
3	33.62a	
2	23.12b	
1	15c	

Letras diferentes son parámetros estadísticamente diferentes.

ERVACIONES: Estadísticamente, se produce el mismo resultado a 150 y 200 grs., sin embargo aquí se debe tomar en cuenta que el problema principal a resolver es la excesiva contaminación provocada por los desechos generados en la U. que 150kg solo son de orgánicos, entonces si existe el alimento suficiente diariamente y no tiene costo, entonces se opta por el último tratamiento, el de 200 grs. Además que por número de lombrices migrantes en el experimento exploratorio se observa que a mayor cantidad de sustrato, mayores son las posibilidades de que las lombrices puedan abandonar el sustrato sin nutrientes para encontrar nuevas formas de supervivencia.

C	90	80	10	2	4	2	2	2	1	1	2	1	2	1
C	90	80	10	2	4	2	0	1	0	0	0	0	2	1
C	90	80	10	2	4	2	1	0	1	1	1	0	0	0
C	90	80	10	2	4	2	1	0	1	2	0	0	0	1
C	90	80	10	2	4	2	1	1	0	0	2	0	1	2
C	90	80	10	2	4	2	1	1	1	0	0	1	2	0
C	90	80	10	2	4	2	1	1	2	1	1	0	1	0
C	90	80	10	2	4	2	1	2	1	1	1	2	0	1
C	90	80	10	2	4	2	2	1	2	2	0	1	2	2
C	90	80	10	2	4	2	1	1	0	0	1	0	2	1
C	90	80	10	2	4	2	1	0	0	2	2	2	0	1
C	90	80	10	2	4	2	1	0	1	1	0	2	1	1
C	90	80	10	2	4	2	1	2	1	2	2	2	2	1
C	90	80	10	2	4	2	2	1	1	1	0	1	2	0
C	90	80	10	2	4	2	0	2	0	0	2	0	2	2

L:> 16 15 12 14 14 12 19 14

C	90	80	10	2	4	3	1	2	1	0	1	2	2	1
C	90	80	10	2	4	3	1	0	2	0	1	1	0	0
C	90	80	10	2	4	3	0	2	2	2	2	2	0	1
C	90	80	10	2	4	3	1	2	0	0	1	2	0	2
C	90	80	10	2	4	3	0	1	0	0	1	1	1	2
C	90	80	10	2	4	3	2	1	2	1	2	2	1	2
C	90	80	10	2	4	3	2	0	0	0	2	1	0	0
C	90	80	10	2	4	3	1	1	1	2	2	1	0	0
C	90	80	10	2	4	3	0	2	0	0	2	2	1	2
C	90	80	10	2	4	3	1	0	1	1	0	0	0	0
C	90	80	10	2	4	3	2	2	2	0	1	1	1	1
C	90	80	10	2	4	3	1	2	1	0	0	1	1	1
C	90	80	10	2	4	3	1	2	0	0	1	2	2	2
C	90	80	10	2	4	3	2	2	1	1	2	2	1	2
C	90	80	10	2	4	3	1	0	1	1	0	0	1	2

L:> 16 19 14 8 18 20 11 18

Tipo limento	% Sombra	% Hum.	Dist. (cm)	Material	Masa sustrato	Mecan.Trans.	Repeticiones: Número de lombrices que emigraron							
							I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
C	90	80	10	2	4	4	1	0	1	2	2	2	2	2
C	90	80	10	2	4	4	0	2	0	2	1	2	2	1
C	90	80	10	2	4	4	2	0	0	2	0	1	1	0
C	90	80	10	2	4	4	0	1	0	1	2	1	1	1
C	90	80	10	2	4	4	1	2	0	2	0	1	2	1
C	90	80	10	2	4	4	2	1	1	1	0	0	2	2
C	90	80	10	2	4	4	0	0	1	0	0	1	2	2
C	90	80	10	2	4	4	0	0	0	1	0	0	1	1
C	90	80	10	2	4	4	2	0	0	0	1	2	1	2
C	90	80	10	2	4	4	2	2	0	0	0	0	2	0
C	90	80	10	2	4	4	0	0	1	2	1	2	2	1
C	90	80	10	2	4	4	1	0	1	2	0	0	1	2
C	90	80	10	2	4	4	1	1	1	1	0	1	2	0
C	90	80	10	2	4	4	1	2	1	0	0	0	0	2
C	90	80	10	2	4	4	2	2	0	2	0	0	0	1

L:> 15 13 7 18 7 13 21 18

C	90	80	10	2	4	5	2	0	1	0	2	2	2	2
C	90	80	10	2	4	5	0	0	1	0	1	0	0	0

9	Contenedores cúbicos conectados por mallas	182
10	Embudos interconectados	231

a 39. Experimento 7.- Mecanismo de transporte como factor variante. Fuente: elaboración propia. Fecha: 25 de diciembre del 2008.

ERVACIONES DE TABLA 39: En el experimento 4, se observó que la trayectoria no fue en línea recta, fue en forma de zigzag, esto implicaba a su vez que algunas lombrices se desviaban y no llegaban exactamente al destino final. Las que se desviaban se extraviaban y morían deshidratadas a falta de sustrato. Por ello, se tuvo que pensar en diseñar un mecanismo que permitiera que las lombrices se puedan transportar fácilmente.

PROCEDIMIENTO ANOVA MEDIANTE EL PAQUETE SAS SYSTEM

Parámetro	Valor
Diferencia mínima significativa	6.97

Resultados con Análisis Tukey para la selección de medias

Modelo	Media	Parámetro seleccionado
10	28.8a	Modelos 10,9,1,6
9	22.75ab	
1	18.5bc	
6	15.87bc	
8	15.62c	
5	15.50c	
3	15.50c	
2	14.50c	
7	14.00c	
4	14.00c	

Los modelos 8, 5, 3, 2, 7 y 4 son diferentes son parámetros estadísticamente diferentes.

ERVACIONES: De acuerdo a la tabla anterior, los modelos 8, 5, 3, 2, 7 y 4 pertenecen a un mismo grupo pues según la clasificación en cuanto a la Diferencia mínima significativa, no tienen alta significancia con respecto a los modelos de tipo 10, 9, 1, 6. Por lo tanto, se eligieron los modelos pertenecientes a estos grupos: 10, 9, 1, 6. Dichos modelos son analizados con el método Taguchi variando el factor que no se determinó totalmente, el cual fue la distancia.

Tabla 41. Resumen de los factores obtenidos en cada uno de los experimentos exploratorios.

los resultados se utilizó el Análisis de Varianza de un factor (ANOVA) para determinar si existen diferencias significativas en cada propiedad entre las muestras. Luego se procedió a calcular, mediante el test de Tukey, la Mínima Diferencia Significativa.

Arangüena, A. (1994). *Ceramic tiles: Above and beyond traditional applications*. En Ecers(Ed.), *Coatings catalytic properties*. (pp. 26-29). Riu Sec:Campus Universitario Riu Sec, 12006 Castell'on, Spain.

Baumol, W. y W. Oates, (1994). *The Theory of Environmental Policy*. Cambridge University Press, 2a. ed.

Brisson, I. E. y Powell J. C., (1995). *Dump or Burn? The Assessment of Social Costs and Benefits of Waste Disposal*. RGE. Mimeo.

Cerri, P. (1998). *Higher space temperatures and better thermal comfort a tropical analysis*. Science Direct, 1, 22-23.

Craighill, A y J. Powell, (1996). Lifecycle assessment and economic evaluation of recycling: a case study. *Resource Conservation and Recycling* No. 17.

European Commission (EC), (1997). *Cost-Benefit Analysis of the Different Municipal Solid Waste Management Systems: Objectives and Instruments for the Year 2000*.

INEGI,(2007). www.inegi.gob.mx.

Krupnick, A., K. Harrison y E. Nickell, (1996). The Value of Health Benefits from Ambient Air Quality Improvement in Central and Eastern Europe: An Exercise in Benefits Transfer. *Environmental and Resource Economics*, 7: 307-332.

Lorian Matus, K. (2001). *The effects of different cement dosages, slumps and pumice aggregate ratios on compressive strength and densities of concrete*. Pergamon, 2,43-44.

Marwick, L. (2008). *A decision making matrix with life cycle perspective of materials for roofs in Sri Lanka*. *Scientia*, 1,31.

Michele Dondi , Roberto de Gennaro ,Piergiulio Cappelletti, Guido Cerri , Maurizio de Gennaro , Guia Guarini , Alessandra Jella, Luigi Parlato , Chiara Zanelli (2007). *Zeolite-feldspar epiclastic rocks as flux in ceramic tile manufacturing*. *Scientia*, 5, 2.

Milant Paynes, U. (2007). *Recycling of polishing porcelain stoneware residues in ceramic tiles*. *Journal of the European Ceramic Society*, 4,4.

GLOSARIO

cocones: Puesta, capullo, que contiene los embriones, lombricitas, que viven de un líquido que lo llena. No es un huevo porque los cocones son puestos dentro del cocón). Extraído de Lombricor.org.mx.

Edafología: La edafología (del griego *ἔδαφος*, *edafos*, "suelo", *-λογία*, *logía*, "estudio", "tratado") es una rama de la ciencia que estudia la composición y naturaleza del suelo en su relación con las plantas y el entorno que le rodea. Dentro de la edafología aparecen varias ramas teóricas y aplicadas que se relacionan en especial con la física y la química. Extraído de Lombricor.org.mx.

Lixiviados o Lexiviados: El lixiviado es el líquido producido cuando el agua percola a través de cualquier material permeable. Puede contener tanto materia en suspensión como disuelta, generalmente se da en ambos casos. Este líquido es comúnmente hallado asociado a Rellenos sanitarios, en donde, como resultado de las lluvias percolando a través de los residuos sólidos y reaccionando con los productos de descomposición, químicos, y otros compuestos, es producido. Los peligros de los lixiviados, son debidos a altas concentraciones de contaminantes orgánicos y nitrogenados. Microorganismos patógenos y sustancias tóxicas que pueden estar presentes, son a menudo citadas como los más importantes, pero el contenido de microorganismos patógenos se reduce rápidamente en el tiempo en los Rellenos sanitarios, aplicándose esto último al lixiviado fresco. Fuente: Wikipedia.org

Lombricomposta o lombricompuesto. El lombricompuesto o humus de lombriz es un abono elaborado a base de residuos orgánicos tales, residuos de cosecha, estiércol vacuno, cama de aves, etc, sobre los que actúa y trabaja la lombriz roja californiana. El humus de lombriz es un abono natural a diferencia de otros que son elaborados por procesos químicos. Fuente: Lombricor.org.mx.

Suelo: En las ciencias de la Tierra y de la vida, se denomina **suelo** al sistema estructurado, biológicamente activo, que tiene su desarrollo en la superficie de las tierras emergidas por la influencia de la intemperie y de los seres vivos. De un punto de vista científico puede decirse que las etapas implicadas en su formación son las siguientes:

Disgregación mecánica de las rocas.

Meteorización química de los materiales regolíticos, liberados.