

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**TRANSFORMACIÓN DE RESIDUOS BIODEGRADABLES DE LA
INDUSTRIA CERVECERA MEDIANTE LA LOMBRICULTURA EN EL
MUNICIPIO DE VIACHA DEL DEPARTAMENTO DE LA PAZ**

Presentado por:

ALEJANDRO PATI LIMACHI

La Paz – Bolivia

2021

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

TRANSFORMACIÓN DE RESIDUOS BIODEGRADABLES DE LA INDUSTRIA
CERVECERA MEDIANTE LA LOMBRICULTURA EN EL MUNICIPIO DE VIACHA
DEL DEPARTAMENTO DE LA PAZ

Tesis de grado
Presentado como requisito
para optar al Título de
Ingeniero Agrónomo

ALEJANDRO PATI LIMACHI

Asesores:

Ph. D. Carmen Rosa Del Castillo Gutiérrez

Tribunal Examinador:

Ing. M. Sc. René Calatayud Valdez

Ing. M. Sc. Isidro Callizaya Mamani

Ing. M. Sc. René Terán Céspedes

APROBADA

Presidente Tribunal Examinador

La Paz – Bolivia

2021

DEDICATORIA:

A mi amada familia, mis padres: Ing. Alberto Pati Choque, Lic. Luz Mary Limachi Zarzuri y a mi querido hermano Ing. Alberto Pati Limachi.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por la fuerza y guía que me dió a lo largo de toda mi vida.

A mis padres Alberto Pati Choque y Luz Mary Limachi Zarzuri, por darme la vida, por su amor y apoyo incondicional, su comprensión, sacrificio, confianza y sus sabios consejos.

A mi hermano Alberto Pati Limachi, por ser ese ejemplo y soporte moral en los tiempos de cuarentena.

A la Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía y la Carrera de Ingeniería Agronómica por los conocimientos adquiridos.

Mi más sincero agradecimiento a la Ph. D. Carmen Rosa del Castillo Gutiérrez, por la orientación, asesoramiento, comprensión y apoyo incondicional, en la formación y desarrollo de esta investigación, es como una segunda madre para mí.

Mi agradecimiento a los señores tribunales, Ing. René Terán Céspedes, Ing. René Calatayud Valdez e Ing. Isidro Callizaya Mamani, por la revisión, observaciones y enriquecimiento del presente trabajo.

Finalmente, agradezco a todos mis amigos que me ayudaron a alcanzar mis metas, son parte de mi vida y los llevo en mi corazón.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Planteamiento del problema.....	4
1.3. Preguntas de investigación.	4
1.4. Justificación.	4
1.4.1. Justificación científica.....	5
1.4.2. Justificación ambiental.	5
2. OBJETIVOS.....	1
2.1. Objetivo general.	1
2.2. Objetivos específicos.	1
2.3. Hipótesis.	1
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.	2
3.1. Lombricultura.	2
3.1.1. Lombricultura en Bolivia.	3
3.1.2. Características de la lombriz roja californiana.	4
3.2. Características del humus de lombriz.....	11
3.3. Propiedades del humus de lombriz.	12
3.3.1. Propiedades químicas, físicas y biológicas.	12
3.4. Calidad del humus de lombriz.	13
3.4.1. Calidad del humus de lombriz en diferentes países.	14
3.4.2. Riqueza del humus de lombriz.	15
3.4.3. Cualidades del humus de lombriz frente a los cultivos agrícolas.	15
3.5. Compostaje.....	16
3.6. Vermicompostaje.	16
3.7. Importancia del humus de lombriz.....	16
3.8. Descomposición de la materia orgánica mediante las lombrices.....	18
3.9. Materia orgánica.	19
3.10. Estiércol bovino como alimento de la lombriz.	19
3.11. Interpretación de los análisis de los compost.....	20
3.11.1. Límites y concentraciones máximas admisibles de metales pesados en diferentes países.....	21

3.12.	Factores de mineralización.....	22
3.13.	Relación C/N en el punto de vista en la aplicación del suelo.	22
3.13.1.	Relación Carbono-Nitrógeno (C: N).....	23
3.14.	Microorganismos.	23
3.15.	Microfauna.....	24
3.15.1.	Fauna presente en el humus de lombriz.	24
3.16.	Bacterias.	25
3.17.	Residuos de cebada de la industria cervecera.....	25
3.17.1.	Residuos líquidos de la industria cervecera.....	26
3.17.2.	Tierras de diatomeas.....	26
3.18.	Medio ambiente y actividades laborales.	28
3.19.	Leyes ambientales.....	28
3.19.1.	Delitos ambientales.	28
3.19.2.	Calidad ambiental.....	29
3.19.3.	Responsabilidad ambiental de los generadores de residuos.	29
4.	LOCALIZACIÓN.....	31
4.1.	Ubicación.	31
4.2.	Características climáticas.....	32
4.3.	Actividad económica del municipio de Viacha.	33
5.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
5.1.	Materiales de estudio.	35
5.1.1.	Material biológico.	35
5.1.2.	Material de campo.....	35
5.1.3.	Material de laboratorio.....	35
5.2.	Métodos.	40
5.2.1.	Flujograma del proyecto investigativo.	40
5.2.2.	Procedimientos experimentales de estudio e investigación.	41
5.2.3.	Diseño experimental de la investigación.....	46
5.2.4.	Croquis experimental.	46
5.2.5.	Tratamientos.	47
5.2.6.	Variables de respuesta.....	47
6.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	48

6.1.	Comportamiento del pH en el proceso de transformación.....	48
6.1.1.	Comportamiento del pH del producto final.....	49
6.2.	Temperatura.....	50
6.1.	Análisis de la variante tiempo.....	52
6.2.	Análisis de la variante masa.....	54
6.3.	Análisis de la variante altura y volumen.....	56
6.3.1.	Altura.....	56
6.3.2.	Volumen.....	57
6.4.	Resultados de laboratorio.....	60
6.4.1.	Calidad nutritiva.....	60
7.	CONCLUSIONES.....	64
8.	RECOMENDACIONES.....	66
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	67
9.1.	Bibliografía de internet.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características comparativas con lombriz común de tierra y lombriz comercial.	6
Tabla 2. Taxonomía de la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foétida</i>).	11
Tabla 3. Calidad de humus analizados en diferentes países.	14
Tabla 4. Análisis químico de estiércoles.	20
Tabla 5. Interpretación de los análisis de compost.	20
Tabla 6. Concentraciones máximas admisibles de metales pesados.	21
Tabla 7. Contenido máximo de metales pesados en el compost.	21
Tabla 8. Características de relación C: N.	23
Tabla 9. Características climáticas del municipio de Viacha.	33
Tabla 10. Comportamiento del pH.	48
Tabla 11. Comportamiento del pH del producto final.	49
Tabla 12. Comportamiento de la temperatura.	51
Tabla 13. Análisis de varianza de la variante tiempo.	52
Tabla 14. Test de Duncan variable tiempo.	53
Tabla 15. Análisis de varianza de la masa.	54
Tabla 16. Test de Duncan variable masa.	55
Tabla 17. Comportamiento de la altura.	56
Tabla 18. Análisis de varianza del volumen.	59
Tabla 19. Test de Duncan variable volumen.	59
Tabla 20: Cuadro comparativo de calidad de humus de lombriz.	60
Tabla 21: Comportamiento de metales pesados en el proceso de transformación.	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sistema digestivo de una lombriz	18
Figura 2. Acceso al campo experimental.....	31
Figura 3. Ubicación del campo experimental.....	32
Figura 4. Flujograma de la investigación	40
Figura 5. Croquis experimental.....	47
Figura 6. Comportamiento del pH del producto final	50
Figura 7. Comportamiento de la altura de los sustratos en las cajas lombriarias	57
Figura 8. comportamiento del volumen	58

ANEXOS

Presupuesto	75
Fotografía 1: Movimiento con equipo de retroexcavadora de lodos de tierra de diatomeas	80
Fotografía 2: Recolección de tierras de diatomeas	80
Fotografía 3: Recepción de líquidos de la industria cervecera.	81
Fotografía 4: Preparación de terreno experimental.	81
Fotografía 5: Fabricación de las cajas lombricarias.....	82
Fotografía 6: Mezcla de alimento.	82
Fotografía 7: Recolección de lombrices.	83
Fotografía 8: Traslado de las cajas lombricarias al campo de investigación.	83
Fotografía 9: Distribución de cajas lombricarias.	84
Fotografía 10: Protección de las bases de las cajas lombricarias.	84
Fotografía 11: Incorporación de la mezcla alimento a las cajas Lombricarias.....	85
Fotografía 12: inoculación de lombrices a las cajas lombricarias.	85
Fotografía 13: Traslado del tanque de agua al campo experimental.....	86
Fotografía 14: Protección de lombricarios con malla semisombra.	86
Fotografía 15: Preparación de líquido alimento (cerveza y agua).	87
Fotografía 16: Apreciación de la levadura de cerveza en el líquido alimento.....	87
Fotografía 17: Recolección de datos y monitoreo de las cajas lombricarias.	88
Fotografía 18: Preparación del producto final para ser secado y pesado.....	88
Fotografía 19: Maduración del producto final para ser llevado al laboratorio.	89

RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en la comunidad de Jalsuri de Marka Irpa Chico del municipio de Viacha en el departamento de La Paz, Bolivia, en las instalaciones de la empresa LOMBRIBOL, en las gestiones 2020 – 2021. Con el objetivo de transformar los residuos biodegradables de la industria cervecera mediante la lombricultura.

Para el trabajo de investigación se obtuvo material residual biodegradable de la industria cervecera en estado líquido (cerveza) y lodos (tierras de diatomeas saturadas). Se formó 4 tratamientos de estudio, para evaluar el rendimiento, calidad nutricional y presencia de metales pesados en el humus de lombriz obtenido. Para lo cual, se evaluaron los datos semanal y mensualmente realizando el seguimiento del comportamiento de la transformación de los residuos biodegradables de la industria cervecera.

El resultado del producto final “humus de lombriz a partir de residuos biodegradables de la industria cervecera” demuestra ser de buena calidad, ya que entra en los parámetros internacionales para abonos orgánicos con los siguientes resultados: sodio intercambiable 0.02%, magnesio intercambiable 0,1%, potasio intercambiable 0.9%, nitrógeno total: 1,10% materia orgánica de 14,13 %, carbono orgánico con 8,19% y fósforo disponible 521 ppm. Así mismo, los resultados obtenidos por el laboratorio reportan que no existe contaminación que atente contra la calidad del producto final. Los datos indican que los metales encontrados están por debajo de los niveles tóxicos. Haciendo que este producto sea de buena calidad, amigable con el medio ambiente y puede ser aplicable como abono orgánico.

En conclusión, es posible aprovechar los desechos biodegradables de la industria cervecera en la transformación en abonos orgánicos a través de la lombricultura, sin atentar contra el medio ambiente.

ABSTRAC

This research was carried out in the community of Jalsuri de Marka Irpa Chico in the municipality of Viacha in the department of La Paz, Bolivia, at the facilities of the LOMBRIBOL company, in the 2020-2021 period. biodegradable waste from the brewing industry through vermiculture.

For the research work, biodegradable waste material was obtained from the brewing industry in liquid state (beer) and sludge (saturated diatomaceous earth). Four study treatments were formed to evaluate the performance, nutritional quality and safety of the worm castings obtained. For which, weekly and monthly data were evaluated, monitoring the behavior of the transformation of biodegradable waste from the brewing industry.

The result of the final product "worm humus from biodegradable waste from the brewing industry" proves to be of good quality, since it falls within the international parameters for organic fertilizers with the following results: exchangeable sodium 0.02%, exchangeable magnesium 0, 1%, exchangeable potassium 0.9%, total nitrogen: 1.10% organic matter of 14.13%, organic carbon with 8.19% and available phosphorus 521 ppm. Likewise, the results obtained by the laboratory report that there is no contamination that threatens the quality of the final product. The data indicates that the metals found are below toxic levels. Making this product of good quality, friendly to the environment and can be applied as organic fertilizer.

In conclusion, it is possible to take advantage of the biodegradable waste from the brewing industry in the transformation into organic fertilizers through vermiculture, without damaging the environment.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes problemas en nuestro planeta y que aún no ha podido ser solucionado por la mayoría de los países, es el manejo adecuado de los residuos sólidos, lodos y líquidos generados en grandes cantidades por la población humana, sólo algunos países han logrado aminorar el impacto a través de grandes inversiones e innovación tecnológica.

En Bolivia no se aprovechan los residuos biodegradables generados por las industrias de las ciudades ni de las comunidades que son las que causan grandes problemas de contaminación ambiental a la Madre Tierra, provocando problemas sociales, de salud y otros.

Los desechos biodegradables de las industrias por ley tienen que ser tratadas de una forma amigable con el medio ambiente, sin embargo, en nuestro país y más específicamente en el departamento de La Paz no existe la tecnología ni el espacio suficiente que permita este delicado tratamiento de dichos residuos que pueden atentar al medio ambiente.

Pocas son las empresas especializadas en este tipo de tratamientos, que tengan el compromiso con el medio ambiente. Por lo que la siguiente investigación propone utilizar los conocimientos de lombricultura como tecnología para ayudar con el tratamiento. Gracias a ello, los comunarios locales al ser productores agrícolas y ganaderos pueden beneficiarse con esta investigación al ser partícipes en la generación de estiércol bovino que se utilizará en dicho proceso de transformación de los residuos biodegradables de la industria cervecera.

La presente investigación se llevó a cabo en la Comunidad Jalsuri de la Marka Irpa Chico del Municipio de Viacha, en coordinación directa con la empresa LOMBRIBOL que apoyó a la investigación con sus instalaciones, espacio y en especial con el contacto con la industria cervecera (Cervecería Boliviana Nacional S.A.).

1.1. Antecedentes

“Aproximadamente desde 1750, en el periodo conocido como la revolución preindustrial, algunas de las actividades humanas incrementaron considerablemente la emisión de gases a la atmósfera, lo que ha generado el aumento de la temperatura media del planeta, dichos gases son conocidos como gases de efecto invernadero (CO_2 , N_2O , CH_4 , CF_4 , SF_6 , Halocarbonos o gases industriales fluorados) que dan como resultado el calentamiento global”. (PROAGRO, 2012).

“La generación de residuos sólidos o basura en las principales ciudades de Bolivia varía entre 0.3 a 0.7 kg/habitante/día de los cuales una gran proporción (de hasta el 70%) corresponde a la fracción orgánica o fermentable cuyo destino final son botaderos o rellenos sanitarios. No obstante, en el ámbito rural se enfrentan serias dificultades para resolver la problemática del manejo y disposición final, con el consiguiente riesgo de convertirlos en focos de contaminación ambiental y proliferación de patógenos y vectores que amenazan la salud pública”. (Mamani, 2012).

“Algunos países han tomado medidas en manejo de sus desperdicios como son México, que desde el 8 de julio del 2017 ha adoptado recoger la basura de sus ciudades por separado en tiempos de la semana diferentes (aunque ya existía una ley del 2013 que obligaba a separar la basura orgánica e inorgánica). En Bélgica, Bruselas existen 5 bolsas distintas para la basura, cada una de un color diferente. El plan cero basuras de Kamikatsu en Japón, cuya meta es reducir a cero sus desechos en 2020, comenzó su plan de reciclaje hace 14 años y sus habitantes separan sus residuos en 34 categorías distintas. Suecia es un caso especial, porque todo el país recicla bajo un programa que se llama “de desecho a energía” (waste to energy en inglés). Casi la mitad de todos los residuos domésticos se queman y se convierten en energía para el país, siendo tan exitoso que en 2014 comenzaron a importar basura de otros países como Noruega, Reino Unido e Irlanda, para abastecer los 32 centros de energía que poseen. En 2015 Suecia importó más de 1.3 millones de toneladas de basura”. (animalpolitico.com, 2017).

Wara A. (2019) nos informa que “Bolivia genera aproximadamente 7.022 toneladas de basura al día. De este total, sólo recicla el 4%. Según autoridades y expertos, una de las

principales razones es la falta de inversión en el manejo de residuos por parte de los municipios y de acuerdo a los especialistas, el país tiene un potencial aprovechable del 80% de los residuos que genera cada día. Este dato fue revelado en el Foro de Municipios Gestión Integral de Residuos” en Tiquipaya (Cochabamba). En el encuentro participaron autoridades nacionales, ONG, concejales y alcaldes de varios municipios del país, el año 2015.

En noviembre de 2016, la Dirección de Residuos Sólidos y gestión Integral del Ministerio de Medio Ambiente y Agua informó que el país Bolivia producía diariamente al menos 5.400 toneladas de basura y procesaba el 4%. Tres años después, la “producción” de desechos en Bolivia se ha incrementado en 30%; pero se mantiene el porcentaje del reciclaje.” (Wara A. 2019).

Las 500 toneladas de basura que genera la ciudad de La Paz cada día valen, ya que al igual que en otras capitales del mundo, ésta puede ser industrializada. De acuerdo su composición, los desechos producidos en La Paz pueden convertirse en plástico, vidrio, plastimadera, abono, gas para vehículos y sistemas de calefacción e incluso energía eléctrica y térmica, señala Carlos España, docente del Instituto de Ingeniería Sanitaria de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA).

La composición de la basura en La Paz es la siguiente: 55%, orgánica biodegradable; 22%, reciclable; el 23% es “no aprovechable” porque está compuesta por residuos hospitalarios y otros con alto grado de contaminación. Sin embargo, reconoce que, en otros países, como Suecia, Dinamarca y Japón, gracias a la tecnología, incluso éstos son rescatados.

“En el caso de algunos residuos que no corresponden a materia orgánica, una alternativa son las plantas de incineración (con control de emisiones gaseosas) para la generación de energía eléctrica, pero el factor limitante suele ser también la cantidad que se destinaría a este tratamiento”, añade Vidaurre.” (Ivone J, 2019).

1.2. Planteamiento del problema.

El manejo de los residuos sólidos orgánicos industriales en la ciudad de La Paz - Bolivia está atentando contra nuestro medio ambiente y la salud pública de más de un millón de personas. Actualmente, la industria cervecera genera residuos orgánicos, entre productos caducados, descartados, y sobre todo lodos industriales (tierras de diatomeas usadas como filtro en el proceso de elaboración de la cerveza). Esta investigación propone buscar una solución mediante el uso de la lombricultura en el tratamiento y transformación de estos residuos biodegradables de la industria cervecera y así disminuir este crítico problema.

1.3. Preguntas de investigación.

¿Cómo transformar los residuos biodegradables de la industria cervecera en abonos orgánicos en el municipio de Viacha del departamento de La Paz?

1.4. Justificación.

Los residuos biodegradables industriales no deberían ser considerados como basura, puesto que, con la tecnología y conocimientos adecuados, estas pueden ser aprovechadas en favor del medio ambiente.

“La lombricultura es una respuesta simple, racional y económica a este problema, una técnica que utiliza a la lombriz como una herramienta de trabajo, permite reciclar todo tipo de desechos orgánicos agropecuarios, industriales de la ciudad, mataderos y otros. La digestión de los productos mencionados anteriormente produce cantidades de humus, un abono orgánico denominado actualmente como, el mejor abono del mundo que es la base de la fertilización del suelo”. (Pati, 2002).

“La lombricultura es una biotecnología limpia, de bajo costo, fácil de desarrollar y al alcance de cualquier familia o productor del ámbito agro-industrial que desee valorizar su residuo orgánico biodegradable (restos de cosecha, camas, estiércoles) para convertirlo en abono (humus) y proteínas (lombrices)”. (Schuldt et al., 2005).

1.4.1. Justificación científica.

“El estudio de la ciencia del suelo se sustenta en los principios básicos de la química, física, biología y matemática que aportan elementos básicos para entender conceptos y leyes de la fertilidad de los suelos, siendo el humus de lombriz un gran sustrato para la nutrición de las plantas”. (Chilon, 2014).

En los años 2018-2019 hubo un ingreso promedio a la empresa LOMBRIBOL de 868,72 toneladas de residuos biodegradables de la industria cervecera destinados a su destrucción o a su tratamiento. Sin embargo, la cantidad de desechos biodegradables generados por la empresa cervecera tiende a crecer cada gestión. (A. Pati, Gerente de la empresa LOMBRIBOL comunicación personal, 28 de octubre 2020).

1.4.2. Justificación ambiental.

“En la naturaleza todo se recicla, un sin fin de descomponedores y carroñeros, desde los buitres, pasando por las lombrices y las ratas, hasta millones de microorganismos se encargan de cerrar el ciclo manteniendo la fertilidad del suelo. Los aportes de materia orgánica de plantas y animales, están sometidos a un continuo ataque por parte de organismos vivos, microbios y animales, que lo utilizan como fuente de energía frente a su propio desgaste, como resultado de dicho ataque, son devueltos a la tierra los elementos necesarios para la nutrición de las plantas”. (López, 2000)

Según Castro (2003), la industria elaboradora de cerveza, en su proceso utiliza grandes cantidades de agua. Ésta es una de las razones para que las empresas tengan que adaptarse y usar herramientas para la autoevaluación ambiental evitando posibles sanciones y a su vez, optimizar su rendimiento. La herramienta más utilizada es la auditoria o evaluación ambiental, que detecta errores y propone la solución de estos.

Con la presente investigación se pretende dar una alternativa para el tratamiento y transformación de residuos biodegradables de la industria cervecera de manera amigable con el medio ambiente en la ciudad de La Paz.

2. OBJETIVOS.

2.1. Objetivo general.

Transformar los residuos biodegradables de la industria cervecera a humus de lombriz mediante la lombricultura en el municipio de Viacha del departamento de La Paz.

2.2. Objetivos específicos.

- Analizar el comportamiento del pH y temperatura del humus de lombriz en el proceso de transformación de los residuos biodegradables de la industria cervecera.
- Determinar el tiempo de transformación de cuatro diferentes tratamientos de colonias de lombrices y residuos biodegradables de la industria cervecera.
- Determinar el rendimiento de humus de lombriz en cuanto a masa y volumen a partir de residuos biodegradables de la industria cervecera.
- Evaluar la calidad nutritiva en el producto final del abono orgánico.
- Medir la presencia toxica de metales pesados del producto final.

2.3. Hipótesis.

- No existen diferencias en el tiempo de transformación de cuatro diferentes tratamientos entre colonias de lombrices y residuos biodegradables de la industria cervecera.
- No existen diferencias en el rendimiento de humus de lombriz de cuatro diferentes tratamientos entre colonias de lombrices y residuos biodegradables de la industria cervecera
- La calidad nutritiva del producto final no es igual a las analizadas por otros autores.
- No existe presencia toxica de metales pesados en el producto final.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

3.1. Lombricultura.

Para Guerrero (1993), “la lombricultura es una tecnología sencilla y está al alcance de muchos agricultores o pobladores urbanos interesados”.

La lombricultura es la técnica de crianza y manejo de lombrices en cautiverio, con fines de obtención de humus y de harina de lombriz. (Pineda, 1994).

Torres (2000), indica que la lombricultura es una biotecnología, en virtud de la cual se aplican determinadas normas y técnicas de producción utilizándose las lombrices rojas californianas para reciclar residuos orgánicos biodegradables y como fruto de la ingestión de los mismos, los anélidos efectúan sus deyecciones en el fertilizante orgánico más importante disponible sobre la tierra.

De acuerdo con Bollo (2001), la lombricultura es una biotecnología orientada a la utilización de la lombriz como una herramienta de trabajo para el reciclaje de todo tipo de materia orgánica, y solo como una actividad que depende de la posibilidad de poder contar con feca animal que es el humus de lombriz y una fuente proteica que es la carne de la lombriz, que a través de un proceso adecuado podemos obtener harinas, con un contenido de hasta un 73% de proteínas.

Se entiende por lombricultura las diversas operaciones relacionadas con la cría y producción de lombrices y el tratamiento, por medio de éstas, de residuos orgánicos para su reciclaje en forma de abonos. (Rojas, 2005).

Según Duran (2009), la lombricultura es la explotación técnica de la lombriz, para producir humus, y/o lombriz. Además, se constituye como un medio de descontaminación ambiental al utilizar una serie de materiales biodegradables a los que da un valor agregado para la utilización final.

Consiste en la crianza y el manejo de lombrices en condiciones de cautiverio, se la utiliza como una herramienta de trabajo; recicla todo tipo de materia orgánica y la finalidad

primordial de este trabajo es la de obtener el producto de sus excretas comúnmente llamado humus y la lombriz propiamente dicha como fuente de proteína. (Tencela, 2012).

Es la cría de las lombrices seleccionadas y domesticadas alimentándolas con restos orgánicos, con el fin de obtener materia orgánica de alta calidad que cumple diversas funciones en el suelo y por lo tanto en los cultivos. La lombricultura es una actividad fundamental en agricultura, pero sobre todo en horticultura. La gran intensidad de los cultivos hortícolas y la mayor exigencia en nutrientes requiere que la provisión de materia orgánica al suelo sea prioritaria y constante, por ello, estar dotado de un suministro permanente de materia orgánica de primera calidad es absolutamente necesario y este papel lo puede cubrir perfectamente la lombricultura. (Guanche, 2014).

El mismo autor señala que las especies de lombriz más usadas para la elaboración de humus son la lombriz roja californiana, (*Eisenia foetida*, *Eisenia andrei*) y la lombriz africana (*Eudrilus eugeniae*), siendo *Eisenia Foetida* la más conocida y la que es utilizada en más del 80% de los criaderos del mundo.

La lombriz ha sido apreciada y estudiada desde la antigüedad hasta nuestros días. Entre las valoraciones y estudios de los que ha sido objeto, se pueden mencionar: los honores que los antiguos egipcios le rindieron para agradecerle que incrementara la fertilidad de las tierras del Nilo, la descripción morfológica hecha por Aristóteles, la clasificación taxonómica de Linneo, los amplios estudios hechos por Darwin plasmados en su libro "La formación de la tierra vegetal por la acción de las lombrices", El inicio de su domesticación por Barret en 1930. (Martínez, 1996 citado por Ponce) 2015.

La lombricultura es un beneficio para la producción agraria, a través de esta técnica se puede mejorar y enriquecer la actividad agrícola, además de garantizar la Seguridad alimentaria y fortalecer los suelos. (López, 2016).

3.1.1. Lombricultura en Bolivia.

Rojas (1999), señala que en la granja ecológica de Sica - Sica, capital de la provincia Aroma de la Paz comenzaron la producción de lombrices rojas californianas el año 1986,

donde se logró observarlas y analizarlas durante 6 años de crianza hasta conseguir la estabilidad de la población en un clima y altura adversos al propio.

En la publicación de la revista INTERLATIN CORP (2007), se afirma que las lombrices rojas californianas (*Eisenia foétida*) consumen los residuos orgánicos en su estado fresco de los rellenos sanitarios de Alpacoma y Mallasa (en proceso de cierre), produciendo una considerable cantidad de humus que se utiliza como fertilizante en la recuperación de suelos. Estas lombrices fueron utilizadas porque lograron adaptarse en un 100% a las condiciones climáticas.

De acuerdo con Yepes (2012), la primera colonia de la lombriz roja californiana llegó a Bolivia en 1989, específicamente al instituto de investigaciones agrícolas "El Vallecito" ubicado a 9 km de la ciudad de Santa Cruz. Las primeras colonias de lombrices fueron traídas desde Brasil por Carlos Panoff estudiante de ingeniería agronómica de la facultad de ciencias agrícolas perteneciente a la universidad autónoma Gabriel René Moreno. Desde ahí se ha propagado la crianza de la lombriz en nuestro país.

3.1.2. Características de la lombriz roja californiana.

3.1.2.1. Origen.

Las lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*) fueron criadas intensamente a partir de los años 50 en California. Esta especie es originaria de Eurasia; y en alguna literatura no científica se denominó "rojo híbrido" lo que ha dado lugar a no pocas confusiones ya que no se trata de un híbrido sino de una lombriz que al igual que el resto de sus parientes es el resultado de la selección natural siendo la especie más cultivada en el mundo entero. (Morales, 1999).

3.1.2.2. Evolución.

Según Sanzo (1999), desde el punto de vista ecológico, los gusanos de tierra pueden dividirse en tres grandes grupos:

El primero, se encuentran aquellas lombrices que viven sobre la superficie del suelo (epigeas). Los peligros a las que están expuestas son: a los depredadores, el frío,

incendios y escasez de comida, lo que les hizo desarrollar una serie de adaptaciones para sobrevivir: alta reproducción para compensar las pérdidas poblacionales, buen apetito para aprovechar al máximo las ocasionales fuentes de comida (hojas secas, estiércol); capullos resistentes para preservar los huevos del desecamiento; homocromía para adoptar el color del entorno.

Teniendo en cuenta estas cualidades adaptativas se destaca en este grupo, la (*Eisenia foetida*), conocida mundialmente como roja californiana, que resultó ser tan productiva en cautiverio.

El segundo grupo, consta de las endogéicas, que viven permanentemente en el interior del suelo presentando poca pigmentación cutánea, ingieren gran cantidad de suelo mezclado con materia orgánica en proceso de humificación (patrón alimentario geófago). Construyen y se desplazan continuamente por galerías ramificadas horizontales a través del perfil del suelo, cuentan con septos anteriores musculosos. Son importantes en procesos como la descomposición de raíces y la aireación de suelo. (Serrano, 2004)

Finalmente, el mismo autor afirma que el tercer grupo que está formada por las anécidas, excavan profundas galerías verticales hacia cuyo interior arrastran restos orgánicos de los que se alimentan tras haberlos mezclado con el suelo.

3.1.2.3. Características.

Sanzo (1999) señala que la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) tiene una longevidad aproximada de 16 años, una longitud entre los 8 y 10 cm, su diámetro oscila de los 3 a 5 mm, tiene un peso aproximado de 1gr, es de color rojo oscuro con un cuerpo liso, su profilidad es de 1500 lombrices/año y finalmente la humedad del humus de la lombriz roja californiana esta entre el 30 a 35%.

3.1.2.4. Reproducción.

Asimismo, Sanzo (1999), indica que la lombriz roja californiana fue descubierta en California el año 1954, ésta copula cada 7 días a partir de los 90 días de vida, sus huevos o capsulas denominadas cocón tienen un tamaño de 2-3 por 4 mm, cada lombriz solo

puede poner una cápsula o cocón, que contiene un promedio de 7 crías, su apertura varía entre 12 a 21 días.

3.1.2.5. Características comparativas con lombriz común de tierra (*Lombricus terrestris*) y lombriz comercial (*Eisenia foétida*).

La tabla 1 señala las principales diferencias entre las características de la lombriz común (*Lombricus terrestris*) y la lombriz comercial (*Eisenia foétida*)

Tabla 1. Características comparativas con lombriz común de tierra y lombriz comercial.

CARACTERÍSTICAS	LOMBRIZ COMÚN	LOMBRIZ COMERCIAL
- Ciclo de vida	4 años	16 años
- Copula	Cada 45 días	Cada 7 días
- Numero de crías por cocón	2 – 4 (x = 2)	2 – 20 (x = 7)
- Tamaño promedio	20 cm.	8 – 10 cm
- Cuerpo	Flácido	Fuerte
- Temperatura optima	10 – 20 °C	20 °C
- Hábitat	Suelos arcillosos	Compost - estiércol
- Habitad	Hacen galerías hasta dos metros de profundidad son errantes depositan sus deyecciones en la superficie del suelo.	No emigran, viven en cautiverio. Depositan sus deyecciones en el interior de las camas.

Fuente: Pineda, R. (1994).

3.1.2.6. Condiciones ambientales.

Sanzo (1999) señala que para que la lombriz roja californiana tenga un óptimo desarrollo tiene que estar entre una temperatura de 19 a 20 °C y una humedad de 80 a 85% con un pH en el rango de 6,8 a 7,2.

3.1.2.7. Temperatura.

De acuerdo con Ferruzzi (1994), la temperatura ideal para la lombriz varía entre 19-20 °C cuando la temperatura de los lechos desciende por debajo de los 14 °C es recomendable aumentar los aportes de sustrato, si la temperatura del medio baja a 7 °C, las lombrices dejan de comer, no se aparean e inician su letargo.

Las lombrices sobreviven a nevadas y granizos ocasionales, debido a que se refugian lo más lejos posible de la superficie, acercándose unas a otras para darse mutuamente calor; igual sucede cuando se trata de temperaturas muy bajas. (Ferruzzi, 1994).

Las lombrices alcanzan su nivel óptimo a 20 °C, nivel adecuado entre 15 °C y 24 °C y peligro de muerte menor que 5 °C y mayor que 37 °C. (Bollo, 2001).

3.1.2.8. Reacción o pH.

El pH es un factor que depende de la humedad y temperatura, si estos dos últimos factores son manejados adecuadamente, podremos controlar el pH siempre y cuando el sustrato contenga pH alcalino. (Sánchez 2003).

El mismo autor reporta que “La lombriz acepta sustratos con pH de 5 a 8,4, disminuidos o pasados en esta escala, la lombriz entra en una etapa de hibernación”.

El pH es fundamental en la reproducción, por lo que debe oscilar entre 5,5 a 7,5 o favorablemente ser neutro de 7, estos niveles de pH se pueden obtener dejando que envejezca el estiércol durante algún tiempo. (Bravo, 1996 citado por Pati, 2002).

Entre otras características fisiológicas de la lombriz roja californiana (*Eisenia foétida*) sus glándulas calcíferas segregan iones de calcio contribuyendo a la regulación del equilibrio ácido básico, tendiendo a neutralizar los valores de pH. (Peñaranda, 1996 citado por Pati, 2002).

Se interpreta la clasificación del pH que menor de 4,6 es extremadamente ácido, de 6,8 a 7,2 neutro y mayor de 9,4 extremadamente alcalino. (Somarriba y Guzman, 2004).

3.1.2.9. Conductividad eléctrica.

Bollo (2001) indica que el nivel óptimo de conductividad eléctrica es 2.5 mmhos/cm, nivel adecuado 3.0 mmhos/cm y peligro de muerte superior a 8.0 mmhos/cm. Una alta salinidad del sustrato puede causarle la muerte de las lombrices.

3.1.2.10. Luz.

La lombriz Roja teme a la luz y los rayos ultravioletas la matan. Por esta razón, la iluminación, natural o artificial, no tiene que incidir directamente sobre su hábitat. (Ferruzzi, 1994).

3.1.2.11. Alimentación.

Según estudios realizados los mejores estiércoles para la alimentación de la lombriz son los bovinos y ovino de las cuales se obtiene un humus de mejor calidad. (Rojas, 1999).

Se recomienda someter los desechos a un compostaje previo, antes de colocarlos en el lombricario; pero cuando no existe necesidad de eliminar organismos nocivos, y el material orgánico no es de una estructura muy gruesa, los desechos se pueden colocar también en forma fresca a las lombriceras. (Benzing, 2001).

Las lombrices absorben y digieren el alimento gradualmente de abajo hacia arriba y van dejando como residuo de este proceso digestivo el humus. (Braulio, 2004).

3.1.2.12. Riego.

Las lombrices no tienen dientes por lo tanto no pueden absorber el alimento seco, por lo general, se tiene que irrigar regularmente los lechos para mantener la humedad. (Sánchez, 2003 citado por Carillo, 2013).

3.1.2.13. Humedad.

La humedad es un factor de mucha importancia en el desarrollo vital de las lombrices; si es baja afecta la respiración de las lombrices ya que ésta la hacen por la piel, si es muy alta evita la entrada del oxígeno. (Meinicke, 1988).

Según Braulio (2004), para que el proceso de descomposición del alimento para las lombrices ocurra convenientemente, la masa debe mantenerse con una humedad de 70 – 75%.

El nivel óptimo es de 75 %, nivel adecuado entre 70 y 80 % y nivel inadecuado inferior a 70 % y superior a 90 %. (Bollo, 2001).

Cacciamani (2004), indica que para determinar el grado de humedad se comprime un puñado de alimento en la mano y observa que, estando totalmente húmedo, no suelta agua en forma de gotas.

Choque (2008) señala que “El método más sencillo para medir la humedad del sustrato es la prueba del puño, la cual consiste en agarrar un puñado de sustrato y apretarlo con fuerza, para observar cómo se comporta: si salen de 8 a 10 gotas, se establece que la humedad es cercana al 80%”.

3.1.2.14. Sanidad de la lombriz.

La lombriz californiana (*Eisenia foétida*) no sufre ni transmite enfermedades. Tampoco sufre impacto ecológico ante una eventual fuga a un medio natural. En cambio, es común encontrar daños ocasionados por las condiciones de cuna.

Las causas pueden ser según Sánchez (2003):

- Lesiones e infecciones producidas por acción de insectos o parásitos.
- La muerte de la lombriz provoca una pequeña infección que causa daño a otras.
- La presencia de sustancias nocivas en la comida puede provocar una disminución de las lombrices y una pérdida de peso.
- Intoxicación proteica o “gozzo ácido”. Esto es un síndrome desencadenado por la presencia de un contenido de sustancias proteicas (no transformadas en el alimento de las lombrices).

3.1.2.15. Enemigos de la lombriz.

Los depredadores directos son los pájaros y gallinas ya que, excavan la tierra con sus patas y pico, siendo la medida de control más eficaz el cubrimiento del techo o lecho con ramas o mallas antigranizo, además con esta medida se evita la evaporación y se mantiene la humedad. (Sánchez, 2003 citado por Carillo, 2011).

3.1.2.16. Lombrices y su requerimiento.

Eisenia fetida es la lombriz roja más utilizada en lombricultivos. Es hermafrodita, copula entre 1 y 5 veces por semana, produciendo cada animal una puesta o cocón conteniendo 2-4 embriones o lombricitas (máximo 9). Lo abandonan al cabo de 23 días, adquiriendo la madurez sexual (que se aprecia por el desarrollo de un anillo mucoso en el tercio anterior del cuerpo –el clitelo- que provee la cubierta del cocón y el alimento líquido de su interior) antes de los 60 días (a 25°C) alcanza un peso de 0,25 g y una longitud de 2,5 a 3,0 cm. Crece hasta 6-7 cm (excepcionalmente: 12 cm). Consume diariamente su peso en alimento, vive poco más de un año (4,5 en laboratorio). Las lombrices se multiplican más si la densidad (cantidad de lombrices por unidad de superficie o volumen de sustrato –MO) es baja (siempre menos del 80% del apiñamiento máximo), la humedad alta y la alimentación frecuente (cada 7 a 10 días). (Schuldt e tal., 2005).

Los principales factores limitantes para cultivos de *Eisenia foétida* son: la temperatura (óptima: 14-27°C, letales: inferiores a 0°C y superiores a 42°C); el pH (entre 5 y 9; la mayoría de las MO compostadas se sitúan en esos valores); la humedad (óptima: 85-95%; soportan horas un encharcamiento, desaconsejable; escasa actividad con humedades inferiores al 70%) y la densidad de lombrices en el cultivo depende de la edad del compost: cuanto más viejo menos lombrices soporta; densidades elevadas, más de 70.000 lombrices/Lecho (Lecho “L”: 2m²) repercuten negativamente sobre la reproducción. (Schuldt et al., 2005).

3.1.2.17. Taxonomía.

La tabla 2 indica la taxonomía de la lombriz roja californiana (*Eisenia foétida*)

Tabla 2. Taxonomía de la lombriz roja californiana (*Eisenia foétida*).

REINO:	Animales
DIVISION:	Invertebrados
PHYLA:	Metazoarios
PHYLUM:	Annélida
CLASE:	Oligochaeta (Oligoquetos)
ORDEN:	Haplotaxida (Opisthoporos)
SUBORDEN:	Lumbricina
FAMILIA:	Lumbricidae
GÉNERO:	<i>Eisenia</i>
ESPECIE:	<i>E. foétida</i>
NOMBRE COMÚN:	Lombriz roja californiana o lombriz de estiércol.

Fuente: Barnes (1989)

3.2. Características del humus de lombriz.

Guerrero (1993) indica que el humus de lombriz tiene las siguientes características:

- Vivifica el suelo, debido a la gran flora microbiana que contiene 2 billones de colonias de bacterias por gramo de humus de lombriz.
- La microflora permite que se realice la producción de enzimas importantes para la evolución de la materia orgánica del suelo.
- El alto contenido de ácidos fúlvicos favorece a la asimilación casi inmediata de los nutrientes minerales por las plantas.
- Permite mejorar la estructura del suelo, favorece a la aireación, permeabilidad, retención de humedad y disminuye la compactación del suelo.
- Los agregados del humus de lombriz son resistentes a la erosión hídrica.

Para Valdivia (1995) el humus de lombriz beneficia al suelo con:

- Mejora las características físicas de la tierra, y la mantiene suelta, debido a su estructura coloidal, aumenta la capacidad del suelo en retener el agua.

- Tiene una elevada capacidad de sustituir las bases de la tierra, y ayuda a la solubilización de los elementos nutritivos inorgánicos en minerales solubles.
- Aporta elementos nutritivos y minerales, es muy rico y completo.
- Es rico en oligoelementos.

Guanche (2014) aporta que las características del humus de lombriz son:

- Fertilizante orgánico, biorregulador y corrector del suelo.
- Alto contenido en ácidos húmicos y fúlvicos.
- Estable, no sufre más descomposición o transformación debido a la estructura fisicoquímica de las moléculas húmicas
- Altamente soluble.
- Elevada carga microbiana.
- Contiene hormonas que estimulan el crecimiento.
- Recupera suelos estériles (contaminados).
- Mejora la estructura (suelta los pesados y liga los arenosos).
- Enorme capacidad de intercambio catiónico (CIC 150 a 300 meq/100 gr) de ahí su gran potencial para retener nutrientes, convirtiéndolo en un extraordinario fertilizante natural.
- Elevada capacidad de retención de agua, (desde 1200cc. hasta 1500 cc. /kg.), que permite ahorrar hasta un 30% de agua.

3.3. Propiedades del humus de lombriz.

3.3.1. Propiedades químicas, físicas y biológicas.

Ruiz (2005) señala las siguientes propiedades químicas:

- Incrementa la disponibilidad de nitrógeno, fosforo, 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 bacterias que afectan a las plantas.

Las Propiedades físicas según Ruiz (2005) son las siguientes:

- Mejora la estructura, dando soltura a los suelos pesados, compactos y ligosos, así como 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.

Así mismo Ruiz (2005) indica que las propiedades biológicas son las siguientes:

- 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.

3.4. Calidad del humus de lombriz.

Las lombrices atacan las sustancias orgánicas en descomposición mediante sus enzimas digestivas; su alimentación está relacionada en correspondencia con la composición de los estiércoles y de los distintos vegetales, de los cuales, libera el Nitrógeno, Fósforo, Potasio y diversos oligoelementos (Cabrera, 1988).

Los intestinos de las lombrices contienen especialmente, los mismos tipos de organismos que están presente en el suelo donde las lombrices están viviendo. (Meinicke, 1988).

La calidad de humus depende del tipo de alimento que se les da a las lombrices como: estiércol, rastrojo u otros desechos. (Pineda, 1994).

El contenido nutritivo del humus depende de la calidad de la materia prima procesada por la lombriz. (Molitor, 1998).

3.4.1. Calidad del humus de lombriz en diferentes países.

Bollo (2001) menciona que, el análisis de humus de lombriz en varios laboratorios de Chile, Ecuador, Italia y España. Arrojan los siguientes resultados que debemos considerar como promedios. El contenido de nutrientes en forma asimilable por las plantas, que contiene el humus de lombriz, varía dependiendo de la composición química de los residuos utilizados en su alimentación, por lo cual, para la obtención de un máximo beneficio, al nivel de criadero, se formulan raciones basadas en la composición química de cada componente dentro de la mezcla de desechos orgánicos. Así como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Calidad de humus analizados en diferentes países.

Elemento	Unidad	Rango
PH		6,8 – 7,2
Materia orgánica (M.O.)	%	30 – 50
CaCO ₃	%	8 – 14
Cenizas	%	27 – 67
Carbono orgánico	%	8,7 – 38,8
Nitrógeno total	%	1,5 – 3,35
Amonio NH ₄ /N	%	6,1 – 20,4
Nitratos NO ₃ /N	%	79,6 – 97
N-NO ₃	ppm	2,18 – 16,93
Capacidad intercambio catiónico CIC	meq/100 gr	150 – 300
Relación ácidos húmicos/ fúlvicos		1,43 – 2,06
P total	ppm	700 – 2,500
K total	ppm	4,400 – 7,700
Ca total	%	2,8 – 8,7
Mg total	%	0,2 – 0,5
Mn total	ppm	260 – 576
Cu total	ppm	85 – 490
Zn total	ppm	87 – 404
Capacidad de retención de agua	c.c./ kilo seco	1,300 – 1,500
Actividad fitohormonal	1 mgr/1 de CHS	0,01
Superficie específica	Mas.2/gr.	700 – 800
Relación C/N		9 – 13
Flora microbiana	Millones/ s.s	20,000 – 50,000

Fuente: Bollo (2001)

3.4.2. Riqueza del humus de lombriz.

El Humus de lombriz es cinco veces más rico en nitratos, dos veces más rico en Calcio, 2.5 veces más en Magnesio, siete veces más en Fósforo y once veces más en Potasio”. (Ferruzzi, 1987).

“El humus de lombriz está compuesto de Nitrógeno, Potasio, Fósforo y principalmente de microorganismos, es inodoro y soluble en agua, directamente asimilable por la planta. El humus de lombriz posee una altísima carga microbiana del orden de los 20000 millones por gramo seco”. (AOPEB, 1998).

“En particular el humus de lombriz contiene buenas cantidades de auxinas y hormonas vegetales que actúan sobre el crecimiento de las plantas. El conjunto de sus propiedades químicas, así como su alta carga bacteriana y la presencia de enzimas, hacen de este un producto valioso para los terrenos que se han vuelto estériles debido a explotaciones intensivas”. (Suquilanda, 1995).

3.4.3. Cualidades del humus de lombriz frente a los cultivos agrícolas.

Bollo (2001) menciona como cualidades y bondades del humus de lombriz, su acción integrada de todos sus elementos tanto físicos como químicos. Sin duda no existe nada sobre la tierra que lo iguale. Se ha tratado de copiar y producir algunos elementos que lo constituyen, por ejemplo, los ácidos húmicos, pero no se ha logrado en un producto artificial igualar al humus en su efecto global.

El mismo autor menciona que; con su utilización en los cultivos se ha podido apreciar algunos aspectos que han predominado sobre otros y que resumiendo podrían ser:

- Aumento del efecto germinativo en semillas.
- Reducción el tiempo de emergencia.
- Mayor desarrollo radicular y vegetativo.
- Tiempo corto hasta la floración.
- Plantas más robustas y resistentes a plagas.
- Mayor fructificación en cantidad y tamaño.

- Mayor vida útil comercial de la planta.

3.5. Compostaje.

“El compost es un abono orgánico resultante de la descomposición de desechos orgánicos vegetales y animales, transformados por a micro fauna y la micro flora del suelo en una sustancia que mejora la estructura y la estabilidad de la tierra”. (Fundación Natura, 2008, citado por Vargas, 2011).

Para Tencela (2012) el compostaje “Es un proceso biológico mediante el cual es posible convertir residuos orgánicos en materia orgánica estable (composta), gracias a la acción de diversos microorganismos. Las aplicaciones más comunes del compost incluyen el tratamiento de residuos agropecuarios, desechos de jardinería y cocina, residuos sólidos municipales y lodos”.

“El compost es el producto de la descomposición natural de la materia orgánica, hecho por los organismos descomponedores (bacterias, hongos) y por pequeños animales detritívoros, como lombrices y escarabajos”. (Manual de vermicompostaje Amigos de la tierra, 2015)

3.6. Vermicompostaje.

“El manual de vermicompostaje de Amigos de La Tierra (2015) nos dice que: “El vermicompost, en cambio, es el producto de la descomposición de la materia orgánica realizado por la actividad de ciertas especies de lombrices, principalmente las del género *Eisenia*. La más utilizada es la lombriz roja de California (*Eisenia Foetida*), pues facilita que el proceso se realice más rápidamente. El vermicompostaje puede desarrollarse en cualquier domicilio o centro educativo, utilizando los residuos orgánicos procedentes de restos vegetales frescos, es decir que no hayan sido cocinados.”

3.7. Importancia del humus de lombriz.

Charles Darwin (1881), escribió su último libro: “La formación de la tierra vegetal por la acción de las lombrices”, afirma que cada año pasan por los intestinos de las lombrices

7 toneladas de tierra seca por hectárea. Sus excrementos aportan potasio a la superficie, fósforo al subsuelo y añaden a la tierra productos nitrogenados de su metabolismo.

El humus de la lombriz es la deyección de la misma “la acción de las lombrices da al fundamento un valor agregado”, así se lo valora como un abono completo y eficaz para mejorar el suelo. El lombricompost tiene un aspecto terroso, suave e inodoro de esta manera facilita su manipulación, se dice que el humus es uno de los fertilizantes más completos porque aporta todos los nutrientes para la dieta de las plantas, de los cuales carecen muy frecuentemente los fertilizantes químicos. (Ochoa, 2003).

“Las lombrices rojas, a través de sus tubos digestivos, y con la acción combinada de microorganismos, transforman la materia orgánica en un producto llamado vermicompost o humus de lombriz. Éste es un compost con una mejor estructura y un mayor contenido de nutrientes, con respecto al compost obtenido sin la intervención de las lombrices”. (Manual de vermicompostaje amigos de La Tierra, 2010).

El mismo autor nos indica que “La presencia de este humus en los suelos garantiza la reserva de sustancias nutritivas para las plantas, favorece la absorción y retención del agua, facilita la circulación del aire, limita los cambios bruscos de temperatura y humedad, bloquea a muchos compuestos tóxicos y provee alimentos a incontables y minúsculos animales que son la base de la cadena alimenticia”.

La vida y el crecimiento de las plantas y animales, es posible gracias al trabajo secreto de los descomponedores, de forma que sin ellos no habría vida sobre la Tierra”. (Manual de vermicompostaje amigos de La Tierra, 2010).

“El humus de lombriz es un abono orgánico que contiene nutrientes disponibles para la planta y es beneficioso para la flora y fauna microbiana del suelo que es el resultado de la ingesta y digestiva de la materia orgánica descompuesta (compost) por las lombrices siendo de color marrón a negrozco, granulado y sin olor”. (INIA, 2008).

“El humus es un producto homogéneo, amorfo, de color oscuro e inodoro, producido a través de la descomposición de los micro-organismos y de las lombrices que no fueron extraídas al realizar la cosecha”. (Huaynoca, 2002).

3.8. Descomposición de la materia orgánica mediante las lombrices.

“Para comer, la lombriz chupa la comida a través de su boca. Cuando aquella llega al esófago, unas glándulas especiales se encargan de segregar carbonato cálcico, cuya finalidad es neutralizar los ácidos presentes en la comida ingerida”. (Sánchez, 2003).

El sistema digestivo es simple, se constituye de una cámara bucal, faringe, esófago, buche, molleja e intestino como se puede apreciar en la Figura 1.

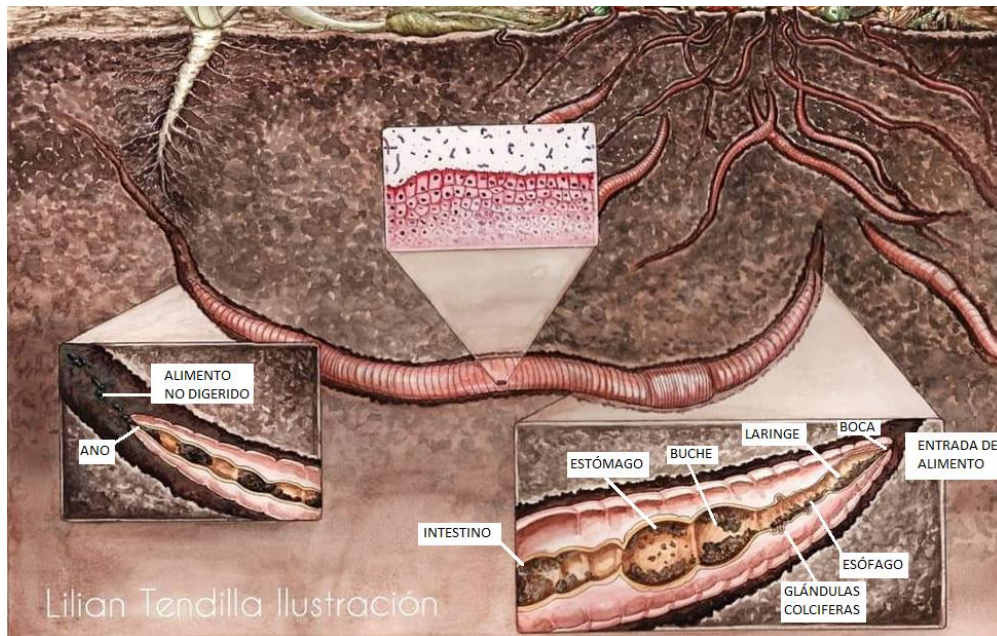


Figura 1: Sistema digestivo de una lombriz (Tendila, 2021)

“La acción química que realiza la lombriz, es de reciclar desechos orgánicos convirtiéndolos en humus, sirve para enriquecer la fertilidad del suelo”. (Sánchez, 2003).

Este proceso se inicia con la fragmentación y mineralización enzimática del material consumido, con lo cual se obtiene fragmentos de moléculas orgánicas complejas. Esta primera etapa comienza en la actividad bucal y termina en la molleja. (Cirilo, et al, 2003), así mismo indica que el material orgánico degradado pasa por la fracción intestinal donde es colonizado por una alta carga microbiana simbiótica la cual forma a partir de estos materiales, complejos amorfos coloidales que son expulsados como deyecciones que reciben el nombre de humus de lombriz.

3.9. Materia orgánica.

La materia orgánica que ingresa al suelo es atacada por los microorganismos mineralizando una parte y humificando el resto. En el proceso se encuentran: residuos sin atacar, residuos algo descompuestos, productos intermedios, complejos orgánicos nuevos (el humus), compuestos orgánicos solubles y compuestos minerales fácilmente asimilables por las plantas. (Rodríguez, 1982).

La materia orgánica incorporada en forma adecuada al suelo representa una estrategia básica para darle vida a éste, ya que sirve de alimento a todos los organismos que viven en él. Particularmente a la microflora responsable de realizar una serie de procesos de gran importancia en la dinámica del suelo. (Guerrero, 1993 citado por Rojas, 2005).

Por su parte Sánchez (2003), señala que el abonamiento consiste en aplicar las sustancias minerales u orgánicas al suelo con el objetivo de mejorar su capacidad nutritiva, mediante esta práctica se retribuyen los elementos nutritivos extraídos por los cultivos, con el propósito de mantener una renovación de los nutrientes en el suelo.

La materia orgánica comprende todos los compuestos orgánicos que se encuentra en el suelo, todos los restos de plantas y animales, así como los productos orgánicos de la transformación de esos residuos. (Cairo y Fundora, 1994 citado por Morales, 2003).

De forma general la materia orgánica es indispensable para la manutención de la micro y macro vida del suelo. Igualmente, la bioestructura y toda la productividad del suelo se basa en la presencia de materia orgánica en descomposición. (Morales, 2003).

3.10. Estiércol bovino como alimento de la lombriz.

Según Choque (2008), el estiércol vacuno es el mejor sustrato para la primera etapa de producción de humus de lombriz. Además, es el estiércol con mejores características químicas en relación a otros animales.

La tabla 4 muestra el contenido promedio de nutrientes en estiércoles de diferente procedencia en Bolivia.

Tabla 4. Análisis químico de estiércoles.

DETERMINACIÓN	GALLINAZA	BOVINO	OVINO	CAPRINO	CAMELIDOS	CERDOS	EQUINO
PH	7.6	8.3	8	8	7.9	7.3	7.4
M.O.	82.6	46	48	74.5	81	48	92.7
NITRÓGENO T	2.7	1.73	1.68	1.75	1.5	2.2	1.13
P2O5 TOTAL	2.72	1.65	1.28	1.53	0.85	2.28	1.6
K2O TOTAL	1.64	1.52	1.39	1.06	1.16	2.11	1.48
Rel. C/N	15.9	21.2	23.8	15.8	29.8	19.9	38.3

Fuente: Pati (2002).

3.11. Interpretación de los análisis de los compost.

La siguiente tabla señala los valores habituales y observaciones respecto a características químicas de los compost según R.D. 506/2013.

Tabla 5. interpretación de los análisis de compost.

Parámetro	Valores habituales	Observaciones
Humedad, %	30-60	Este parámetro es una medida del porcentaje de agua del compost. Una humedad superior al 60% puede ser indicativa de condiciones de insuficiente aireación, por falta de acondicionador. Valores inferiores al 30% pueden reflejar insuficiente estabilización del compost, por falta de humedad.
Materia orgánica, % s.m.s.	30-60	Indica el porcentaje de la materia seca que permanece como materia orgánica tras el proceso de compostaje. Valores inferiores al 30% normalmente indican que el compost está mezclado con arena, tierra, cenizas u otro compuesto mineral. Valores superiores al 60% indican que los residuos no están suficientemente compostados.
Relación C/N	10-20	Es el cociente entre las cantidades de carbono y de nitrógeno del compost. Si es muy elevado indica que es un compost inmaduro y se puede reducir la disponibilidad de nitrógeno para las plantas.
pH	6,5-8,5	Es una medida de la acidez o basicidad del compost. A valores excesivamente elevados pueden producirse olores y pérdidas de amoníaco.
Conductividad, $\mu\text{S}/\text{cm}$	500-4.000	Es una medida de las sales solubles presentes en el compost. Valores superiores a 4.000 pueden producir un efecto de deshidratación en las plantas, sobre todo si se usa el compost como sustrato en proporciones elevadas en macetas, jardineras, etc. Menos crítico si se aplica como abono sobre el suelo, especialmente en zonas húmedas.
Nitrógeno, %N	1,0-2,5	Los valores de los nutrientes minerales dependen en gran medida del biorresiduo de partida (proporción de residuos de jardín y de cocina), del proceso de compostaje (industrial o autocompostaje) y del cribado de la muestra.
Fósforo, %P ₂ O ₅	0,40-1,2	
Potasio, %K ₂ O	0,50-1,3	

Fuente: R.D. 506 (2013).

3.11.1. Límites y concentraciones máximas admisibles de metales pesados en diferentes países.

La tabla 6 fue hecha a partir de reglamentos de abonos de varios países, considerando el nivel máximo de metales pesados que estos abonos orgánicos puedan tener.

Tabla 6. concentraciones máximas admisibles de metales pesados.

Metal	Unidad	Concentraciones máximas admisibles		
		Alemania Fed. suelo	Suiza compost	Italia compost
Cadmio	mg/kg	3	3	3
Cobre	mg/kg	100	150	600
Níquel	mg/kg	50	50	200
Plomo	mg/kg	100	150	500
Zinc	mg/kg	300	500	2500

Fuente: Pati (2002).

- a) República Federal de Alemania: ordenanza sobre lodos de desagüe (1982)
- b) Suiza: ordenanza sobre sustancias peligrosas para el medio ambiente (1986)
- c) Italia: suplemento ordinario a la gaceta oficial No 25 (1984)

La tabla 7 señala el contenido máximo en metales pesados del compost según R.D. 506/2013.

Tabla 7. contenido máximo de metales pesados en el compost.

Metal	Límites de concentración, mg/kg MS		
	Clase A	Clase B	Clase C
Cadmio	0.7	2	3
Cobre	70	300	400
Níquel	25	90	100
Plomo	45	150	200
Zinc	200	500	1000
Mercurio	0.4	1,5	2,5
Cromo Total	70	250	300

Fuente: R.D. 506 (2013).

3.12. Factores de mineralización.

De acuerdo con Pati (2002), las condiciones que determinan la descomposición o mineralización en el suelo son:

- Temperatura: a temperaturas altas, aumenta la actividad de descomposición microbiana. Temperaturas bajas las detienen.
- Aireación del suelo: el suelo debe contener una óptima proporción de aire en sus poros para el normal funcionamiento de los microorganismos.
- Humedad del suelo: una humedad excesiva significa una menor actividad de los microorganismos aerobios.
- Tipos de residuos: los microorganismos actúan sobre los residuos extrayendo de ellos sustancias vitales, como el nitrógeno, para su actividad fisiológica y para la constitución de sus propias proteínas.

3.13. Relación C/N en el punto de vista en la aplicación del suelo.

Al incorporar nuevos compuestos orgánicos al suelo los microorganismos actúan sobre ellos utilizando una cierta cantidad de nitrógeno. Si el nuevo conjunto tiene una relación C/N superior a 30, es atacado por los microorganismos liberándose mucho bióxido de carbono (CO_2) que es un gas que se pierde o se transforma en ácido carbónico (CO_3H_2) en la solución del suelo inmovilizándose además el nitrógeno del suelo. Cuando la relación C/N esta entre el 15 y 30 los microorganismos solo utilizan el nitrógeno del residuo agregado y cuando el C/N es menor de 15 los microorganismos comienzan a liberar nitrógeno soluble para las plantas (antes lo usaron para su propio desarrollo y luego lo liberan). El humus formado posee una relación C/N 10. (Rodríguez,1982).

Chilón (1997) clasifica a la relación C/N en:

- C/N < 17 = mineralización (proceso de transformación microbial de la materia orgánica incorporada al suelo, en nutrientes para la planta)
- C/N 17 – 33 = equilibrio

- $C/N > 33$ = mineralización (proceso de transformación de los minerales del suelo en sustancias orgánicas).

3.13.1. Relación Carbono-Nitrógeno (C: N)

La relación C: N varía en función del material de partida y se obtiene la relación numérica al dividir el contenido de C (%C total) sobre el contenido de N total (%N total) de los materiales a compostar. (Róman, 2013).

Esta relación también varía a lo largo del proceso, siendo una reducción continua, desde 35:1 a 15:1. Como se muestra en la tabla 5.

Tabla 8. Características de relación C: N

C:N	Causas Asociadas		Soluciones
>35:1	Exceso de Carbono	Existe en la mezcla una gran cantidad de materiales ricos en carbono. El proceso tiende a enfriarse y a ralentizarse	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C:N.
15:1 – 35:1 Rango ideal			
<15:1	Exceso de Nitrógeno	En la mezcla hay una mayor cantidad de material rico en nitrógeno, el proceso tiende a calentarse en exceso y se generan malos olores por el amoníaco liberado.	Adición de material con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín)

Fuente: Róman (2013).

3.14. Microorganismos.

Los microorganismos son parte importante del suelo, participan activamente en los procesos de cambio y transformación de los mismos; se distribuyen de modo heterogéneo en la capa arable del suelo, y transformándolas, y su número disminuye con la profundidad. (Chilón, 1997).

La elevada presencia de microorganismos (bacterias, actinomicetos, hongos, etc.) y la de macroorganismos (insectos, lombrices) resulta vital e indispensable en todo proceso

de degradación, descomposición o fermentación de la materia orgánica, hasta transformarse en humus y elementos nutritivos asimilables por las plantas. (Palmero, 2010).

Los microorganismos participan en procesos ecológicos que permiten el funcionamiento de los ecosistemas, y biotecnológicos que son esenciales para la industria farmacéutica, alimenticia y médica. Ellos son los principales responsables de la descomposición de la materia orgánica y del ciclaje de los nutrientes (Carbono, Nitrógeno, Fósforo, Azufre, etc.). Así, en la fijación y ciclaje del Nitrógeno están implicadas bacterias simbióticas como *Rhizobium* y *Frankia*, y bacterias de vida libre como *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Burkholderia*, *Thiobacillus*, incluidas las cianobacterias: *Anabaena* y *Nostoc*. Otros ejemplos son la bacteria *Rhizobium etli* la cual aporta nitrógeno a las plantas de frijol, las micorrizas que ayudan a las plantas a capturar los nutrientes del suelo y *Burkholderia* que promueve el crecimiento vegetal de los cultivos. (Montaño, 2010).

Los microorganismos del suelo, cumplen funciones y roles distintos. dependen de diversos factores ambientales como son los nutrientes, humedad, aireación, temperatura y pH. (Alvares 1994, citado por Carrillo 2013)

3.15. Microfauna.

La microfauna incluye organismos cuyo tamaño es inferior a 0.2 mm; los agrupa en bacterias, hongos, actinomicetos, algas y protozoarios. Las bacterias y los hongos son el organismo más pequeño y numeroso. (Patrick, 1987 citado por Carrillo 2013).

3.15.1. Fauna presente en el humus de lombriz.

Análisis realizados a diferentes muestras de humus de lombriz muestran una fauna saprófaga en su mayoría. Esta cumple una función importante en el suelo, pues ayuda a descomponer residuos de cosecha y otros, así como la diversidad de microorganismos benéficos como el caso de micorrizas. (Martínez, 1996). La característica más importante del humus de lombriz es una alta carga microbiana, abono la cual la ubica como excelente material regenerador de suelos; esto ha sido demostrado con aplicaciones a suelos erosionados con bajos contenidos de materia orgánica.

3.16. Bacterias.

Según Alexander (1980) algunas bacterias tienen la capacidad de crecimiento en ausencia de O₂, siendo una característica bioquímica importante que ha llevado a distinguir tres categorías distintas:

- Aerobios, los cuales requieren O₂
- Anaerobios, que crecen solamente en ausencia O₂
- Anaerobios facultativos, los cuales se desarrollan tanto en ausencia como en presencia del O₂ gas.

Un grupo de bacterias, oxidan la materia orgánica, haciéndola más accesible para las plantas, ya que solubilizan o mineralizan la materia orgánica. (Miranda, 2003).

Estas bacterias saprofitas viven a expensas de materiales orgánicos en descomposición, o normalmente en el organismo humano o animal, especialmente en el tubo digestivo, donde se desarrollan a costa de las materias en putrefacción. (Andino y Castillo, 2010).

3.17. Residuos de cebada de la industria cervecera.

Una vez que se realiza la fermentación con levadura *Sacharomyces cerviciae* de la cebada con el azúcar y el agua, el residuo de cebada es desechado, algunas industrias las reutilizan como alimento para ganado y otras destinan dichos residuos a los rellenos sanitarios de la región.

De acuerdo a la Cámara de la Industria Cervecera Argentina (2016), la producción actual de cerveza en el país es de 19,66 millones de hectolitros anuales. De esos números se desprende que lo que queda de la cebada luego de su uso para la producción, representa casi 400 mil toneladas de cáscara del grano al año. Comúnmente este bagazo se utiliza básicamente como forraje para animales o como abono orgánico, pero el especialista de la Facultad de Ingeniería analiza la posibilidad de extraer los antioxidantes que posee la cebada residual y volcarla en la industria alimentaria. (Cariochi, 2016)

3.17.1. Residuos líquidos de la industria cervecera.

La cerveza es toda bebida fermentada a base de malta (cebada germinada), lúpulo, agua y levaduras. En algunos países como Alemania, Noruega, Grecia, Suiza etc. La ley limita la utilización de sustratos para la fermentación a cebada malteada y lúpulo, además de la levadura y el agua. En otros, es normal que se le añadan cereales no malteados (cebada, arroz, maíz, trigo, etc.) refinado de fécula de patata y almibares derivados de la caña de azúcar, remolacha azucarera o cereales. (García, 2013)

Las bebidas, cuando pasan su fecha de caducidad, se transforman en residuos biodegradables que tienen que ser tratados, para evitar que sean vertidos en ríos, o lugares alejados que atenten al medio ambiente.

3.17.2. Tierras de diatomeas.

En la industria cervecera, es lo que forma parte del residuo que se desecha después de una filtración de sus desperdicios, a estas tierras usadas en la cervecería se las conoce comúnmente como lodos.

Estos lodos tienen una gestión complicada en ciertos casos por su alta toxicidad, usándose como abono o enmienda del suelo, siempre que no estén presentes concentraciones de metales pesados por encima de los valores límite de la legislación. (Jaén, 2017).

Sánchez (2020), nos dice que las diatomeas son algas fosilizadas que se utilizan en forma de tierra y con distintos usos, como fertilizantes orgánicos y naturales o insecticidas ecológicos para los cultivos, entre muchos otros usos habituales. Dado que se utilizan en forma de tierras de color blanco, también se las denomina Tierras Blancas. Por tanto, se trata de un fertilizante natural muy beneficioso para los suelos.

3.17.2.1. ¿Qué son las diatomeas o diatomita?

Las Diatomeas (*Diatomeae*) son algas unicelulares que forman parte del fitoplancton marino. Actualmente, se conocen unas 20.000 especies vivas y son un constituyente importante de la cadena alimentaria marina. Aunque las Diatomeas son algas unicelulares, pueden encontrarse formando colonias en filamentos o cintas (ej. *Fragillaria*), estructuras en zigzag (ej. *Tabellaria*), colonias estrelladas (ej. *Asterionella*) o abanicos (ej. *Meridion*)." (Sánchez, 2020).

El mismo autor nos indica que "Una de las características más importantes de estos organismos y que les da gran parte de sus propiedades como fertilizante, es su pared celular de sílice opalino (dióxido de silicio hidratado), conocida como frústula. Estas paredes poseen una gran variedad de formas que les da distintos aspectos al microscopio, aunque en general constan de dos partes asimétricas con una división entre ellas, que es la que le da nombre al grupo.

3.17.2.2. Tierra de diatomeas o diatomita y sus usos

Para Sánchez (2020) Los usos más comunes de la tierra de diatomeas son los siguientes:

a. Fertilizante ecológico y natural

La tierra de diatomeas es un fertilizante perfecto para las tierras de cultivo. Por un lado, aporta nutrientes, como calcio o silicio, muy beneficiosos para el suelo y por otro, mejora el intercambio catiónico, facilitando la absorción de los nutrientes por el suelo, mejora el nivel de aireación del suelo, su esponjosidad y la retención de agua.

b. Nutrientes de la tierra de diatomeas para jardinería y agricultura.

La tierra de diatomeas o diatomita aporta hasta un total de 40 nutrientes minerales, de los cuales 6 son considerados como primarios y secundarios esenciales en agricultura y 13 son oligoelementos principales y secundarios. Algunos de estos nutrientes son: Silicio, Carbonato cálcico, Calcio, Aluminio, Magnesio, Hierro, Potasio, Fósforo, Sulfato de cal, Cloro.

AKO (2020) señala que la tierra de diatomeas (también llamada diatomita, tierra blanca, harina fósil o celite) se utiliza después del proceso de elaboración de la cerveza para filtrar células de levadura y opacificantes.

Durante la filtración profunda, la tierra de diatomeas se mezcla con agua y flota sobre el papel de celulosa formando lo que se denomina torta de filtración a través de la cual fluye la cerveza. Para asegurarse de que la torta de filtración no se adhiriera por completo con las sustancias que se filtran, se sigue agregando tierra de diatomeas de forma regular para crear nuevas capas filtrantes y garantizar así un flujo de cerveza sin obstáculos.

3.18. Medio ambiente y actividades laborales.

Eusko Jaularitza (2001) señala que las distintas actividades profesionales han tenido su influencia en el medio ambiente, desde la selección de las materias primas y el tipo de energía que utilizan, hasta los impactos que producen los procesos y los productos elaborados. Además del progresivo empobrecimiento que supone la utilización de materias primas no renovables, “el principal indicador de una mala gestión es la contaminación”. Esta se puede detectar en atmósfera, aguas y suelos.

3.19. Leyes ambientales.

3.19.1. Delitos ambientales.

Según la Ley 1333 de 27 de abril de 1992, del Medio Ambiente, considera delitos lo siguiente:

- Envenenar, contaminar o adulterar agua destinadas al consumo público, al uso industrial agropecuario o piscícola, por encima de los límites permisibles a establecerse en la reglamentación respectiva.
- Verter o arrojar aguas residuales no tratadas, líquidos químicos o bioquímicos, objetos o desechos de cualquier naturaleza, en los cauces de aguas, en las riberas, acuíferos, cuencas, ríos, lagos, lagunas, estanques de aguas, capaces de contaminar o degradar las aguas que excedan los límites a establecerse en la reglamentación.

3.19.2. Calidad ambiental.

Asimismo, según la Ley 1333 promulgada el 27 de abril de 1992, señala los siguientes artículos referidos a la calidad ambiental.

Artículo 18º.- El control de la calidad ambiental es de necesidad y utilidad pública e interés social. La Secretaría nacional y las Secretarías Departamentales del Medio Ambiente promoverán y ejecutarán acciones para hacer cumplir con los objetivos del control de la calidad ambiental.

Artículo 19º.- Son objetivos del control de la calidad ambiental:

- 1.- Preservar, conservar, mejorar y restaurar el medio ambiente y los recursos naturales a fin de elevar la calidad de vida de la población.
2. Normar y regular la utilización del medio ambiente y los recursos naturales en beneficio de la sociedad en su conjunto.
- 3.- Prevenir, controlar, restringir y evitar actividades que conlleven efectos nocivos o peligrosos para la salud y/o deterioren el medio ambiente y los recursos naturales.
- 4.- Normar y orientar las actividades del Estado y la Sociedad en lo referente a la protección del medio ambiente y al aprovechamiento sostenible de los recursos naturales a objeto de garantizar la satisfacción de las necesidades de la presente y futuras generaciones.

3.19.3. Responsabilidad ambiental de los generadores de residuos.

Según la Ley 775 de gestión integral de residuos, decreto supremo 2954 promulgada del 28 de octubre del 2015 nos dice en el Artículo 6. La Gestión Integral de Residuos se desarrolla conforme a los principios de la Ley N° 300 de 15 de octubre de 2012, “Ley Marco de Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien”, los siguientes principios:

- a) Articulación. La Gestión Integral de Residuos se articula con las políticas de protección de la Madre Tierra, Agua y Saneamiento, Educación, Medio Ambiente, Salud, Cambio Climático, Seguridad Alimentaria y Gestión de Riesgos.

- b) Participación. La Gestión Integral de Residuos debe promover la participación activa, consciente, informada y organizada de la población.
- c) Producción más limpia. En la aplicación continua de una estrategia ambiental, preventiva e integrada en los procesos productivos, se debe promover la transformación de los patrones de producción para reducir la generación de residuos en cantidad y peligrosidad, y facilitar el aprovechamiento de los mismos.
- d) Protección de la Salud y el Medio Ambiente. La Gestión Integral de Residuos debe orientarse a la protección de la Madre Tierra, previniendo riesgos para la salud y de contaminación del agua, aire, suelo, flora y fauna, en concordancia con las estrategias de lucha contra el cambio climático, para el vivir bien de las actuales y futuras generaciones.
- e) Responsabilidad del generador. Toda persona individual o colectiva es responsable de los residuos que genere, asumiendo los costos de su gestión integral, así como de la contaminación que pueda provocar en la salud o el medio ambiente, su manejo inadecuado.
- f) Responsabilidad compartida. La Gestión Integral de Residuos es responsabilidad social, pública y privada; requiere la participación conjunta, coordinada y diferenciada de todos sus actores.
- g) Sostenibilidad. La Gestión Integral de Residuos debe adaptarse a las condiciones locales en base a criterios técnicos, económicos, sociales y ambientales, para garantizar su continuidad, expansión y mejora permanente.
- h) Sustentabilidad. Toda actividad, obra o proyecto para la Gestión Integral de Residuos, deberá mantener un equilibrio entre las necesidades de los seres humanos y la conservación de los recursos naturales y ecosistemas que sustentarán la vida de las futuras generaciones.

4. LOCALIZACIÓN.

4.1. Ubicación.

El Municipio de Viacha es la capital de la primera sección Municipal de la Provincia Ingavi y pertenece a la Circunscripción 22.

Tiene como centro urbano a los Distritos 1 y 2 (urbanos), 3 (rural con 63 comunidades), y 7 (urbano rural en la carretera). Se encuentra a 3.953 m.s.n.m., a una distancia de la ciudad de La Paz de 35 Km. Se halla formando parte de la cuenca del lago Titicaca en la sub-región andina del Altiplano Norte. Presenta serranías de baja altura y una topografía plana, propia de los depósitos lagunares, porque en el pasado geológico era una laguna. De ahí que, actualmente el nivel freático (aguas subterráneas) está casi en superficie. Esta es la razón por la cual en época de lluvias la ciudad de Viacha se inunda fácilmente, pues tiene muy poco relieve. En su mayoría los suelos están constituidos por depósitos lacustres de baja resistencia, muy susceptibles a la erosión superficial.

El presente trabajo se realizó en la comunidad de Jalsuri de la Marka Irpa Chico del Municipio de Viacha, del departamento de La Paz, Bolivia a cuatro kilómetros del pueblo principal. (EPAF, 2019)

La figura 2 muestra la distancia entre el campo experimental a la carretera principal de La Paz a Oruro donde se realizó la investigación.

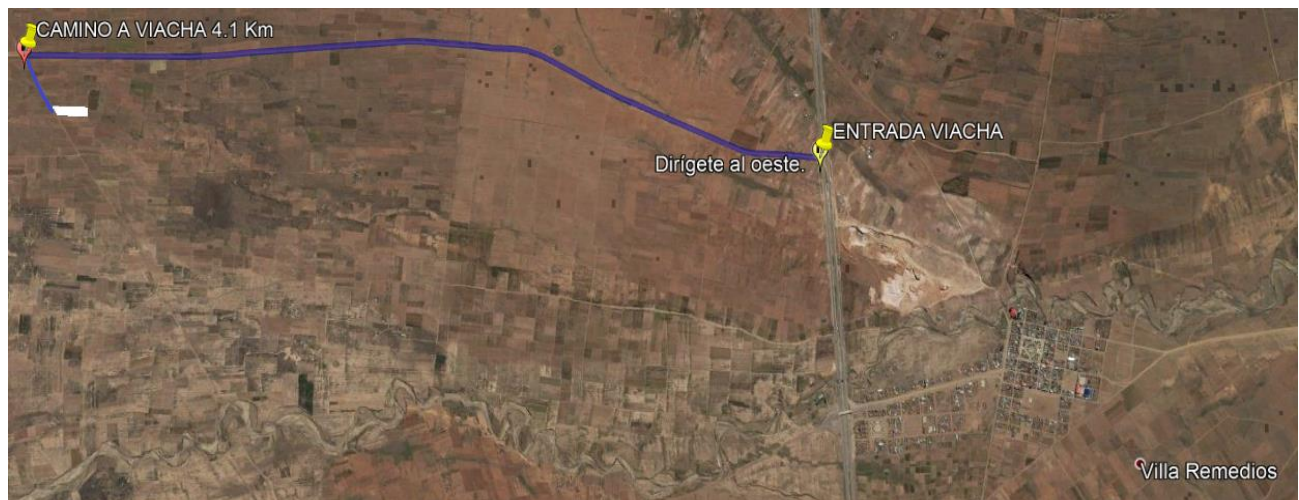


Figura 2. Acceso al campo experimental.

La figura 3 señala la ubicación exacta de la empresa y donde se encuentra el campo experimental.



Figura 3. Ubicación del campo experimental

LOMBRIBOL es una empresa especializada en el tratamiento de residuos biodegradables industriales alimenticios y urbanos, que se encuentra situada en las siguientes coordenadas: Latitud $-16^{\circ}76'16.475''$ Longitud $-68^{\circ}.2180280$.

4.2. Características climáticas.

La región de influencia es preponderantemente altiplánica, con un clima seco con una temperatura promedio de 14°C .

Viacha se encuentra en el Altiplano boliviano, las temporadas de lluvia son muy demarcadas entre los meses de diciembre a febrero. Y posee un clima frío y seco, la mayor parte del año.

La tabla 6 presenta los datos obtenidos por el SENAMHI que nos muestra las características climáticas del municipio de Viacha, donde se encuentra el campo experimental.

Tabla 9. Características climáticas del municipio de Viacha.

Estación: Viacha		Latitud Sud: 16d39'30"											
Departamento: La Paz		Longitud Oeste: 68d16'55"											
Provincia: Ingavi		Altura: 3850 m.s.n.m											
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Precip. Total	133.3	90.4	69.1	28.3	11.8	4.4	6.7	12.6	26.4	36.0	51.2	85.6	567.2
Precip. Media	7.2	6.1	5.7	5.3	4.1	2.1	2.3	3.9	4.5	4.9	5.6	6.0	58.3
Precip. Max 24h	52.2	74.4	51.2	37.5	68.8	18.7	29.0	51.7	33.1	44.0	43.4	75.0	75.0
Humedad Rel. Med.	64.1	66.1	65.6	61.8	54.6	51.3	50.8	49.4	51.1	52.4	54.3	57.1	56.1
Temp. Media	10.5	10.4	10.0	8.8	6.2	4.2	4.4	5.7	7.8	9.4	10.2	10.5	8.3
Temp. Max. Media	17.0	17.1	17.1	17.4	16.9	15.7	16.0	16.8	17.5	18.2	18.4	17.8	17.2
Temp. Mín. Media	4.0	3.8	3.0	0.3	-4.3	-7.4	-7.2	-5.3	-1.7	0.6	2.0	3.3	-0.7
Temp. Max. Extr.	31.0	29.0	27.0	24.0	25.5	21.0	25.0	21.6	25.0	28.0	25.2	25.0	27.2
Temp. Min Extr.	-3.0	-5.0	-5.6	-11.0	-17.0	-17.7	-17.0	-16.0	-13.4	-11.0	-7.7	-5.0	-17.7

Fuente: SENAMHI (2020)

4.3. Actividad económica del municipio de Viacha.

La actividad más importante es la ganadería, en especial la cría de vacunos, habiéndose introducido recientemente ganado vacuno mejorado de la raza Holstein en San Andrés de Machaca, además se tiene la cría de porcinos, ovinos y camélidos; producción que es comercializada en las ciudades de La Paz y en menor grado en Viacha, y ferias locales.

La actividad agrícola se caracteriza por los cultivos de papa, oca, quinua, producción destinada principalmente al consumo familiar. También está la explotación de yacimientos de arcilla para la fabricación de ladrillo, piedra caliza y el cemento procesado por la Fábrica de Cemento de Viacha, siendo de fundamental importancia en el desarrollo del Municipio.

La producción pecuaria tanto de ganado vacuno, como de ovino y camélido en el área rural constituye un factor potencial importante, más aún con la introducción de ganado

vacuno mejorado, habiéndose incrementado la producción lechera, de gran demanda en el mercado.

En el sector peri-urbano del Municipio se encuentran establecidas conocidas industrias como la Fábrica de Cemento, la Cervecería Boliviana Nacional, Manaco, Duralit y las ladrilleras artesanales, que generan empleo para amplios sectores de la población y, por ende, se constituyen en polos de desarrollo del Municipio.

La actividad agrícola, sobre todo en lo referente a cultivos de papa en sus distintas variedades, además de la obtención de chuño, constituye otro potencial para el desarrollo de la región. El río Desaguadero es un potencial para la actividad piscícola, que puede ser aprovechado por las comunidades por donde pasa su cauce.

Con esta perspectiva, el Municipio viene impulsando inversiones en el mejoramiento de la infraestructura vial, siendo la más importante la carretera que une a Viacha con el municipio Charaña.

5. MATERIALES Y MÉTODOS.

5.1. Materiales de estudio.

5.1.1. Material biológico.

- Lombriz californiana (*Eisenia foétida*).
- Levadura de cebada (*Sacharomyces cerviciae*)

5.1.2. Material de campo.

- Pala
- Picota
- Baldes
- Escalera
- Cinta métrica
- Cajas lombriarias
- Balanza y/o romana
- Botellas regaderas
- Saquillos y/o bolsas de pesaje
- Botas de goma
- Pita y/o cuerda
- Tractor

5.1.3. Material de laboratorio.

- Muestras de humus
- pH-metro
- termómetro
- Análisis de contenido de N, P, K
- Bata de laboratorio
- Barbijo
- Guantes de látex
- Lentes protectores
- Cuaderno de notas
- Computadora
- Calculadora
- Envases de vidrio
- Envases de plástico

5.2. Métodos.

5.2.1. Flujograma del proyecto investigativo.

La siguiente figura muestra los pasos principales que se llevaron a cabo para esta investigación.

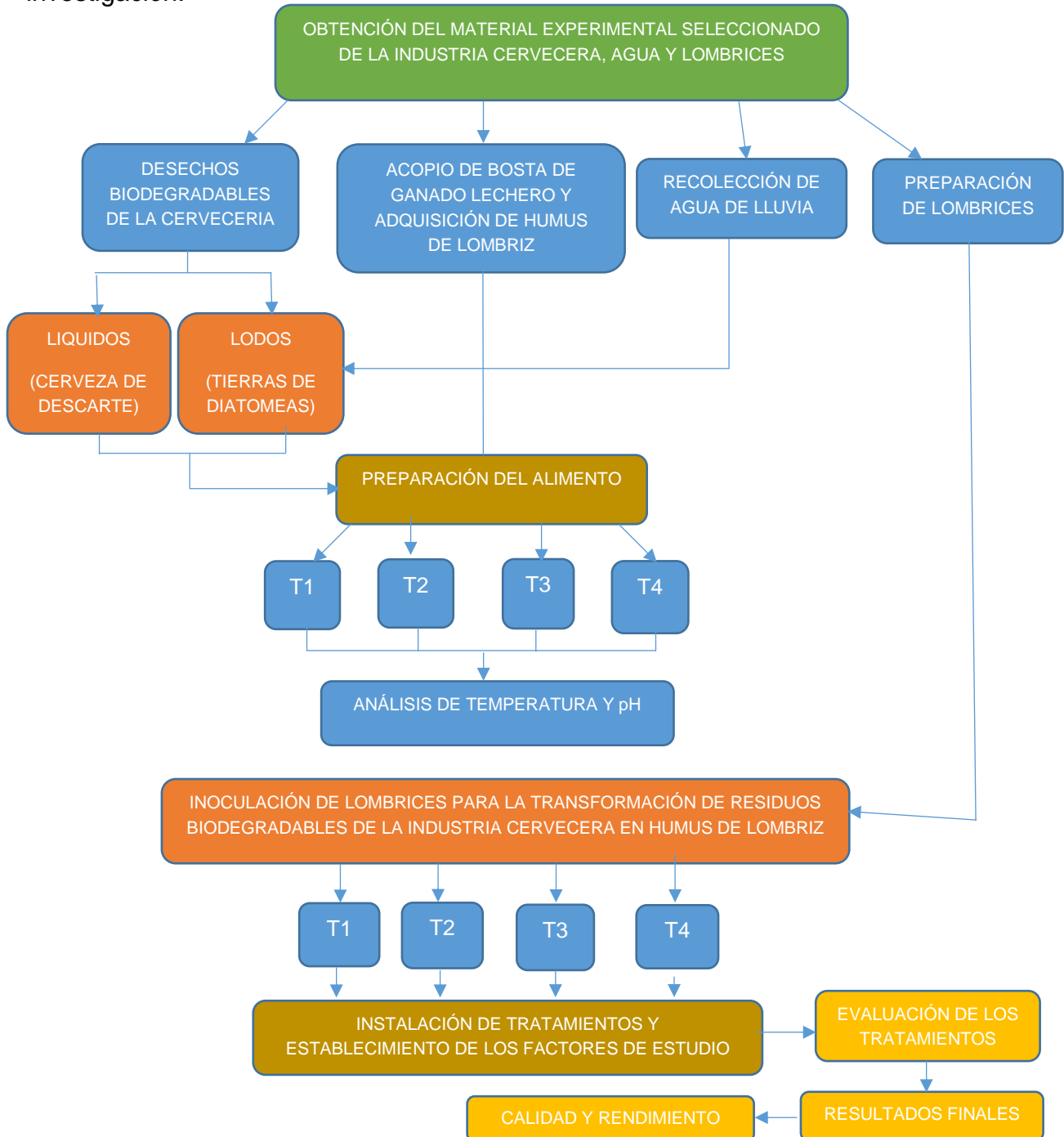


Figura 4. Flujograma de la investigación

5.2.2. Procedimientos experimentales de estudio e investigación.

5.2.2.1. Recepción de lodo (tierras de diatomeas).

Las tierras de diatomeas mejor conocidas como lodos de la industria cervecera, son usadas como filtro en la práctica de la elaboración de la cerveza, en su estado final (ya usado y desechado) presentan mal olor y llegan a tener temperaturas de 70 °C al aire libre en el altiplano. Son de color café grisáceo (fotografía 2 de anexos).

Estas llegaron en volquetas desde la Cervecería Boliviana Nacional S.A. (CBN SA) a la planta LOMBRIBOL, donde se hizo la descarga correspondiente a campo abierto para la preparación de la mezcla alimento para alimentar a las lombrices de esta investigación.

5.2.2.2. Recepción del “líquido desechado” proveniente de la industria cervecera (CBN SA).

El líquido desechado proveniente de la industria cervecera usualmente es cerveza de descarte por accidentes o fecha de vencimiento. Este se rescató en una poza secundaria al experimento, para ser utilizado en la dieta de las lombrices. Para lo cual, se usó la pluma de la maquinaria (retroexcavadora) para mayor facilidad de destrucción y aplastamiento de latas que contienen cerveza (fotografía 3 de anexos).

5.2.2.3. Poza experimental.

Se preparó el terreno para el experimento, una fosa cuyas dimensiones fueron de 10 metros de largo, 10 metros de ancho, y una profundidad de 3 metros. La excavación se lo realizó con maquinaria (retroexcavadora) para facilitar el trabajo, y finalmente se lo aplanó con rastrillos y palas para un campo de investigación más homogéneo (fotografía 4 de anexos).

5.2.2.4. Construcción de cajas lombriarias.

Las cajas ecológicas fueron elaboradas con las siguientes dimensiones; 0,5 m de largo, 0,5 m de ancho y un alto de 0,5 m. y fueron fabricadas con una estructura de madera. (fotografía 5 de anexos).

Las cajas fueron ensambladas a 50 metros del lugar experimental. Para así facilitar el traslado del material a usar. Las mismas se utilizaron para la separación de los tratamientos y sus repeticiones. Fueron un total de 16 cajas para cuatro tratamientos con cuatro bloques (fotografía 8 de anexos).

5.2.2.5. Preparación de la “mezcla alimento” para las lombrices.

La mezcla alimento para las lombrices fue de tres importantes elementos para su uso en la dieta de las mismas, donde el equilibrio más estable en textura y pH ha sido el siguiente porcentaje: lodos (tierras de diatomeas) con 36,17%, debido a que si excedemos la cantidad de este insumo puede resultar contraproducente en el habitat de la lombriz, puesto que al tener microfibras tipo cristal podrían herir a las lombrices. El estiércol bovino con 34,04% insumo a la que las lombrices estaban acostumbradas en su dieta. El humus de lombriz con 29,78% que ayudó a una más rápida aceleración en la transformación de del alimento. El pH de la mezcla alimento fue de 7,94 (neutra, tendiendo a ligeramente básica). Lo cual la lombriz aceptó.

Con ayuda de maquinaria (retroexcavadora) y cálculo en volúmenes y porcentaje, se procedió a la mezcla final para el alimento de las lombrices. Los resultados obtenidos fueron confiables puesto que la mezcla fue homogénea. La humedad promedio de este alimento estaba al 60 %.

La mezcla alimento se tornó de un color peculiar, café oscuro por la materia orgánica con ligeras combinaciones de café blanquecino provenientes de las tierras de diatomeas (fotografía 6 de anexos).

5.2.2.6. Cosecha de lombrices previamente pesadas para cada tratamiento.

Tratamiento 1: 1 kg de lombrices *Eisenia fetida*

Tratamiento 2: 2 kg de lombrices *Eisenia fetida*

Tratamiento 3: 3 kg de lombrices *Eisenia fetida*

Tratamiento 4: 4 kg de lombrices *Eisenia fetida*

Las lombrices usadas en el experimento fueron cosechadas del lombriario de LOMBRIBOL en la zona de Ovejuyo de la ciudad de La Paz. Estas lombrices fueron criadas y alimentadas con restos de cocina y bosta de animales ganaderos. Las lombrices rojas californianas fueron recolectadas con su mismo sustrato en un porcentaje de 50% para su mejor traslado. Ello para evitar que las lombrices sufrieran de estrés por el viaje que se realizó hasta la zona experimental. (fotografía 7 de anexos).

Las lombrices fueron puestas cuidadosamente en recipientes plásticos, cuidando su aireación y humedad para que lleguen sanas y salvas a su nuevo habitat.

5.2.2.7. Distribución de las cajas lombriarias.

Se procedió a preparar el ambiente experimental y a distribuir los lombriarios a una distancia entre cajas de 1,2 m con un pasillo central de 1,5 m para el mejor desplazamiento en la toma de datos. Las distancias fueron cuidadosamente medidas con cinta métrica y flexómetro, igualando cada caja con la otra, con la ayuda de cuerdas y estacas. (fotografía 9 de anexos).

Para evitar lixiviación de los nutrientes del sustrato, y así mismo, la fuga de las lombrices por la base de las cajas, se realizó la protección de la base de los lombriarios con una bolsa plástica reutilizada. (Fotografía 10 de anexos).

5.2.2.8. Disposición de cajas y mezcla alimento.

Una vez que las cajas lombriarias estuvieron instaladas, se procedió a la introducción de la mezcla alimento (tierra de diatomeas, estiércol bovino y humus) en cada lombriario. Cada unidad experimental tuvo el mismo peso en mezcla alimento de un total de 16 kg. La mezcla alimento fue distribuida lo más homogéneamente posible, evitando grumos y desniveles en altura. (fotografía 11 de anexos).

5.2.2.9. Inoculación de lombrices a las cajas lombriarias.

Cada tratamiento difirió de la cantidad de lombrices (*Esenia foétida*) para su evaluación. El tratamiento 1 fue inoculado con una colonia de 1kg de lombrices, el tratamiento 2 tuvo una colonia de 2 kg de lombrices, el tratamiento 3 a su vez contenía una colonia 3 kg de

lombrices y finalmente el tratamiento 4 fue inoculado con 4 kg de lombrices con 16 kg de mezcla alimento (fotografía 12 de anexos)

5.2.2.10. Traslado de tanques de agua al campo de investigación.

Debido a la radiación que experimentó la zona, se regó el contenido de las cajas lombriarias a capacidad de campo para que mientras sigamos trabajando, las lombrices no sufran de estrés hasta darles las condiciones que el experimento requiere.

Asimismo, debido a que no se contaba con agua potable, meses antes en Jalsuri se almacenó agua de lluvia en diferentes tanques, que se dispusieron hasta el terreno experimental para el mejor y adecuado uso de este líquido elemento. (fotografía 13 de anexos).

5.2.2.11. Instalación de malla semisombra.

Se colocó una malla de semisombra sobre las cajas lombriarias para evitar el exceso de evaporación y además proteger a las lombrices de posibles ataques de pájaros locales. (fotografía 14 de anexos).

5.2.2.13. Preparación del líquido alimento para la dieta de las lombrices.

La cerveza en su estado puro presentó un pH ligeramente ácido por el alcohol que contiene. Así que se formuló una combinación entre líquido cervecero y agua de lluvia con las siguientes concentraciones: cerveza con 40 % y agua de lluvia al 60 %.

Se empleó una motobomba para el traslado de la cerveza a tratar mostrado en la fotografía 3 de anexos y se lo mezcló con agua como se observa en la fotografía 15 de anexos. Se puede apreciar la levadura de cerveza en el líquido alimento para la dieta de las lombrices. (fotografía 16 de anexos).

5.2.2.14. Alimentación de las lombrices.

Una vez instalado el tanque de agua en las cercanías de la zona de investigación, se procedió a regar a las lombrices con el líquido alimento (cerveza y agua de lluvia) hasta que los sustratos de los lombriarios estuvieron con una humedad cerca del 80% para que las lombrices estuvieran en condiciones óptimas para su desarrollo.

5.2.2.15. La temperatura, pH y evaluación de la transformación del alimento.

La toma de muestras de pH y temperatura fueron evaluadas cada siete días, verificando el estado del alimento proporcionado a las lombrices y realizar el seguimiento del estado de la transformación a humus de lombriz. Los datos de temperatura y pH fueron tomadas a primeras horas del día, donde existe menos variación en la temperatura local. Los instrumentos usados como el termómetro y el pH obtuvieron sus resultados a 15 cm de profundidad en cada tratamiento y repetición (altura donde existe mayor actividad de las lombrices con el alimento).

5.2.2.16. Medición de volumen de cada tratamiento.

Esta medición fue indirecta, ya que los datos obtenidos fueron hallados por una ecuación matemática con la ayuda de la altura del sustrato y las dimensiones de la caja lombriaria. (base: 50 cm por ancho: 50 cm por altura en cm)

Las alturas de cada tratamiento fueron obtenidas con ayuda del flexómetro. Esta medición fue hecha en cada caja lombriaria para obtener datos de cada tratamiento y de cada bloque de estudio. Los datos se obtuvieron cada siete días para el estudio de su comportamiento.

5.2.2.17. Medición de masa inicial y final de cada tratamiento.

Se tomó los datos de la masa inicial de cada tratamiento y repetición para observar el comportamiento de la misma. Por lo que también se tomó datos de la masa final en cada tratamiento y evaluar su evolución. La toma de datos de cada tratamiento y repetición fueron pesadas con ayuda de baldes y romana.

Una vez realizada la recolección de los datos de volumen y masa final, se preparó el producto final para lo cual se quitó el exceso de agua, se tuvo que secar bajo la red semisombra para evitar problemas de depredadores. Finalmente, el producto fue mezclado y cernido para ser llevado al laboratorio. (fotografía 18 de anexos).

La muestra tuvo que ser representativa por lo que se hizo una mezcla completa del producto final. Este contó con un tiempo de maduración antes de ser llevada al laboratorio. Esta tenía ventilación para contar con oxígeno para que los microorganismos sigan presentes aun después de la transformación.

Una vez obtenido el producto final, se continuó evaluando la humedad y el pH para ver su comportamiento frente a su madurez como abono orgánico.

5.2.3. Diseño experimental de la investigación.

El modelo lineal de bloques al azar se presenta a continuación:

$$y_I = \mu + B_j + T_i + E_y$$

y_I : Observación del rendimiento.

μ : Media general

B_j : Efecto j-ésimo de bloques, bloqueando las inclemencias del tiempo.

T_i : Efecto i-ésimo de tratamientos, colonia de lombrices en la mezcla para la elaboración de humus.

E_y : Error experimental

5.2.4. Croquis experimental.

La figura 4 presenta la distribución que se empleó en la investigación, los cuadros verdes representan las cajas lombriarias que están distribuidas aleatoriamente con un total de 4 tratamientos y 4 bloques, cada caja lombriaria mide 50 cm de largo y 50 cm de ancho, asimismo se muestran los pasillos que existen entre cajas para una mejor comodidad en la recolección de datos, teniendo un pasillo principal de 1,5 m y los pasillos secundarios de 1,2 m.



Figura 5. Croquis experimental

5.2.5. Tratamientos.

Tratamiento 1: 1 kilogramo de lombrices alimentada con 16 kg de mezcla alimento.

Tratamiento 2: 2 kilogramos de lombrices alimentadas con 16 kg de mezcla alimento.

Tratamiento 3: 3 kilogramos de lombrices alimentadas con 16 kg de mezcla alimento.

Tratamiento 4: 4 kilogramos de lombrices alimentadas con 16 kg de mezcla alimento.

5.2.6. Variables de respuesta.

- Tiempo de transformación de los residuos biodegradables de la industria cervecera a humus de lombriz.
- Rendimiento medido en peso de producción.
- Rendimiento medido en volumen de producción.
- Cantidad y calidad de nutrientes.
- Presencia de metales pesados en el producto final.

6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1. Comportamiento del pH en el proceso de transformación.

La tabla 10 indica el comportamiento del pH evaluado al principio y final de la investigación.

Tabla 10. Comportamiento del pH

	pH INICIAL	pH FINAL
T1	6,2	6,9
T2	6,31	7,1
T3	6,44	7,3
T4	6,5	7,3

Se observa la evolución del pH durante el proceso de transformación, el primer día de toma de muestra el pH de los tratamientos era ligeramente ácido como se muestra en la tabla 10, conforme pasaba el tiempo estos buscaron un equilibrio hacia la neutralidad por acción de los microorganismos, llegando a un pH cercano al neutro.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes: el tratamiento 1; inició con un pH de 6,2 debido al alimento líquido que era la cerveza y en el proceso de transformación llegó a tener un pH neutro de 6,9. El tratamiento 2; inició al igual que el tratamiento anterior con un nivel ácido de 6,31 llegando a un nivel neutro de 7,1. Seguidamente el tratamiento 3; empezó con un pH de 6,44 para llegar a su pH ideal de 7,3. Y finalmente, el tratamiento 4; empezó con un pH de 6,5 llegando a estar al final de su evaluación a 7,3 igual que el tratamiento 3.

Según Bravo (2001), entre otras características fisiológicas, la lombriz californiana (*Eisenia foétida*) tiene glándulas calcíferas que segregan iones de calcio, contribuyendo a la regulación del equilibrio ácido básico, tendiendo a neutralizar los valores de pH, lo que sucedió con los sustratos de la presente investigación.

Sin embargo, debemos considerar que los resultados del sustrato fueron obtenidos a los 10 cm de profundidad de cada tratamiento, donde la actividad de las lombrices fue mayor. El producto final tuvo una ligera diferencia en los resultados que se obtuvieron en el

análisis de laboratorio que se realizó una vez que se separó el abono orgánico de las lombrices.

6.1.1. Comportamiento del pH del producto final.

La tabla 11 indica el comportamiento del pH del producto final una vez separado de las lombrices, pero aun con actividad microbiana.

Tabla 11. Comportamiento del pH del producto final

	pH 1° MES	pH 2° MES	pH FINAL
T1	7,2	8,3	7,9
T2	7,4	8,5	8,1
T3	7,5	8,1	7,3
T4	7,3	7,9	7,3

La figura 6 muestra la evolución del pH después de recolectar el producto para su maduración final. Se puede observar que aún existe actividad microbiana y por ello el pH sigue cambiando.

Una vez obtenido el producto final se observó que el pH que estaba en un punto neutro por acción de las lombrices y el líquido alimento (agua 60% y cerveza 40%) aumentó a un pH ligeramente alcalino. Sin embargo, al ser un producto fresco aún existe actividad microbiana proveniente del humus de lombriz, así que se realizó más estudios del pH para ver su evolución. Pasados 3 meses finalizado el experimento. Este abono orgánico vuelve a buscar su equilibrio de pH buscando nuevamente la neutralidad en su proceso de maduración obteniendo los siguientes resultados:

El tratamiento 1; empezó con un pH de 7,2 en el primer mes con un cambio de 8,3 volviéndose ligeramente alcalino en el segundo mes y finalmente, llegó a un pH de 7,9. El producto sigue siendo ligeramente alcalino.

El tratamiento 2; empezó con un pH de 7,4 en el primer mes con un cambio de 8,5 volviéndose ligeramente alcalino en el segundo mes y finalmente, llegó a un pH de 8,1. El producto es ligeramente más alcalino que el tratamiento 1.

El tratamiento 3; empezó con un pH de 7,5 en el primer mes con un cambio de 8,1 volviéndose ligeramente alcalino en el segundo mes y finalmente, llegó a un pH de 7,3. El producto llegó a la neutralidad a comparación de los tratamientos 1 y 2.

El tratamiento 4; empezó con un pH de 7,3 en el primer mes con un cambio de 7,9 volviéndose ligeramente alcalino en el segundo mes y finalmente, llegó a un pH de 7,3. El producto es igual de neutro que el tratamiento 3.

Según Carrillo (2013) con la ayuda de lombrices, microorganismo y otros factores como ser la temperatura y riego, se disminuye a alcalino llegando a estabilizarse en 8,2 - 8,3 en el rango alcalino. El descenso de pH favorece el crecimiento de hongos (cuyo crecimiento se da en el intervalo de pH (5,5 – 8) y también retoman su actividad las bacterias a pH 6 – 7,5 (fase de alcalinización).

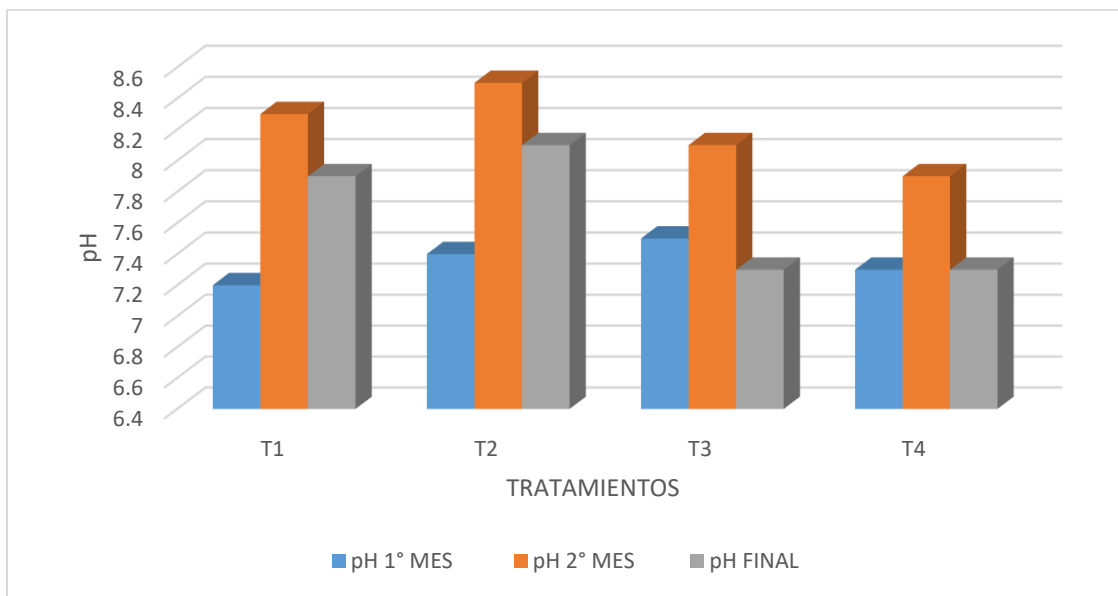


Figura 6. Comportamiento del pH del producto final

6.2. Temperatura.

La tabla 12, muestra las fluctuaciones de la temperatura durante el proceso de humificación durante 3 meses. A este tiempo se debe sumar 1 mes más para la humificación microbiana; en total la evaluación de la temperatura se realizó durante 4 meses.

La temperatura empezó con ligeras diferencias entre tratamientos, cuando en la semana 2 y 3 se apreció una subida de temperatura para todos los tratamientos, sin embargo, todos los tratamientos tienden a estar en una temperatura final tendiendo de los 14 a 14,5 °C

En una de las investigaciones efectuada por Pati (2001) para la producción de humus de lombriz realizada en ambiente cerrado; las temperaturas fueron de 16,38 °C, 16,57 °C y 16,67°C de los tratamientos estudiados. Las temperaturas difieren en un promedio de 2°C con los obtenidos en esta investigación.

En cambio, el mismo autor da a conocer que en ambiente abierto las temperaturas fluctúan de 14°C, 16 °C hasta 22 °C en los diferentes tratamientos. Así como se dio en esta investigación, entrando entre los datos obtenidos con otros autores.

La temperatura óptima es de 20 °C, con un nivel adecuado entre 15 °C y 24 °C y peligro de muerte de las lombrices referente a temperaturas menores a 5 °C y mayores a 37 °C (Bollo, 2001).

Según Choque (2008), cuando la temperatura desciende a 15°C las lombrices entran en período de latencia, dejando de reproducirse, crecer y producir humus, lo cual, no ocurrió en la presente investigación tal como mencionan diferentes autores, en cambio, se vio el normal desarrollo de la lombriz, además, se verifico la existencia de cocones, por ende, la proliferación de las lombrices.

Tabla 12: Comportamiento de la temperatura.

TRAT	TEMPERATURAS (°C)											
T1	15,27	15,5	15,3	15	15	15	14,5	14,4	14,2	14,2	14,1	14
T2	15,025	15,4	15,9	15,5	15,1	15	14,7	14,6	14,5	14,2	14	14
T3	15,42	16	16,5	16,1	16,02	16	15,1	15	14,7	14,4	14	14,2
T4	15,8	16	16,6	16,3	16,1	16	15,5	15,3	14,9	14,5	14,5	14,5
SEMANA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

6.1. Análisis de la variante tiempo.

Una vez realizado el cálculo de análisis de varianza mostrada en la tabla 13, se obtuvo una diferencia altamente significativa (**), rechazando así la hipótesis nula (no existen diferencias en el tiempo de humificación de los cuatro diferentes tratamientos entre densidad de lombrices y residuos biodegradables de la industria cervecera), esta indica que cuando se utiliza diferentes cantidades de lombrices respecto al tiempo de transformación de los residuos biodegradables de la industria cervecera a humus de lombriz, el tiempo será distinto, habiéndose determinado que el tratamiento cuatro (T4) “4 kg de lombrices en 16 kg de alimento” fue el mejor ya que en promedio el tiempo alcanzado fue igual a 41,5 días; en cambio los tratamientos uno, dos y tres obtuvieron un tiempo promedio igual a 90,5 días 65 días y 54 días respectivamente.

El análisis de varianza nos dice que a un nivel del 5% las dosis de densidad de lombriz roja californiana (*Eisenia foétida*) con respecto al tiempo, podemos afirmar que se acepta la hipótesis alterna, si existe una gran diferencia en tiempo de humificación en cada tratamiento.

La tabla 13 indica también que los resultados experimentales son altamente confiables. (B.M.U.E.) buen manejo de unidades experimentales, obteniendo un coeficiente de variabilidad igual a 2,38 por ciento.

Tabla 13. Análisis de varianza de la variante tiempo.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
MODELO	5215	6	869,17	391,13	<0,0001
DOSIS	5213	3	1737,7	781,95	<0,0001
BLOQUE	2	3	0,67	0,3	0,8247
ERROR	20	9	2,22		
TOTAL	5235	15			

CV= 2,38

El test de Duncan es un test de comparaciones múltiples. Permite comparar las medias de los niveles de un factor después de haber rechazado la Hipótesis nula (no existen

diferencias en el tiempo de humificación de los cuatro diferentes tratamientos entre densidad de lombrices y residuos biodegradables de la industria cervecera) de igualdad de medias mediante la técnica ANVA mostrada en la tabla 13.

Por el test de Duncan mostrada en la tabla 14, podemos considerar en tomar el tratamiento cuatro como el más eficiente en cuanto a tiempo de transformación de residuos biodegradables de la industria cervecera a humus de lombriz.

Tabla 14. Test de Duncan variable tiempo.

DOSIS	MEDIAS	n	E.E.	
T4	41,5	4	1,75	A
T3	54	4	1,75	B
T2	65	4	1,75	C
T1	90,5	4	1,75	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Según la guía práctica de Fertilizantes orgánicos Xolox (2021) se necesita una cantidad de 1000 lombrices por cada metro cuadrado de área. Asegurando que una lombriz puede producir 4 kg de humus al año.

De acuerdo con Tencela (2013) 40 kg de lombrices transforman 500 kg de alimento a 200 kg de humus en un año. Sin embargo, esta investigación demuestra que 1 kg de colonia de lombrices transforman 16 kg de alimento a humus de lombriz en 90,5 días, 2 kg de colonia de lombrices transforma 16 kg de alimento a humus de lombriz en 65 días, 3 kg de colonias de lombrices logran transformar 16kg de alimento a humus de lombriz en 54 días, finalmente 4 kg de colonia de lombrices transforman 16 kg de alimento a humus de lombriz en 41,5 días. Obteniendo el mejor tratamiento e interpolando el tiempo podemos deducir que 4 kg de colonia de lombrices transforman 106,6 kg de alimento a humus de lombriz al año.

A diferencia de otros autores como Feruzzi (1994) o Bollo (2001), los datos de tiempo de transformación respecto al alimento dado a las lombrices rojas californianas (*Eisenia foétida*) se relacionan directamente con el tipo de alimentación, en su mayoría estiércol animal y materia orgánica verde, entre frutas y verduras o desechos de las mismas.

Por lo que se puede deducir que el tiempo de transformación del alimento proporcionado a las lombrices depende directamente a la cantidad de lombrices en las cajas lombrícolas y a la naturaleza del alimento que se les ofrece.

6.2. Análisis de la variante masa

Una vez realizado el cálculo de análisis de varianza referido al objetivo de rendimiento en masa, como se muestra en la Tabla 15, se obtuvo una diferencia altamente significativa (**), rechazando así la hipótesis nula (No existen diferencias en el rendimiento de humus de lombriz a partir de residuos biodegradables de la industria cervecera respecto a la masa), esta indica que cuando se utiliza diferentes cantidades de lombrices respecto al rendimiento en masa de humus de lombriz, la ganancia masa será diferente, habiéndose determinado que el tratamiento cuatro (T4) “4 kg de lombrices en 16 kg de alimento” fue el mejor ya que en promedio la masa alcanzada fue de 35,25 kg; en cambio los tratamientos uno, dos y tres obtuvieron una masa promedio igual a 28,5 kg 31 kg y 33,1 kg respectivamente.

A un nivel del 5% las dosis de densidad de lombriz con respecto al rendimiento en masa, podemos afirmar que se acepta la hipótesis alterna, sí existe una gran diferencia en masa en cada tratamiento.

La tabla 15 muestra también que los resultados experimentales son altamente confiables. (B.M.U.E.) buen manejo de unidades experimentales, obteniendo un coeficiente de variabilidad igual a 2,66 por ciento.

Tabla 15. Análisis de varianza de la masa.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
MODELO	102,88	6	17,5	23,8	<0,0001
DOSIS	100,3	3	33,43	46,4	<0,0001
BLOQUE	2,58	3	0,86	1,19	0,3664
ERROR	6,48	9	0,72		
TOTAL	109,36	15			

CV= 2,66

El Test de Duncan es un test de comparaciones múltiples que permite comparar las medias de los niveles de un factor después de haber rechazado la Hipótesis nula (No existen diferencias en el rendimiento de humus de lombriz a partir de residuos biodegradables de la industria cervecera respecto a masa) de igualdad de medias mediante la técnica ANVA que se vio en la tabla 15.

Por El Test de Duncan realizado y mostrado en la tabla 16, podemos considerar en tomar el tratamiento cuatro como el más eficiente en cuanto a rendimiento en masa obteniendo una media de 35,25 kg superando así a los demás tratamientos con 6,75 kg para el tratamiento uno, 4,25 kg para el tratamiento dos, y finalmente una diferencia de 2,12 kg para el tratamiento tres.

Tabla 16. Test de Duncan variable masa.

DOSIS	MEDIAS	n	E.E.	
T1	28,5	4	0,42	A
T2	31	4	0,42	B
T3	33,13	4	0,42	C
T4	35,25	4	0,42	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

De acuerdo a cálculos promedios según Bravo (1996), una lombriz produce aproximadamente 0,3 g. de humus diariamente, lo que demuestra que en pequeñas superficies se puede obtener grandes cantidades de lombrices.

La *Eisenia foétida* come todo tipo de materia orgánica, y consume diariamente un equivalente a su propio peso. Un 20% asimila para su propio sostenimiento y el resto lo transforma en humus. Bollo (2001).

Autores como Ferruzzi (1994) y Tencela (2012) señalan que el 60% de la materia orgánica que sirve de alimento para las lombrices rojas californianas se transforma en humus de lombriz.

En la presente investigación se observó un aumento de la masa, sin embargo, fue la humedad la que dio ese resultado. Así mismo, se observó que la relación del 60% que

se menciona en la bibliografía, no coincidió con los datos obtenidos, ya que las lombrices no comen directamente las tierras de diatomeas, sino que absorben el líquido que existe en sus poros (líquido residual del filtro en la elaboración de la cerveza) para alimentarse.

6.3. Análisis de la variante altura y volumen.

6.3.1. Altura.

Los datos de altura ayudaron a encontrar el volumen. Ya que cada caja de estudio fue cuadrada, y se usó una ecuación matemática.

Los resultados obtenidos mostrados en la tabla 17 nos indican que, en el primer mes, es cuando existió una mayor baja de altura en el proceso de transformación. Donde el tratamiento 1; pasa de 15,75 cm de altura a 14,5 cm. hasta el segundo mes, y finalmente, llegó a medir 14,25 cm donde la altura ya no varió más. En el tratamiento 2; cambió de 16,12 cm de altura a 14,75 cm en el segundo mes, y en el último mes llegó a medir 14,5 cm en promedio. El tratamiento 3; midió inicialmente un valor de 17,3 cm, en su segundo mes midió 16,63 cm y finalmente en el tercer mes midió 16,5 cm en promedio. Finalmente, el tratamiento 4; nos dió un valor inicial de 17,5 cm de altura bajando a 16,25 cm para el segundo mes y finalmente una altura de 16 cm.

Tabla 17. Comportamiento de la altura

TRAT	Altura promedio (cm)		
T1	15,75	14,5	14,25
T2	16,125	14,75	14,5
T3	17,3	16,63	16,5
T4	17,5	16,25	16
MES	1	2	3

La figura 7 nos muestra la reducción de altura que se evaluó en la recolección de datos para la investigación en 3 meses de transformación de los desechos biodegradables de la industria cervecera a humus de lombriz.

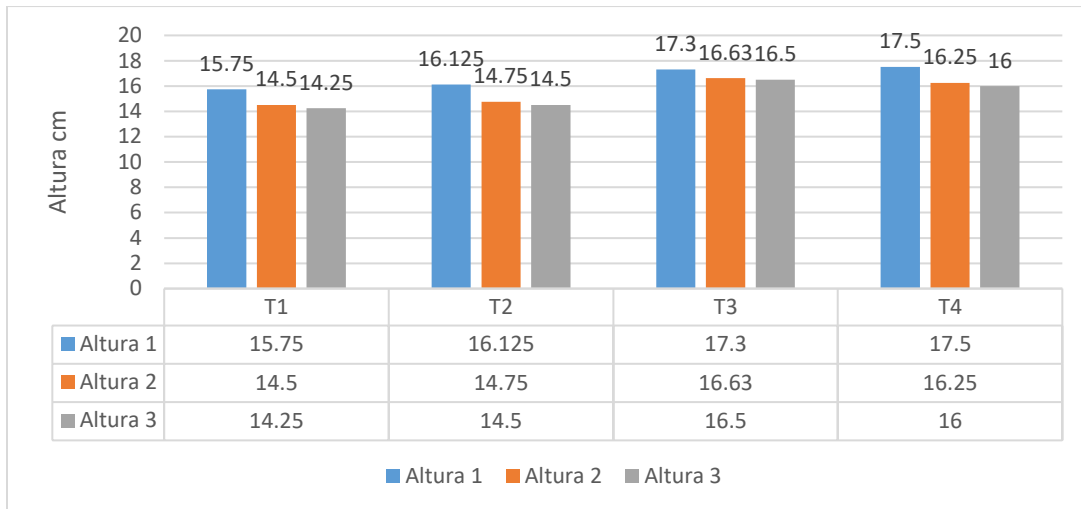


Figura 7. Comportamiento de la altura de los sustratos en las cajas lombrícolas

6.3.2. Volumen.

Gracias a las alturas evaluadas los cálculos de los volúmenes se obtuvieron de forma indirecta, haciendo un cálculo de base por ancho de la caja y por la altura del sustrato, ya que la caja es cuadrada tenemos la siguiente fórmula: 50 cm por 50 cm por la altura del sustrato. Obteniendo los siguientes resultados:

El tratamiento uno pasó de 0.039375 m³ a 0.035625 m³ reduciendo así un 9,52% de su volumen inicial.

El tratamiento dos pasó de 0.0403125 m³ a 0.03625 m³ reduciendo su volumen promedio en un total de 10,07%.

Seguidamente, el tratamiento tres que inició con un volumen aproximado de 0.04325 m³ llegando a medir finalmente 0.04125 m³ reduciendo un 4,62 %.

Finalmente, el tratamiento cuatro que inicialmente tenía un volumen de 0.04375 m³ llegó a medir 0.04 m³, reduciendo su volumen en un 8,57%.

Los datos obtenidos mostrados en la figura 8 nos indican una ligera variación en centímetros cúbicos. Es importante recalcar que donde existe mayor población de

lombrices el volumen será mayor a los otros tratamientos, puesto que existe mayor espacio poroso creada por la actividad de las lombrices.

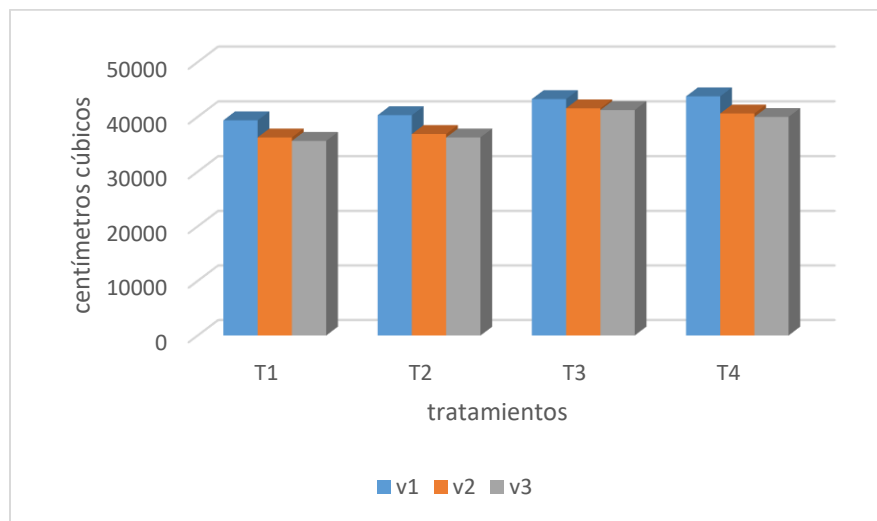


Figura 8. comportamiento del volumen

Una vez realizado el cálculo de análisis de varianza, mostrada en la tabla 18, se obtuvo una diferencia altamente significativa (**), rechazando así la hipótesis nula (No existen diferencias en el rendimiento de humus de lombriz a partir de residuos biodegradables de la industria cervecera respecto al volumen), esta indica que cuando se utiliza diferentes cantidades de lombrices respecto al rendimiento en volumen de humus de lombriz, el comportamiento de volumen será diferente, habiéndose determinado que el tratamiento tres (T3) “3 kg de lombrices en 16 kg de alimento” fue el mejor ya que en promedio el volumen alcanzado fue igual a 41250 cc; en cambio los tratamientos 1, 2 y 4 obtuvieron un volumen promedio igual a 35625 cc 36250 cc y 40000 cc respectivamente.

El análisis de varianza nos dice que a un nivel del 5% las dosis de densidad de lombriz con respecto al rendimiento en volumen, podemos decir que se acepta la hipótesis alterna, si existe una gran diferencia en volumen en cada tratamiento.

La tabla 18 indica también que los resultados experimentales son altamente confiables. (B.M.U.E.) buen manejo de las unidades experimentales, obteniendo un coeficiente de variabilidad igual a 5,19 por ciento.

Tabla 18. Análisis de varianza del volumen.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
MODELO	179687500	6	29947916,67	7,58	0,004
DOSIS	91796875	3	30598958,33	7,75	0,0073
BLOQUE	87890625	3	29296875	7,42	0,0083
ERROR	35546875	9	3949652,78		
TOTAL	215234375	15			

CV= 5,19

El Test de Duncan es un test de comparaciones múltiples. Permite comparar las medias de los niveles de un factor después de haber rechazado la Hipótesis nula (No existen diferencias en el rendimiento de humus de lombriz a partir de residuos biodegradables de la industria cervecera respecto al volumen) de igualdad de medias mediante la técnica ANVA mostrada en la tabla 18.

Por El test de Duncan mostrada en la tabla 19, podemos considerar en tomar el tratamiento tres como el más eficiente en cuanto a rendimiento en volumen.

Tabla 19. Test de Duncan variable volumen.

DOSIS	MEDIAS	n	E.E.	
T1	35625	4	993,69	A
T2	36250	4	993,69	A
T4	40000	4	993,69	B
T3	41250	4	993,69	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Sin embargo, analizando el test de Duncan podemos ver una peculiaridad respecto a las diferencias entre tratamientos, interpretando que los tratamientos 1 y 2, no son muy diferentes el uno del otro, asimismo, con los tratamientos 3 y 4, que comparten una misma letra.

De acuerdo con Pati (2002) los volúmenes del sustrato bajan considerablemente, teniendo resultados que indican que pueden bajar de un 100% hasta un 24,75%, empero, esta investigación demuestra que el nivel máximo de pérdida de volumen en porcentaje fue de 10%, se debe tomar en cuenta que el alimento suministrado a diferencia de la

materia verde que se usa usualmente en la dieta de las lombrices fue reemplazado por tierras de diatomeas provenientes de la industria cervecera, éstas no experimentan una gran pérdida en cuanto a volumen puesto que también es considerado un tipo de sustrato.

6.4. Resultados de laboratorio.

6.4.1. Calidad nutritiva.

Los resultados que se mostrarán a continuación en la tabla 20 son los datos obtenidos por el laboratorio de la Facultad de Agronomía LAFASA, perteneciente a la Universidad Mayor de San Andrés comparados con resultados previos de otros autores para ver las diferencias en cuanto a calidad química y nutritiva del humus de lombriz.

Tabla 20: Cuadro comparativo de calidad de humus de lombriz.

PARÁMETRO	UNIDAD	Parámetros de la normativa colombiana	Calidad de humus en diferentes países	FAO	RESULTADOS OBTENIDOS EN LA INVESTIGACIÓN
Nitrógeno total	%	>1	1,5 - 3,5	0,3 - 1,5	1,10
Fósforo disponible	mg/kg	>1000	700 - 2500	100-1000	521
Potasio intercambiable	mg/kg	>1000	4400 - 7700	1400	900
Calcio intercambiable	%		2,8 - 8,7	2,7	0,2
Magnesio intercambiable	%		0,2- 0,5	8,3	0,1
Carbono orgánico	%	15	8,7 -38,8	13	8.19
Sodio intercambiable	mg/kg			5700	200
Materia orgánica	%		30 - 50	22	14.13
Relación C/N			9 - 13	8,1	8,19
Densidad aparente	g/cm ³			0,19	0,506
Densidad real	g/cm ³			2,2	1.23
pH			6,8 – 7,2	6,8 - 7,3	7,2-8,7
Conductividad eléctrica	uS/cm				2970

De acuerdo a los análisis de laboratorio del humus de lombriz, y la comparación de la calidad de humus de varios países, y parámetros establecidos para la caracterización de abonos orgánicos se puede observar que:

- **Nitrógeno total:** El Nitrógeno se encuentra en un rango aceptable y óptimo con un valor de 1,1% entrando en los parámetros de caracterización en abonos orgánicos.
- **Fósforo disponible:** El Fósforo disponible tiene un valor de 521 mg/kg, mientras más madure el humus, más aumentará la cantidad de Fósforo disponible hasta que el sustrato este mineralizado por completo.
- **Potasio intercambiable:** Este nuevo abono orgánico cuenta con un poco menos de Potasio intercambiable con un valor igual a 900 mg/kg, sin embargo, con la maduración del humus las cifras en Potasio intercambiable para su disposición del suelo y la planta aumentaran hasta llegar a los parámetros establecidos. Teniendo valores superiores a los 1000 mg/kg.
- **Calcio intercambiable:** Los niveles de calcio en la presente investigación son todavía bajos comparados con los resultados de otros autores, con un porcentaje de 0,2% pero presentes en el sustrato.
- **Magnesio intercambiable:** Las cifras del Magnesio son más bajas comparadas con las cifras de los anteriores autores como Bollo y los parámetros que dicta la FAO, obteniendo un valor de 0,1%.
- **Carbono orgánico:** El carbono orgánico con un valor de 8,19% se encuentra en los rangos internacionales, por lo que podemos deducir que es de buena calidad.
- **Sodio intercambiable:** Hay una gran diferencia entre el Sodio intercambiable obtenido con los residuos biodegradables de la industria cervecera con el Sodio total de los otros autores como Bollo con un valor de 200 mg/kg. Esto debido al alimento proporcionado.
- **Materia orgánica:** La materia orgánica es menor a las comparaciones vistas de los otros autores, teniendo un porcentaje de 14,3 esto significa que el producto final estuvo mezclado con un compuesto mineral, en este caso las tierras de diatomeas.

- **Relación carbono nitrógeno:** Entra en los rangos comparativos, mostrándonos que su acción para humificarse está cercana. Teniendo resultados de 8/1.
- **Densidad aparente:** Este abono orgánico es más denso que otros humus de lombriz, puesto que se mezcló con las tierras de diatomeas en todo el proceso de transformación y el agua jugó un papel muy importante.
- **Densidad real:** Tiene una densidad bastante buena para el momento comercial y aplicativo, es diferente de los demás por el mismo motivo anterior. Las tierras de diatomeas aportan un cambio significativo a la densidad del humus de lombriz a base de residuos biodegradables de la industria cervecera.
- **pH:** El pH es un poco más básico que las comparaciones internacionales, debido al uso de bostas de ganado que por su naturaleza son de pH salino. Sin embargo, el pH siempre fluctúa hacia la neutralidad y eso se observa en las anteriores tablas.
- **Conductividad eléctrica:** El valor obtenido en la investigación es de 2970 uS/cm, valores mayores a 4000 uS/cm significarían que el sustrato deshidrate a las plantas, por lo cual se considera un valor que entra en los parámetros.

6.4.1.1. Presencia de metales pesados en el producto final.

La tabla 19 señala la presencia de metales pesados en el humus de lombriz. Los datos fueron obtenidos gracias al laboratorio químico de la Universidad Técnica de Oruro (Spectrolab).

Tabla 21: Comportamiento de metales pesados en el proceso de transformación.

Metal	Unidad	Límite de determinación	Límites máximos de metales pesados en abonos orgánicos	Resultados de laboratorio Spectrolab
Cadmio	%	0,01	0,039	<0,01
Cobre	%	0,02	0,042	<0,02
Níquel	%	0,03	0,042	<0,03
Plomo	%	0,03	0,02	0,014
Zinc	%	0,01	0,02 – 0,1	0,10

- **Cadmio:** El Cadmio superior al 0,039 % es considerado toxico para un abono orgánico. La cifra de este metal hallada en esta investigación es menor al 0,01 %, entrando en el rango de los limites admisibles señalados por las normas europeas (alemana, suiza e italiana) y colombianas.
- **Cobre:** El Cobre es un metal que es considerado toxico en los abonos orgánicos si se halla arriba del 0,042 %. La cifra de este metal hallada en esta investigación es menor al 0,02%, entrando en el rango de los limites admisibles señalados anteriormente.
- **Níquel:** El Níquel presente en esta investigación presenta el valor promedio menor a 0,03 % estando por debajo del límite admisible de este metal pesado en abonos orgánicos cuyo valor toxico seria arriba de los 0,042 %.
- **Plomo:** El Plomo es considerado un metal toxico en los abonos orgánicos si sus valores sobrepasan los 0,02%, la cifra de este metal en la presente investigación fue de 0,014, entrando así a los parámetros europeos y al parámetro colombiano.
- **Zinc:** El Zinc es un metal toxico en abonos orgánicos si sus valores sobrepasan al 0,1%, el valor obtenido en la presente investigación es de 0,1%. Entrando así en los parámetros establecidos de limites admisibles de metales pesados en abonos orgánicos.

Según los parámetros establecidos por varios autores (B.O.E., 2013) y los parámetros de caracterización de abonos orgánicos en Colombia, ninguno de estos metales presentes en el humus de lombriz está en un nivel toxico para su aplicación.

7. CONCLUSIONES.

Los resultados de la presente investigación determinaron que es posible tratar los residuos biodegradables de la industria cervecera y transformarlos en humus de lombriz. Por ello se establecen las siguientes conclusiones para cada objetivo planteado:

- Existen 2 comportamientos de pH, uno es el que reacciona directamente al alimento con la actividad lombrífera, llevando el sustrato de un estado ácido respecto al alimento a uno neutro, seguidamente, un segundo comportamiento de pH que se muestra una vez cosechado el sustrato, éste vuelve a tener una reacción que lo impulsa a estar en un estado alcalino, pero que con el tiempo de maduración éste busca nuevamente su neutralidad. Teniendo los tratamientos 3 y 4 como los más neutros.
- En el tiempo de producción de humus, se observó que existe una gran diferencia entre los tratamientos, el tratamiento T1 (1 Kg de colonia de lombrices) tardó 90 días, para transformar el alimento a humus de lombriz, en el T2 (2 Kg de colonia de lombrices) tardó 65 días para obtener humus de lombriz a base de los residuos orgánicos dados. Posteriormente, el T3 (3 Kg de colonia de lombrices) tardó 54 días para obtener el mismo producto y, por último, el T4 (4 Kg de colonia de lombrices) tardó 42 días para obtener el humus de lombriz a base de residuos biodegradables de la industria cervecera. Lo que significa que, a mayor cantidad en colonia de lombrices, mayor rapidez de transformación tendrán los residuos biodegradables de la industria cervecera en abonos orgánicos.
- Respecto al rendimiento en masa, el tratamiento 4 nos da el mayor resultado con referencia a los otros 3 tratamientos: con un promedio de 35 kg; el tratamiento 1 con un promedio de 28 kg en masa de humus de lombriz, seguidamente el tratamiento 2 con un promedio de 31 kg del producto final, finalmente el tratamiento 3 con un promedio de 34 kg de abono orgánico a base de residuos biodegradables de la industria cervecera. Lo que significa que, a mayor cantidad en colonia de lombrices, mayor masa de producto final a base de residuos biodegradables de la industria cervecera se obtendrá.

- Con relación al rendimiento en volumen esta investigación demuestra que cuando se utiliza diferentes cantidades de lombrices, respecto al rendimiento en volumen de humus de lombriz, el comportamiento de volumen será también diferente, habiéndose determinado que el tratamiento tres (T3) “3 kg de lombrices en 16 kg de alimento” fue el mayor, ya que en promedio el volumen alcanzado fue igual a 41250 cc; en cambio los tratamientos 1, 2 y 4 obtuvieron un volumen menor con un promedio igual a 35625 cc 36250 cc y 40000 cc respectivamente.
- En un aspecto general, los análisis de laboratorio químico y físico nos indican que la calidad nutritiva del producto final (humus de lombriz a base de residuos biodegradables de la industria cervecera). Es de buena calidad. Las diferencias más marcadas son estrictamente ligadas al tipo de alimentación y dieta que tienen las lombrices rojas californianas (*Eisenia foétida*).
- Queda demostrado que el producto final “humus de lombriz a partir de residuos biodegradables de la industria cervecera” es de buena calidad, entra en los parámetros establecidos por las normas internacionales europeas y las normativas técnicas de abonos orgánicos (Colombia) con los siguientes resultados: Sodio intercambiable 0.02%, Magnesio intercambiable: 0,1%, Potasio intercambiable: 0.9%, Nitrógeno total: 1,10%. Materia orgánica: 14,13 %, Carbono orgánico: 8,19% y Fósforo disponible: 521 ppm.
- El producto final “humus de lombriz a partir de residuos biodegradables de la industria cervecera” cumple con los parámetros permisibles iguales al NTC 5167 y al R.D. 506/2013 por lo que es apto para uso en los suelos como fertilizante orgánico. Demostrando que el residuo biodegradable con un buen manejo a través de la lombricultura se puede tratar y transformar en abonos orgánicos de buena calidad.

8. RECOMENDACIONES.

Para un mejor estudio y aplicación de esta investigación, se da a conocer las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda realizar una evaluación del comportamiento poblacional de lombrices respecto al alimento proveniente de la industria cervecera.
- Se recomienda efectuar estudios de investigación aplicando este producto final (humus de lombriz a base de desechos biodegradables de la industria cervecera) en fabricación de composteras y aplicaciones en la agricultura y recuperación de suelos.
- Evaluar la cantidad de fauna microbiana en este tipo de abono orgánico.

9. BIBLIOGRAFÍA.

- Alexander, M. (1980). Introducción a la Microbiología del Suelo. Segunda edición. México. p 483
- AOPEB (Asociación de Organizaciones de Productores Ecológicos de Bolivia). (1998). Abonos Orgánicos. Cartilla Informativa. N°4. La Paz-Bolivia. p 15.
- Barnes, D. (1989) Zoología de los invertebrados. Interamericana Mc. Graw Hill, 5ta Edición. p. 158.
- Benzing, A. (2001). Agricultura Orgánica, Fundamentos para la Región Andina. Alemania. p 574.
- BOE (1990) Real Decreto 1310/1990, 29 de octubre, por el que se regula la utilización de lodos de depuración en el sector agrario BOE 2.6.2.
- BOE (2013) Real Decreto 506/2013, 28 de junio sobre productos fertilizantes.
- Bollo E. (2001). Lombricultura, una Alternativa de Reciclaje. Segunda edición Quito Ecuador. p 158.
- Cabrera (1988), La lombriz a tierra, Managua, artemisa – Cuba P.9 – 71 californiana (Red Hybrid), como alternativa agroecológica en el Altiplano Central (Sica-Sica). Tesis de Grado-UMSA. La Paz, Bolivia.
- Carrillo V. (2013) “Evaluación de la calidad de humus de lombriz a partir de sustratos orgánicos procedentes de baños ecológicos y estiércol animal en el altiplano norte de La Paz” (tesis de grado) Veterinaria Organización Málaga, España. p 20
- Castro, F. (2003) “Estudio de residuos industriales líquidos y evaluación de las alternativas de mejoras para la industria cervecera Valdivia”. Universidad Austral de Chile. Valdivia Chile.
- Charles Darwin (1881) escritor de los libros de las lombrices rojas californianas de formación de tierra en EE.UU. p 5.
- Chilon, E. (1997). Fertilidad de Suelos y Nutrición de Plantas. UMSA, Ediciones CIDAT, La Paz-Bolivia. p 185.
- Chilon, E. (2014). “Manual de fertilidad de suelos y nutrición de plantas”. Ed. CIDAT. p13 La Paz Bolivia.

- Chilon., E. (1997). Manual de Edafología. UMSA, Ediciones CIDAT, La Paz-Bolivia. p 245.
- Choque V., J. (2008). Producción de Humus de lombriz. La Paz: CIPCA. p 8-24
- Duran, F. (2009). “Seguridad alimentaria cultivando hortalizas”. Edición Grupo Latino Editoriales S.A.S.
- Espinoza, L. (2011). “como interpretar los resultados de los análisis de suelos”. (manual informativo). Universidad de Arkansas de sistema. Arkansas U.S.A.
- Ferruzzi (1987), Manual de lombricultura mundi prensa. Madrid. España. p5
- Ferruzzi (1994), Manual de lombricultura 3 Ed. Madrid – España, Edición Mundi
- Ferruzzi, C. (1994). Manual de lombricultura. 3ª Reimpresión. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- García, L. (2013) “biotecnología de la producción de la cerveza” (tesis de masterado) Universidad de Oviedo.
- Guanche, A. (2014) “Las lombrices y la agricultura”. (información técnica). Oficina Extensión Agraria y Desarrollo Rural - La Orotava.
- Guerrero, J. (1993) “Abonos Orgánicos”. Editorial Quiroz. Lima-Perú. pp. 9-71.
- Huaynoca (2002), Evolución y Producción de humus lombriz roja californiana Lic. Ingeniero Agrónomo La paz – Bolivia Universidad Mayor San Andrés p 110
- Huaynoca C., R. (2002). “Evaluación del Comportamiento y Producción de Humus de Lombriz Roja Alimentación en la Ciudad de Coroico.” Tesis Ing. Agrónomo, Facultad de Californiana (*Eisenia foetida*) bajo seis Sustratos de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés (UMSA). La Paz- Bolivia, p 125
- Huaynoca, R. (2002). Evaluación del comportamiento y producción de humus de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) bajo seis sustratos de alimentación en la localidad de Coroico. Tesis de grado. La Paz Bolivia.
- LEY No 1333. (1992). Ley del medio ambiente. Reglamento Gestión de Residuos Sólidos. La Paz – Bolivia. pp. 307 – 340.
- López J. (2000) transformación de desechos orgánicos contaminantes por la lombriz de tierra *Eisenia foetida savigni* y caracterización de su humus. Tesis para optar por el grado de maestra en suelos de la universidad veracruzana. México.

- López, E. (2016). “Lombricultura es un beneficio para la producción agraria”. Periódico “La Patria”. Bolivia.
- Mamani (2012) Comportamiento de la lombriz roja (*Eisenia* spp.) en sistemas de vermicompostaje de residuos orgánicos. (artículo científico) LA PAZ BOLIVIA.
- Manual de vermicompostaje amigos de la tierra. Ayuntamiento de Leganes (2015) p 2.
- Martínez C. (1996) potencial de la lombricultura: elementos básicos para su desarrollo. México primera edición en español.
- Meinicke (1988), lombrices. Montevideo Uruguay Edi. Agropecuaria p. 135 – 157
- Molitor, G. (1998). Experiencias en el Manejo Sostenible de los Recursos Naturales en los Andes. Ecuador, edición PROMUSTA. pp. 91-95
- Montaña, A (2010) “Los microorganismos, pequeños gigantes” (información técnica) Universidad autónoma de Puebla México.
- Morales S, M. (2003) La materia orgánica y el estado de fertilidad de los suelos pardos con carbonatos bajo diferentes sistemas de manejo.
- Morales, A. (1999) lombrices rojas californianas p.4
- Palmero, R. (2010) “Elaboración de compost con restos vegetales por el sistema tradicional en pilas o montones”. (información técnica) Cabildo Tenerife.
- Pati, A. (2002). “Determinación de la calidad de humus de lombriz (*Eisenia foétida*) elaborado a partir de residuos sólidos orgánicos urbanos de la ciudad de La Paz”. (tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés UMSA. La Paz Bolivia.
- Pineda, R. (1994). “Lombricultura. Piura-Perú” Edición CIPCA. pp. 1-61, 72.
- Ponce, R (2015) “Proceso de Producción del Lixiviado de Lombricompost”. (tesis de pregrado). Universidad autónoma de Baja California Sur. La Paz México.
- PROAGRO (2012). “Conociendo el reto de la adaptación al cambio climático en el sector agropecuario”. Programa de desarrollo agropecuario sustentable PROAGRO ejecutado por GIZ. Unidad de comunicación y relaciones públicas nacionales Bolivia.
- REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria, vol. VIII, núm. 8, agosto, 2007, pp. 1-10

- Rodríguez, F. (1982). "Fertilizantes Nutrición Vegetal." Ed.AGT,SA. México. pp. 33-88.
- Rojas, M. (2005) "Producción De Humus De Lombriz Roja Californiana (Eisenia foetia) Elaborado Con Diferentes Sustratos Vegetales En La Comunidad De Trinidad Pampa –Coripata" Universidad Mayor De San Andrés. La Paz Bolivia
- Rojas, S. (1999). Estudio de la producción y calidad de humus de lombriz roja
- Roman (2013) manual de compostaje del agricultor "experiencias en américa latina FAO. p 29.
- Ruiz (2005) Manual de producción de humus p 6-7
- Sánchez, C. (2003). "Abonos Orgánicos y Lombricultura". Edición RIPALME. Lima-Perú pp. 77-134.135
- Sanzo C. (1999). Como criar Lombrices Rojas Californianas. pp.12
- Serrano, T., 2004. Evaluación de procesos de vermicompostaje para el tratamiento de residuos sólidos urbanos de la localidad de Tiahuanaco. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Católica Boliviana "San Pablo". La Paz-Bolivia. p. 100.
- Silguy (1999), Agricultura biológica. Edic. Acriba S.A. sarogosa – España P. 20-129. 157
- Suquilanda, (1995). Fertilización orgánica. Editorial TECNIOFFSET. C. Quito. Ecuador. p 6.
- Tencela, X (2012) "Producción de humus de lombriz mediante el aprovechamiento y manejo de los residuos orgánicos". (tesis de pregrado). Universidad de Cuenca. Cuenca Ecuador.
- Valdivia, J. (1995). "Curso Práctico de Lombricultura". Seguridad Alimentaria, Sica Sica. p 1-18.
- Vargas, T. (2011). "Aplicación de diferentes dosis de humus de lombriz para la aceleración del proceso de elaboración de compost a partir de residuos sólidos orgánicos, en el relleno sanitario de Mallasa del municipio de la ciudad de La Paz. Tesis de grado. p 8
- Yépez, C. (2012). Cultivo de lombrices lleva dos décadas con óptimos resultados. Periódico "El Mundo" 2012.

9.1. Bibliografía de internet.

- AKO (2020) recaudado de la página el 1 de dic de 2020 www.valvulas-de-manguito.es/aplicaciones/ejemplos-practicos/valvulas-de-manguito-en-la-filtracion-de-la-cerveza.html
- Andino; Castillo. (2010). Microbiología de los Alimentos. Consultado 15 de noviembre 2020. Disponible en <http://avdiaz.files.wordpress.com/2010/02/documento-microbiologia.pdf>
- Braulio G., M., (2004). “Proyecto de prefactibilidad para la exportación de humus de lombriz roja californiana a la república de Chile en el periodo 2004 – 2014”. Consultado el 8 de dic. 2020. Disponible en: http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/7235/1/24896_1.pdf
- Bravo, A. 1996. Técnicas de aplicación de cultivo de la lombriz roja californiana (*Esenia fétida*). Artículo de internet www.altavisa.digital.com./lombricultura chile
- Carciochi R, (2016) Investigador de la Facultad de Ingeniería, Olavarría. Nota extraída del suplemento Rumbos, del Multimedios El Eco. Consultado el 25 de marzo. Disponible en: <http://rumbos.eleco.com.ar/cebada-de-cerveza-y-su-reutilizacion/>
- Cirilo, V; Enrique S, Hector T; Jose C y Antonio G. (2003). Abonos Orgánicos y Plásticultura. Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Consultado 8 noviembre 2020. Disponible en http://www.smcs.org.mx/pdf/libros/abonos_org.pdf.
- Diversidad microbiana y taxonomía, s/f. Consultado 5 diciembre 2020. Disponible en http://www.diversidadmicrobiana.com/index.php?option=com_content&view=article&id=671&Itemid=790
- Eusko Jaularitza (2001) administración y medio ambiente consultado 13 de febrero 2021. Disponible https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/ud_fp_ea/es_def/adjuntos/UD_FP_Administracion%20y%20medio%20ambiente_2004HR.pdf

- Fertilizantes orgánicos Xolox (2021) consultado el 27 de agosto del 2021.
Disponible en:
https://m.facebook.com/story.php?story_fbid=122546913459173&id=101412108905987
- Fundación Natura (2008) “importancia del compost” boletín online n1. ecuador. p 3,4. Se encuentra en la página web <http://www.fnatura.org/>
- INIA (Instituto Nacional de Investigación Agrar). (2008). Tecnologías innovativas Apropriadadas a la Conservación in situ de la Agrobiodiversidad. Producción y uso del humus de lombriz. Perú-Lima. Consultado 14 enero.2020. Disponible en <http://www.redisa.uji.es/artSim2008/tratamiento/A20.pdf>.
- INTERLATIN, CORP. (2007). “Lombrices ayudan a recuperar el suelo de rellenos sanitarios”. Artículo informativo de ciencia y tecnología. Consultado el 21 de septiembre de 2016. Disponible en <http://www.bolivia.com/noticias/autonoticias/DetalleNoticia35789.asp>.
- Ivone J. (30 de enero 2019) “La basura de La Paz puede convertirse en energía y abono”. Página 7. Recuperado de: www.paginasiete.bo/sociedad/2019/1/30/la-basura-de-la-paz-puede-convertirse-en-energia-abono-207468.html
- Jaén (14 de noviembre 2017) “usan desechos de la industria cervecera en la fabricación de un nuevo material de aislante para techos verdes” EsAndalucia. Recuperado de: www.europapress.es/esandalucia/jaen/noticia-usan-desechos-industria-cervecera-fabricacion-nuevo-material-aislante-techos-verdes-20171114133708.html
- Reglas Para Separar Basura Para México. (2017). Revisado el 19 de noviembre del 2020. Recuperado de: www.animalpolitico.com
- Sánchez, J. (2020) Ecología verde consultado el 29 de noviembre del 2021. Disponible www.ecologiaverde.com/que-es-la-tierra-de-diatomeas-y-para-que-sirve-1687.html
- Sanzo, C. (1999). Tecnologías para el Manejo de Cuencas. Artículo de Internet revisado el 25 de febrero 2021. Disponible http://www.lombricesrojas.com.ar_
- Schuldt, M., Rumi, A., Gutiérrez, D. (2005). Determinación de “edades “(clases) en poblaciones de *E. Fetida (annelida: lumbricidae)* y sus implicancias reprobilógicas

Revista del museo de la plata zoología 17(170):1-10. (en línea). Disponible en:
http://www.fcnym.unlp.edu.ar/publi/revista/zoologia/2005-17-170zoologia_alta.pdf.

- Somarriba R; Guzman G., 2004. Análisis de la influencia de la cachaza de caña y estiércol bovino como sustrato de la lombriz roja californiana para producción de humus. Managua – Nicaragua. p 56. Consultado 7 dic.2012 Disponible en:
<http://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnf04s693.pdf>
- Torres, C. (2000) Lombricultura Microemprendimiento Productivo. Recuperado de: lombricar@hotmail.com
- Wara A. (28 de mayo 2019) “Bolivia genera 7 mil toneladas de basura y solo recicla el 4%”. Página7. Recuperado de:
www.paginasiete.bo/sociedad/2019/5/28/bolivia-genera-mil-toneladas-de-basura-al-dia-solo-recicla-el-4-219371.html#!

ANEXOS

1. PRESUPUESTO

La presente investigación cuenta con un presupuesto de Bs. 2200 como indica el cuadro 1.

Cuadro 1. Presupuesto

N	ITEM	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	COSTO TOTAL
1	PALA	herramienta	50	2	100
2	PICOTA	herramienta	50	2	100
3	MAQUINARIA	hora	300	2	600
4	CAJAS LOMBRIARIAS	herramienta	35	16	560
5	TERMOMETRO	herramienta	150	1	150
6	PHMETRO	herramienta	200	1	200
7	BALDES	herramienta	40	2	80
8	CINTA METRICA	herramienta	80	1	80
9	ANÁLISIS DE LABORATORIO	servicio	530	1	530
TOTAL					2200

Los demás ítems y materiales usados, fueron aportados por el investigador y por la empresa asesora a modo de economizar dicha investigación.

2. RESULTADOS DE LABORATORIOS




Servicios Analíticos - Laboratorio Químico
 Unidad Descentralizada - Universidad Técnica de Oruro

FOR - INFORME DE ENSAYO - 01
 Revisión:00
 Emisión 2015 - 06 - 20

INFORME DE ENSAYO

Nº.: 46948

<i>NOMBRE DEL CLIENTE</i>	LOMBRIBOL		
<i>DIRECCIÓN DEL CLIENTE</i>	Jalsuri, Municipio de Viacha		
<i>PROCEDENCIA</i>	La Paz**		
<i>CARACTERÍSTICAS</i>	Humus de Lombriz CBN		
<i>RESPONSABLE MUESTREO</i>	Sr. Alejandro Pati Limachi**	<i>FECHA DE MUESTREO</i>	**
<i>FECHA RECEPCIÓN:</i>	2021-04-23	<i>FECHA DE ENSAYO</i>	Según detalle
<i>PÁGINA</i>	1/1	<i>FECHA DE ENTREGA</i>	2021-05-07

RESULTADOS:

Parámetros	Unidades	Fecha de Ensayo	Norma / Método	L.D.	Código Cliente	Código Laboratorio
Cadmio	Cd	2021-05-06	AAS	0,01	CBN-1	2146
Cobre	Cu	2021-05-06	AAS	0,02		
Niquel	Ni	2021-05-06	AAS	0,03		
Plomo	Pb	2021-05-06	AAS	0,03		
Zinc	Zn	2021-05-07	AAS	0,01		

REFERENCIAS

** Responsabilidad del Cliente

LD/ ppm = Límite de determinación en partes por millón .

Valor con símbolo "<" implica por debajo del límite de determinación.

El procedimiento de preparación y muestreo del objeto de ensayo se realizó de acuerdo al SOP1-PREPARACIÓN-01, pulverizado a -200#.



T.S. Rosmery Torrez Y.
Supervisor



Ing. Jenny A. Espinoza Z.
Jefe de Laboratorio



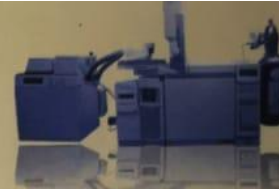
Ing. Rosario Mena de Bascopé
Resp. Control de Calidad

- Las firmas de los responsables de este trabajo confirman que los resultados finales reflejan verdaderamente los datos originales. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
- El Informe de Ensayo es válido solo si presenta sello seco.
- En caso de que el laboratorio no efectuó el muestreo, no es responsable para la representabilidad, ni la preservación de las muestras.
- Las muestras serán almacenadas por un lapso no mayor a 3 meses en un depósito del laboratorio (en relación a la estabilidad).
- Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin previa autorización escrita del laboratorio.

Dirección: Ciudadela Universitaria
 Prolongación Av. Dehene, Ciudadela Universitaria
 entre Coliseo FNI y Campo Ferial 3 de Julio.
 Castilla 252

e-mail: gerencia@spectrolab.com.bo
 Página Web: <http://www.uto.edu.bo/servicios/spectrolab.html>
www.spectrolab-bolivia.com
 Oruro - Bolivia

Telf./Fax: (591-215)260008
 5262983
 5264666



FOR - INFORME DE ENSAYO - 01
Revisión:00
Emisión 2015 - 06 - 20

INFORME DE ENSAYO

N°.:45684

NOMBRE DEL CLIENTE Cerveceria Boliviana Nacional - La Paz
DIRECCIÓN DEL CLIENTE Avenida Montes - La Paz
CARACTERÍSTICAS Cerveza
PROCEDENCIA La Paz**
RESPONSABLE MUESTREO Sra. Karen Z.** **FECHA DE MUESTREO** **
FECHA RECEPCIÓN 2020-08-12 **FECHA DE ENSAYO** Según detalle
PÁGINA 1/2 **FECHA DE ENTREGA** 2020-09-08


RESULTADOS:

PARÁMETRO	Unidades	Fecha de Ensayo	Norma / Método	L.D.	Código Cliente	Imperial	Pilsener
					Código Laboratorio	2343	2344
Aluminio	Al mg/l	2020-09-08	AAS	0,01		<0,01	<0,01
Arsénico	As mg/l	2020-09-02	AAS	0,002		<0,002	<0,002
Cadmio	Cd mg/l	2020-08-24	AAS	0,002		0,012	0,009
Cobre	Cu mg/l	2020-08-24	AAS	0,05		0,05	0,07
Hierro	Fe mg/l	2020-08-24	AAS	0,02		0,07	0,05
Sodio	Na mg/l	2020-08-25	AAS	0,02		23,20	18,87
Plomo	Pb mg/l	2020-08-24	AAS	0,01		<0,01	<0,01

REFERENCIAS

** Responsabilidad del Cliente
L.D.= Límite de determinación.
Valor con símbolo "<" implica por debajo del límite de determinación.


T.S. Rosmery Torrez Y.
Supervisor


Ing. Jenny A. Espinoza Z.
Jefe de Laboratorio


Ing. Rosario Mena de Bascopé
Resp. Control de Calidad

- Las firmas de los responsables de este trabajo confirman que los resultados finales reflejan verdaderamente los datos originales. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
- El Informe de Ensayo es válido solo si presenta sello seco.
- En caso de que el laboratorio no efectuó el muestreo, no es responsable para la representabilidad, ni la preservación de las muestras.
- Las muestras serán almacenadas por un lapso no mayor a 3 meses en un depósito del laboratorio (en relación a la estabilidad).
- Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin previa autorización escrita del laboratorio.



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA
EN SUELOS Y AGUAS (LAFASA)

LAFASA

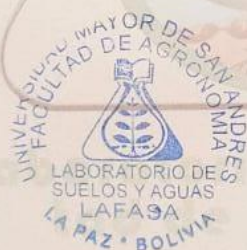


ANÁLISIS QUÍMICO

INTERESADO: Alejandro Pati Limachi
PROCEDENCIA: Departamento La Paz

SOLICITUD: LAF 85_21
FECHA DE ENTREGA: 03/05/2021

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
Densidad Real	g/cm ³	1.231	Picnómetro
Densidad Aparente	g/cm ³	0.506	Probeta
Humedad gravimétrica	%	18	Gravimétrico
pH en H ₂ O relación 1:5	-	8.77	Potenciometría
Conductividad eléctrica en agua 1:5	mmho/cm	2.97	Potenciometría
Calcio intercambiable	%	0.2	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Magnesio intercambiable	%	0.1	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Sodio intercambiable	%	0.02	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Potasio intercambiable	%	0.9	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Nitrógeno total	%	1.10	Kjendahl
Materia orgánica	%	14.13	Walkley y Black
Carbono Orgánico	%	8.19	Walkley y Black
Fósforo disponible	ppm	521	Espectrofotometría UV-Visible



[Signature]
Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS

3. ARCHIVO FOTOGRÁFICO.



Fotografía 1: Movimiento con equipo de retroexcavadora de lodos de tierra de diatomeas



Fotografía 2: Recolección de tierras de diatomeas



Fotografía 3: Recepción de líquidos de la industria cervecera.



Fotografía 4: Preparación de terreno experimental.



Fotografía 5: Fabricación de las cajas lombricarias.



Fotografía 6: Mezcla de alimento.



Fotografía 7: Recolección de lombrices.



Fotografía 8: Traslado de las cajas lombriarias al campo de investigación.



Fotografía 9: Distribución de cajas lombriarias.



Fotografía 10: Protección de las bases de las cajas lombriarias.



Fotografía 11: Incorporación de la mezcla alimento a las cajas Lombriarias



Fotografía 12: Inoculación de lombrices a las cajas lombriarias.



Fotografía 13: Traslado del tanque de agua al campo experimental.



Fotografía 14: Protección de lombrarios con malla semisombra.



Fotografía 15: Preparación de líquido alimento (cerveza y agua).



Fotografía 16: Apreciación de la levadura de cerveza en el líquido alimento.



Fotografía 17: Recolección de datos y monitoreo de las cajas lombricarias.



Fotografía 18: Preparación del producto final para ser secado y pesado.



Fotografía 19: Maduración del producto final para ser llevado al laboratorio.