

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

El permanente crecimiento urbano e industrial, sus residuos, la destrucción de árboles y las quemas han deteriorado los suelos y su productividad, además de que el uso de productos químicos en la agricultura moderna se incrementó por lograr una mayor producción. De esta manera hoy se cuenta con problemas por la generación de residuos resultado de la actividad pecuaria, que incluyen los estiércoles y los residuos sólidos orgánicos urbanos. Estos residuos generan contaminación del agua y suelo, afectan la salud humana y la producción agropecuaria, al no ser manejados ni utilizados adecuadamente, aun cuando ellos si son tratados adecuadamente representan una fuente de nutrición de los cultivos.

La mayor cantidad de carne que se produce en el mundo es la de porcino con 93.5 millones de toneladas, y existe una fuerte tendencia en incrementar el tamaño de las operaciones, lo cual ocasiona la producción de grandes cantidades de desechos fecales y alto consumo de agua en áreas relativamente pequeñas (Arias, J.2006).

El manejo adecuado de residuos porcinos cobra importancia, dada las exigencias que imponen las leyes ambientales, como la presión económica ejercida por aumentos en los costos de la actividad pecuaria; lo cual ha conducido a una mayor intensificación de los sistemas de producción en lo que se destaca la reutilización de productos considerados por mucho tiempo como desperdicios, tal es el caso del estiércol de cerdo para la producción de abono orgánico como para la alimentación de bovinos y el uso de las aguas tratadas para la agricultura por el alto valor nutricional que esta tienen y el aporte económico que genera dependiendo de las cantidades y la calidad producida de la granja porcina.

Este trabajo pretende plantear una alternativa de solución para los productores porcinos y las medidas que se deben tomar de manera que la adecuación ambiental de su granja de producción porcina se convierta en una solución integral y no en parte del problema. Para un productor agropecuario, la cría de lombrices puede ser doblemente benéfica, por un lado las lombrices se harán

cargo de los desechos orgánicos de sus animales y hasta los transformarán en abono orgánico, por lo que también puede dedicarse a la venta de lombrices.

A raíz de esto, la sociedad en su conjunto ha venido adquiriendo, cada vez mayor conciencia al deterioro ambiental, ya que los consumidores demandan productos que no generen daños a su salud y a su vez, que en sus procesos productivos minimicen, en lo posible los impactos ambientales y sociales.

Es importante mencionar que las principales granjas porcinas que operan en el Valle Central de Tarija son las siguiente: la Granja Careaga (Concepción), Granja Baracatt (Pintada), Granja Sánchez (San Luis) y Granja Luján (San Luis); ya que no se cuenta con un registro en el Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria (SENASAG), lo que no ocurre en el caso de las granjas avícolas; asimismo otras granjas porcinas se encuentran dispersas en Entre Ríos, Caraparí, Villamontes, Yacuiba y Bermejo.

Objetivos

El presente trabajo presenta los siguientes objetivos

Objetivo General

- ✓ Obtener Abono Orgánico a partir de estiércol de Cerdo empleando la Lombriz Roja Californiana

Objetivos Específicos

- ❖ Determinar las características y composición del estiércol de cerdo.
- ❖ Validar las condiciones de operación para la producción abono orgánico, a partir de estiércol de cerdo de una granja porcina.
- ❖ Realizar el proceso de adaptación de las lombrices al sustrato (estiércol de cerdo y residuos vegetales) para la producción de abono orgánico.
- ❖ Determinar la calidad del abono orgánico obtenido por medio de análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

Justificación

Uno de los principales problemas que enfrentan las granjas porcinas es el manejo de las excretas, ya que se producen en gran cantidad y deben ser retiradas

diariamente de los corrales y demás instalaciones donde se alojan los cerdos. La acumulación de las excretas son un foco significativo para el desarrollo de patógenos y malos olores que pueden contaminar el medio ambiente, agua, suelo y aire. Una de las opciones para el tratamiento de estiércoles, que minimiza el riesgo de contaminación ambiental y mejora su calidad, al darle un valor agregado produciendo abono orgánico es la lombricomposta.

En la actualidad las granjas porcinas que desarrollan sus actividades en el Valle Central de Tarija, no cuentan con sistemas de tratamiento de sus residuos, los cuales generan focos de contaminación puntuales y dispersos en distintos puntos que se asientan las granjas, sobre los factores suelo, aire y corrientes superficiales de agua. Por lo que su tratamiento y uso para la producción de abono orgánico, se plantea como una solución ambientalmente amigable y que a la par genera un ahorro, pues puede sustituir la adquisición de abonos químicos.

Las excretas de cerdo contienen de 10 a 100 veces más materia orgánica que los drenajes municipales; además, pueden sufrir una rápida y muy completa descomposición, principalmente anaerobia, siendo así muy ricas en nutrientes que pueden ser aportados al suelo en forma de abono. Además de materia orgánica, las excretas poseen N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Zn, B, Cu, Co, Mo, muchos de los cuales no están presentes en los abonos comerciales (Armendáriz, I. 1996).

Por lo anotado anteriormente, es importante realizar esfuerzos para tratar estos residuos, de manera que se logre disminuir los efectos contaminantes sobre los suelos y corrientes de agua, cumpliendo lo establecido en la Ley N° 1333. En este contexto, se considera necesario viabilizar el aprovechamiento de excretas de cerdos para la producción de abono orgánico, además de generar recursos económicos y de brindar un servicio ambiental restaurando los suelos degradados y mejorando la calidad del ambiente.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Consideraciones generales

La producción creciente de porcinos, ha ido emparejado a un incremento en el tamaño de las granjas porcinas; esta situación trajo como consecuencia un aumento en la capacidad contaminante de las granjas generando principalmente agua de lavado, restos de alimentos heces y orina.

La contaminación generada por una granja porcina afecta al ambiente cercano como es la granja misma y al ambiente en general. En lo que respecta al ambiente directo, se ha visto que la exposición a los gases producidos (amoníaco, sulfuro de hidrógeno, metano y bióxido de carbono) representa riesgos directos a la salud de los trabajadores y de los cerdos de la granja. Esto es debido a que el amoníaco es irritante por lo que tiende a producir malestar en los cerdos, un decremento (del 12 al 30%) en la ganancia diaria de peso de cerdos alojados en lugares con concentraciones crecientes de amoníaco (50, 100 y 150 ppm). El amoníaco proviene del nitrógeno excretado principalmente en la orina (85%) y en las heces (15%); así mismo, la producción de bióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) contribuye al efecto invernadero mundial, aunque en mucho menor escala que el CO₂ y CH₄ producidos por los rumiantes (Mariscal, G. 2007).

Para intentar una mejora en el manejo y utilización de las excretas es necesario que se conozca con más precisión lo que son. Las Excretas son los desechos de los animales; su origen está en los alimentos que se proporcionan a los animales, de los cuales el organismo toma los nutrientes necesarios para su mantenimiento, producción y reproducción; se le agregan elementos de la digestión no utilizados por el metabolismo, los cuales ya mezclados se expulsan fuera mismo y dan como resultado las heces y orina.

Se considera como materia prima para procesos de reciclaje: tiene como origen las heces y orines recién expulsados, los cuales están constituidos por el sobrante del

alimento ya digerido pero no utilizado por el organismo, aparte se le suman desperdicios como camas, residuos de comida o material añadido de forma deliberada para aumentar la materia seca y así asegurar satisfactoriamente su manejo durante el almacenamiento y transporte viéndose afectado por el tipo de alimento y por el organismo en el cual se ha formado.

Tabla I-1
Producción diaria de estiércol según el tipo de cerdo

Etapa	Estiércol kg/día	Est. + orina kg/día	Volumen l/día	Volumen m³/animal/mes
25-100 kg	2,3	4,9	7,0	0,25
Hembra	3,6	11,0	16,0	0,48
H. lactación	6,4	18,0	27,0	0,81
Semental	3,0	6,0	9,0	0,28
Lechón	0,35	0,95	1,4	0,05
Promedio	2,35	5,8	8,6	0,27

Fuente: Tratamiento Excretas Cerdos 2007.

Es muy importante conocer la composición de excretas ya que de esta forma se determinara el valor de la misma, tanto para usos agrícolas, pecuarios y/o industriales. De la misma forma es imprescindible conocer los factores que afectan directamente su composición, ya sea en su calidad y cantidad, las cuales a su vez se verán afectadas por el tipo de alimento, el animal mismo y el tipo de instalaciones que condicionará su manejo.

Estos elementos hacen un gran aporte de materia orgánica a los suelos agrícolas, lo mismo que la gran cantidad de cenizas, cuya composición en el caso del estiércol porcino resulta de gran interés para el agricultor (Salazar, 1997), tal como se muestra en las siguientes tablas.

Tabla I-2
Composición nutritiva de excretas porcinas en % de Materia Seca

Concepto	Composición %
Materia Seca	26,43
Proteína Cruda	15,87
Extracto Etéreo	4,69
Fibra Cruda	17,52
Cenizas	12,05
Calcio	0,61
Fósforo	1,36
Nutrientes digestibles totales	71,20

Fuente: Tratamiento Excretas Cerdos 2007.

Tabla I- 3
Excreción anual de nutrimentos por etapa de crecimiento

Animal	N kg/año	P kg/año	K kg/año
Lechón	2,6	0,9	1,7
Crecimiento	5,0	1,6	3,2
Engorda	11,3	3,7	7,3
Finalización	15,0	5,0	10,0
H. gestante	10,4	3,5	6,8
H. Lactante	38,1	12,7	24,9
Semental	12,7	4,3	8,6

Fuente: Tratamiento Excretas Cerdos 2007.

El estiércol aviar se está convirtiendo durante los últimos años en un producto fertilizante, es rico en nitrógeno y en calcio, tiene un pH básico debido a uso de cal para evitar la proliferación de parásitos y microorganismos patógenos que pueden contaminar a las aves, este estiércol se lo utiliza para regular el pH de otro tipo de estiércol que tiene acidez elevada si se utilizara para la producción de abono orgánico a partir de lombrices. En la granja donde se recolecto el estiércol de cerdo, también se cuenta con estiércol de gallina, lo cual es un problema para los productores, por lo que se solicitó que este sea parte de la formulación en el sistema de tratamiento que se realice.

Tabla I-4
Composición de excreta de gallina en % de Materia Seca

Concepto	Composición %
Materia orgánica	54,1
Nitrógeno total	2,38
Fósforo asimilable	3,86
Potasio	1,39
Calcio	3,63
Magnesio	0,77
pH	8,0

Fuente: Ing. Agrónomo Oscar Sosa 2010.

1.2. Lombricultura o vermicompostaje

Es una biotecnología que utiliza, a una especie domesticada de lombriz, como una herramienta de trabajo, recicla todo tipo de materia orgánica obteniendo como fruto de este trabajo fundamentalmente dos productos: el humus y la carne (La Lombricultura 2009).

Esta técnica, es utilizada en un sistema de producción agropecuario en donde se hace necesario el reciclaje de los residuos sólidos, trae beneficios económicos al transformarlos en abono orgánico de gran calidad; así como biomasa de lombriz que puede ser aprovechada en la nutrición de aves y peces.

1.3. Abono orgánico o humus de lombriz

Se denomina humus de lombriz a los excrementos de las lombrices. El humus de lombriz es uno de los mejores abonos orgánicos, porque posee un alto contenido en nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, elementos esenciales para el desarrollo de las plantas. Ofrece a las plantas una alimentación equilibrada con los elementos básicos utilizables y asimilables por sus raíces.

Tabla I-5
Composición del abono orgánico de lombriz

Parámetros	Porcentaje
Humedad	30-60%
pH	6,8-7,2
Nitrógeno	1-1,6%
Fosforo	2-8%
Potasio	1-2,5%
Calcio	2-8%
Magnesio	1-2,5%
Materia Orgánica	30-70%
Carbono Orgánico	14-30%
Ácidos Fúlvicos	14-30%
Ácidos Húmicos	2,8-5,8%
Sodio	0,02%
Cobre	0,05%
Hierro	0,02%
Manganeso	0,006%
Relación C/N	10-11%

Fuente: La Lombricultura 2009.

1.3.1. Parámetros de calidad del abono orgánico de lombriz

El abono orgánico es un producto con altas posibilidades de comercialización en el sector agropecuario del país, pero su calidad es un factor importante para obtener los mejores precios del mercado. Para poder determinar que el producto es de buena calidad, debe de cumplir con los siguientes parámetros.

Tabla I-6
Parámetros mínimos para un abono orgánico de buena calidad

Parámetros	Cantidad
Contenido de materia orgánica	> 28%
Nivel de nitrógeno	> 1,5%
Relación C/N	< 20
pH	6,7 - 7,5
Contenidos de cenizas	< 30%

Fuente: Girón Maddaleno, A 2005.

1.3.2. Propiedades del abono orgánico

1.3.2.1. Propiedades químicas

- Incrementa la disponibilidad de Nitrógeno, fósforo y Azufre, fundamentalmente Nitrógeno.
- Incrementa la eficiencia de la fertilización, particularmente Nitrógeno.
- Estabiliza la reacción del suelo, debido a su alto poder de tampón.
- Inactiva los residuos de plaguicidas debido a su capacidad de absorción.
- Inhibe el crecimiento de hongos y bacterias que afectan a las plantas.

1.3.2.2. Propiedades físicas

- Mejora la estructura, dando soltura a los suelos pesados, compactos y ligosos, así como de los suelos sueltos y arenosos, por consiguiente mejora su porosidad.
- Mejora la permeabilidad y ventilación.
- Reduce la erosión del suelo.
- Incrementa la capacidad de retención de humedad.
- Confiere un color oscuro en el suelo ayudando a la retención de energía calorífica

1.3.2.3. Propiedades biológicas

- El Humus de lombriz es fuente de energía la cual incentiva a la actividad microbiana.
- Al existir condiciones óptimas de aireación, permeabilidad, pH y otros, se incrementa y diversifica la flora microbiana

1.4. La lombriz roja californiana

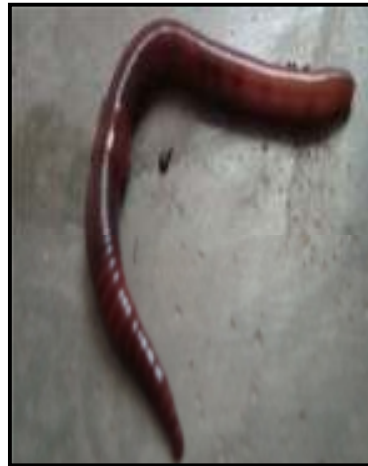
Se la conoce como Lombriz Roja Californiana porque es en ese estado de E.E.U.U. donde se descubrieron sus propiedades para el ecosistema y donde se instalaron los primeros criaderos.

Tabla I-7
Clasificación zoológica

Reino	Animal
Tipo	Anélido
Clase:	Oligoqueto
Orden	Opisthoro
Familia	Lombricidae
Género	Eisenia
Especie	Eiseniafoetida

Fuente: Manual de Producción de Humus 2005.

Figura 1-1
Lombriz Roja Californiana



Fuente: Elaboración propia.

1.4.1. Características externas

Posee el cuerpo alargado, segmentado y con simetría bilateral. Existe una porción más gruesa en el tercio anterior de 5 mm de longitud llamada clitelium cuya función está relacionada con la reproducción.

Al nacer las lombrices son blancas, transcurridos 5 o 6 días se ponen rosadas y a los 120 días ya se parecen a las adultas siendo de color rojizo y estando en condiciones de aparearse.

1.4.2. Características internas

- Cutícula. Es una lámina muy delgada de color marrón brillante, quitinosa, fina y transparente.
- Epidermis. Situada debajo de la cutícula, es un epitelio simple con células glandulares que producen una secreción mucosa. Es la responsable de la formación de la cutícula y del mantenimiento de la humedad y flexibilidad de la misma.
- Capas musculares. Son dos, una circular externa y otra longitudinal interna.

- Peritoneo. Es una capa más interna y limita exteriormente con el celoma de la lombriz.
- Celoma. Es una cavidad que contiene líquido celómico y se extiende a lo largo de la lombriz, dividida por los septos, actuando como esqueleto hidrostático.
- Aparato circulatorio. Formado por vasos sanguíneos. Las lombrices tienen dos vasos sanguíneos, uno dorsal y otro ventral. Posee también otros vasos y capilares que llevan la sangre a todo el cuerpo. La sangre circula por un sistema cerrado constituido por cinco pares de corazones.
- Aparato respiratorio. Es primitivo, el intercambio de oxígeno se produce a través de la pared del cuerpo.
- Sistema digestivo. En la parte superior de la apertura bucal se sitúa el prostomio con forma de labio. Las células del paladar son las encargadas de seleccionar el alimento que pasa posteriormente al esófago donde se localizan las glándulas calcíferas. Estas glándulas segregan iones de calcio, contribuyendo a la regulación del equilibrio ácido básico, tendiendo a neutralizar los valores de pH. Posteriormente tenemos el buche, en el cual el alimento queda retenido para dirigirse al intestino.
- Aparato excretor. Formado por nefridios, dos para cada anillo. Las células internas son ciliadas y sus movimientos permiten retirar los desechos del celoma.
- Sistema nervioso. Es ganglionar. Posee un par de ganglios supraesofágicos, de los que parte una cadena ganglionar.

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

1.5. Hábitat

Habita en los primeros 50 cm del terreno, por tanto es muy susceptible a cambios climáticos.

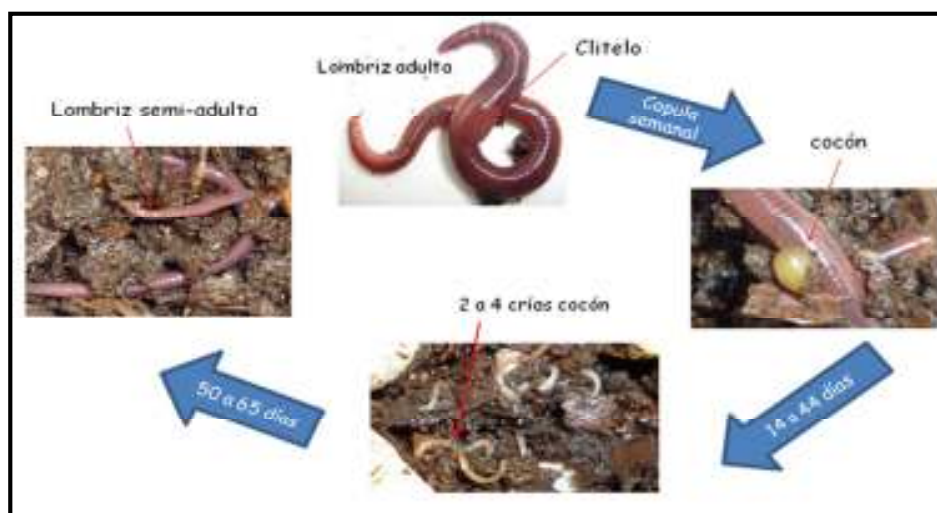
Es fotofóbica, los rayos ultravioletas pueden perjudicarla gravemente, además de la excesiva humedad, la acidez del medio y la incorrecta alimentación. Cuando la lombriz cava túneles en el suelo blando y húmedo, succiona o chupa la tierra con la faringe o bulbo musculoso.

Digiere de ella las partículas vegetales o animales en descomposición y vuelve a la superficie a expulsar por el ano la tierra.

1.6. Ciclo de vida

Son hermafroditas, no se autofecundan, por tanto es necesaria la cópula, la cual ocurre cada 7 o 10 días. Luego cada individuo coloca una cápsula (huevo en forma de pera de color amarillento) de unos 2 mm. De la cual emergen de 2 a 21 lombrices después de un periodo de incubación de 14 a 21 días, dependiendo de la alimentación y de los cuidados.

Figura 1-2
Ciclo de la Lombriz Roja Californiana



Fuente: La Lombriz Roja Californiana, Recicluc 2010.

Razones de su elección

- En muchos países del mundo se ha experimentado con ella, en diferentes condiciones de clima y altitud, viviendo en cautiverio sin fugarse de su lecho.
- Es muy prolifera, madurando sexualmente entre el segundo y tercer mes de vida y su longevidad está próxima a los 16 años.
- Su capacidad reproductiva es muy elevada, la población puede duplicarse cada 45-60 días.
- Se alimenta con mucha voracidad, consumiendo todo tipo de desechos agropecuarios (estiércoles, residuos agrícolas, etc.) y desechos orgánicos de la industria.
- Características: no sangra al producirse un corte de su cuerpo, es totalmente inmune al medio contaminado en el cual vive y tiene una elevada capacidad de regeneración de sus tejidos.

1.7. Condiciones ambientales para su desarrollo

1.7.1. Humedad

Debe ser entre 65 a 80% para facilitar la ingestión de alimento. Si la humedad no es adecuada puede dar lugar a la muerte de la lombriz. Las lombrices toman el alimento chupándolo, por tanto la falta de humedad les imposibilita dicha operación. El exceso de humedad origina empapamiento y una oxigenación deficiente.

1.7.2. Temperatura

El rango óptimo de temperaturas para el crecimiento de las lombrices oscila entre 12-25° C; y para la formación de cocones entre 12 y 15° C. Durante el verano si la temperatura es muy elevada, se requiere de riegos más frecuentes.

1.7.3. pH

El pH óptimo es 7. Pero puede sobrevivir en pH de 5,5-8,9.

1.7.4. Riego

Se realiza para mantener un contenido de humedad del 65-80 % aproximadamente, siendo preferible hacer la aplicación en las primeras horas de la mañana o en últimas de la tarde. Los encharcamientos deben evitarse, ya que un exceso de agua desplaza el aire del material y provoca fermentación anaeróbica.

La cantidad de agua suministrada deberá tener en cuenta la época del año, siendo en primavera y otoño una vez por semana; en invierno una vez cada 15-20 días y en verano hasta dos veces al día.

1.7.5. Aireación

Es fundamental para la correcta respiración y desarrollo de las lombrices. Si la aireación no es la adecuada el consumo de alimento se reduce; además del apareamiento y reproducción debido a la compactación.

Existen dos ingredientes básicos, cuya proporción es fundamental para la velocidad del proceso. Son el nitrógeno y carbono. Si se dan errores en este aspecto puede desarrollarse un proceso de putrefacción, que llevaría la aparición de malos olores y sustancias como el ácido sulfhídrico y el amoníaco. Estos compuestos son perjudiciales para nuestras lombrices y los microorganismos que nos interesan.

- Carbono

El carbono o fibra (celulosa), se emplea para acondicionar el material haciéndolo más esponjoso y aireado. Además, una vez finalizado el proceso, dejan finas partículas de fibra que mejora las cualidades del abono orgánico.

Siempre que añadimos restos estamos introduciendo carbono en una proporción u otra, normalmente los restos de vegetación seca contienen mayor proporción de carbono.

- **Nitrógeno**

El nitrógeno es esencial para el crecimiento y rendimiento de la planta. Los materiales con mayor contenido en nitrógeno son los restos vegetales verdes y frescos.

1.8. Tipos de alimentos

Los alimentos orgánicos útiles en la alimentación de lombrices son muy variados, destacando:

- Restos de industrias relacionadas con la madera.
- Residuos vegetales procedentes de explotaciones agrícolas.
- Frutas y tubérculos no aptos para el consumo humano o vegetal.
- Desperdicios de mataderos.
- Fangos de depuradoras.
- Basuras.
- Estiércol

En el trabajo de investigación el material a utilizar son desechos de la producción pecuaria, tales como: estiércol de cerdo, gallina y vegetales. También se pueden utilizar los residuos de cocina y de mercados o centrales de abasto. Es necesario dar un tratamiento previo a la materia prima a fin de evitar la afectación de las lombrices durante el proceso de descomposición, cuando se eleva la temperatura.

Generalmente la excreta fresca presenta valores de pH superiores a 8, por lo que no es recomendable su utilización como alimento para las lombrices. Esta excreta fresca puede conocerse fácilmente por su color verdoso, su fuerte y desagradable olor, su exceso de humedad y su temperatura que es generalmente alta por los procesos de fermentación que se llevan a cabo con ella. Por este motivo el área de almacenamiento de la excreta debe organizarse de tal forma que garantice la disponibilidad de esta en la forma adecuada. Con este objetivo se recomienda que a medida que llegue la excreta de su fuente de origen, se determine el pH y se harán tantas pilas como sean necesarias, numerándolas y clasificándolas por su estado de

descomposición. De esta forma se irán utilizando las de pH más adecuado dando tiempo al resto de las pilas a su maduración.

1.9. Cría de la lombriz roja californiana

La lombricultura puede también realizarse a escala familiar, desarrollándose tanto en el interior como en el exterior de la vivienda, en las terrazas y jardines. Este sistema de producción doméstica puede realizarse tanto en cajones como en tolvas en un espacio reducido, el cual permite una producción continua de abono.

1.9.1. Cría en cajones

La cría doméstica más sencilla es empleando cajones de madera o polietileno (con orificios al fondo). No requiere un acondicionamiento previo, primero se colocan las lombrices en un extremo del cajón y se les suministra alimento diariamente.

Una vez saturado el primer cajón por el incremento de la población de lombrices rojas californianas, se toma otro, empleado para la siembra de lombrices la mitad de los ejemplares del primer cajón. Los cajones no deben estar expuestos al sol directo ni a la voracidad de los pájaros.

Los cajones se riegan gradualmente con agua para mantener la humedad especificada. Cuando el producto resultante se transforma en una masa oscura las lombrices deben ser retiradas. Para esto se las debe dejar unos días sin alimento. Seguidamente se extiende sobre el medio de cría una capa de 5 cm de los residuos orgánicos que deben estar disponibles en ese momento. Pasados unos días, las lombrices suben a comer y pueden ser retiradas.

El abono resultante puede conservarse en cajones u otro tipo de recipiente donde la humedad pueda mantenerse entre 30-40%. Las lombrices extraídas sirven para iniciar nuevos cajones.

1.9.2. Cría en tolvas

Este sistema permite la cría continua de lombrices en un solo contenedor. Los cuidados necesarios son similares a los de cría en cajones, pero debe tenerse en cuenta que las adiciones de materia orgánica serán colocadas directamente sobre las lombrices, y que estas pueden tener exceso de calor al comenzar la fermentación.

Para evitar este inconveniente se deben alternar los depósitos de residuos orgánicos, colocándolos una semana sobre el lado izquierdo del contenedor y la siguiente sobre el lado derecho.

1.10. Selección del sitio

La adecuación del lugar y/o las instalaciones que se deben construir para la producción de abono, serán ubicadas en lugares cercanos a las fuentes de desechos agropecuarios (establos, basureros, corrales, etc.) y/o agroindustriales; debe ser de fácil acceso.

- Deben ser áreas que permitan el normal drenaje de las aguas lluvias y/o riego;
- Aireado, ventilado
- Lejos de fuentes directas de calor y frío.
- Lo óptimo es que tenga un piso de concreto para que las lombrices no tengan facilidad de escaparse y un techo sencillo para manejar la humedad.

Se debe disponer de dos áreas:

a) las cajas de fermentación donde se acopia, pica, mezcla y se inicia la descomposición del sustrato.

b) las eras o lechos donde ellas procesan el lombricompuesto. Los materiales para la construcción deben ser resistentes a la humedad.

Las cajas de descomposición deben tener 4 m de longitud, 2 m de ancho, 60 cm de altura. Al emplear cajas de madera para los lechos, sus dimensiones de 1,5 m de largo; 0,6 m de ancho; 0,3 m de altura. Si son de madera o cemento sus dimensiones 14 m de longitud; 1,3 m de ancho; 0,30 m de altura. Para las condiciones amazónicas

las instalaciones deben ser cubiertas para protegerlas de las excesivas lluvias, radiación directa, ataque de aves, etc.

1.11. Proceso de producción de abono orgánico

1.11.1. Fraccionamiento de la materia prima

Como la lombriz no tiene dientes solo “chupa” la materia orgánica, es necesario triturar la materia orgánica, utilizando una picadora. Esto hará que el proceso de elaboración del abono orgánico sea más rápido. La materia tiene que ser reducida por lo menos a pedazos de 2 cm.

1.11.2. Descomposición de la materia prima

Para favorecer el proceso de descomposición, previamente se tratan los residuos orgánicos. Se les aplica agua cuatro veces por semana, tratando de mantener la humedad elevada entre un 70% a 85% de humedad. Una vez por semana, se les da vuelta a los sustratos con el fin de ventilarlos y de no permitir que se eleve la temperatura.

Esto puede variar pero hay que buscar la mejor forma de regarlos y el período de tiempo sobre la base de la temperatura que estos alcancen; sin permitir que la temperatura sobrepase los 50 °C, porque la materia orgánica podría convertirse en cenizas.

1.11.3. Introducción de la materia en las cunas

A las cuatro semanas o cuando se puede observar que la materia se encuentre en total descomposición ya sea en los camellones o en las mismas cunas ya pueden ser utilizados como lechos en los cajones donde se siembran las lombrices.

1.11.4. Prueba de caja o adaptación

La prueba de caja no es más que una prueba biológica donde se utiliza la lombriz como animal de ensayo. Esta se realiza para conocer el estado de la excreta que se va a aplicar, ya que no basta conocer que el pH sea adecuado, a veces hay sustancias químicas que no alteran el pH y que son perjudiciales para las lombrices, como por

ejemplo los pesticidas. Esta prueba consiste en colocar 50 lombrices en una caja con el alimento que se va a utilizar en los canteros o canoas. A las 24 horas se deben contar las lombrices vivas y si hay más de 49, el alimento puede utilizarse, mientras que si el número es menor el alimento no debe ser utilizado. Si hay menos de 49 lombrices vivas, la excreta no puede utilizarse. La prueba de caja es de obligatorio cumplimiento antes de proceder a la alimentación de canteros y canoas. De no realizarse pueden ocurrir accidentes catastróficos en el cultivo.

1.11.5. Siembra de lombrices

Luego de preparar el lecho en los lombrizarios, se procede a la siembra de las lombrices. Se recomienda introducir 3 kg de lombriz pura, por metro cuadrado.

Sabiendo que una lombriz pesa un promedio de 0,7 gramos se determinó que la cantidad a sembrar será de 4286 lombrices por metro cuadrado.

1.11.6. Extracción de lombrices

Al cabo de los 2,5 - 3 meses las lombrices han transformado todos los residuos en abono, entonces se requiere extraer las lombrices para sacarlo. Antes de que termine el ciclo de producción del humus (de 15 a 7 días antes) se alimenta a las lombrices con cebo animal en bloque, colocando sobre la cuna, entre 3 y 4 centímetros de cebo, se moja y se cubre con media sombra. Al cabo de 72 horas, este se llenará de lombrices y se procede a la extracción de estas, sacando de 5 a 7 cm de la capa superior utilizando una horquilla carbonera y sembrándolas en otra cuna.

Otra forma, es dejar por 2 días consecutivos, el cajón sin riego, y luego colocando cinco porciones, o trampas, de alimento, distribuidas en lugares diferentes; éstas trampas se riegan a diario, teniendo la precaución de que el agua de riego no se filtre a los perfiles inferiores del cajón. Con esto se logra que las lombrices se movilen únicamente a las trampas (único lugar con humedad en ese momento).

Aproximadamente al tercer día, la trampa se encuentra llena de lombrices, por lo que se procede a extraerlas y son llevadas a un nuevo cajón.

También se puede dejarlas sin alimentación una semana, cuando estén hambrientas colocar comida en un rincón o en los dos extremos de la cama, al otro día casi todas estarán comiendo y se podrán sacar. Dependiendo del número de lombrices que tenga el cajón, y la forma que realice el trapeo, se deberá repetir este por una o dos semanas, hasta que la cantidad de lombrices atrapadas sea insignificante.

1.11.7. Cosecha del abono

Luego de la extracción de las lombrices se efectúa la cosecha del humus inmediatamente. Se cosecha un producto totalmente procesado, debido a que las lombrices digieren la materia orgánica uniformemente. Por cada tonelada de alimento que se coloca en una cuna, se extrae 600 kg de humus. Un metro cúbico de humus pesa 500 kg.

El lombricompostado que se extrae no está totalmente listo, pero este sigue su proceso, en un corto tiempo, por medio de la acción de las bacterias y de las lombrices que quedan en él.

1.11.8. Desterronado

El humus extraído es desmenuzado utilizando un martillo o rastrillo especial.

1.11.9. Tamizado

Luego de desmenuzar el humus, es cernido con un tamiz. Para almacenar el humus se debe tamizar (cernir) y almacenarlo en sacos.

1.12. Enemigos de las lombrices

Los lechos se deben proteger de los ataques de sapos, ratas, hormigas y ciempiés los cuales se deben controlar mediante el despeje de las áreas o en última instancia recurrir al uso de cebos tóxicos mediante cubiertas.

Para evitar la actividad de los enemigos se debe mantener el lugar con un entorno limpio. Preferentemente cubrir las cunas con media sombra o pasto. En el caso de las hormigas agregar agua abundante contribuye a ahuyentarlas. Exceso de humedad o materiales que eliminen olores nauseabundos pueden atraer a moscas verdes que

depositan huevos de los cuales emergen larvas que se pueden eliminar tapando con tierra el sector invadido. En ningún caso utilizar plaguicidas que pueden dañar a las lombrices.

La planaria es la plaga de mayor importancia dentro de los criaderos de lombrices, es un gusano plano que puede medir de 5mm a 50mm, de color café oscuro, con rayas longitudinales de color café. La planaria se adhiere a la lombriz por medio de una sustancia cerosa que el platelminto produce, posteriormente introduce en la lombriz un pequeño tubo de color blanco succionando todo el interior de la lombriz hasta matarla.

1.13. Carne y harina de lombriz

Un producto importante en la lombricultura es la carne de lombriz puede ser utilizada en la alimentación animal (aves, ranas, camarones de agua dulce, etc.) o en la elaboración de harina de lombriz para ser mezclada con otros productos y producir concentrados de excelente calidad.

En algunos, países es común la obtención de carne (proteína), proveniente de los excedentes de lombrices. La harina de lombrices posee un alto contenido proteico, que expresado en términos de materia seca es de 50-71,8%. Es razonable considerar, al menos a nivel de contenido y composición de aminoácidos y ácidos grasos, a las harinas de pescado y lombriz como productos alternativos entre sí.

Los principales países productores de América Latina son Chile, Brasil, Colombia, Argentina y Ecuador.; estos países cuentan con grandes explotaciones industriales de lombriz roja californiana. Filipinas es uno de los mayores productores de harina de lombriz para consumo humano, ya que la ausencia de olor y sabor la hace competitiva con la harina de pescado, tanto en calidad como en precio.

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Localización del experimento

De acuerdo a la propuesta realizada en el Perfil y diseño experimental, el trabajo de investigación se lleva a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho en el Bloque de Ingeniería Química; en el Aula 2L por contar con la infraestructura, equipamiento y seguridad.

2.2. Materiales y Equipos

Los materiales utilizados para la ejecución del trabajo de investigación se detallan a continuación:

Tabla II-1
Descripción de Materiales

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario(Bs)	Total (Bs)
1	Madera(aglomerados)	pza	3	120	360
2	Clavos	oz	3	2	6
3	Plástico	m ²	20	2.5	50
4	Cinta adhesiva	pza	2	5	10
6	Lombrices	kg	4,5	200	900
8	Malla	m ²	3,5	18	63
9	Paja		1	10	10
	Total				1399

Fuente: Elaboración propia.

2.2.1. Descripción de Equipos

Los equipos utilizados durante la investigación se detallan a continuación:

- **pH-metro**

Este equipo se utiliza para la medición diaria de pH de las diferentes cajas; es un pH-metro portátil de fácil transporte.

Figura 2-1
pH-metro



Fuente: Elaboración propia.

Tabla II-2
Características técnicas

Características	Detalle
Marca	CRISON
Modelo	pH 25
Alimentación	2 pilas de 1,5 V; tipo AA

Fuente: Elaboración propia.

- **Termómetro**

Con este instrumento se realiza la medición diaria de temperatura en las diferentes cajas.

Figura 2-2
Termómetro



Fuente: Elaboración propia.

Tabla II- 3
Características técnicas

Características	Detalle
Modelo	AK 688
Consta de una sonda de diámetro 8 mm y Longitud 300 mm con 2 m de cable	

Fuente: Elaboración propia.

- **Balanzas**

Este equipo se utiliza para pesar la población de lombrices al inicio y final del proceso productivo y para el peso semanal de las lombrices seleccionadas al azar.

Figura 2-3
Balanza analítica



Fuente: Elaboración propia.

Tabla II- 4
Características técnicas

Características	Detalle
Marca	KERN ABT
Lectura(d)	0,1 mg
Gama de pesaje (máx.)	120 g
Carga mínima (min.)	10 mg
Tensión	230 V/50 Hz

Fuente: Elaboración propia.

Esta balanza se utiliza para pesar los sustratos al inicio y al final del proceso de producción de abono orgánico.

Figura 2-4
Balanza



Fuente: Elaboración propia.

Tabla II- 5
Características técnicas

Características	Detalle
Marca	CORONA
Gama de pesaje (máx.)	10 kg
Carga mínima (mín.)	100 g

Fuente: Elaboración propia.

La balanza de humedad se utiliza para medir la humedad final de las lombrices rojas californianas y el abono orgánico obtenido.

Figura 2-5
Balanza de humedad



Fuente: Elaboración propia.

Tabla II- 6
Características técnicas

Características	Detalle
Marca	GIBERTINI
Modelo	EUROTHERM
Sensibilidad	1 mg
Capacidad máxima	200g
Capacidad mínima	140 mg aprox.
Potencia	350 VA

Fuente: Elaboración propia.

- **Tester de humedad**

Se utiliza para la medición diaria de humedad. El medidor de suelos Kelway proporciona una lectura directa de humedad de 0 a 100%.

Figura 2-6
Tester de humedad



Fuente: Elaboración propia.

- **Estufa**

Este equipo se utiliza para secar las Lombrices Rojas Californianas, para posteriormente ser analizada en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) respectivamente.

Figura 2-7
Estufa



Fuente: Elaboración propia.

Tabla II- 7
Características técnicas

Características	Detalle
Marca	J.P. Selecta
Modelo	CONTERM
Rango de precisión	± 0,5°C
Capacidad máxima	250°C
Capacidad mínima	40°C
Potencia	2000W
Industria	Española

Fuente: Elaboración propia.

- Tamiz vibratorio

El tamiz vibratorio se utiliza en el análisis granulométrico del abono orgánico; cuenta con un juego de mallas de 5; 4; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,063 mm y una bandeja de recepción de muestra.

Figura 2-8
Tamiz vibratorio



Fuente: Elaboración propia.

Tabla II- 8
Características técnicas

Características	Detalle
Marca	ORTO ALRESA
Modelo	VIBRO
Tiempo de programación	5-60 min
RPM	2500
Potencia	92 W
Frecuencia	50 Hz

Fuente: Elaboración propia.

2.3. Diseño experimental

2.3.1. Diseño de Bloques al Azar

En este diseño, los tratamientos se asignan aleatoriamente a un grupo de unidades experimentales denominado bloque o repetición.

El diseño de bloques al azar se usa por tanto, donde las unidades experimentales pueden agruparse en bloque relativamente homogéneos, de manera tal que las diferencias observadas entre unidades sean primordialmente debidas a los tratamientos.

El procedimiento se caracteriza por agrupar todos los tratamientos dentro de un común denominador o bloque donde se reduce o se reducen algunas fuentes de variación ajenas a los tratamientos. Cada bloque, constituye así una repetición del experimento y los bloques pueden ser diferentes entre sí.

El empleo de este diseño experimental es particularmente útil cuando la variación dentro de un bloque es mínima.

2.3.2. Modelo lineal

El modelo en el cual se basa el análisis nos dice que una observación es el efecto de una media general (μ), de un tratamiento particular (τ_i), de una repetición dada o bloque (ρ_i) y finalmente del azar (ϵ_{ij}). Esto se puede expresar en forma de una ecuación.

$$X_{ij} = \mu + \tau_i + \rho_i + \epsilon_{ij}$$

Suposiciones:

1. Los efectos del modelo son aditivos.
2. Los errores experimentales son aleatorios, normal e independientemente con media de cero y varianza común.

Los cálculos para evaluar cada uno de los valores del cuadro del análisis de varianza son los siguientes:

Tabla II-9
Análisis de la varianza

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F
Bloques	r-1	$\frac{\sum X_i^2}{t} - C$	$\frac{SC\ B}{GL\ B}$	
Tratamientos	t-1	$\frac{\sum X_i^2}{r} - C$	$\frac{SC\ T_r}{GL\ T_r}$	$\frac{CM\ Tr}{CM\ E}$
Error	(r-1)(t-1)	$SCT_0 - SCB - SCT_r = SC_E$	$\frac{SCE}{GLE}$	
Total	rt-1	$\sum X_{ij}^2 - C$		

Fuente: Elaboración propia.

Dónde:

r = Numero de bloques.

t = Numero de tratamientos.

SC_E = Suma de cuadrados del error.

SC_B = Suma de cuadrados de bloques.

SCT_r = Suma de cuadrados de tratamientos.

SCT_0 = Suma de cuadrados total.

GL_E = Grados de libertad del error.

GL_B = Grados de libertad de bloques.

GL_{Tr} = Grados de libertad de tratamientos.

GL_{T_0} = Grados de libertad del total.

CM_{Tr} = Cuadrado medio de tratamientos.

CME = Cuadrado medio del error

Se realiza un diseño de bloques al azar con tres tratamientos; cada tratamiento tiene tres replicas siendo el objeto de estudio las mezclas de estiércoles (cerdo y gallina) con residuos vegetales.

El presente trabajo de investigación utiliza los siguientes tratamientos para la producción de abono orgánico:

- Caja 1 : Estiércol de cerdo 40% + Residuos vegetales 60%= CR
- Caja 2: Estiércol de gallina 20% + Residuos vegetales 80%= GR
- Caja 3: Estiércol de cerdo 40% + Residuos vegetales 40% + Estiércol de gallina 20% = M

Dónde:

C= Estiércol de cerdo

R= Residuos vegetales

G= Estiércol de gallina

M = Mezcla (estiércol de cerdo, gallina y residuos vegetales)

Tabla II-10
Control de llenado de las cajas

Bloque	Caja	Sustrato	C	G	R	C	G	R	Total
			(kg)	(kg)	(kg)	(%)	(%)	(%)	(kg)
I	T1	CR	3,00		4,50	40		60	7,5
	T2	GR		1,500	6,00		20	80	7,5
	T3	M	3,00	1,50	3,00	40	20	40	7,5
II	T4	GR		1,50	6,00		20	80	7,5
	T5	M	3,00	1,50	3,00	40	20	40	7,5
	T6	CR	3,00		4,50	40		60	7,5
III	T7	M	3,00	1,50	3,00	40	20	40	7,5
	T8	CR	3,00		4,50	40		60	7,5
	T9	GR		1,50	6,00		20	80	7,5

Fuente: Elaboración propia.

2.3.3. Bloques aleatorizados

El presente croquis muestra la aleatorización de las cajas, esta aleatorización se realiza al azar cuidando que no existan repeticiones.

Bloque I	Bloque II	Bloque III
CR T1	GR T4	M T7
GR T2	M T5	CR T8
M T3	CR T6	GR T9

2.4. Procedimiento experimental

2.4.1. Recolección de los sustratos

La recolección de los diferentes sustratos se realiza en el mes de noviembre; el estiércol de cerdo y gallina se recolectó de la comunidad de la Pintada; los residuos vegetales (cascaras de papa, cascaras de arveja, hojas de lechuga, brócolis, hojas de acelga, cascaras de habas, tomates, etc.) del Mercado Campesino de la ciudad de Tarija. Los residuos vegetales se picaron en tamaños aproximados de 2 cm (Ver Anexo 9).

2.4.1.1. Estiércol utilizado

El estiércol de cerdo y gallina se sustrajo de la granja que se encuentra ubicada en el área rural de la Pintada a 13 km de la ciudad de Tarija a 1850 msnm. Como se puede

observar en la Figura 2-9, existe material ajeno al estiércol de cerdo como ser: ramas secas, piedras y residuos plásticos.

Figura 2-9
Estiércol de cerdo



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-10
Estiércol de gallina



Fuente: Elaboración propia.

Para conocer la cantidad de estiércol de cerdo que se genera en granja se procede a determinar la cantidad de cerdos existente de acuerdo a cada etapa que se muestra a continuación:

Tabla II-11
Producción diaria de estiércol según el tipo de Cerdo

Etapa	Estiércol kg/día	Nº de Cerdos
25-100 kg	85,1	37
Lechones	12,25	35
H. Lactantes	25,6	4
Semental	75	25
Hembras	147,6	41
Total	345,55	142

Fuente: Elaboración propia 2011.

En la Tabla II-11 se puede observar que diariamente se genera 345,55 kg/día de estiércol de cerdo.

2.4.2. Caracterización del estiércol de cerdo

Para conocer sus propiedades se procede a realizar los análisis respectivos. Estas muestras se analizan en el laboratorio de suelos y aguas del Servicio Departamental Agropecuario (SEDAG) y Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) respectivamente (Ver Anexo 2).

Tabla II-12
Análisis fisicoquímico

Parámetro	Estiércol de Cerdo
pH	6,57
Materia orgánica	47,3%
Materia seca	93,27%
Nitrógeno total	3,03 %
Fosforo disponible	478,6 ppm
Potasio	30,86 meq/100g
Humedad	6,94%
Cenizas	69,58 %
Relación C/N	9

Fuente: SEDAG 2011.

Tabla II-13
Análisis microbiológico

Parámetro	Estiércol de Cerdo
Coliformes fecales	$7,5 \times 10^7$ NPM/g
Coliformes totales	$4,6 \times 10^8$ NPM/g

Fuente: CEANID 2011.

2.4.3. Llenado de cajas

La etapa de producción de abono orgánico, se realiza en nueve cajas de madera de: 66 cm de largo, 33 cm de ancho y 30 cm de alto; revestidas con cubierta de plástico para protegerlas de la humedad con orificios en la parte frontal para la salida de lixiviados.

Una vez preparadas las cajas se proceden a llenarlas de la siguiente manera; primero se coloca 2 cm de paja y posteriormente 15 cm de los residuos orgánicos correspondientes; se procedió a cubrirlas con una malla plástica para protegerlas de sus enemigos mortales y favorecer la aireación. Así también se colocó bandejas de lata en la parte frontal de las cajas con una ligera pendiente para facilitar la salida de los líquidos lixiviados (Ver Anexo 9).

Figura 2-11
Llenado de sustratos a las cajas



Fuente: Elaboración propia.

2.4.4. Descomposición de los sustratos o estabilización del material

Para que los diferentes sustratos presenten condiciones adecuadas como alimento para las lombrices, se procede a realizar el proceso de descomposición de los mismos realizando las mediciones de temperatura, pH y humedad. Debido a que este proceso

es aeróbico; se le proporciono aireación al material y agua, dos a tres veces por semana para aumentar la actividad microbiana.

A los pocos días de iniciada la descomposición se pudo observar la presencia de una cantidad grande de mosquitas que indicaban que la descomposición va por buen camino y la aparición del ácaro o arañita que con los cuidados respectivos desaparecieron sin ser un problema ya que estas compiten por el alimento.

En el quinto día de descomposición se observa la presencia de lixiviados en todas las cajas que fueron disminuyendo al décimo día y desaparecieron totalmente a los 21 días. Ello se debe a la eliminación de la humedad contenida en la materia vegetal. Este proceso de descomposición dura 33 días.

Figura 2-12
Descomposición de los Sustratos



Fuente: Elaboración propia.

2.4.4.1. Temperatura en el estiércol de cerdo y residuos vegetales

Como se puede observar en la Tabla II-14 se registra las temperaturas durante este proceso.

Tabla II-14
Variación de temperatura en las Cajas T1, T6 y T8

Días	Caja T1 (°C)	Caja T6 (°C)	Caja T8 (°C)
1	31	35	38
2	31	30	31
4	33	32	30
6	30	31	30
8	29	30	30
10	28	28	28
13	28	25	29
17	27	25	25
29	27	27	27
30	26	26	26
33	25	25	25

Fuente: Elaboración propia.

Este tratamiento llega a alcanzar una temperatura máxima de 38°C.

2.4.4.2. Temperatura en el estiércol de gallina y residuos vegetales

Como se puede observar en la Tabla II-15 se registran las temperaturas durante este proceso.

Tabla II-15
Variación de temperatura en las Cajas T2, T4 y T9

Días	Caja T2 (°C)	Caja T4 (°C)	Caja T9 (°C)
1	37	38	35
2	34	34	33
4	30	28	30
6	29	29	30
8	31	30	31
10	29	29	29
13	30	30	29
17	28	29	25
29	26	26	26
30	27	27	27
33	25	25	25

Fuente: Elaboración propia.

Este tratamiento llega a alcanzar una temperatura máxima de 38°C.

2.4.4.3. Temperatura en el estiércol de cerdo, estiércol de gallina y residuos vegetales

Como se puede observar en la Tabla II-16 se registran las temperaturas durante este proceso.

Tabla II-16
Variación de temperatura en las Cajas T3, T5 y T7

Días	Caja T3 (°C)	Caja T5 (°C)	Caja T7 (°C)
1	35	37	35
2	33	33	31
4	32	32	32
6	31	30	30
8	31	30	28
10	28	29	29
13	29	31	25
17	28	25	25
29	26	26	26
30	27	27	27
33	25	25	25

Fuente: Elaboración propia.

Este tratamiento llega a alcanzar una temperatura máxima de 37°C.

Durante este tiempo, se pudo comprobar en los primeros días, el olor a fuerte amoníaco en los tratamientos de estiércol de gallina y residuos vegetales, reduciendo la calidad de nitrógeno del mismo.

2.4.5. Control de adaptación

El control se realiza para verificar la adaptación de las lombrices a los distintos sustratos y comprobar que éstos reúnan las condiciones óptimas como alimento para las lombrices para ello se procede a sembrar 10 lombrices en cada tratamiento y al cabo de 24 horas se evidencia que las lombrices se adaptaban ya que se verifica su movilidad, por cuanto el desplazamiento de las lombrices significa que se

alimentaban y que los sustratos cumplieran con los parámetros exigidos de pH, temperatura y humedad, para ser asimilados como alimento.

2.4.6. Siembra de lombrices

Una vez que dio positiva la prueba de adaptación se procede a la siembra de lombrices el 13 de febrero del 2012; se colocaron 100 g de lombrices por caja, se selecciona al azar 18 lombrices; dos por cada caja para obtener la longitud y el peso aproximado con las que ingresaban a las diferentes cajas.

Figura 2-13
Siembra de lombrices



Fuente: Elaboración propia.

Tabla II-17
Peso y longitud inicial de las lombrices

Lombrices	Peso (g)	Longitud (cm)
L1	0,19	4,5
L2	0,10	3,0
L3	0,16	3,5
L4	0,13	4,1
L5	0,20	4,3
L6	0,17	4,2
L7	0,12	3,6
L8	0,06	2,6
L9	0,21	4,3
L10	0,22	4,7
L11	0,43	4,7
L12	0,30	4,4
L13	0,32	5,5
L14	0,19	3,9
L15	0,22	4,2
L16	0,04	2,5
L17	0,23	3,9
L18	0,05	2,5
Total	3,36	70,4
Promedio	0,35	7,4

Fuente: Elaboración propia.

2.4.7. Producción de abono orgánico por las lombrices rojas californianas

Una vez realizada la siembra las lombrices, se pudo evidenciar a los pocos días el aumento significativo del peso de las mismas, observando que la descomposición del sustrato se realizó adecuadamente; de la misma manera se pudo verificar al cabo de unas semanas los acoplamientos de las lombrices, confirmando a través de la aparición de huevos. En el transcurso de este proceso se observa que las lombrices recorrieron toda la caja agrupándose en las partes más húmedas.

En este proceso productivo se observa que las cascaras de papa no se degradaron en su totalidad debido a que estas cuentan con menor cantidad de material en almidón y la piel tiene mayor concentración de lignina, que resiste más a la degradación por descomposición, retardando así este proceso de degradación. En el transcurso de toda esta etapa se realiza el control diario de temperatura, pH y humedad manteniéndose dentro del rango requerido (Ver Anexo 1). Este proceso dura 59 días.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Rendimiento del abono orgánico

Terminado el proceso de producción de abono orgánico que dura 59 días se procede a determinar el rendimiento de los tratamientos que se muestran a continuación:

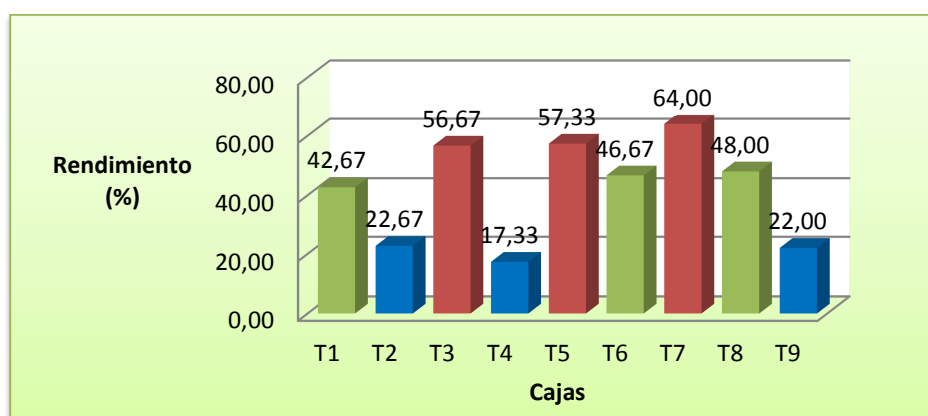
Tabla III-1
Rendimiento del abono orgánico

Caja	Tratamiento	Producción (kg)	Rendimiento (%)
T1	CR	3,200	42,67
T2	GR	1,700	22,67
T3	M	4,250	56,67
T4	GR	1,300	17,33
T5	M	4,300	57,33
T6	CR	3,500	46,67
T7	M	4,800	64,00
T8	CR	3,600	48,00
T9	GR	1,650	22,00

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Tabla III-1 los mejores rendimientos son los tratamientos que contienen estiércol de cerdo, gallina y residuos vegetales (T3, T5 y T7); seguidos del estiércol de cerdo y residuos vegetales.

Figura 3-1
Rendimiento del abono orgánico



Fuente: Elaboración propia.

Se pueden observar claramente los mejores rendimientos en la producción de abono orgánico T3, T5 y T7.

Para la elección del mejor abono orgánico para los distintos tratamientos se toma como base el desarrollo de la población de lombrices y los siguientes indicadores:

- El olor característico es fácilmente identificable, como el olor a suelo de bosque o a tierra húmeda y está ausente de olores pestilentes.
- En general, el abono tendrá una coloración café oscura o negra.
- A simple vista se observa que el tamaño de las partículas ha cambiado.

Tabla III-2
Rendimiento por tratamiento

Tratamiento	Bloques			Σ Trat. (kg)	Promedio trat. (kg)
	I (kg)	II (kg)	III (kg)		
CR	3,200	3,500	3,600	10,300	3,433
GR	1,700	1,300	1,650	4,650	1,550
M	4,250	4,300	4,800	13,350	4,450
Σ Bloques	9,150	9,100	10,050	28,300	-
Prom. Bloque	3,050	3,033	3,350	-	9,433

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la Tabla III-2 se puede observar que el tratamiento que dio mejores resultados es la mezcla de estiércol de cerdo, estiércol de gallina y residuos vegetales, que alcanza una producción de 13,350 kg de abono orgánico.

3.2. Análisis estadístico

Para realizar el análisis estadístico del diseño experimental de Bloques al Azar se procede a realizar el cálculo de la varianza mediante fórmulas estadísticas y el paquete estadístico SPSS para dar veracidad a los resultados obtenidos.

3.2.1. Análisis de varianza

Utilizando los datos de rendimiento del abono orgánico de la Tabla III-2 se procede a realizar el cálculo del análisis de la varianza (Ver Anexo2).

Tabla III-3
Análisis de varianza

Fuentes de Variación	G L	SC	CM	Fc	Ft_{5%}
Bloques	2	0,190	0,095	2,159 ns	
Tratamientos	2	12,990	6,495	147,614*	6,94
Error	4	0,177	0,044		
Total	8	13,357			

Fuente: Elaboración propia.

ns= No significativa. *= Diferencia significativa.

En la Tabla III-3 se observa que el efecto de los tratamientos influye en el rendimiento del abono orgánico, esto se debe a que $F_c > F_{t5\%}$; para un 5 % de probabilidad de error, con una confianza del 95 %. Los valores de las F tabuladas se los podrán encontrar en el Anexo 3.

3.2.2. Paquete estadístico

Para el análisis de los resultados se utiliza el software estadístico Statiscal paket for Social Science (SPSS 17.1) para Windows, el cual hace posible resultados más representativos y confiables, evitando los redondeos y aproximaciones del cálculo manual; lo que acarrea errores en el resultado final.

En la Tabla III-4 se observa el análisis de la varianza de acuerdo a los datos tabulados en la Tabla III-2.

Tabla III-4
Análisis de varianza (ANOVA)

Origen	Suma de cuadrados	Grado libertad	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	13,181 ^a	4	3,295	74,845	0,001
Intersección	88,988	1	88,988	2021,174	0,000
Bloque	0,191	2	0,095	2,164	0,231
Tratamiento	12,991	2	6,495	147,527	0,000
Error	0,176	4	0,044		
Total	102,345	9			
Total corregida	13,357	8			

Fuente: Elaboración propia.

Para analizar esta tabla, se observa el valor de significación (la significación del valor “F”) para bloques y para tratamientos:

- La significancia de bloque es $0,231 > 0,05$; se dice que no hay diferencias significativas entre bloques.
- La significancia de los tratamientos es $0,000 < 0,05$; se dice que existen diferencias significativas entre tratamientos.

El siguiente paso es calcular cuales son los tratamientos que difieren entre sí, para esto se utiliza la técnica de separación de medias de Tukey y Duncan.

Tabla III-5
Prueba de Tukey y Duncan

	Tratamiento	N	Subconjunto		
			1	2	3
TukeyB^{a,b}	2	3	1,55		
	1	3		3,43	
	3	3			4,45
Duncan^{a,b}	2	3	1,55		
	1	3		4,43	
	3	3			4,45

Fuente: Elaboración propia.

a. Usa el tamaño muestral = 3b. Alfa = 0,05.

Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos y se determina que son significativamente diferentes entre sí.

3.3. Análisis de las mediciones experimentales del abono orgánico

Al finalizar el proceso de producción de abono orgánico se procede a realizar los análisis respectivos.

3.3.1. Estiércol de cerdo y residuos vegetales

3.3.1.1. Humedad

Estos tratamientos no presentaron ningún problema durante el proceso de producción de abono orgánico asimilando buena humedad y manteniéndose estos entre 55% y 75% (Ver Anexo 1).

Cuando se termina el proceso de producción de abono orgánico en el día 92 se espero tres semana para poder determinar la humedad final del humus, el residuo seco y la pérdida de masa, tomando una muestra representativa de cada caja de 4,00 g a una temperatura de 105 °C en una balanza de humedad.

3.3.1.2. Caja T1 estiércol de cerdo 40% y residuos vegetales 60%

Tabla III-6
Residuo seco, humedad y pérdida de masa

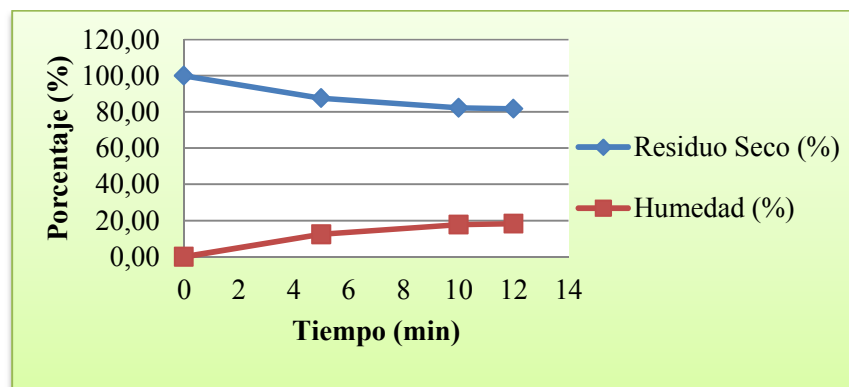
Tiempo (min)	Residuo Seco (%)	Humedad (%)	Pérdida de masa (g)
0	100,00	0,00	4,00
5	87,61	12,43	3,50
10	82,31	17,74	3,29
12	81,76	18,24	3,27

Fuente: Elaboración propia.

La caja T1 tuvo una humedad final de 18,24 % un residuo seco de 81,76% y una masa final de 3,27 g.

Estos datos se aprecian mejor en la Figura 3-2.

Figura 3-2
Residuo seco y humedad caja T1



Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.3. Caja T6 estiércol de cerdo 40% y residuos vegetales 60%

TablaIII-7
Residuo seco, humedad y pérdida de masa

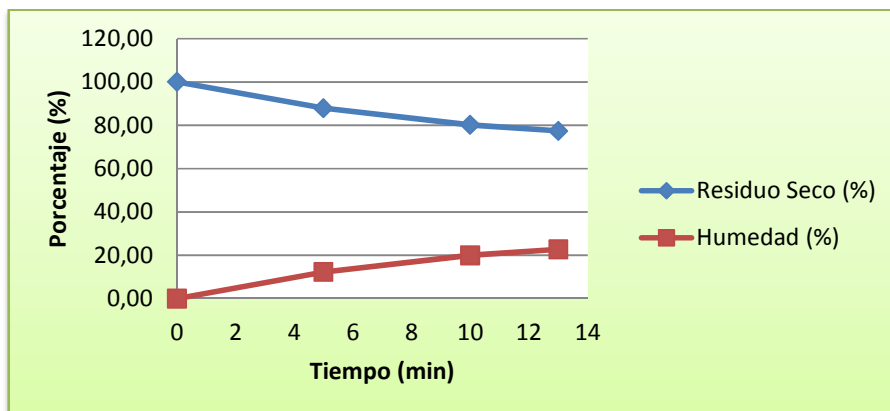
Tiempo (min)	Residuo Seco (%)	Humedad (%)	Pérdida de masa (g)
0	100,00	0,00	4,00
5	87,80	12,26	3,51
10	80,11	19,96	3,21
13	77,34	22,66	3,10

Fuente: Elaboración propia.

La caja T6 tuvo una humedad final de 22,66 % un residuo seco de 77,34% y una masa final de 3,10 g.

Estos datos se aprecian mejor en la Figura 3-3.

Figura 3-3
Residuo seco y humedad caja T6



Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.4. Caja T8 estiércol de cerdo 40% y residuos vegetales 60%

Tabla III-8
Residuo seco, humedad y pérdida de masa

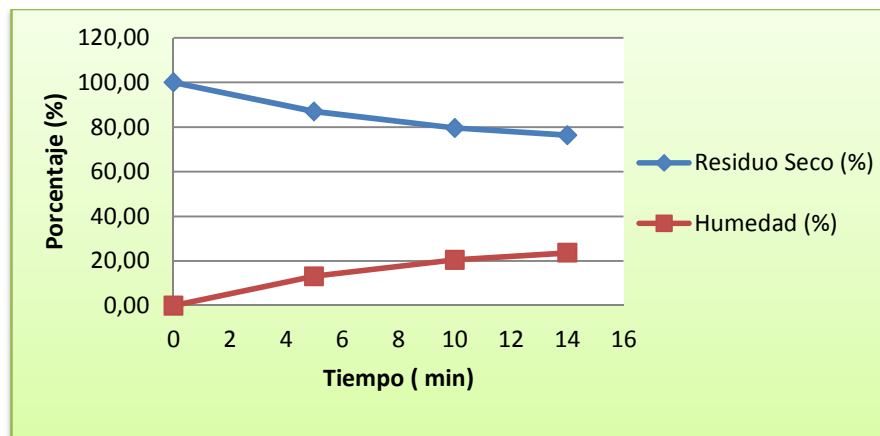
Tiempo (min)	Residuo Seco (%)	Humedad (%)	Pérdida de masa (g)
0	100,00	0,00	4,00
5	86,98	13,09	3,46
10	79,56	20,51	3,16
14	76,36	23,64	3,04

Fuente: Elaboración propia.

La caja T8 tuvo una humedad final de 23,64 % un residuo seco de 76,36% y una masa final de 3,04 g.

Estos datos se aprecian mejor en la Figura 3-4.

Figura 3-4
Residuo seco y humedad caja T8



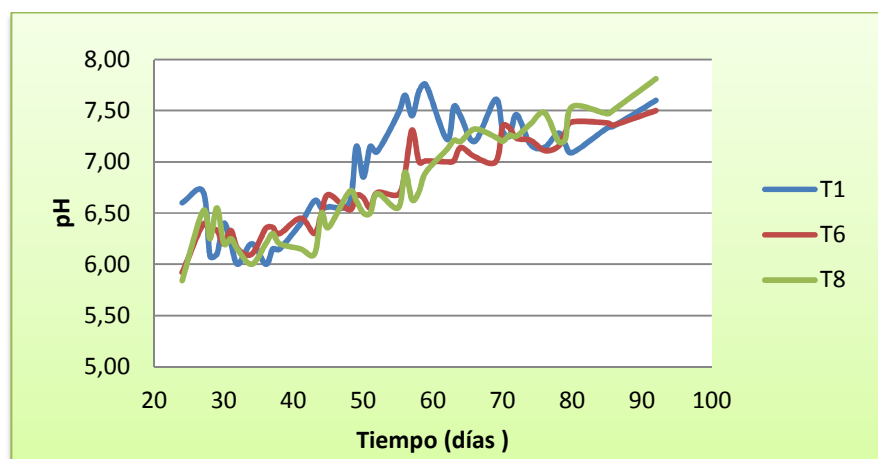
Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.5. pH

El pH en las tres cajas durante el periodo de descomposición los primeros días se encontraba ácido y posteriormente se fue incrementado, manteniéndose por encima de 7 y por debajo de 8,0.

Como se puede observar en la Figura 3-5 se muestran los datos de cada caja. (Ver Anexo1).

Figura 3-5
Datos de pH



Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.6. Temperatura

La temperatura en las cajas durante la realización de los ensayos para los tres tratamientos estuvo en el rango 23 °C y 26°C durante el proceso de producción de abono orgánico estando dentro del rango óptimo para el desarrollo de las lombrices (Ver Anexo 1).

3.3.1.7. Granulometría

Se realiza un ensayo para poder determinar la granulometría del abono orgánico obtenido.

Este ensayo se realiza en un tamiz vibratorio con siete tamices de diferentes aberturas con una muestra representativa de 400 g.

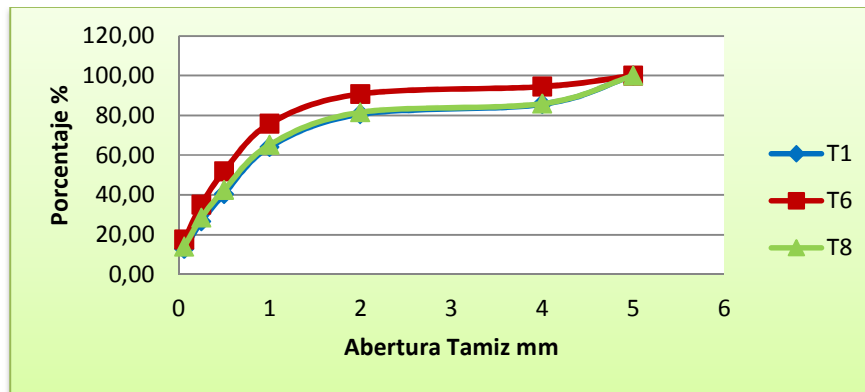
Tabla III-9
Resultado del ensayo en tamiz vibratorio

Abertura tamiz (mm)	T1		T6		T8	
	Masa rechazada (g)	Porcentaje acumulado (%)	Masa rechazada (g)	Porcentaje acumulado (%)	Masa rechazada (g)	Porcentaje acumulado (%)
0,063	51,42	12,86	69,87	17,47	55,71	13,93
0,25	54,71	26,53	70,31	35,06	58,3	28,51
0,5	55,50	40,41	67,14	51,85	55,84	42,47
1	94,78	64,10	95,58	75,75	90,88	65,20
2	65,88	80,57	60,06	90,77	65,28	81,52
4	20,10	85,60	14,66	94,44	17,46	85,89
5	57,60	100,00	22,23	100,00	56,42	100,00
Total	399,99		399,85		399,89	

Fuente: Elaboración propia.

Con estos resultados se puede observar que la granulometría de este tipo de abono orgánico es menor a 2 mm.

Figura 3-6
Granulometría



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Figura 3-6 alrededor del 80% de la granulometría del abono orgánico es menor a 2 mm.

3.3.1.8. Resultados del análisis de laboratorio del abono orgánico

Para realizar el análisis fisicoquímico y microbiológico se toma una muestra de 300 g. Esta muestra se analiza en el laboratorio de suelos y aguas del Servicio Departamental Agropecuario (SEDAG) y Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) respectivamente (Ver Anexo 6).

Figura 3-7
Muestra de abono orgánico Caja T6



Fuente: Elaboración propia.

Tabla III-10
Análisis fisicoquímico Caja T6

Parámetros	
pH	7,43
Nitrógeno	1,453
Fosforo	145 ppm
Potasio	4,68meq/100g
Materia Orgánica	83,0
Relación C/N	40

Fuente: SEDAG 2012.

Tabla III-11
Análisis microbiológico Caja T6

Parámetro	
Coliformes fecales	$7,0 \times 10^1$ NPM/g
Coliformes totales	$4,6 \times 10^4$ NPM/g

Fuente: CEANID 2012.

Los resultados de los análisis realizados son en base al producto bruto obtenido. El contenido de coliformes fecales es menor 1000 NPM/g en este tipo de abono orgánico cumpliendo la Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007.

3.3.2. Estiércol de gallina y residuos vegetales

3.3.2.1. Humedad

Estos residuos no presentaron ningún problema durante el proceso de producción de abono orgánico, asimilando buena humedad y manteniéndose está entre 55% y 85% (Ver Anexo1).

Cuando se termino el proceso de producción de abono orgánico en el día 92 se espero tres semana para poder determinar la humedad final del humus, el residuo seco y la

pérdida de masa tomando una muestra representativa de cada caja de 4,00 g a una temperatura de 105 °C en una balanza de humedad EUROTHERM.

3.3.2.2. Caja T2 estiércol de gallina 20 % y residuos vegetales 80 %

Tabla III-12
Residuo seco, humedad y pérdida de masa

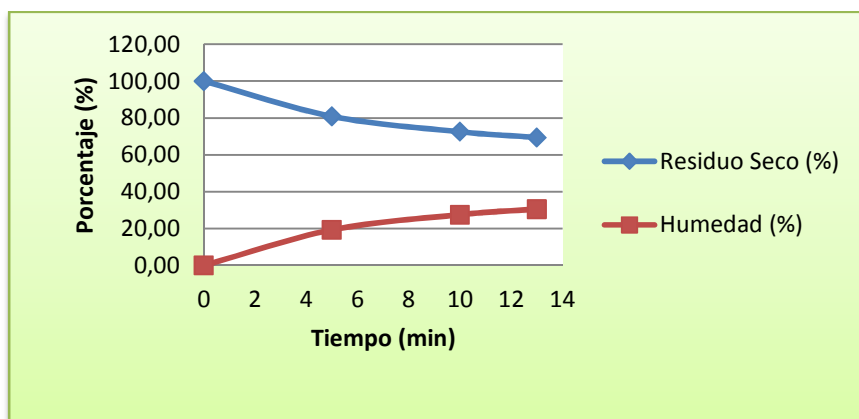
Tiempo (min)	Residuo Seco (%)	Humedad (%)	Pérdida de masa (g)
0	100,00	0,00	4,00
5	80,88	19,29	3,21
10	72,54	27,53	2,88
13	69,42	30,58	2,76

Fuente: Elaboración propia.

La caja T2 tuvo una humedad final de 30,58 % un residuo seco de 69,42% y una masa final de 2,76 g.

Estos datos se aprecian mejor en la Figura 3-8.

Figura 3-8
Residuo seco y humedad caja T2



Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.3. Caja T4 estiércol de gallina 20% y residuos vegetales 80%

Tabla III-13
Residuo seco, humedad y pérdida de masa

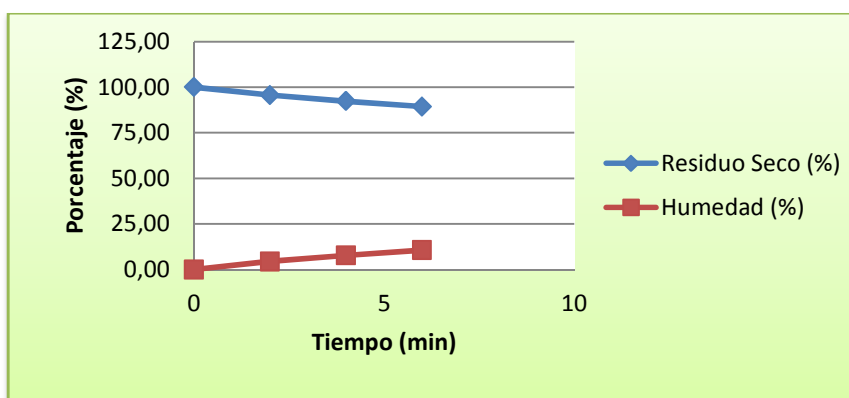
Tiempo (min)	Residuo Seco (%)	Humedad (%)	Pérdida de masa (g)
0	100,00	0,00	4,00
2	95,67	4,43	3,84
4	92,31	7,72	3,71
6	89,35	10,65	3,57

Fuente: Elaboración propia.

La caja T4 tuvo una humedad final de 10,65 % un residuo seco de 89,35% y una masa final de 3,57 g.

Estos datos se aprecian mejor en la Figura 3-9.

Figura 3-9
Residuo seco y humedad caja T4



Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.4. Caja T9 estiércol de gallina 20% y residuos vegetales 80%

Tabla III-14
Residuo seco, humedad y pérdida de masa

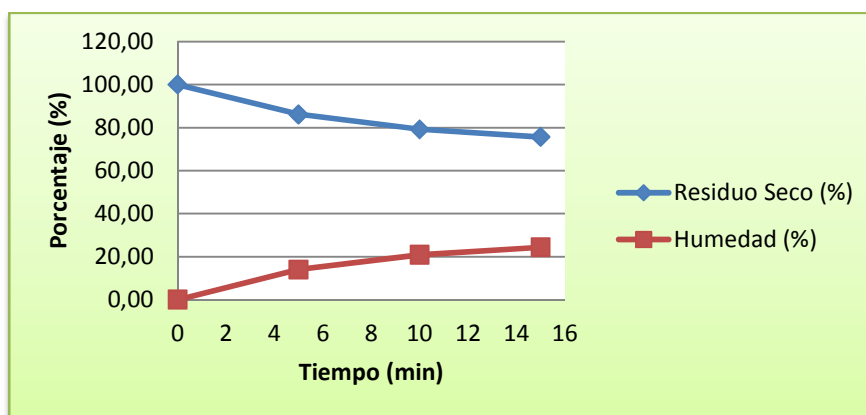
Tiempo (min)	Residuo Seco (%)	Humedad (%)	Pérdida de masa (g)
0	100,00	0,00	4,00
5	86,15	13,98	3,44
10	79,20	20,84	3,17
15	75,65	24,35	3,03

Fuente: Elaboración propia.

La caja T9 tuvo una humedad final de 24,35% un residuo seco de 75,65% y una masa final de 3,03 g.

Estos datos se aprecian mejor en la Figura 3-10.

Figura 3-10
Residuo seco y humedad caja T9



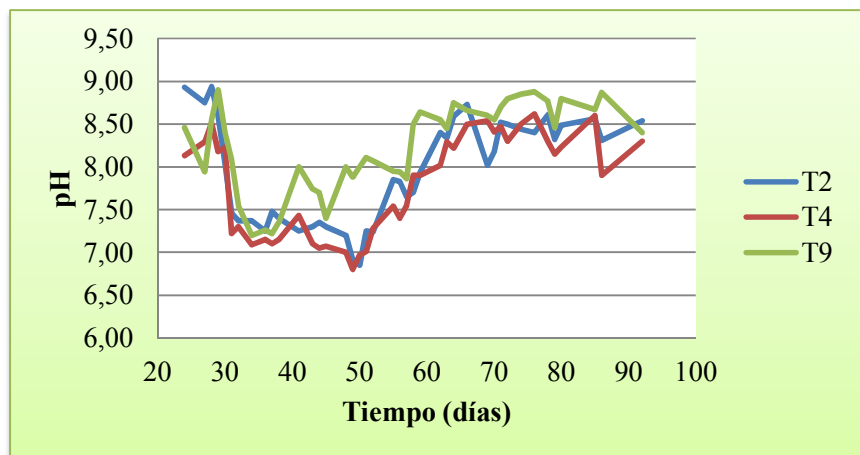
Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.5. pH

El pH en estas tres cajas durante el periodo de descomposición los primeros días se encontraba básico y posteriormente fue disminuyendo manteniéndose al final por encima de 8,0 y por debajo de 8,50.

Como se puede observar en la Figura 3-11 se muestran los datos de cada caja. (Ver Anexo1).

Figura 3-11
Datos de pH



Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.6. Temperatura

La temperatura en estas tres cajas se mantuvo entre 23 °C y 26,5 °C estando dentro del rango óptimo para el desarrollo de las lombrices (Ver Anexo 1).

3.3.2.7. Granulometría

Se realiza un ensayo para poder determinar la granulometría del abono obtenido en estas tres cajas.

Este ensayo se realiza en un tamiz vibratorio con siete tamices de diferentes aberturas con una muestra representativa de 400 g.

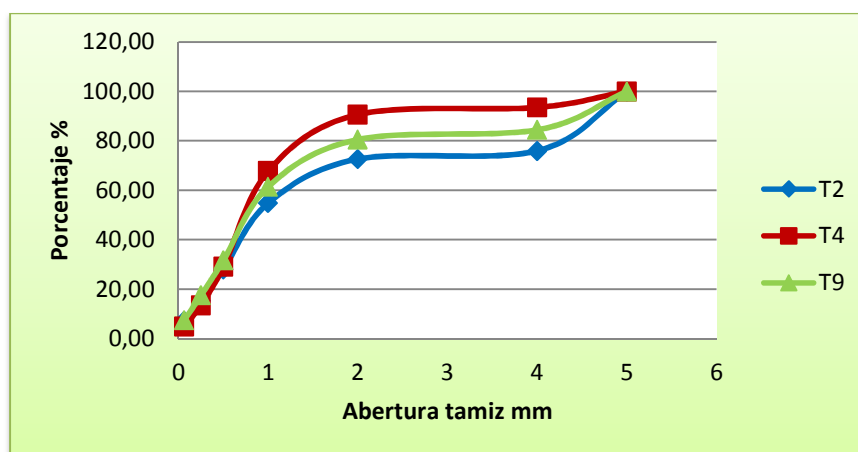
Tabla III-15
Resultado del ensayo en tamiz vibratorio

Abertura tamiz (mm)	T2		T4		T9	
	Masa rechazada (g)	Porcentaje acumulado (%)	Masa rechazada (g)	Porcentaje acumulado (%)	Masa rechazada (g)	Porcentaje acumulado (%)
0,063	28,32	7,08	19,97	5,00	29,77	7,44
0,25	33,21	15,38	34,21	13,55	40,41	17,55
0,5	50,44	28,00	62,34	29,15	56,44	31,67
1	107,52	54,88	154,48	67,79	119,18	61,47
2	70,88	72,60	91,18	90,60	76,28	80,55
4	13,36	75,94	11,56	93,49	15,56	84,44
5	96,23	100,00	26,03	100,00	62,23	100,00
Total	399,96		399,77		399,87	

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla la granulometría de este tipo de abono orgánico es menor a 2 mm.

Figura 3-12
Granulometría



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Figura 3-12 alrededor del 80% de la granulometría del abono orgánico es cercano y menor a 2 mm.

3.3.2.8. Resultados del análisis de laboratorio del abono orgánico

Para realizar el análisis fisicoquímico y microbiológico se toma una muestra de 300 g. Esta muestra se analiza en el laboratorio de suelos y aguas del Servicio Departamental Agropecuario (SEDAG) y Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) respectivamente (Ver Anexo 6).

Figura 3-13
Muestra de abono orgánico Caja T4



Fuente: Elaboración propia.

Tabla III-16
Análisis fisicoquímico Caja T4

Parámetros	
pH	7,20
Nitrógeno	1,111%
Fosforo	112 ppm
Potasio	3,74 meq/100g
Materia Orgánica	77,5%
Relación C/N	49

Fuente: SEDAG 2012.

Tabla III-17
Análisis microbiológico Caja T4

Parámetro	
Coliformes fecales	1,5X10 ² NPM/g
Coliformes totales	2,4X10 ³ NPM/g

Fuente: CEANID 2012.

Los resultados de los análisis realizados son en base al producto bruto obtenido. El contenido de coliformes fecales es menor 1000 NPM/g en este tipo de abono orgánico cumpliendo la Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007.

3.3.3. Estiércol de cerdo, estiércol de gallina y residuos vegetales

3.3.3.1. Humedad

Estos residuos no presentaron ningún problema durante el proceso de producción de abono orgánico, asimilando buena humedad y manteniéndose esta entre 50% y 70% en las tres cajas correspondientes (Ver Anexo1).

Cuando se termino el proceso de producción de abono orgánico en el día 92 se espero tres semana para poder determinar la humedad final del humus, el residuo seco y la pérdida de masa tomando una muestra representativa de cada caja de 4,00 g a una temperatura de 105 °C en una balanza de humedad EUROTHEMR.

3.3.3.2. Caja T3 estiércol de cerdo 40%, estiércol de gallina 20% y residuos vegetales 40%

Tabla III-18
Residuo seco, humedad y pérdida de masa

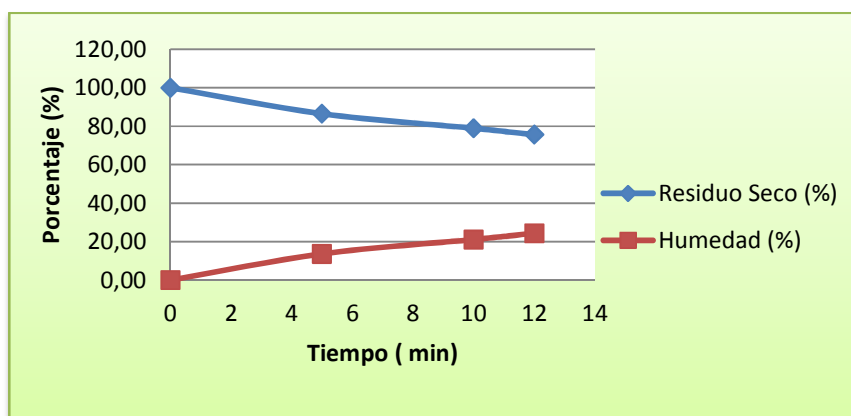
Tiempo (min)	Residuo Seco (%)	Humedad (%)	Pérdida de masa (g)
0	100,00	0,00	4,00
5	86,48	13,66	3,46
10	78,92	21,12	3,16
12	75,60	24,40	3,03

Fuente: Elaboración propia.

La caja T3 tuvo una humedad final de 24,40% un residuo seco de 75,60% y una masa final de 3,03 g.

Estos datos se aprecian mejor en la Figura 3-14.

Figura 3-14
Residuo seco y humedad caja T3



Fuente: Elaboración propia.

3.3.3.3. Caja T5 estiércol de cerdo 40%, estiércol de gallina 20% y residuos vegetales 40%

Tabla III-19
Residuo seco, humedad y pérdida de masa

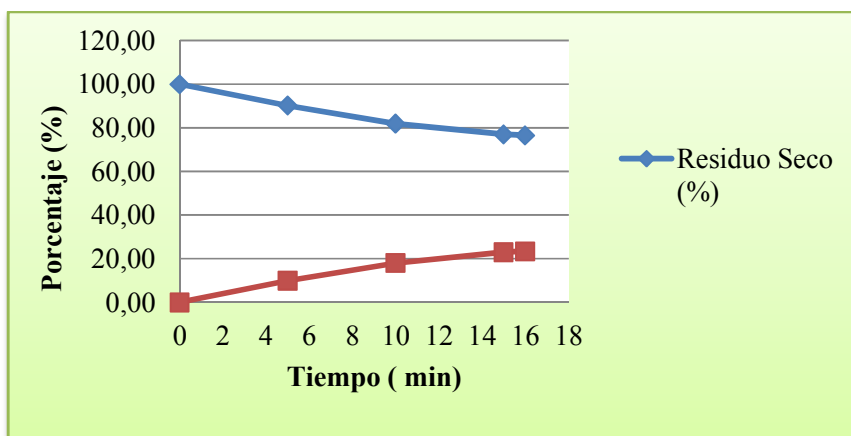
Tiempo (min)	Residuo Seco (%)	Humedad (%)	Pérdida de masa (g)
0	100,00	0,00	4,00
5	90,19	9,96	3,60
10	81,96	18,11	3,28
15	77,00	23,04	3,08
16	76,59	23,41	3,07

Fuente: Elaboración propia.

La caja T5 tuvo una humedad final de 23,41% un residuo seco de 76,59 % y una masa final de 3,07 g.

Estos datos se aprecian mejor en la Figura 3-15.

Figura 3-15
Residuo seco y humedad caja T5



Fuente: Elaboración propia.

3.3.3.4. Caja T7 estiércol de cerdo 40%, estiércol de gallina 20% y residuos vegetales 40%

Tabla III-20
Residuo seco, humedad y pérdida de masa

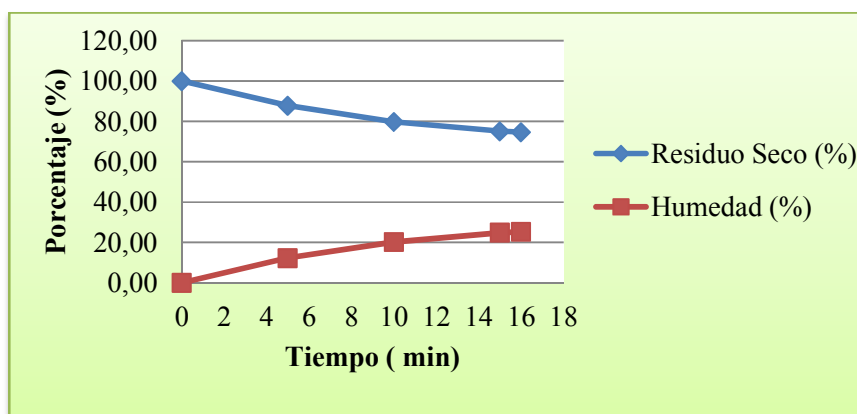
Tiempo (min)	Residuo Seco (%)	Humedad (%)	Pérdida de masa (g)
0	100,00	0,00	4,00
5	87,80	12,29	3,50
10	79,82	20,23	3,19
15	75,17	24,85	3,00
16	74,69	25,31	2,99

Fuente: Elaboración propia.

La caja T7 tuvo una humedad final de 25,31% un residuo seco de 74,69 % y una masa final de 2,99 g.

Estos datos se aprecian mejor en la Figura 3-16.

Figura 3-16
Residuo seco y humedad caja T7



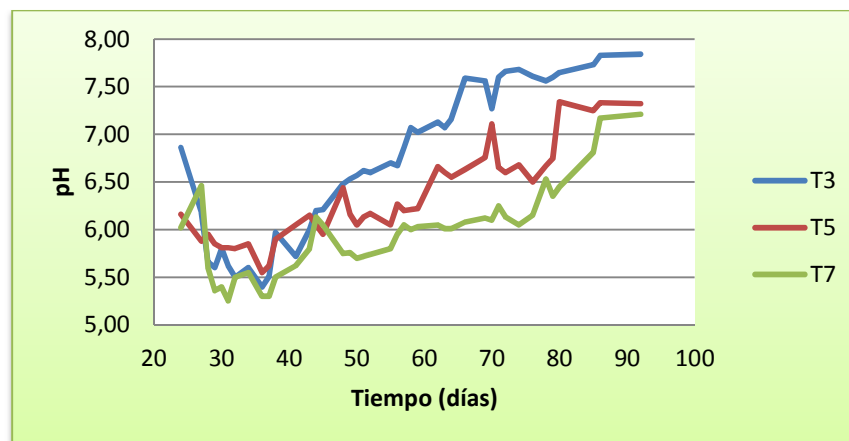
Fuente: Elaboración propia.

3.3.3.5. pH

El pH en estas tres cajas durante el periodo de descomposición los primeros días se encontraba ácido y posteriormente se fue incrementado manteniéndose al final por encima de 7 y por debajo de 8,0.

Como se puede observar en la Figura 3-17 se muestran los datos de cada caja (Ver Anexo1).

Figura 3-17
Datos de pH



Fuente: Elaboración propia.

3.3.3.6. Temperatura

La temperatura en estas tres cajas durante el proceso de producción de abono se mantuvo entre 23 °C y 26 °C estando dentro del rango óptimo para el desarrollo de las lombrices (Ver Anexo 1).

3.3.3.7. Granulometría

Se realiza un ensayo para poder determinar la granulometría del abono obtenido en estas tres cajas. Este ensayo se realiza en un tamiz vibratorio con siete tamices de diferentes aberturas con una muestra representativa de 400 g.

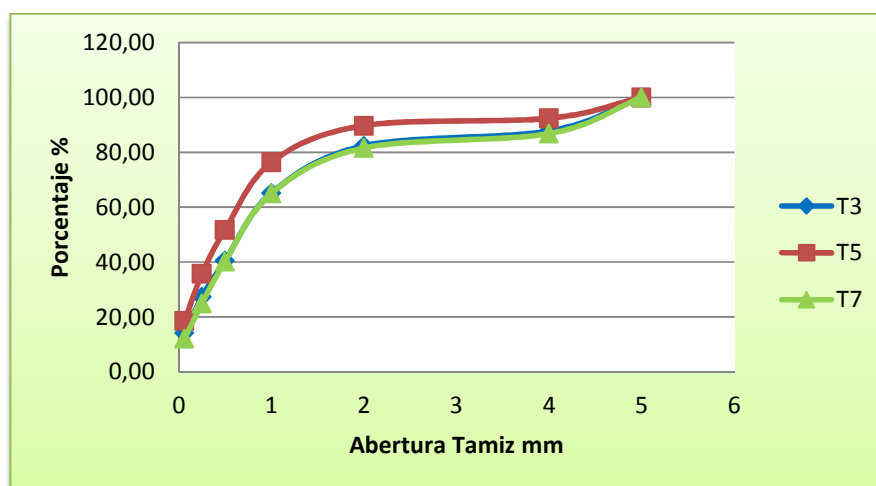
Tabla III-21
Resultado del ensayo en Tamiz Vibratorio

Abertura tamiz (mm)	T3		T5		T7	
	Masa rechazada (g)	Porcentaje acumulado (%)	Masa rechazada (g)	Porcentaje acumulado (%)	Masa rechazada (g)	Porcentaje acumulado (%)
0,063	56,47	14,14	74,57	18,66	48,77	12,19
0,25	52,91	27,39	68,11	35,71	51,01	24,95
0,5	52,44	40,53	64,34	51,81	61,04	40,21
1	98,38	65,17	98,28	76,41	99,48	65,08
2	68,58	82,35	53,28	89,74	66,08	81,60
4	21,66	87,77	10,56	92,38	20,96	86,84
5	48,83	100,00	30,43	100,00	52,63	100,00
Total	399,27		399,57		399,97	

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla III-21 la granulometría de este tipo de abono orgánico es menor a 2 mm.

Figura 3-18
Granulometría



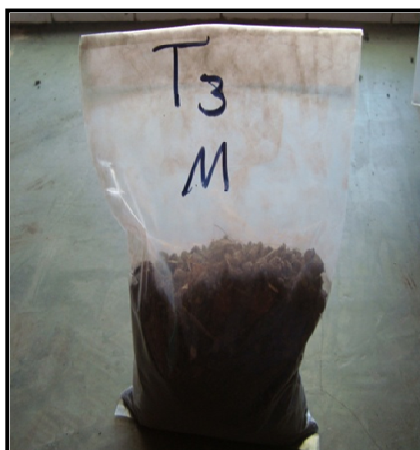
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Figura 3-18 alrededor del 85% de la granulometría del abono orgánico es menor a 2 mm.

3.3.3.8. Resultados del análisis de laboratorio del abono orgánico

Para realizar el análisis fisicoquímico y microbiológico se toma una muestra de 300 g. Esta muestra se analiza en el laboratorio de suelos y aguas del Servicio Departamental Agropecuario (SEDAG) y Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) respectivamente (Ver Anexo 6).

Figura 3-19
Muestra de abono orgánico Caja T3



Fuente: Elaboración propia.

Tabla III-22
Análisis fisicoquímico Caja T3

Parámetros	
pH	7,30
Nitrógeno	1,173 %
Fosforo	171 ppm
Potasio	2,81 meq/100g
Materia Orgánica	88,1%
Relación C/N	52

Fuente: SEDAG 2012.

Tabla III-23
Análisis microbiológico Caja T3

Parámetro	
Coliformes fecales	2,1X10 ² NPM/g
Coliformes totales	1,6X10 ⁵ NPM/g

Fuente: CEANID 2012.

Los resultados de los análisis realizados son en base al producto bruto obtenido. El contenido de coliformes fecales es menor 1000 NPM/g en este tipo de abono orgánico cumpliendo la Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007.

3.4. Comparación de resultados con la bibliografía

En la Tabla III-24 se muestran los resultados de los abonos orgánicos obtenidos en el trabajo de investigación.

Tabla III-24
Resultados del abono orgánico

Parámetros	Caja T3 (M)	Caja T4 (GR)	Caja T6 (CR)
pH	7,30	7,20	7,43
Nitrógeno	1,173 %	1,111%	1,453%
Fosforo	171 ppm	112 ppm	145 ppm
Potasio	2,81meq/100g	3,74 meq/100g	4,68meq/100g
Materia Orgánica	88,1%	77,5%	83,0
Relación C/N	52	49	40
Coliformes Fecales	2,1X10 ² NPM/g	1,5X10 ² NPM/g	7,0X10 ¹ NPM/g

Fuente: CEANID Y SEDAG 2012.

Tabla III-25
Especificaciones fisicoquímicas y microbiológicas

Parámetros	Valor Normado	Caja T3 (M)	Caja T4 (GR)	Caja T6 (CR)
pH	5,5-8,5	7,30	7,20	7,43
Nitrógeno	De 1 a 4% (base seca)	1,173 %	1,111%	1,453%
Materia Orgánica	De 20% a 50% (base seca)	88,1%	77,5%	83,0
Relación C/N *	≤20	44	40	33
Coliformes Fecales	≤ 1000NMP/g	210 NPM/g	150 NPM/g	70 NPM/g

Fuente: Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007.

* Valor calculado de acuerdo a la Norma Mexicana.

En la Tabla III-25 se hace la comparación de los resultados obtenidos con la bibliografía.

Como se puede observar los resultados obtenidos están dentro de los parámetros exigidos por la Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 (Ver Anexo 7) a excepción de la relación carbono nitrógeno debido a lo siguiente:

Los resultados obtenidos en los análisis para la relación C/N, tomaron como base al producto bruto obtenido, lo que origino que los residuos orgánicos no degradados en el proceso de descomposición que son materiales ricos en carbono, que requieren de temperaturas que superen los 40°C para poder degradarlos y más tiempo de descomposición, afectando de tal manera en el incremento de este parámetro, pero si se considera un producto tamizado, tal cual es comercializado en el mercado, la relación C/N cumplirá los parámetros que están establecidos en la Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007.

3.5. Análisis del desarrollo de las lombrices rojas californianas

En este trabajo de investigación se realiza seguimiento al desarrollo de las lombrices.

3.5.1. Aumento de masa de las lombrices

Los datos tabulados, se los obtuvo tomando una muestra al azar de dos lombrices por caja, se puede apreciar que si existe un aumento de masa significativo así también se evidencia la disminución de la misma indicando el termino de este proceso.

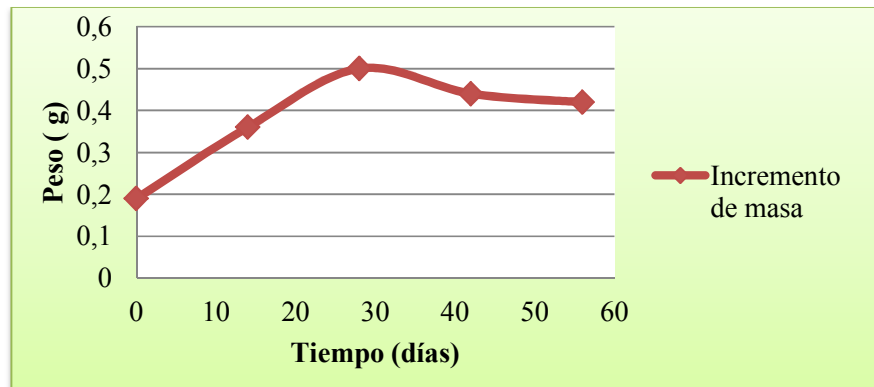
En la Tabla III-26 se muestra el aumento de masa que sufrieron las lombrices durante todo el proceso de investigación.

Tabla III-26
Aumento de masa de las lombrices

	Inicial	A los 14 días	A los 28 días	A los 42 días	A los 56 días
Lombrices	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)
L1	0,19	0,48	0,49	0,36	0,44
L2	0,10	0,49	0,43	0,43	0,37
L3	0,16	0,32	0,33	0,37	0,45
L4	0,13	0,32	0,43	0,36	0,38
L5	0,20	0,29	0,66	0,59	0,48
L6	0,17	0,43	0,55	0,59	0,50
L7	0,12	0,21	0,46	0,37	0,47
L8	0,06	0,34	0,39	0,41	0,41
L9	0,21	0,44	0,83	0,59	0,50
L10	0,22	0,17	0,64	0,53	0,44
L11	0,43	0,20	0,48	0,29	0,41
L12	0,30	0,45	0,35	0,48	0,41
L13	0,32	0,35	0,36	0,44	0,42
L14	0,19	0,47	0,50	0,48	0,42
L15	0,22	0,40	0,49	0,36	0,39
L16	0,04	0,19	0,43	0,40	0,34
L17	0,23	0,57	0,50	0,45	0,34
L18	0,05	0,43	0,58	0,35	0,34
Total	3,36	6,54	8,93	7,83	7,50
Promedio	0,19	0,36	0,50	0,44	0,42

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-20
Masa de las lombrices



Fuente: Elaboración propia.

El peso máximo promedio de las Lombrices Rojas Californianas se alcanza a los 28 días de realizada la siembra de lombrices indicando el momento preciso para culminar la producción de abono orgánico; por lo que posterior a este tiempo las mismas que por falta de alimento consumen su propia energía acumulada disminuyendo de esta manera su masa.

3.5.2. Incremento de longitud de las lombrices

Se utiliza la misma técnica de muestreo que en el anterior caso, dos lombrices por caja y se toma las medidas que se puede observar en la Tabla III-27.

Figura 3-21
Longitud de la lombriz



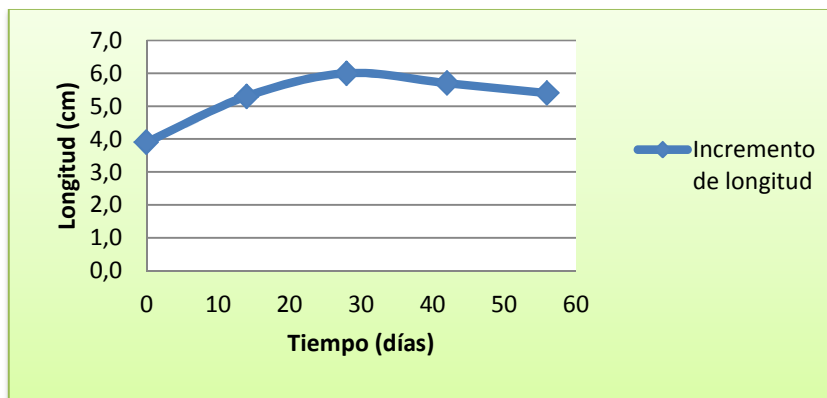
Fuente: Elaboración propia.

Tabla III-27
Incremento de longitud de las lombrices

	Inicial	A los 14 días	A los 28 días	A los 42 días	A los 56 días
Lombrices	Longitud (cm)	Longitud (cm)	Longitud (cm)	Longitud (cm)	Longitud (cm)
L1	4,5	6,0	6,1	5,2	6,0
L2	3,0	5,5	5,8	5,9	5,6
L3	3,5	5,2	5,3	5,6	5,7
L4	4,1	4,8	6,0	5,3	5,1
L5	4,3	4,6	7,2	6,4	5,4
L6	4,2	6,6	6,9	6,9	6,0
L7	3,6	4,7	5,8	5,6	5,6
L8	2,6	5,2	5,3	5,8	5,4
L9	4,3	5,5	6,8	6,0	6,1
L10	4,7	3,4	6,4	5,8	5,0
L11	4,7	4,5	5,7	4,0	4,8
L12	4,4	6,1	5,2	6,1	5,1
L13	5,5	4,7	5,5	6,2	5,5
L14	3,9	6,2	6,4	6,4	5,4
L15	4,2	5,7	6,3	5,4	5,0
L16	2,5	4,2	5,7	5,5	4,8
L17	3,9	6,6	5,1	5,6	4,8
L18	2,5	5,1	6,8	5,0	5,0
Total	70,4	94,6	108,3	102,7	96,3
Promedio	3,9	5,3	6,0	5,7	5,4

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-22
Incremento de longitud de las lombrices



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3-22 se puede apreciar que se alcanza una longitud promedio máxima a los 28 días del proceso de producción.

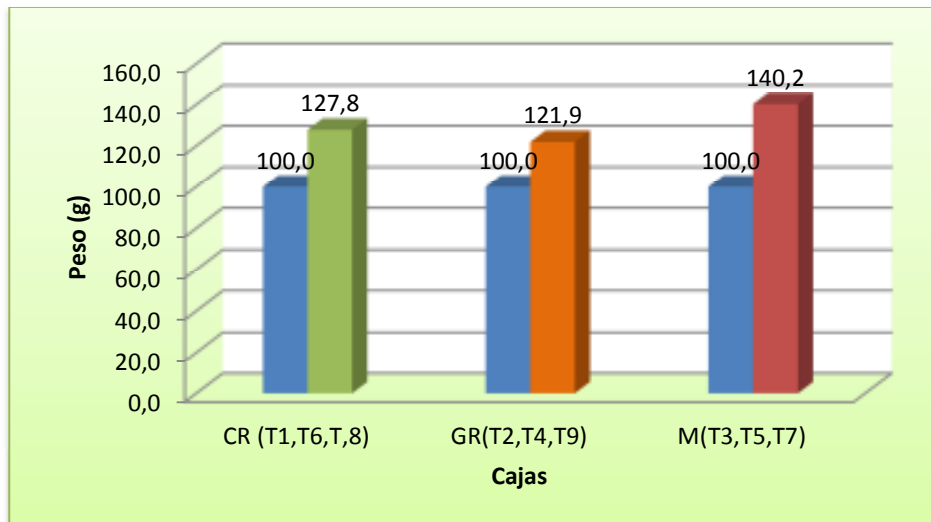
Al finalizar la obtención de abono orgánico se pesa la población de lombrices por caja. Proyectando los siguientes resultados:

Tabla III-28
Población de lombrices

Caja	Peso de Lombrices (g)			Promedio (g)
CR (T1,T6,T,8)	121,1	139,8	122,5	127,8
GR(T2,T4,T9)	114,9	128,8	122,0	121,9
M(T3,T5,T7)	166,7	143,5	110,6	140,2

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-23
Población promedio de lombrices rojas californianas



Fuente: Elaboración propia.

Como se pueden apreciar en la Figura 3-23 la población de lombrices se desarrolla mejor en el tratamiento de estiércol de gallina, estiércol de cerdo y residuos vegetales.

3.5. 3. Relación masa/ longitud de las lombrices

Para poder determinar esta relación simplemente se tomo el dato total de la masa a los 56 días de iniciada la investigación y se lo divido entre la longitud alcanzada a los 56 días y se obtuvo la siguiente relación:

$$M/L = 7,50 \text{ g} / 96,3 \text{ cm} = 0,078 \text{ g/cm}$$

Esto quiere decir que por cada centímetro existe un aumento de masa de 0,078 g.

3.5.4. Determinación de humedad de las lombrices

Para conocer la cantidad de humedad en las lombrices se utiliza la balanza de humedad, se trabajo en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) a una temperatura de 60°C para conservar las proteínas.

Se procede a tomar una muestra de 4,00 g de lombrices totalmente limpias, los datos se muestran en la Tabla III-29.

Tabla III-29
Residuo seco, humedad y pérdida de masa

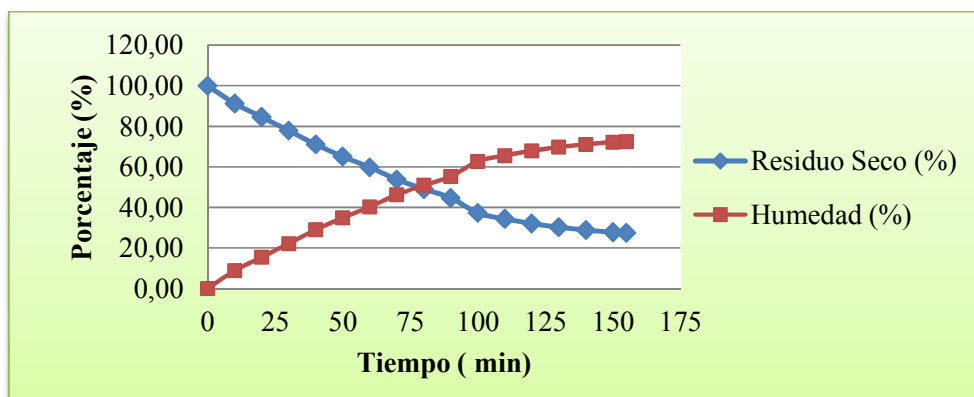
Tiempo (min)	Residuo Seco (%)	Humedad (%)	Pérdida de masa (g)
0	100,00	0,00	4,00
10	91,24	8,93	3,65
20	84,60	15,48	3,39
30	77,84	22,17	3,12
40	71,06	28,98	2,84
50	65,09	34,92	2,61
60	59,76	40,28	2,39
70	53,78	46,26	2,15
80	49,07	50,95	1,97
90	44,68	55,34	1,79
100	37,27	62,74	1,49
110	34,37	65,64	1,38
120	32,06	67,95	1,29
130	30,25	69,75	1,21
140	28,85	71,16	1,16
150	27,78	72,23	1,11
155	27,45	72,55	1,10

Fuente: Elaboración propia.

Las lombrices tienen una humedad final de 72,55% un residuo seco de 27,45 % y una masa final de 1,10 g.

Estos datos se aprecian mejor en la Figura 3-24.

Figura 3-24
Residuo seco y humedad de las lombrices



Fuente: Elaboración propia.

3.5.5. Determinación de proteínas de las lombrices

Se toma una muestra de 45 g de lombrices totalmente limpias, se colocan a la estufa a una temperatura de 60°C durante 24 horas; posteriormente se llevan al Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (Ver Anexo 5).

Tabla III-30
Proteína de la lombriz roja californiana

Parámetro	Método	Unidad	Muestra
Proteína total	NB 466-81	%	56,96

Fuente: CEANID 2012.

3.6. Balance de materia

En el balance de materia se trabaja con los residuos orgánicos utilizados en cada caja en base húmeda; los datos utilizados se los obtiene del trabajo experimental, tabulado en la Tabla II-10, Tabla III-1 y Tabla III-26.

Se tomará como modelo de cálculo para el balance de materia, la Caja que corresponde a la mezcla de estiércol (cerdo o gallina) con residuos vegetales que fueron sometidas a los análisis de calidad en Laboratorio (Ver Anexo 8).

En cuanto a las pérdidas se da en la digestibilidad de las lombrices ya que del material digerido parte de este es utilizado para el metabolismo de las lombrices y el resto es convertido en abono orgánico.

3.6.1. Estiércol de cerdo y residuos vegetales Caja T6

Datos

ERO = 7,50 kg (3 kg de estiércol de cerdo y 4,5 de residuos vegetales)

EL = 0,10 kg (lombrices al inicio del proceso)

ET = 7,60 kg

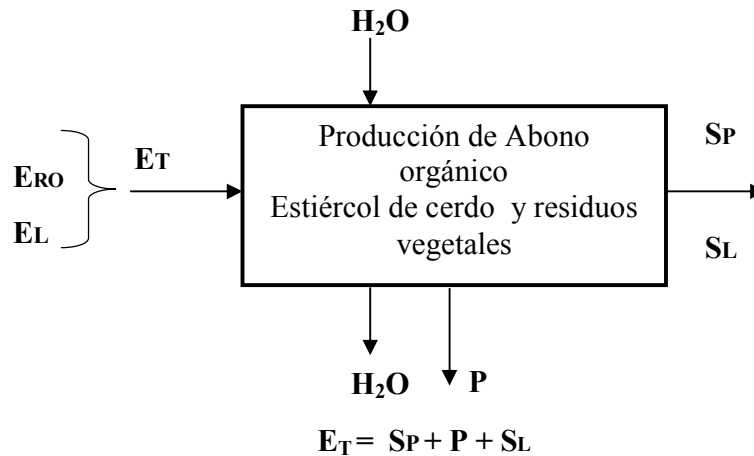
SL = 0,140 kg (lombrices al final del proceso)

H₂O = 400 ml (agua de reposición diaria para garantizar la humedad requerida entre 65 a 80 %)

Humedad inicial = 60 %

Humedad final = 22,66 %

Balance de Materia



Rendimiento = 46,67 %

Pérdida en la producción de abono = 53,33%

$P = (7,60 \cdot 0,533) = 4,05 \text{ kg}$

$$SP = E_T - P - S_L$$

$$SP = 7,60 - 4,05 - 0,140 = 3,41 \text{ kg}$$

Donde:

ERO = Entrada de residuos orgánicos

EL = Entrada de lombrices

P = Pérdida

SP = Salida del producto

3.6.2. Estiércol de gallina y residuos vegetales Caja T4

Datos

$E_{RO} = 7,5 \text{ kg}$ (1,5 kg de estiércol de gallina y 6,0 de residuos vegetales)

$E_L = 0,10 \text{ kg}$ (lombrices al inicio del proceso)

$E_T = 7,6 \text{ kg}$

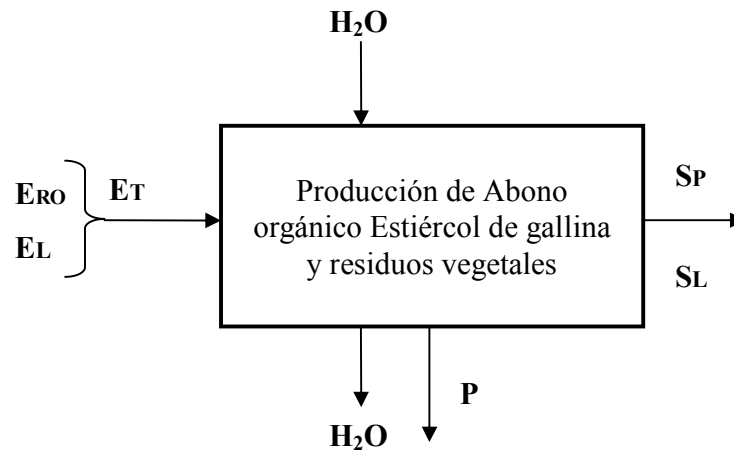
$S_L = 0,129 \text{ kg}$ (lombrices al final del proceso)

$H_2O = 400 \text{ ml}$ (agua de reposición diaria para garantizar la humedad requerida entre 65 a 80 %).

Humedad inicial = 65 %

Humedad final = 10,65 %

Balance de Materia



Rendimiento = 17,33 %

$$ET = SP + SL + P$$

Pérdida en la producción de abono = 82,67%

$$P = (7,60 * 0,827) = 6,29 \text{ kg}$$

$$SP = ET - P - SL$$

$$SP = 7,60 - 6,29 - 0,129 = 1,18 \text{ kg}$$

3.6.3. Estiércol de gallina, estiércol de cerdo y residuos vegetales Caja T3

Datos

ERO = 7,5 kg (1,5 kg de estiércol de gallina; 3,0 kg de estiércol de cerdo y 3,0 kg de residuos vegetales)

EL = 0,10 kg (lombrices al inicio del proceso)

ET = 7,60 kg

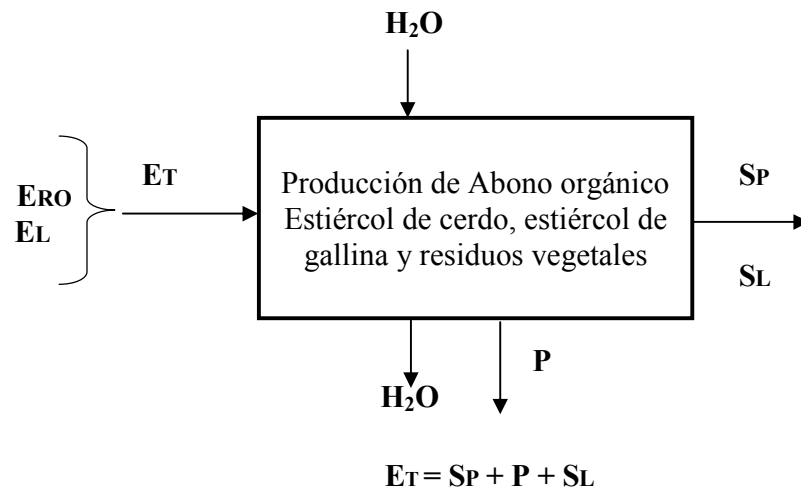
SL = 0,167 kg (lombrices al final del proceso)

H₂O = 400 ml (agua de reposición diaria para garantizar la humedad requerida entre 65 a 80 %).

Humedad inicial = 55 %

Humedad final = 24,40 %

Balance de Materia



Rendimiento = 56,67 %

Pérdida en la producción de abono = 43,33%

$P_3 = (7,60 * 0,433) = 3,29 \text{ kg}$

$$S_P = E_T - P - S_L$$

$$S_P = 7,60 - 3,29 - 0,167 = 4,14 \text{ kg}$$

3.6.4. Resultados del balance de materia

Los resultados obtenidos en el balance de materia se adjuntan a continuación:

Tabla III-31
Resumen de resultados del balance de materia

	Caja T6 CR (kg)		Caja T4 GR (kg)		Caja T3 M (kg)	
	M.O.	Lombrices	M.O.	Lombrices	M.O.	Lombrices
Entrada	7,50	0,10	7,50	0,10	7,50	0,10
Pérdida	4,05	-	6,29	-	3,29	-
Salida	3,41	0,140	1,18	0,129	4,14	0,167

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Tabla III-31 el mejor rendimiento en abono orgánico es la mezcla de estiércol de cerdo, estiércol de gallina y residuos vegetales con una producción de 4,14 kg.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Para la caracterización del estiércol de cerdo, se recurrió al laboratorio de suelos y aguas del Servicio Departamental Agropecuario (SEDAG) y al Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), cuyos resultados se muestran en las Tablas II-12 y II-13, se concluye que para obtener el sustrato adecuado como alimento para las lombrices y la obtención de un abono orgánico rico en nutrientes y bajo contenido en microorganismos patógenos, es necesario realizar una mezcla entre el estiércol de cerdo, gallina y adicionar residuos vegetales.
- En la experiencia de adaptación de Lombrices Rojas Californianas se evidencia la muerte de las mismas por falta de humedad, por lo que se tuvo que repetir el proceso, de manera que al tener la humedad adecuada se consiguió la adaptación de las lombrices al sustrato.
- Un valor agregado que se obtuvo en el trabajo es la obtención de proteína de Lombriz, este análisis se realizó en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) cuyos ensayos dieron como resultado un contenido de 56,96% de proteína de alta calidad y asimilable.
- Al realizar el análisis comparativo de resultados, fisicoquímico y microbiológico del abono orgánico obtenido, se concluye que la mezcla de estiércol de gallina, estiércol de cerdo y residuos vegetales, obtuvo el mejor rendimiento 59,33%, el mismo que tiene una composición balanceada de

acuerdo a la Tabla III-22, corroborando un buen procesamiento de los diferentes tratamientos en la obtención del abono orgánico.

Tabla III-22
Análisis Físicoquímico y Microbiológico

Parámetros	Caja T3 (M)
pH	7,30
Nitrógeno	1,173 %
Fósforo	171 ppm
Potasio	2,81meq/100g
Materia Orgánica	88,1%
Relación C/N	44
Coliformes Fecales	210 NPM/g

Fuente: CEANID Y SEDAG 2012.

- Durante la investigación se evidencia que la temperatura en la etapa de descomposición de los residuos orgánicos no superan los 40°C, el cual no garantiza la eliminación de microorganismos termófilos y la degradación de los compuestos orgánicos complejos.
- Se concluye que el material ajeno al estiércol de cerdo (ramas secas, piedras, residuos plásticos)afecta en el resultado de los análisis obtenidos del laboratorio; causando una disminución en el aprovechamiento del sustrato por parte de las lombrices.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda que el sustrato para la cría de Lombriz Roja Californiana y producción de abono orgánico, esté dado por la mezcla de estiércol de cerdo 40%, estiércol gallina 20% y residuos vegetales 40%, por cuanto alcanza mayores rendimientos y calidad.
- Se recomienda trabajar con la humedad adecuada para lograr un buen desarrollo de las lombrices y obtener los mejores rendimientos en abono orgánico.
- Se recomienda profundizar los estudios para el aprovechamiento de la proteína de lombriz como suplemento en la producción de alimento balanceado para animales.
- Se recomienda utilizar los equipos de seguridad adecuados, ya que se trabaja con estiércol, potencial portador de parásitos y enfermedades; con elevado contenido de microorganismos patógenos.
- Se recomienda conservar el abono orgánico en sacos o bolsas en un máximo de 40% de humedad, por lo que según bibliografía tendría un tiempo de almacenamiento de 9 meses, por cuanto después de este tiempo se van perdiendo sus propiedades nutritivas.
- Para lograr mejores resultados se recomienda acondicionar el estiércol de los animales, al realizar una adecuada recolección del mismo para evitar contaminantes ajenos a la producción de la granja y reducir el tamaño del material vegetal, para que se genere un mayor aprovechamiento de este sustrato por parte de las lombrices.