

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



**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE CUATRO NIVELES DE ASERRIN CON
PRECOMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS COMO SUSTRATO EN
LA PRODUCCIÓN DE HUMUS DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA
(*Eisenia foetida*) EN BAJO PAMPAHASI EN EL DEPARTAMENTO DE
LA PAZ**

MILENKA SIRPA TORREZ

LA PAZ- BOLIVIA

2022

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

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE CUATRO NIVELES DE ASERRIN CON
PRECOMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS COMO SUSTRATO EN LA
PRODUCCIÓN DE HUMUS DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (*Eisenia foetida*)
EN BAJO PAMPAHASI EN EL DEPARTAMENTO DE LA PAZ**

**Tesis de Grado Presentado como
requisito parcial para optar el
Título de Ingeniero Agrónomo**

MILENKA SIRPA TORREZ

Asesor:

Ing. M. Sc. Paulino Ruiz Huanca

Tribunal examinador:

Ing. M.Sc. Medardo Wilfredo Blanco Villacorta

Ing. M.Sc. Estanislao Poma Loza

Ing. Esther Tinco Mamani

APROBADA

Presidente examinador:

LA PAZ – BOLIVIA

Dedicatoria

A mis padres Víctor y Agustina, los pilares fundamentales en mi vida, con mucho amor y cariño les dedico todo mi esfuerzo, en reconocimiento al sacrificio puesto para que yo pueda estudiar, se merecen esto y mucho más.

A mis hermanas Andrea y Daniela por todo su apoyo y comprensión.

Y dedicado especialmente para mi pequeña hija Lucía Fernanda por ser el motorcito que me impulsa a salir adelante cada día...

Agradecimientos

Doy gracias a Dios, por brindarme salud, inteligencia, sabiduría y la fortaleza necesaria para sobrellevar los obstáculos y guiarme en mi camino.

A mis padres Víctor y Agustina quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir un sueño más, gracias por inculcarme con su ejemplo que con perseverancia todo se puede lograr. También a mis hermanas por los consejos brindados y el apoyo incondicional.

Agradezco con el alma a mis mejores amigas de Universidad: Yhasmin Limachi, Angy Llusco y Denisse Caso, por acompañarme durante toda esta etapa, recordándome que soy una gran mamá, amiga y profesional, que todo logro es por mi pequeña Lucia.

Un profundo agradecimiento al Ing. Alejandro Pati Limachi, por su paciencia y asesoría invaluable en el tema, además por responder a cada una de las dudas que surgían en la experimentación como en la redacción del mismo. Gracias infinitas...

Agradecimiento especial a mi asesor de tesis, MSc. Paulino Ruiz Huanca, por haberme guiado, no solo en la elaboración de mi tesis, sino por el apoyo, consejos, enseñanzas y sobre todo la amistad brindada en los momentos más difíciles de mi vida.

A mis revisores de tesis, Ing. M.Sc. Medardo Wilfredo Blanco, Ing. Esther Tinco Mamani e Ing. M.Sc. Estanislao Poma Loza; por su paciencia en la revisión del documento de tesis y brindarme consejos para la corrección así presentar un documento de calidad investigativa.

Asimismo, agradezco a todos y cada uno de mis docentes de la Carrera de Ingeniería Agronómica, con su sabiduría, apoyo y conocimiento que me motivaron a desarrollarme como persona y profesional.

Finalmente agradezco a la Universidad Mayor de San Andrés y a la Facultad de Agronomía por brindarme la calidad de estudio, por ser la sede de todo el conocimiento adquirido en estos años.

RESUMEN

En Bolivia se generan aproximadamente 2 millones de toneladas de residuos sólidos al año, el cual equivale a 5400 toneladas al día y el 60% son residuos orgánicos, sin embargo, al no ser reciclado no puede ser procesado y cumplir su ciclo natural. Varios sectores productivos generan estiércol de animales, residuos agrícolas, residuos industriales; como aserrín, caracterizado por poseer varias cualidades. La presente investigación plantea una alternativa para el tratamiento aserrín en combinación con residuos orgánicos frescos de mercado y estiércol bovino maduro, mediante la Lombricultura, calificada como una biotecnología donde se utiliza la lombriz, en este caso la Roja Californiana (*Eisenia foetida*) caracterizada por la tolerancia a factores ambientales y potencial productor de humus de lombriz. Dicha investigación se llevó a cabo en la Zona Periurbana de Bajo Pampahasi, ubicado en el Este del Municipio de La Paz, con el objetivo de “Evaluar el efecto de cuatro niveles de aserrín con precompostaje de residuos orgánicos frescos de mercado y estiércol bovino como sustrato en la producción de humus de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en los cuales se evaluó el comportamiento de temperatura, pH, y humedad en el proceso de precompostaje y en la etapa de transformación de sustrato a humus, además el tiempo de humificación, el rendimiento en volumen y masa, así como determinar el tiempo de transformación y finalmente la calidad nutritiva del humus. Se inocularon 350 gr. de lombriz roja en 8 kg. de sustrato en los 4 tratamientos y 4 repeticiones, conformando así 16 unidades experimentales, donde el T3 y T2 fueron superiores con respecto a las variables en estudio, siendo el 50 y 25% de aserrín recomendado como sustrato para la producción de humus de lombriz, en combinación de otros residuos orgánicos.

Palabras claves: Aserrín, residuos orgánicos, humus de lombriz, lombricultura.

ABSTRACT

In Bolivia, approximately 2 million tons of solid waste are generated per year, which is equivalent to 5,400 tons per day and 60% is organic waste, however, since it is not recycled, it cannot be processed and fulfill its natural cycle. Several productive sectors generate animal manure, agricultural waste, industrial waste; as sawdust, characterized by having several qualities. This research proposes an alternative for the treatment of sawdust in combination with fresh organic waste from the market and mature bovine manure, through Vermiculture, qualified as a biotechnology where the worm is used, in this case the Red Californian (*Eisenia foetida*) characterized by tolerance to environmental factors and potential producer of earthworm humus. This research was carried out in the Periurban Zone of Bajo Pampahasi, located in the East of the Municipality of La Paz, with the objective of "Evaluating the effect of four levels of sawdust with precomposting of fresh organic waste from the market and bovine manure as a substrate in the production of Californian red worm humus (*Eisenia foetida*) in which the behavior of temperature, pH, and humidity in the precomposting process and in the stage of transformation of substrate to humus were evaluated, in addition to the humification time, the yield in volume and mass, as well as determining the transformation time and finally the nutritional quality of the humus. 350 gr. of red worm in 8 kg. of substrate in the 4 treatments and 4 repetitions, thus forming 16 experimental units, where T3 and T2 were superior with respect to the variables under study, with 50 and 25% of sawdust recommended as substrate for the production of earthworm humus, in combination with other organic waste.

Keywords: Sawdust, organic waste, worm humus, vermiculture.

CONTENIDO GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
CONTENIDO GENERAL.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	3
1.2. Planteamiento del problema	4
1.3. Justificación	4
2. OBJETIVOS	5
2.1. Objetivo General	5
2.2. Objetivos Específicos	5
2.3. Hipótesis	5
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
3.1. Lombricultura	6
3.1.1. Lombricultura en Bolivia	7
3.2. La lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>)	7
3.2.1. Clasificación zoológica	7
3.2.2. Origen	8
3.2.3. Características externas de la Lombriz roja californiana	8
3.2.4. Características internas de la lombriz roja californiana	8
3.2.5. Características reproductivas	9
3.2.6. Comparación entre las lombrices <i>Eisenia foetida</i> y <i>Lombricus terrestris</i>	9
3.2.7. Condiciones para el desarrollo de la lombriz roja californiana	11
3.2.7.1. Temperatura	11
3.2.7.2. pH	11
3.2.7.3. Conductividad eléctrica (CE)	11
3.2.7.4. Riego	11
3.2.7.5. Humedad	11
3.2.7.6. Aireación	12
3.2.7.7. Alimentación	12
3.2.7.8. Densidad de siembra de lombrices	12
3.2.7.9. Enemigos de la Lombriz	12
3.2.7.10. Enfermedad o intoxicación proteica	13
3.3. Características del humus de lombriz	13
3.3.1. Propiedades del humus de lombriz	14
3.3.1.1. Propiedades químicas, físicas y biológicas	14

3.3.2.	Calidad del humus de lombriz	15
3.3.2.1.	Parámetros de calidad de humus de lombriz.....	15
3.3.2.2.	Ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, huminas y ulminas.....	16
3.3.2.3.	Microorganismos.....	17
3.3.2.4.	Cosecha del humus de lombriz	17
3.3.2.5.	Conservación y almacenaje del humus de lombriz.....	17
3.3.2.6.	Uso y aplicación del humus de lombriz	17
3.3.2.7.	Cualidades del humus de la lombriz frente a cultivos agrícolas.....	18
3.4.	Agricultura Orgánica.....	19
3.5.	Compostaje.....	19
3.5.1.	Precompostaje o adecuación	19
3.6.	Vermicompostaje	20
3.6.1.	Parámetros esenciales en el precompostaje o adecuación	20
a)	Temperatura	20
b)	Reacción pH	20
c)	Aireación.....	21
d)	Humedad	21
e)	Riego	21
3.6.2.	Fases del compostaje	21
3.6.2.1.	Mesófila	21
3.6.2.2.	Termófila o de higienización.....	22
3.6.2.3.	Enfriamiento.....	22
3.6.2.4.	Maduración	22
3.7.	Materia Orgánica.....	22
3.7.1.	Descomposición de la materia orgánica mediante las lombrices.....	23
3.7.2.	Estiércol como alimento de la lombriz	23
3.7.3.	El aserrín como sustrato	24
3.7.3.1.	Comparaciones entre el humus de lombriz y compost	25
3.7.3.2.	Relación carbono nitrógeno (C/N) desde el punto de vista de aplicación al suelo	26
3.7.4.	Generación de residuos sólidos en La Paz y Bolivia	26
3.7.5.	Normativa Legal Vigente	26
4.	LOCALIZACIÓN	28
4.1.	Ubicación	28
4.2.	Características Climáticas.....	29

4.2.1.	Clima.....	29
4.2.2.	Suelo.....	29
4.2.3.	Ecosistema	29
5.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
5.1.	Materiales de estudio	29
5.1.1.	Material biológico	29
5.1.2.	Materiales orgánicos	29
5.1.3.	Material de campo.....	30
5.1.4.	Materiales de gabinete	30
5.2.	Métodos	30
5.2.1.	Flujograma del proyecto investigativo	30
5.2.2.	Procedimientos experimentales de estudio e investigación	32
5.2.2.1.	Construcción de ambiente atemperado.....	32
5.2.2.2.	Recepción de residuos orgánicos frescos de mercado.....	32
5.2.2.3.	Recepción de aserrín	32
5.2.2.4.	Recepción de estiércol bovino maduro.....	33
5.2.2.5.	Picado y triturado de los residuos orgánicos frescos de mercado	33
5.2.2.6.	Prueba de pH al estiércol bovino y el pesaje.....	33
5.2.2.7.	Tamizado y pesado del aserrín	34
5.2.2.8.	Apilación de residuos orgánicos.....	34
5.2.2.9.	Evaluación de temperatura y pH del proceso de precompostaje	34
5.2.2.10.	Acondicionamiento de las cajas lombricarias	35
5.2.2.11.	Obtención de lombrices y pesaje en el proceso de humificación.....	35
5.2.2.12.	Prueba de supervivencia.....	36
5.2.2.13.	Disposición de cajas lombricarias y sustrato precompostado	36
5.2.2.14.	Inoculación de las lombrices en las cajas lombricarias.....	37
5.2.2.15.	Temperatura, pH, humedad en el proceso de humificación.....	37
5.2.2.16.	Medición de volumen de cada tratamiento	38
5.2.2.17.	Medición de la masa de humus a la cosecha y postcosecha	38
5.2.2.18.	Tiempo de humificación o transformación de sustrato a fertilizante.....	38
5.2.2.19.	Cosecha de humus y de lombrices.....	38
5.2.2.20.	Postcosecha o secado del humus.....	39
5.2.2.21.	Evaluación y análisis de las variables en estudio	39
5.2.2.22.	Análisis de calidad del humus producido.....	39
5.2.3.	Diseño experimental de la investigación.....	40

5.2.4.	Croquis experimental	40
5.2.5.	Tratamientos	41
5.2.6.	Variables de respuesta.....	42
6.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	43
6.1.	Fase de precompostaje.....	43
6.1.1.	Temperatura ambiente dentro del invernadero.....	43
6.1.2.	Temperaturas de los sustratos en el proceso de precompostaje.....	44
6.1.3.	Reacción pH de los sustratos en el precompostaje	46
6.2.	Fase de humificación o transformación del sustrato en humus de lombriz	48
6.2.1.	El comportamiento de temperatura del ambiente atemperado	48
6.2.2.	Temperatura dentro de los lechos o sustratos en proceso de humificación.....	50
6.2.3.	Prueba de supervivencia.....	52
6.2.4.	Humedad dentro de los lechos.....	54
6.2.5.	Reacción pH durante el periodo de humificación de los sustratos.....	55
6.3.	Análisis de las variables altura y volumen	59
6.3.1.	Altura	59
6.3.2.	Volumen.....	60
6.3.3.	Rendimiento en masa del humus de lombriz.....	65
6.3.4.	Porcentaje de degradación de sustrato	68
6.3.5.	Tiempo de humificación	71
6.3.6.	Calidad Nutritiva.....	74
6.3.7.	Parámetros físicos	76
6.3.7.1.	Densidad aparente.....	76
6.3.7.2.	Humedad Gravimétrica	77
6.3.8.	Parámetros químicos	79
6.3.8.1.	Conductividad Eléctrica.....	79
6.3.8.2.	Calcio, Magnesio y Potasio Intercambiable	81
6.3.8.3.	Fósforo disponible.....	84
6.3.8.4.	Materia Orgánica.....	86
6.3.8.5.	Carbono Orgánico.....	88
6.3.8.6.	Nitrógeno total.....	91
6.3.8.7.	Relación Carbono/ Nitrógeno	92
7.	CONCLUSIONES	98
8.	RECOMENDACIONES	100
9.	BIBLIOGRAFÍA	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Taxonomía la Lombriz Roja Californiana	7
Tabla 2	Diferencias entre lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>) y lombriz de tierra (<i>Lombricus terrestris</i>)	10
Tabla 3	Parámetros de calidad de humus del humus de lombriz	16
Tabla 4	Recomendación de dosis de aplicación de humus de lombriz para diferentes cultivos	18
Tabla 5	Análisis químico de estiércol de diferentes animales	24
Tabla 6	Ventajas comparativas de compost y humus de lombriz	25
Tabla 7	Comportamiento del pH de los sustratos en proceso de precompostaje	46
Tabla 8	Datos de la prueba de supervivencia P50L de los sustratos en estudio	52
Tabla 9	Comportamiento del pH de los tratamientos en estudio durante la humificación	55
Tabla 10	Comportamiento de altura de los cuatro sustratos durante el proceso de humificación o transformación	59
Tabla 11	Comportamiento del volumen inicial, a la cosecha y a la postcosecha de los tratamientos en estudio durante el proceso de humificación en Bajo Pampahasi-La Paz	61
Tabla 12	Test de Duncan del volumen inicial del humus, a la cosecha y a la postcosecha de los tratamientos en estudio durante el proceso de humificación en Bajo Pampahasi-La Paz	62
Tabla 13	Porcentaje de reducción de volumen inicial al volumen a la cosecha del humus y al volumen de postcosecha	64
Tabla 14	Comportamiento de la masa del humus de lombriz a la cosecha y postcosecha durante el proceso de humificación	66
Tabla 15	Test de Duncan en la variable rendimiento en masa del humus en la cosecha y postcosecha	66
Tabla 16	Porcentaje de reducción de masa inicial de sustrato a humus en la cosecha y postcosecha	67
Tabla 17	Análisis de varianza de porcentaje de degradación de sustrato en el humus de lombriz de cuatro tratamientos en estudio	69
Tabla 18	Test de Duncan de la variable porcentaje de degradación del humus de lombriz	70
Tabla 19	Análisis de varianza de la variable tiempo de humificación de los sustratos en estudio	72

Tabla 20 Test de Duncan (0.05) para la variable tiempo de humificación en los sustratos en estudio.72

Tabla 21 Parámetros de calidad de diferentes autores y de la presente investigación evaluada en laboratorio (LAFASA)75

Tabla 22 Relación C/N a partir del carbono orgánico y nitrógeno obtenido en Laboratorio en el humus como producto final.93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Mapa de Ubicación del campo experimental.....	28
Figura 2	Flujograma de la investigación.....	31
Figura 3	Croquis experimental dentro del ambiente atemperado.....	41
Figura 4	Fluctuaciones de temperatura ambiente dentro del invernadero durante el proceso de precompostaje en Bajo Pampahasi, La Paz	43
Figura 5	Temperaturas de los sustratos durante el precompostaje en Pampahasi Bajo, La Paz.....	44
Figura 6	Comportamiento del pH de los sustratos en el proceso de precompostaje de cuatro tratamientos, en Bajo Pampahasi-La Paz.....	47
Figura 7	Fluctuaciones de la temperatura ambiente, máximas y mínimas dentro el invernadero durante el proceso de humificación en Bajo Pampahasi-La Paz.....	49
Figura 8	Temperaturas dentro de las cajas lombricarias de los cuatro tratamientos en estudio en Bajo Pampahasi, La Paz.....	50
Figura 9	Comportamiento del pH en el proceso de transformación de los cuatro sustratos en estudio dentro del ambiente atemperado en Bajo Pampahasi-La Paz.....	56
Figura 10	Comparación de la reacción pH evaluado en laboratorio en el humus de lombriz como sustrato final	57
Figura 11	Comportamiento de la altura de sustrato de los cuatro tratamientos en estudio durante el proceso de humificación.	60
Figura 12	Comportamiento del volumen del sustrato durante el proceso de humificación de cuatro tratamientos en estudio	63
Figura 13	Diferencias de los rendimientos en masa en los diferentes tratamientos para la producción de humus de lombriz en la cosecha y postcosecha, en Bajo Pampahasi, La Paz	67
Figura 14	Diferencias de porcentaje de degradación de los diferentes sustratos en estudio en Bajo Pampahasi, La Paz	70
Figura 15	Tiempo de humificación en los cuatro tratamientos en estudio, bajo ambiente atemperado Bajo Pampahasi, La Paz	73
Figura 16	Comparación de densidad aparente del análisis de laboratorio de humus producto de cuatro sustratos ofertados a la lombriz roja californiana	76
Figura 17	Comparación de la humedad del análisis de laboratorio de humus producto de cuatro sustratos ofertados a la lombriz roja californiana	78
Figura 18	Conductividad eléctrica del análisis de laboratorio de humus producto de cuatro sustratos ofertados a la lombriz roja californiana	79

Figura 19 Comparación del Calcio, Magnesio y Potasio intercambiable del análisis de laboratorio de humus de lombriz81

Figura 20 Comparación de fosforo del análisis de laboratorio de humus producto de cuatro sustratos ofertados a la lombriz roja californiana85

Figura 21 Comparación de materia orgánica del análisis de laboratorio del humus producto de cuatro sustratos ofertados a la lombriz roja californiana87

Figura 22 Carbono orgánico del análisis de laboratorio de humus producto de cuatro sustratos ofertados a la lombriz roja californiana89

Figura 23 Comparación de Nitrógeno del análisis de laboratorio de humus producto de cuatro sustratos ofertados a la lombriz roja californiana91

Figura 24 Comparación de C/N del análisis de laboratorio de humus de lombriz producto de cuatro sustratos ofertados a la lombriz roja californiana94

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Presupuesto para la implementación de la presente investigación en la zona de Bajo Pampahasi en el departamento de La Paz	110
Anexo 2 Niveles en masa y volumen de residuos orgánicos propuestos en la investigación al inicio del proceso de precompostaje como sustrato en la producción de humus de lombriz roja californiana.....	111
Anexo 3 Registro de datos de temperatura dentro los sustratos en el proceso de precompostaje y registro de temperatura ambiente dentro del invernadero.....	112
Anexo 4 Base de datos utilizados en el Análisis de Varianza en el programa InfoStat de las diferentes variables en estudio	115
Anexo 5 Resultados de análisis de laboratorio de humus de lombriz obtenidos con la presente investigación	120
Anexo 6 Archivo fotográfico estudio: “Evaluación del efecto de cuatro niveles de aserrín con precompostaje de residuos orgánicos como sustrato en la producción de humus de lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>) en bajo Pampahasi en el departamento de La Paz” llevada a cabo entre enero y agosto del 2022. Bolivia	124

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, todos los sectores productivos generan grandes cantidades de residuos orgánicos, como las excretas de animales, los residuos agrícolas, residuos industriales y residuos humanos. En algunos casos, estos residuos tienen alguna aplicación, pero en su mayoría no son reutilizados, simplemente quemados o echados a los basureros, ríos y lagos sin ningún tratamiento previo; todo esto genera un impacto negativo en el ambiente (López, Rueda, Sañudo, Armenta y Herrán ,2013).

En Bolivia cada uno de nosotros generamos en promedio medio kilo (0,5 kg) de residuos sólidos por día, de los cuales más del 50% son residuos orgánicos que se pueden reciclar, los cuales no son aprovechados y simplemente se lo arroja a la basura (Ministerio de Medio Ambiente y Agua [MMAyA], 2011).

En el departamento de La Paz se cuenta con una planta que transforma la basura orgánica en compost y humus de lombriz, ubicada en exrelleno sanitario de Mallasa, y aporta de gran manera a reducir los volúmenes de residuos orgánicos producidos por la población (Gobierno Autónomo Municipal de La Paz [GAMLP], 2021).

El aserrín es el residuo de la madera más común y más ampliamente distribuido, el cual tiene muchas cualidades que lo hacen deseable para la preparación del sustrato para la alimentación de la lombriz roja (Asprupal, 2013).

Sin embargo, existen muy pocas empresas tanto públicas como privadas que aprovechen el aserrín de las barracas o aserraderos producto del cortado de maderas, en la elaboración de abonos, compost o humus de lombriz, porque se desconoce su aporte y simplemente son eliminados vía quema o en cursos de agua.

Martínez (s.f) indica que en el planeta existen más de 8000 especies de lombrices, la más conocida es la lombriz de tierra (*Lombricus terrestris*); sin embargo, para el manejo de desechos orgánicos se utilizan lombrices con alta voracidad y capacidad reproductiva, fáciles de trabajar y con capacidad de adaptarse a condiciones adversas y la que cumple todos los requisitos es la *Eisenia foetida* (Lombriz Roja Californiana) utilizada en el 80% de los criaderos a nivel mundial.

Asimismo, el objetivo inmediato es la producción de humus de lombriz o denominado también lombricompost o vermicompost que puede ser empleado en los cultivos, huertos urbanos o en jardines.

Por lo tanto, la siguiente investigación pretende aportar con una nueva alternativa para la alimentación de la Lombriz Roja Californiana mediante la utilización de aserrín, en conjunto con otros residuos como los desechos orgánicos frescos de mercado y estiércol bovino promoviendo las cualidades y desventajas de su aplicación en la lombricultura para obtener humus de lombriz de buena calidad determinando así la combinación adecuada para su utilización procurando dar una nueva forma de aprovechamiento de estos residuos orgánicos, que de no ser utilizado constituye otro elemento que genera contaminación ambiental; siendo un aporte a la Agricultura orgánica y sostenible.

La presente investigación se llevó a cabo en el Municipio de La Paz, en la zona Periurbana de Pampahasi Bajo, los procesos se realizaron en carpa solar la misma destinada también a la agricultura urbana, garantizando la producción de alimentos ecológicos de la familia Sirpa.

1.1. Antecedentes

El compostaje y lombricultura domiciliarios, son acciones de gran valor ambiental, ya que permite reciclar la materia orgánica en origen y reducir la cantidad de residuos que hay que recoger, transportar, tratar y disponer en rellenos sanitarios. (MMAyA, 2011).

En los últimos años, la técnica de lombricultura ha tomado gran importancia como una solución más a los problemas de los residuos orgánicos, y en base a esto han surgido trabajos investigaciones encaminados a estudiar el efecto de diferentes tipos de residuos orgánicos, en el desarrollo de la lombriz y en la producción de lombricompost o humus de lombriz. Entre estos residuos se encuentran los desechos de animales como excretas vacunas, gallinaza, porcínaza y equínaza, los sólidos municipales y residuos domésticos; los residuos agroforestales como la broza de café, residuos de banano, restos de follaje ornamentales, aserrín y residuos de pastos (inclusive lodos de la industria papelera y/o cervecera).

En la Investigación realizada por López *et. al* (2013), a base de frijol, aserrín y acelerador de melaza con suero de leche como sustrato para la alimentación de la lombriz, concluye que el tratamiento con el acelerador adicional, fue el mejor, tanto para la reproducción de la lombriz como también por la calidad obtenida. Asimismo, corroboró que el uso de aceleradores favorece en la descomposición de aserrín para elaborar alimento para la lombriz. En cambio, los tratamientos sin aceleradores presentan menos contenido de Materia orgánica y mayor conductividad eléctrica, lo cual lo convierte en un sustrato no apto para la adaptación y reproducción de la lombriz.

En Riobamba-Ecuador, en la tesis de Cajas (2009), donde obtuvo datos muy alentadores, con el uso de aserrín pulverizado, pero únicamente hasta una combinación de 50% de aserrín y 50% de estiércol, recomendando que es más efectivo en tiempo y calidad, asimismo, indica que niveles más altos, como 75% y 100%, causan un menor rendimiento en la producción, calidad del humus y aumentan el tiempo de conversión sustrato fertilizante, lo cual no es conveniente para la producción.

Asimismo, Limachi (2018) en su investigación, corrobora los datos de Cajas (2009) donde sugiere la misma combinación, indicando que es la mejor dosis para a alimentación, reproducción y producción debido a la buena relación de C/N.

1.2. Planteamiento del problema

Para empezar con este punto primeramente se analizará que es problema, según Velásquez (2019) el problema es el conjunto de hechos o circunstancias que dificultan la marcha de un proceso normal, lo que puede crear una situación angustiada para una persona o un grupo de personas, lo que incita a la búsqueda de la solución adecuada correspondiente.

La presencia de basura orgánica en botaderos de la Ciudad de La Paz tiene efectos muy negativos en el medio ambiente, tales como emisiones de metano, que es un potente gas de efecto invernadero, contaminación de acuíferos por lixiviación y olores en las zonas habitadas próximas (Gonzales, 2019).

El producto generado del aserrado de la madera: aserrín, es desechado en los barrancos o ríos, porque la población no conoce las alternativas para su tratamiento. La problemática actual en los hogares de la mayoría de las familias donde no se realiza el respectivo reciclaje de los residuos orgánicos procedentes de la cocina y simplemente se los arroja a la basura en conjunto con los residuos sólidos generados.

Esta investigación propone buscar una solución mediante la lombricultura en el tratamiento y transformación de estos residuos y así reducir las problemáticas descritas.

1.3. Justificación

La siguiente investigación esta apuntada a determinar cuál es la mejor combinación de aserrín con residuos orgánicos frescos de mercado y estiércol bovino como sustrato para la alimentación de las lombrices con el objeto de producir humus y evaluar la calidad del mismo. Los motivos para realizar esta investigación tienen que ver con problemática principal del ineficiente tratamiento de los residuos orgánicos urbanos, además mediante la lombricultura devolver a la tierra lo que ella nos ha dado, garantizando así la seguridad alimentaria y la recuperación de suelos degradados con la implementación de una tecnología de biorremediación.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de cuatro niveles de aserrín con precompostaje de residuos orgánicos frescos de mercado y estiércol bovino como sustrato en la producción de humus de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en Bajo Pampahasi en el departamento de La Paz.

2.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el comportamiento de temperatura, pH durante el proceso de precompostaje de cuatro tratamientos propuestos como alimento para la lombriz roja californiana
- Evaluar el comportamiento de la temperatura, pH y humedad durante el proceso de humificación de cuatro tratamientos de sustrato ofertados a la lombriz roja californiana.
- Determinar el rendimiento de humus en volumen y masa a partir de cuatro tratamientos de sustratos ofertados a la lombriz roja californiana.
- Evaluar el porcentaje de degradación de sustrato de los cuatro tratamientos en estudio.
- Determinar el tiempo de transformación de sustrato a humus en los cuatro tratamientos ofertados a la lombriz californiana.
- Evaluar la calidad nutritiva del humus de lombriz como producto final

2.3. Hipótesis

- **H₀**= No existen diferencias significativas en el proceso de producción de humus de lombriz procedente de cuatro tratamientos de residuos orgánicos ofertados a la lombriz roja californiana.
- **H_a**= Existen diferencias significativas en el proceso de producción de humus de lombriz procedente de cuatro tratamientos de residuos orgánicos ofertados a la lombriz roja californiana.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. Lombricultura

“La lombricultura es el cultivo intensivo de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en residuos orgánicos, aprovechados como abono orgánico para cultivos agrícolas”, ayuda a reducir la contaminación urbana y se constituye en la base de la agricultura urbana orgánica. Los productos que se obtienen son el humus de lombriz considerado como el mejor fertilizante natural incluso mejor que los fertilizantes químicos. (Blanco, 2020).

Martínez (2008) indica que la lombricultura es una biotecnología, método popular de composteo pasivo y reconoce como el composteo del futuro. Se obtiene el humus de lombriz, considerado el mejor fertilizante natural incluso mejor que los fertilizantes químicos.

Asprupal (2013) indica que la lombricultura es: “una alternativa de manejo ecológico de suelo, pues permite recuperar, restablecer y mejorar la fertilidad natural de los suelos, además el incremento de rendimiento en cosechas”. Además, el proceso de producción de humus se consideran dos etapas bien definidas: el compostaje y la crianza de lombriz, el cual se utiliza la especie *Eisenia foetida* (Roja Californiana), cuya excreta es el humus.

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. Con la lombricultura contribuimos a mitigar la contaminación producto de los desechos orgánicos urbanos, mediante el tratamiento de estos residuos, así también con actitud corresponsable y participativa frente al problema de la gestión de los residuos sólidos (López, 2016).

Existen aproximadamente 8000 especies de lombrices, de los cuales 2500 han sido clasificadas, las más conocidas es la lombriz de tierra (*Lumbricus terrestris*) y solo 3 especies de lombrices han podido ser domesticada siendo *Eisenia foetida* criada en un 80% de los criaderos del mundo (Blanco, 2020).

3.1.1. Lombricultura en Bolivia

La primera colonia de la lombriz roja californiana llegó a Bolivia en 1989, al instituto de investigaciones agrícolas “El Vallecito” ubicado a 9 km de la ciudad de Santa Cruz, traídas desde Brasil por Carlos Panoff, estudiante 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 (Yépez ,2012 citado por Piza 2017).

Ramos (2009) propuso un proyecto que consistía en el diseño de una Planta de Producción de Humus con Residuos Sólidos Orgánicos en el ex-relleno de Mallasa y también para el relleno sanitario de Alpacoma.

3.2. La lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)

“Los motivos de su popularismo son la rusticidad, tolerancia a los factores ambientales (PH, temperatura, humedad), potencial reproductor y capacidad de apiñamiento (Blanco, 2020).

3.2.1. Clasificación zoológica

La tabla 1 indica la taxonomía de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)

Tabla 1

Taxonomía la Lombriz Roja Californiana

REINO:	Animal
DIVISIÓN:	Anélidos
CLASE:	Clitelados
ORDEN:	Oligoquetos
FAMILIA:	Lombrícidos
GÉNERO:	<i>Eisenia</i>
ESPECIE:	<i>E. foetida</i> (Savigny, 1826)
NOMBRE COMÚN:	Lombriz roja californiana

Fuente: Blanco (2020)

3.2.2. Origen

Asprupal (2013) indica que la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) es originaria de Eurasia. La cría intensiva de la misma se llevó a cabo a partir de la década de los 50´S en Estados Unidos en el Estado de California.

En América Latina se inicia su desarrollo a principios de 1980 (Martínez, 2008).

3.2.3. Características externas de la Lombriz roja californiana

De acuerdo con Blanco (2020) la lombriz tiene las siguientes características:

- La lombriz californiana es de color rojo oscuro; de ahí su nombre.
- Se adapta a la crianza al aire libre, no tienen sentido migratorio.
- Tiene un cuerpo alargado y segmentado con simetría bilateral.
- Mide de 6-8 cm de largo;3-5 mm. de diámetro y pesa aproximadamente 1 gramo.
- Tienen la capacidad de vivir en altas densidades (30.000 a 40.000 lombrices/m²).
- No soportan la luz (fotofóbicas), mueren en pocos minutos al ser expuestas al sol.
- Una lombriz puede llegar a producir 1300 lombrices al año, siendo una especie con alta tasa de prolificidad o reproducción.
- Respiran por la piel y la falta de humedad causa la mortandad de las lombrices.

3.2.4. Características internas de la lombriz roja californiana

Las características internas de la lombriz roja californiana descritas por López *et al.* (2013) son las siguientes:

- El sistema digestivo está muy desarrollado, la lombriz ingiere la materia orgánica mediante succión ya que no tiene dientes, entonces cuando los alimentos llegan al estómago las glándulas calcáreas que presentan segregan carbonato cálcico con el objetivo de neutralizar los ácidos existentes en los alimentos ingeridos, por esta razón a la lombriz roja se la conoce como correctora de suelos ácidos.

- Sistema respiratorio, las lombrices respiran por medio de la cutícula que debe permanecer siempre húmeda porque favorece a la absorción de oxígeno y liberación de anhídrido carbónico, si la cutícula se encuentra seca, la lombriz muere.
- El sistema muscular está conformado de 50-100 anillos los cuales le permiten a la lombriz desplazarse mediante movimientos de arrastre en la superficie.
- La lombriz roja no sangra al producirse un corte en su cuerpo y es totalmente inmune al medio contaminado en el cual vive, como la elevada capacidad de regeneración de sus tejidos.

3.2.5. Características reproductivas

De acuerdo con Blanco (2020) las lombrices son hermafroditas incompletas por lo que no está en condiciones de autofecundarse.

Asprupal (2013) indica que las lombrices copulan cada 7 días, siempre y cuando la temperatura sea favorable (15 a 25°C) y la humedad donde habita sea de 70 a 80%.

Cada cocón o huevo permanece en el vientre tres días y su eclosión se da de los 12 a 21 días. Del mismo nacen 2 a 21 lombrices de color blanco y pueden comer solas, a los 5-6 días de nacidas se ponen color rosa y a los 14 a 21 días son del color de sus padres, alcanzando su madurez sexual a los 3 meses de edad, presentando el clitelium abultado, lugar donde se desarrollan los cocones. Blanco (2020)

López *et al.* (2013) aporta que 1.000.000 de lombrices al cabo de un año se convierte en 12.000.000 y en dos años 144.000.000. Durante este periodo habrán transformado 240.000 toneladas de residuos orgánicos de 150.000 toneladas de humus.

3.2.6. Comparación entre las lombrices *Eisenia foetida* y *Lombricus terrestris*

La tabla 2 señala las principales diferencias entre la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) y Lombriz de tierra (*Lombricus terrestris*).

Tabla 2

Diferencias entre lombriz roja californiana (Eisenia foetida) y lombriz de tierra (Lombricus terrestris)

Características	<i>Eisenia foetida</i>	<i>Lombricus terrestris</i>
Promedio de vida	16-18 años	2-4 años
Fase de apareamiento	Cada 7 días	Cada 45 días
Huevos o cocones	1 cada 7 días	Hasta 12 por año
N° de nacidos por cocón	3-21 crías	1-4 crías
Reproducción de 1 par/año	1500 lombrices	200 lombrices
Crianza en cautiverio	Fácil	Difícil
Longitud	6-8 cm	4-5 cm
Carne	Suculenta	Blanda
Humedad	80%	45 %
Color	Rojo pardo	Diferentes tonalidades
Voracidad	Alta	Baja

Fuente: Blanco (2020) y López *et al.* (2013)

Aroa (2011) aporta que en el cultivo de las lombrices rojas se puede obtener cinco generaciones anualmente.

Mestanza (2013) indica que la lombriz roja asimila el 40% y excreta 60%, en cambio la lombriz de tierra asimila el 70% y excreta el 30%, ahí una diferencia importante a la hora de esperar la producción de humus de lombriz.

3.2.7. Condiciones para el desarrollo de la lombriz roja californiana

3.2.7.1. Temperatura

De acuerdo con Blanco (2020) las temperaturas óptimas para el crecimiento y desarrollo de la lombriz roja es de 12 a 25° C, la máxima de 42 °C y la mínima tolerable de 0° C, sin embargo, cuando las condiciones no son las adecuadas para su desarrollo de la lombriz (la temperatura es muy alta o demasiado baja) entra en periodo de dormición o letargo, etapa donde no se desarrollan ni reproducen.

3.2.7.2. pH

La lombriz acepta sustratos con pH de 5 a 8.4 disminuidos o pasados en esta escala la lombriz entra en una etapa de dormición. Sin embargo, el pH 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 (Blanco, 2020).

3.2.7.3. Conductividad eléctrica (CE)

Las lombrices rojas tienen una deficiente capacidad para regular las sales en su organismo, razón por la que no pueden vivir en ambientes salinos, el mismo que puede causarles la muerte (Sánchez, 2017 citado por Luna, 2020).

3.2.7.4. Riego

López y Machicado (2010) indica que el riego debe realizarse siempre y cuando el sustrato lo necesite, porque el encharcamiento o exceso de agua desplaza el aire del sustrato y provoca fermentación anaeróbica.

3.2.7.5. Humedad

Cuando las condiciones de humedad no son las adecuadas, las lombrices entran en estado de inactividad, periodo en el cual las lombrices permanecen enroscadas hasta que las condiciones se adecuen. La humedad adecuada es del 75 a 80% y mantener en el rango es importante para que la lombriz pueda moverse dentro de los desechos y facilitar la fragmentación de los mismos.

Si es muy alta la humedad evita la entrada de oxígeno y si es muy baja afecta a la respiración de las lombrices (Domínguez y Gómez, 2010 citado por Luna, 2020).

3.2.7.6. Aireación

Es fundamental para la correcta respiración y desarrollo de las lombrices. Si la aireación no es la adecuada el consumo de alimento se reduce; asimismo, el apareamiento y reproducción debido a la compactación (Blanco, 2020).

3.2.7.7. Alimentación

Blanco (2020) indica que la lombriz roja se alimenta generalmente de: restos de carpintería (aserrín), residuos vegetales y de cultivos, estiércol de especies domesticas (vacuno, ovino, etc.), frutas y tubérculos no aptos para consumo humano. Asimismo, realizando el cambio de alimentación se puede estimular la reproducción de las lombrices. Además, el sustrato con el que se alimentara a la lombriz, deben ser desechos orgánicos descompuestos o fermentado, estando estabilizados en pH y temperatura, sino podría ser mortal para las lombrices.

La lombriz adulta come diariamente su propio peso, aproximadamente 1 gramo, además excreta el 60% como abono y el 40% metaboliza para formar tejido y acumular energía (Mestanza, 2013).

3.2.7.8. Densidad de siembra de lombrices

En una superficie de 1.5 m de ancho y 10 metros de largo la siembra de lombrices recomienda que sea 4000 unidades, sin embargo, estudios han demostrado que las lombrices se desarrollan mejor cuando se encuentran con menor densidad de población. (Aroa, 2011).

3.2.7.9. Enemigos de la Lombriz

Muchos de los enemigos indeseables acuden al compostador debido en gran medida a las malas condiciones de mantenimiento, como ser: muy alta o baja humedad, sustratos más ácidos de lo recomendado. (Lombritec, 2021).

Blanco (2020), indica que las plagas que ponen en peligro la vida y supervivencia de la lombriz son: ratas, ratones, las serpientes, los sapos, los topos. Entre animales pequeños los enemigos de la lombriz son los ciempiés, planarias, los gorgojos y las hormigas que atacan directamente a las lombrices fraccionándola hasta causarle la muerte, es atraída por el azúcar que la lombriz produce al momento de deslizarse por debajo del sustrato.

3.2.7.10. Enfermedad o intoxicación proteica

La patología más importante es el síndrome proteico o intoxicación proteica, provocada por la presencia de un elevado contenido de sustancias ricas en proteínas (40%) no transformadas por las lombrices, causando la muerte instantánea de las lombrices, con síntomas previos de abultamiento de la zona del clitelium, y coloración rosada o blanca de las lombrices, además la prueba de P50L, es fundamental para evitar el riesgo de pérdida de núcleo de lombriz al otorgar alimentación equivocada (Blanco, 2022).

3.3. Características del humus de lombriz

Rosado, Gómez, Araujo (2022), indican que el humus de lombriz tiene las siguientes características:

- El humus de lombriz es un abono natural, un Bio-abono y no es tóxico, además es corrector de suelos.
- Aporta materia orgánica al suelo mejorando su estructura debido a la presencia de ácidos húmicos, fúlvicos, huminas y ulminas.
- Proporciona a los suelos permeabilidad tanto para el aire como para el agua, mejorando la retención del agua, la capacidad de almacenar y liberar nutrientes requeridos por las plantas en forma sana y equilibrada.
- Estimula un mayor desarrollo radicular y las plantas mejoran la capacidad de retención de nutrientes.
- La elevada carga microbiana contribuye a la protección de raíces, de bacterias y nematodos.

Para Blanco (2020) las características principales del humus son las siguientes:

- Es conocido por varios nombres: lombricompost, vermicompost, humus.
- Las cantidades de nutrientes dependerá de las características del sustrato que dieron origen a la alimentación de las lombrices.
- Puede reemplazar a cualquier abono químico y es el único abono aceptado por las explotaciones certificadas como orgánicas.
- Las deyecciones de la lombriz contienen: 5 veces de nitrógeno, 7 veces más de fósforo, 5 veces más potasio y 2 veces más calcio que el material orgánico que ingirieron.

Un humus de calidad genera impactos positivos al suelo ayudando al desarrollo de la agricultura sostenible (Luna, 2020).

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

- Fertilizante orgánico, biorregulador y corrector del suelo.
- Elevada capacidad de retención de agua, (desde 1200cc. hasta 1500 cc. /kg.), que permite ahorrar hasta un 30% de agua.

3.3.1. Propiedades del humus de lombriz

3.3.1.1. Propiedades químicas, físicas y biológicas

Blanco (2020) describe las propiedades químicas, físicas y biológicas:

Las propiedades químicas del humus de lombriz son las siguientes:

- Incrementa la disponibilidad de Nitrógeno, fosforo y azufre.
- Inactiva los residuos de plaguicidas debido a su capacidad de absorción.
- Inactiva el crecimiento de hongos bacterias que afectan a las plantas.

Las propiedades físicas son las siguientes:

- Mejora la estructura, dando soltura a los suelos pesados y compactos, mejorando la capacidad de retención del suelo, permeabilidad y ventilación.
- Reduce la erosión del suelo
- Confiere un color oscuro en el suelo ayudando a la retención de energía calórica.

Las propiedades biológicas en el humus de lombriz son las siguientes:

- Estimula la actividad microbiana debido a la fuente de energía del humus.
- Al existir condiciones óptimas de aireación, permeabilidad y otros se incrementa y diversifica la flora microbiana.

3.3.2. Calidad del humus de lombriz

Según Luna (2020) indica que los parámetros tanto físicos-químicos y nutricionales determinan la calidad del humus de lombriz, y no solas características como color, olor y textura. Además, un humus de calidad debe tener como mínimo un tiempo de compostaje de 90 días, con respecto a la cantidad de materia orgánica debe ser mayor al 50%, también debe presentar elementos como nitrógeno total, potasio, calcio, magnesio y fosforo. Cabe mencionar que debe tener buen color (oscuro), un buen olor y la textura al tocar debe ser granulada.

3.3.2.1. Parámetros de calidad de humus de lombriz

Díaz (2002) citado por Cajas (2009) indica que la característica del humus es variable y depende del tipo de residuos utilizado como alimento para las lombrices. Además, hay diferentes métodos analíticos empleados para determinar la calidad nutritiva del humus.

Los parámetros que se muestran a continuación corresponden a la calidad de humus de lombriz de acuerdo a Blanco (2020), así como se muestran en la tabla 3.

Tabla 3*Parámetros de calidad de humus del humus de lombriz*

Elemento	Unidad	Rango
Materia Orgánica	%	65-70
Humedad	%	40-60
pH	-	6,8-7,2
Nitrógeno (N2)	%	1,5-2,6
Fosforo	%	2-8
Potasio	%	1-2,5
Calcio	%	2-8
Magnesio	%	1-2,5
Carbono Orgánico	%	14-30
Ácidos fúlvicos	%	14-30
Ácidos húmicos	%	2,8-5,8
Sodio	%	0,02
Cobre	%	0,05
Hierro	%	0,02
Manganeso	%	0,006
Relación C/N	%	10-11
Flora Bacteriana	Colonias por grano	40x10 ⁸

Fuente: Blanco (2020)

3.3.2.2. Ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, huminas y ulminas

La biosíntesis de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos favorecen a la formación de coloides orgánicos y complejos arcillo húmicos, mejorando e incrementando el almacenamiento de agua del suelo, una mayor resistencia a los cambios bruscos de pH, también la liberación y disponibilidad de nutrientes K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn, Bo para las plantas (Chilón, 2016).

3.3.2.3. Microorganismos

El humus de lombriz posee una elevada carga microbiana del orden de los 20 mil millones de grano seco, contribuyendo a la protección de la raíz de bacterias y nematodos sobre todo (Blanco, 2020).

3.3.2.4. Cosecha del humus de lombriz

Para López y Machicado (2010) indican que el humus debe ser cosechado cuando presenta una apariencia de café molido, además las lombrices se observan delgadas debido a la falta de alimento. La granulometría del humus permite una absorción más rápida, para plantas que requieren con urgencia se aplica humus extrafino, para fruticultura y horticultura humus fino y el humus grueso se utiliza para árboles frutales que lo utilizan a más largo plazo, deshaciéndose de forma lenta y paulatina por acción del riego y lluvia.

3.3.2.5. Conservación y almacenaje del humus de lombriz

El humus de lombriz es un fertilizante “vivo”, repleto de bacterias, microorganismos beneficiosos, hongos, nematodos y ácidos húmicos. Dicho lo cual, se debe dar prioridad absoluta será la mantener vivo este “gran ecosistema” invisible al ojo humano, pero tan beneficioso para las plantas y sus raíces. Por lo tanto, para el almacenado del humus debe tomarse en cuenta varios aspectos para evitar que muera todo el ecosistema presente en el mismo: como ser un sitio fresco y húmedo, además ponerlo en bolsas porosas donde pueda haber flujo de aire, y no colocarlo por nada en el sol porque procederá a secarse (Lombritec, 2021).

El rango ideal que debería presentar el humus de 30 a 40% de humedad, manteniendo así las propiedades químicas y biológicas presentes (Blanco, 2020).

3.3.2.6. Uso y aplicación del humus de lombriz

La dosis recomendada de aplicación del humus de lombriz se detalla en la tabla 4.

Tabla 4

Recomendación de dosis de aplicación de humus de lombriz para diferentes cultivos

Uso	Al sembrar	Mantenimiento
Plantas y macetas	50% humus, 50% tierra 0,5-1 kg humus	30% humus, 70% tierra 0,3-0,5 kg humus
Hortalizas	2-4 kg/m ²	1-2kg m ²
Viveros y semilleros	30% humus, 70% tierra	20% humus, 80% tierra
Trasplante	0,5-2 kg/árbol	0,5-2 kg/árbol

Fuente: Estación Experimental de Patacamaya (2022)

3.3.2.7. Cualidades del humus de la lombriz frente a cultivos agrícolas

Los macroelementos que las plantas necesitan en mayor proporción son: Nitrógeno (N), fósforo (P), Calcio (C), Magnesio (Mg) y azufre, los mismos se miden en porcentajes, los cuales intervienen en los procesos de respiración y fotosíntesis por lo cual son vitales para las plantas. Además, aumenta el porcentaje de germinación en semillas, por lo tanto, reduce el tiempo de emergencia, además, hay mayor desarrollo radicular y vegetativo con plantas más robustas y resistentes a plagas; asimismo, el tiempo de floración se acorta y hay mayor fructificación en calidad y tamaño. (López et. al, 2013).

Permite satisfacer la demanda nutritiva de los cultivos hortícolas en invernadero, además reduce significativamente el uso de fertilizantes sintéticos, también se menciona que el uso de este producto tiene un aporte importante de carbono orgánico humificado (Luna, 2020).

3.4. Agricultura Orgánica

La agricultura orgánica se basa principalmente en la reducción al mínimo del uso de los insumos externos, evitando el empleo de fertilizantes sintéticos y plaguicidas; pero también implica utilizar los recursos biodegradables y renovables de la zona donde está actuando este tipo de agricultura, incidiendo en el desarrollo sostenible de las regiones agrícolas más deprimidas del planeta tierra (Asprupal, 2013).

3.5. Compostaje

Guanche (2015), indica que: “El compostaje es una tecnología sencilla y económica para aprovechar toda clase de basura biodegradable: desechos de jardín o cocina, papeles, estiércoles de animales, etc.”.

Según Asprupal (2013), indica que “el compost es una mezcla de estiércol de ganado con materia vegetal o residuos domésticos, que se humedecen y se dejan fermentar para estabilizar el producto; es decir no este caliente, no tenga moscas ni malos olores”.

3.5.1. Precompostaje o adecuación

Martínez (2008) indica que en el proceso de precompostaje o adecuación se produce la descomposición inicial de la materia orgánica en condiciones de una adecuada oxigenación, lo que acelera el cambio de pH y evita que la temperatura se eleve demasiado. El proceso debe lograr que el pH alcance valores ligeramente neutros a alcalinos (7-8), un pH demasiado ácido puede provocar la infestación de planarias. Para acelerar este proceso se puede usar aceleradores naturales o también combinar con yeso o carbonato de calcio para neutralizar la acidez, aunque este método no es recomendable porque encarece el proceso.

Además, Correa (2019) afirma que este producto no se puede usar directamente sobre las plantas porque contiene aun ácidos volátiles que causan fitotoxicidad en las plantas y causa en el suelo el fenómeno llamado hambre de nitrógeno que consiste en la disminución del nitrógeno disponible para las plantas.

Para asegurar un buen sustrato se requiere tres clases de materiales, uno con relación carbono nitrógeno de 35:1 como aserrín de madera, cascarilla de arroz, caña de maíz, bagazo de caña de azúcar, paja, vástago, hojas de plátano, pulpa de café, desechos de fruta, ramas y hojas verdes de arbustos, desechos de cocina y otros, materiales ricos en nitrógeno con una estrecha relación C/N, como estiércoles de toda clase de animales: gallinaza, sangre, harina de hueso, hierbas frescas, hojas de leguminosas, mantillo de bosque y otros. Fuente de materia mineral: cal agrícola, roca fosfórica, ceniza vegetal y tierra común (Rosado *et al.*, 2022).

3.6. Vermicompostaje

El proceso conocido como vermicompostaje es el compostaje donde se emplean organismos como las lombrices (Luna, 2020).

3.6.1. Parámetros esenciales en el precompostaje o adecuación

a) Temperatura

La temperatura es importante para determinar la velocidad de descomposición y mayor higienización (FAO, 2013).

Para la temperatura máxima que debería alcanzar la pila es 65-80°C, en el cual mueren huevos de insectos y semillas de malezas pierden su poder germinativo, se destruye organismos patógenos como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.*, acelera la descomposición del sustrato. (Rostrán, 2016)

b) Reacción pH

Martínez *et al.*, (2013) indica que en los primeros momentos del proceso el pH inicial sufre un descenso ya que se descompone mayoritariamente la materia orgánica produciendo la liberación de ácidos orgánicos, a medida que la temperatura sube, el pH suele ascender y hacerse alcalino (7-8).

Conforme la temperatura se estabiliza o baja el pH baja nuevamente situándose en niveles aproximados de 7. Sin embargo, la mayor actividad bacteriana se produce cuando el pH está en 6,0-7,5 (FAO, 2013).

c) Aireación

La FAO (2013) indica que “El compostaje es un proceso aeróbico, permitiendo una adecuada respiración de los microorganismos. Incluso la temperatura de la pila es homogeneizada, además, la biodegradación anaeróbica en el compostaje causa fuertes olores, larvas y moscas; asimismo si la aireación es excesiva provoca la pérdida de humedad por evaporación

d) Humedad

Cuando la humedad es muy alta, el agua desplaza al aire de los espacios libres entre las partículas y se produce anaerobiosis; si es muy baja la actividad biológica o microbiana se hace más lenta (Lombritec, 2021).

La humedad es indispensable para las necesidades fisiológicas de los microorganismos, los mismos llevarán a cabo la descomposición orgánica, y debe estar en un rango de 40-70%, siendo la humedad óptima de 55%, aunque varía dependiendo de la técnica y el tamaño de partículas (FAO, 2013).

e) Riego

Si los componentes del sustrato son en su mayoría aserrín, paja u hojas secas, el riego debe ser mayor que en materiales húmedos como residuos de cocina, frutas, etc. (FAO, 2013).

3.6.2. Fases del compostaje

Según FAO (2013) las fases del compostaje se dividen según la temperatura, en:

3.6.2.1. Mesófila

Se pasa de temperatura ambiente y en poco tiempo (días e incluso horas), llegando la temperatura hasta 45 °C, el incremento es debido a la actividad microbiana ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes de C/N generando calor. Y el pH baja hasta cerca de 4. Esta fase dura entre dos a ocho días.

3.6.2.2. Termófila o de higienización

El material alcanza temperaturas mayores a 45°C, llegando hasta 70°C, los microorganismos que se desarrollaron en la fase mesófila, son reemplazados por bacterias que crecen en mayores temperaturas y que actúan facilitando la degradación más compleja, de carbono como la celulosa y lignina. En esta fase se eliminan microorganismos patógenos, larvas y huevos.

3.6.2.3. Enfriamiento

La temperatura desciende hasta los 35-45°C porque se agotaron las fuentes de carbono y nitrógeno. En esta fase los organismos mesófilos reinician su actividad y requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración.

3.6.2.4. Maduración

Es un periodo que demora meses a temperatura ambiente, en el cual se producen reacciones químicas y consolidación de nuevas moléculas, además se suman nuevas poblaciones microbianas.

3.7. Materia Orgánica

Además, Asprupal (2013) indica que la materia orgánica puede ser de origen animal y vegetal como residuos provenientes de la actividad agrícola (rastros de cultivos, restos de podas y árboles, malezas, frutos dañados, etc.), residuos provenientes de la actividad forestal (aserrín, hojas, cenizas, etc.), residuos provenientes de la actividad ganadera (estiércoles, orines, pelos, huesos, etc.) y residuos provenientes de la actividad industrial (broza, pulpa de café, cacao, etc.).

Estos materiales inician el proceso de descomposición, en el que participan microorganismos y cambian de su forma orgánica (seres vivos) a su forma inorgánica (minerales, solubles o insolubles). Los mismos que fluyen por la solución del suelo y son aprovechados por las plantas o estabilizados hasta convertirse en humus mediante el proceso de humificación (FAO, 2013).

3.7.1. Descomposición de la materia orgánica mediante las lombrices

Las lombrices no tienen dientes, pero su sistema digestivo está muy desarrollado, ingiere la materia orgánica mediante succión y ésta cuando llega al estómago las glándulas calcáreas segregan carbonato cálcico cuya finalidad es neutralizar los ácidos presentes en la comida ingerida. Gracias a las glándulas presentes, las lombrices actúan como corrector de suelos ácidos. El material orgánico degradado pasa por la fracción intestinal donde es colonizado por una alta carga microbiana simbiótica la cual forma a partir de los desechos orgánicos, complejos amorfos coloidales que son expulsados como deyecciones que reciben el nombre de humus de lombriz. (Martínez, 2008).

3.7.2. Estiércol como alimento de la lombriz

Aroa (2011), indica que el estiércol de los animales herbívoros es excelente porque son ricos en celulosa, en carbohidratos y bacterias que desdoblan y ayudan al proceso digestivo. Los estiércoles utilizados individualmente o mezclados con otros y con desechos vegetales, son el alimento más apetecido por las lombrices.

Blanco (2020) indica que un factor importante dentro del manejo de las lombrices es saber diferenciar la edad del estiércol, y pueden ser:

- Estiércol fresco: es el estiércol que está acabado de producir por el bovino, y tiene una consistencia pastosa, de color verde y olor insoportable debido a su pH que es altamente ácido y no es recomendable para la lombriz.
- Estiércol maduro: el tiempo de haber ser producido por el animal es de 10-18 días, tiene una consistencia semipastosa y color verde oscuro además su olor es soportable porque el pH se encuentra entre 7 a 8. Este es el sustrato que mejor aceptan las lombrices.
- Estiércol viejo: es el estiércol que tiene más de 2 meses de haber sido producido, su consistencia es pastosa y dura, además no presenta ningún olor. No se recomienda alimentar a las lombrices con este sustrato ya que su pH es altamente alcalino y la consecuencia sería que las lombrices entren en un periodo de dormición. Además, tiene nulo el contenido de proteínas y vitaminas ese estiércol.

Estos estiércoles no son abonos, sino una materia prima con posibilidades de ser transformada en abonos. Si se entrega el estiércol estabilizado o maduro a las lombrices, se asegura que el pie de cría se reproduzca aceleradamente y en poco tiempo se multiplicara (López y Machicado, 2010).

La tabla 5 muestra el contenido promedio de nutrientes en estiércoles de diferentes procedencias en Bolivia.

Tabla 5

Análisis químico de estiércol de diferentes animales

DETERMINACIÓN	BOVINO	GALLINAZA	CERDOS
pH	8,3	7,6	7,3
M.O. (g/kg)	95	160	80
NITRÓGENO (g/kg)	4,4	9,0	7,0
P205 TOTAL (g/kg)	0,9	4,1	2,1
K2O TOTAL (g/kg)	4,2	7,5	3,3

Fuente: Iglesias (2021)

3.7.3. El aserrín como sustrato

Martínez (2008) indica que el aserrín y viruta son materiales orgánicos deshidratados que han perdido prácticamente muchos de sus nutrientes, siendo rico en lignina por lo tanto demoroso en descomponer.

Asimismo, indica que el aserrín presenta ventajas para su uso (bajo costo y alta disponibilidad), sin embargo, su gran limitante es la relación C/N, al respecto mencionan que, al añadir aserrín al suelo, se debe elevar cantidad de Nitrógeno para evitar competencia por él, y que, al usarlo para el cultivo de plantas, se han observado deficiencias de Nitrógeno.

Se puede concluir que es beneficioso incorporar aserrín en cantidades moderadas combinando con una mezcla con estiércol el cual aporta nutrientes básicos para estos anélidos como lípidos y proteínas además de una abundante población de microorganismos capaces de degradar la lignina y se debe tener cuidado con maderas rojizas como pinos, abetos y castaños, asimismo eucaliptos ya que tienen hojas ricas en terpenos y son tóxicos para las lombrices (Asprupal, 2013)

3.7.3.1. Comparaciones entre el humus de lombriz y compost

En la tabla 6 se realiza la comparación de las principales características del humus de lombriz y compost.

Tabla 6

Ventajas comparativas de compost y humus de lombriz

COMPOST	HUMUS DE LOMBRIZ
<ul style="list-style-type: none"> • Intervienen microorganismos, bacterias, hongos, etc. • Materia orgánica, restos de verduras, hojas, etc. Al igual que el humus de lombriz. • Tiempo de elaboración más largo • Con buen manejo no genera malos olores • Estructura granular irregular • Nutre el suelo, mejora las propiedades y corrige las deficiencias de minerales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Empleamos lombrices • Se utiliza restos de poda, estiércoles, restos de hogar, entre otros. • Tiempo de elaboración más corto • Con buen manejo no genera malos olores • Mejor estructura granular • Mejora el crecimiento de las plantas y producción de frutos.

Fuente: La huerta de Iván (2022).

3.7.3.2. Relación carbono nitrógeno (C/N) desde el punto de vista de aplicación al suelo

Se obtiene de la relación numérica al dividir el contenido de carbono (%C total) sobre el contenido de nitrógeno total (% total) de los materiales (Pati, 2021).

La relación carbono nitrógeno que debe haber en un suelo para que la mineralización sea viable está en torno a 8 ó 10, donde la cantidad de nitrógeno necesaria para la actividad metabólica de microorganismos es obtenida del mismo residuo orgánico incorporado, utilizando muy poco del existente en el suelo. Si estuviese por encima de 10 los microorganismos al tener demasiado carbono disponible podrían secuestrar el nitrógeno. El nitrógeno no quedaría libre porque al haber demasiado carbono al morir una bacteria otra ocuparía su lugar de inmediato. La planta no podría absorber nitrógeno y habría un déficit causando el “hambre de nitrógeno” lo que provoca el amarillamiento de la planta por falta de este elemento, este fenómeno también pasa en el caso del fósforo y azufre. Y si la relación C/N fuese menor a 8 la velocidad de la mineralización podría ser excesivamente lenta (Del Rey, 2019).

3.7.4. Generación de residuos sólidos en La Paz y Bolivia

Para Arteaga (2019), nos informa que en Bolivia diariamente genera 7.022 toneladas de basura aproximadamente. De ese total solo se recicla el 4% y según las autoridades y expertos, una de las razones principales es la falta de inversión en el manejo de los residuos por parte de los municipios. Según el Foro de Municipios de Gestión Integral de Residuos realizado en Tiquipaya los especialistas indicaron que Bolivia tiene un potencial aprovechable del 80% de los residuos que genera cada día.

En el mes de enero de 2022 se recolectó 144.257 toneladas de residuos sólidos en toda Bolivia. Y Solo en el departamento de La Paz se recogió 24.956 toneladas de residuos sólidos durante el mismo mes (Instituto Nacional de Estadística [INE], 2022).

3.7.5. Normativa Legal Vigente

En el artículo 2º (Definiciones) del Reglamento General Gestión integral de residuos, 19 de octubre de 2016, define:

- ✓ Humus es: Abono orgánico producto de la ingesta de los residuos orgánicos, que contiene todos los elementos nutritivos esenciales, flora bacteriana y alto contenido de ácidos húmicos. Es un compuesto estable, neutro e inodoro que puede ser aplicado en diversidad de cultivos.
- ✓ Residuos reciclables: Comprende todos los residuos que pueden ser empleados como insumo o materia prima en procesos productivos y compostaje.

En el artículo 59º (Plantas de tratamiento biológico) indica los siguientes párrafos.

- I. Las plantas de tratamiento biológico, deben ser priorizadas para el tratamiento de residuos orgánicos, mediante procesos de compostaje, lombricultura o digestión anaerobia, a través de métodos manuales o mecánicos.
- II. El compost y humus generado en las plantas de tratamiento biológico, previo cumplimiento de los parámetros de control, higienización, serán empleados en actividades de agricultura, forestación o jardinería, según corresponda.
- III. El funcionamiento de las plantas de digestión anaerobia, deberá priorizar su aprovechamiento energético previo cumplimiento de la normativa técnica.
- IV. Los parámetros de control, higienización de los productos generados en las plantas de tratamiento biológico, serán normados por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua en coordinación con las instancias que corresponda.

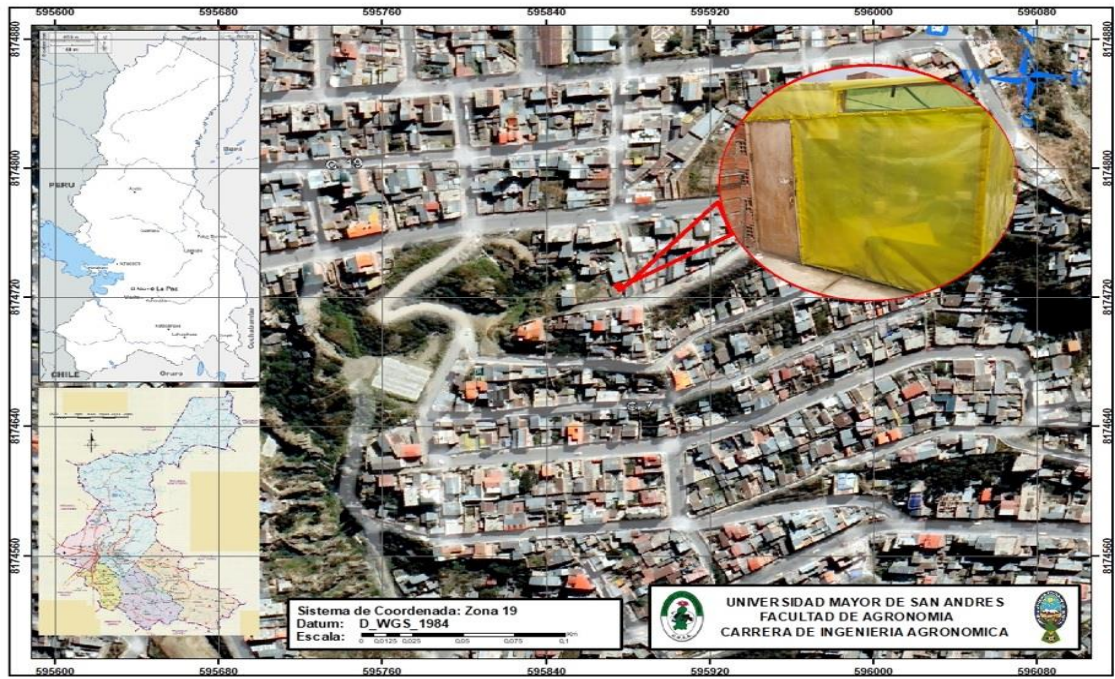
4. LOCALIZACIÓN

4.1. Ubicación

El Municipio de La Paz se ubica en la Provincia Murillo, a una altitud de 3.625 m.s.n.m. colinda al Norte con el Municipio de Teoponte de la Provincia Larecaja, al Este con los Municipios de Caranavi y Coroico de la Provincia Nor Yungas y Yanacachi de la Provincia Sud Yungas, al Oeste con los Municipios de Guanay de la Provincia Larecaja, El Alto y Pucarani de la Provincia Los Andes, finalmente al Sur con los Municipios de Achocalla, Mecapaca y Palca (GAML P, 2016).

El trabajo de investigación se realizó en el Zona Bajo Pampahasi, Distrito 16- San Antonio en la Provincia Murillo, del departamento de La Paz- Bolivia. Se encuentra en la parte este de la ciudad y es una de las zonas más pobladas de la mancha urbana como se puede observar en la figura 1. Tiene una altitud de 3700 m.s.n.m. entre las coordenadas geográficas: 16°30'26.6" Latitud sur y 68°06'05.5" Longitud oeste del meridiano de Greenwich (Climate Data, 2022).

Figura 1 Mapa de Ubicación del campo experimental



Fuente: Elaboración propia en Arcgis.

4.2. Características Climáticas

4.2.1. Clima

El clima es templado y cálido, la temperatura media se encuentra a 8,8 ° C, temperatura máxima y mínima de 19°C y 7 ° C. respectivamente.

Las precipitaciones alrededor de 570 mm, hasta el mes más seco aún tiene lluvia y humedad relativa de 90 % (Senamhi,2022).

4.2.2. Suelo

Los suelos de Pampahasi, se caracteriza por ser suelos franco-arenosos hasta arcillo-limoso, sin materia orgánica; elevada pedregosidad (GAMLP, 2016).

4.2.3. Ecosistema

Las variaciones altitudinales, los diferentes gradientes de pendiente, la diversa exposición de las laderas con respecto a los rayos solares, dirección de los vientos, humedad disponible y temperaturas variables determinan varios microclimas en la cuenca lo que permite el crecimiento de una vegetación variada en esta región (GAMLP, 2016).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Materiales de estudio

5.1.1. Material biológico

- 5,6 kilos de Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*)

5.1.2. Materiales orgánicos

- Estiércol bovino (maduro)
- Aserrín
- Residuos orgánicos frescos de mercado

5.1.3. Material de campo

- Listones de madera
- Agrofilm de 250 micras
- Semisombra
- Clavos
- Martillo
- Flexómetro
- 16 cajas lombricarias (baldes)
- Termómetro de ambiente
- Termómetro de suelo
- Guantes de goma
- Carretilla
- Malla milimétrica
- Balanza y/o romana
- Pala
- Rastrillo
- Regadera
- Papel indicador pH
- Vasos plásticos
- Agua potable
- Botas de goma
- Cajas de cartón
- Nylon negro
- Maples de huevo
- Tablas de madera
- Agua destilada
- Saquillos y /bolsas de pesaje

5.1.4. Materiales de gabinete

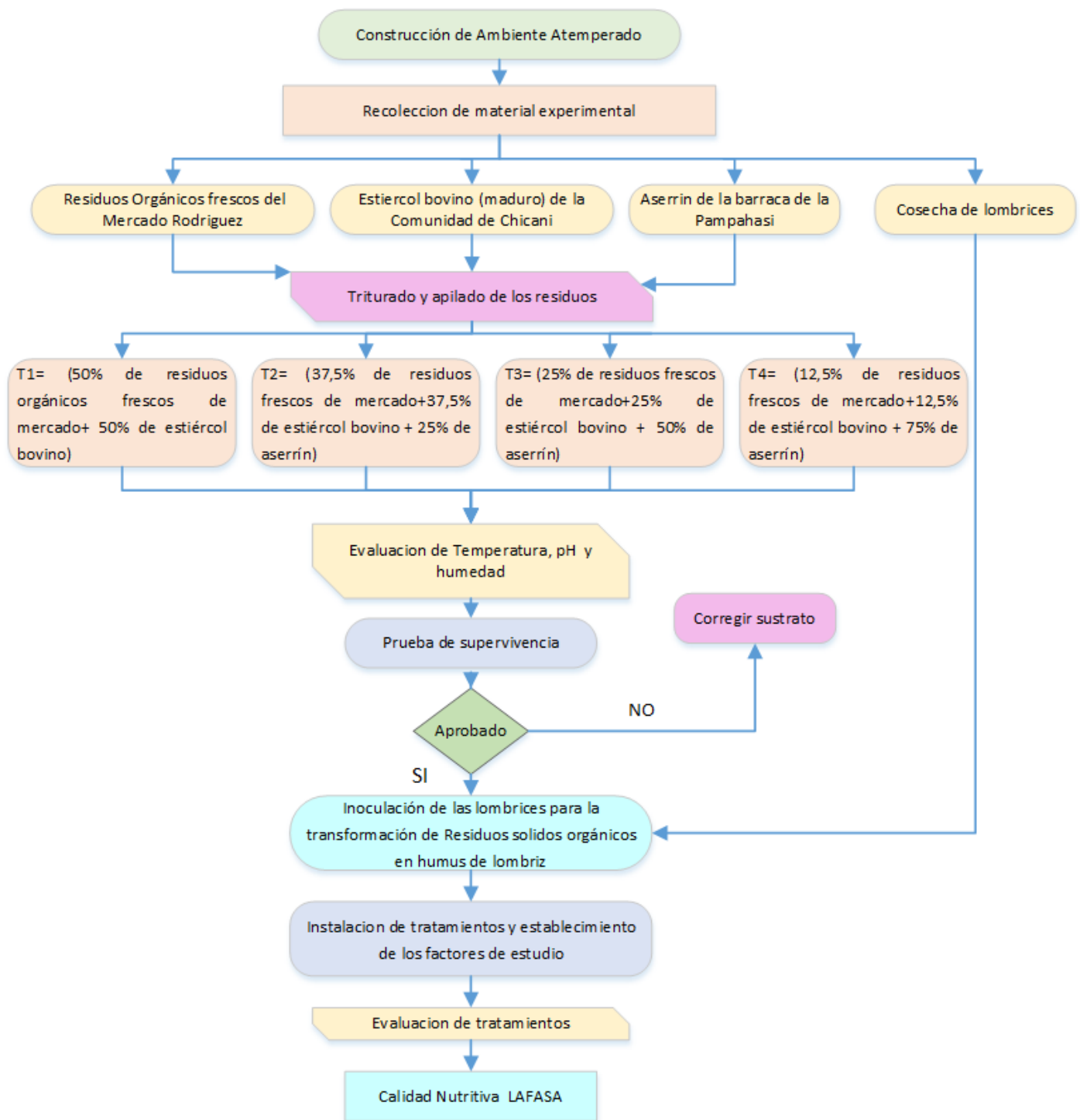
- Regla
- Calculadora
- Bolígrafos
- Planillas de registros
- Computadora
- Impresora
- Engrampadora

5.2. Métodos

5.2.1. Flujograma del proyecto investigativo

La figura 2 muestra los pasos principales que se llevaron a cabo para la presente investigación.

Figura 2 *Flujograma de la investigación*



Nota: Elaboración propia con los procesos realizados en la investigación.

5.2.2. Procedimientos experimentales de estudio e investigación

5.2.2.1. Construcción de ambiente atemperado

Para la realización de la experimentación e investigación se construyó un invernadero o ambiente atemperado de 2x3 metros, donde se utilizó 16 m² de agrofílm de 250 micras, el mismo se caracteriza por contribuir a una mayor eficiencia y productividad del sector agrícola y también para proteger ante las bajas y altas temperaturas, además se empleó listones de madera de 2 pulgadas para dar soporte al agrofílm, en cuanto a la pendiente del techo fue 15% se tomó en cuenta que no sea muy baja para evitar que se acumule el agua de lluvia (ver fotografía1).

5.2.2.2. Recepción de residuos orgánicos frescos de mercado

Los residuos sólidos orgánicos procedentes del Mercado Rodríguez, centro de gran abastecimiento a la ciudad inmerso en el Casco Urbano Central, lo que significa que un gran porcentaje de personas de cada Macrodistrito se abastece de alimentos incluso de lugares más lejanos.

Para la investigación se recolectaron 120 kg de residuos orgánicos frescos de los cuales se usaron 112.6 kg, los mismos se caracterizaron por contener verduras, hortalizas, frutas, tubérculos, e incluso forrajes de gramíneas; todo alimento que es desechado por las vendedoras, ya sea por pudrición o aplastamiento los cuales no son aptos para consumo humano (ver fotografía 2).

5.2.2.3. Recepción de aserrín

El aserrín es un sustrato ligero, la porosidad es superior al 80% y su capacidad de retención de agua es mínima, son partículas que se desprenden en el aserrado de la madera, este producto también es utilizado en camas de animales.

Para la investigación se recolecto una cantidad de 140 kg de aserrín, haciendo un total de 4 saquillos azules llenos, provenientes de la barraca más cercana de la zona, de los cuales se usaron 135 kg en los diferentes tratamientos en estudio (ver fotografía 3).

5.2.2.4. Recepción de estiércol bovino maduro

El estiércol bovino procedentes de la Comunidad a Chicani, ubicada a 20 minutos (8 kilómetros) del lugar donde se realizó la investigación.

Se recolectaron una cantidad de 112,6 kilogramos acopiados en saquillos plásticos para que no desprenda olor en el transporte del mismo, además una de las características principales para escoger el estiércol correcto es que sea maduro y no así fresco ni muy pasado por problemas de acidez o alcalinidad que se pueden presentar (ver fotografía 4).

5.2.2.5. Picado y triturado de los residuos orgánicos frescos de mercado

Los residuos a ser ofertados a las lombrices como alimento se trituraron lo más pequeño posible para acelerar el proceso de compostaje, con ayuda de guantes, cuchillos y tablas de picar (ver fotografía 5).

Los mismos se mezclaron en bañadores para que en variedad de residuos haya homogeneidad; además los líquidos de los residuos no se escurran para contrarrestar la humedad de los demás elementos a emplear en la experimentación. (ver fotografía 6).

El triturado se realizó a solo 3 metros del lugar experimental, para facilitar el traslado del material orgánico a usar en la investigación.

5.2.2.6. Prueba de pH al estiércol bovino y el pesaje

Con el papel pH se procedió a realizar el análisis correspondiente para evitar la acidez o exceso de alcalinidad en el proceso de compostado y así comprobar el tiempo de madurez del estiércol.

Se obtuvo un resultado de 7,5 en la escala de referencia, indicando encontrarse en pH aceptable para el compostado y posterior alimentación a las lombrices.

Se retiró residuos grandes como piedras o materiales extraños presentes por el acopio y traslado. Posteriormente se pesó la cantidad necesaria para el precompostaje requerido por cada tratamiento en la investigación.

5.2.2.7. Tamizado y pesado del aserrín

El aserrín se tamizó para evitar encontrar residuos demasiado grandes, además se pesó para la posterior apilación para inicial el compostado según los niveles planteados en los tratamientos de estudio. Posteriormente se lo humedeció antes de mezclar con los demás residuos orgánicos.

5.2.2.8. Apilación de residuos orgánicos

Con la ayuda de una pala se armó la pila, realizando capas alternas con los residuos orgánicos. Empezando por el aserrín, luego residuos frescos y estiércol y así se fue alternando hasta alcanzar una altura determinada de acuerdo al espacio disponible para el dicho proceso (ver fotografía 7, 8, 9 y 10).

Finalmente, se tapó con plástico negro para acelerar el proceso de precompostado de los residuos orgánicos, para posteriormente ser alimento adecuado para las lombrices y las mismas puedan producir humus de lombriz.

Las cantidades en kilogramos por tratamiento se encuentran detalladas en el anexo 2.

5.2.2.9. Evaluación de temperatura y pH del proceso de precompostaje

Durante el proceso de precompostaje (también denominado fase de fermentación oxidativa) se evaluó los parámetros: temperatura y pH.

La temperatura del sustrato se midió con ayuda de un termómetro de suelo, introduciendo en el mismo una profundidad de 25 cm y registrando en planilla la temperatura que marcaba. El intervalo de medición fue de cada 3 días en horas de la mañana porque hay menor variación de la temperatura (ver fotografía 11).

Con ayuda del papel pH se midió el nivel de Acidez o alcalinidad en el sustrato o compostado, realizado después de 9 días de iniciado el proceso porque al principio no había homogeneidad de los elementos que componían el sustrato, se registró el dato de pH de los días 9, 18, 17, 36 y 40 respectivamente.

La medición de pH se realizó en 4 vasos plásticos representando a los 4 tratamientos en estudio, se mezcló 10 gramos de sustrato en 50 ml de agua destilada para mayor precisión porque el agua potable podría presentar algún grado de sales y afectaría a la exactitud de la muestra.

El volteo se realizó una vez por semana para evitar que baje demasiado la temperatura de compostado y por lo tanto se lentifique el proceso de descomposición. Consistió en colocar las capas inferiores del material sobre la superficie, adicionalmente para regular la temperatura en el sustrato se aplicó la cantidad de agua necesaria para humedecer el material sin generar lixiviados (ver fotografía 12).

5.2.2.10. Acondicionamiento de las cajas lombricarias

Las cajas donde se realizó la investigación tenían dimensiones de (0,22*0,27) m² con una profundidad de 30 cm, con forma rectangular y de material plástico.

Para el respectivo drenaje se realizó pequeños agujeros con material corto punzante caliente. Para el posible exceso de líquido o lixiviado que causaría problemas de estancamiento y putrefacción generando malos olores además posible daño a las lombrices,

Además, se armó cajas de malla milimétrica colocadas en la base por dentro en las cajas lombricarias en estudio; para evitar la fuga de las lombrices por la parte inferior de la caja. (ver fotografía 13).

5.2.2.11. Obtención de lombrices y pesaje en el proceso de humificación

Las lombrices usadas en el experimento fueron cosechadas de una producción propia de la Zona Bajo Pampahasi en la Ciudad de La Paz, mismo lugar donde se realizó la experimentación y estudio.

Estas lombrices fueron criadas y alimentadas con restos de cocina, estiércol bovino y en pocas ocasiones aserrín tamizado. Fueron recolectadas mediante el método de trampeo con alimento, proceso realizado en sombra (la luz solar les causa la muerte instantáneamente) para evitar que las lombrices sufran de estrés por la manipulación (ver fotografía 14).

Para el estudio, la cantidad requerida de lombrices fue de 5,6 kilos (entre lombrices adultas, juveniles y bebés) las cuales se distribuyeron a 350 gramos por unidad experimental o cajas lombricarias (16 unidades experimentales).

5.2.2.12. Prueba de supervivencia

Antes de la inoculación y para asegurarnos que los alimentos a otorgar a las lombrices estén fermentados, además garantizar la supervivencia de las mismas se realizó la prueba de 50 lombrices (PL50) durante 48 horas, que consistió en colocar en 4 cajas lombricarias, representando los 4 tratamientos en estudio, 50 lombrices en 2 kilos de alimento ya compostado (marcando el tratamiento correspondiente). Solo se dispuso la mitad de la caja con alimento y la otra mitad se dejó vacía por si el alimento no cumplía con las condiciones adecuadas y las lombrices migrarían a ese espacio (ver fotografía 15).

5.2.2.13. Disposición de cajas lombricarias y sustrato precompostado

Se procedió a preparar el ambiente experimental y a distribuir los lombricarios a una distancia entre cajas de 0.20 m y un pasillo central de 0.40 m para mejor desplazamiento en la toma de datos. En la parte inferior de las cajas se armó una base con tablas de madera y maple de huevo con el objetivo que no sea muy frío el ambiente ya que el piso del ambiente atemperado era de hormigón.

Una vez que las cajas lombricarias estuvieron instaladas en el área de estudio, se procedió a introducir el alimento precompostado de acuerdo al tratamiento en estudio en cada caja, en una cantidad de 8 kilogramos por unidad experimental, distribuida homogéneamente, evitando residuos grandes y además comprobando la humedad se encuentre al 70-80% (ver fotografía 16)

5.2.2.14. Inoculación de las lombrices en las cajas lombricarias

Se realizó la inoculación de 350 gramos de lombrices rojas en 8 kilogramos de sustrato húmedo (75-80%) por cada Unidad Experimental, se las dispuso en la parte superior de cada caja lombricarias para que ellas mismas ingresen de manera voluntaria a su nuevo alimento por acción de la luz (ver fotografía 17).

Después que las lombrices se introdujeron en su alimento se procedió a tapar con maple de huevo recortadas del mismo tamaño que la caja lombricarias, para que la humedad se conserve y no se evapore por acción del calor generado por el ambiente atemperado.

5.2.2.15. Temperatura, pH, humedad en el proceso de humificación

La toma de muestras de pH del sustrato se realizó cada 30 días, verificando el estado del alimento proporcionado a las lombrices, tanto en humedad como en compactación. El procedimiento consistía en mezclar 10 gramos de sustrato en 50 ml de agua destilada e introducir la tira de papel pH durante 5 segundos, posteriormente se comparó el color con la tabla de valores de referencia (ver fotografía 19).

La temperatura de los sustratos fue tomadas a primeras horas del día, porque existía menor variación de temperatura y con un intervalo de 3 días, el instrumento utilizado fue un termómetro digital el mismo que se introdujo a 25 cm de profundidad en cada tratamientos y repeticiones (ver fotografía 20).

Además, se contaba con un termómetro de ambiente, colocado a una altura de un metro de donde se encontraban las cajas lombricarias, el mismo era controlado cada día para evitar la concentración excesiva de calor o controlar el ambiente en caso que la temperatura bajaba demasiado (ver fotografía 21).

La humedad se midió de manera manual, sin ningún instrumento que consistía en tomar un puñado de alimento en la mano, verificando así si la humedad era óptima para que la lombriz pueda moverse y respirar dentro del mismo (ver fotografía 22).

5.2.2.16. Medición de volumen de cada tratamiento

La medición del volumen fue indirecta, ya que midiendo las dimensiones de la caja lombricaria y la altura del sustrato e introducidos en la ecuación matemática ($L \times A \times H$; L=largo, A=alto, H=altura) se pudo hallar el dato de volumen total del sustrato.

Las alturas de cada tratamiento fueron obtenidas con ayuda de una regla metálica, esta medición se la realizó en todas las cajas lombricaria de cada tratamiento y repetición en estudio para el estudio de su comportamiento en la variable rendimiento en volumen.

5.2.2.17. Medición de la masa de humus a la cosecha y postcosecha

Para evaluar el comportamiento de la transformación de sustrato para rendimiento en masa se tomó como referencia la masa inicial (8kg) y posteriormente la masa a la cosecha (separación de lombrices y humus) con la ayuda de romana y baldes. También se tomó los datos de la masa a la postcosecha (después de haber sometido el humus a un proceso de secado bajo semisombra).

5.2.2.18. Tiempo de humificación o transformación de sustrato a fertilizante

El tiempo de transformación de sustrato a humus se determinó observando las características físicas presentes en los sustratos finales, es decir las propiedades organolépticas: coloración, textura y el olor, según lo que manifiesta la bibliografía indicando que el humus de lombriz es negruzco, textura granulada y olor a mantillo de bosque.

5.2.2.19. Cosecha de humus y de lombrices

Para saber en qué momento estaba listo el humus para ser cosechado, se observó que el mismo tenía un aspecto oscuro y terroso (parecido a la borra del café). Entonces siete días antes de la extracción de lombrices del humus se dejó de regar para que disminuya la humedad presente, posteriormente se cosecho las lombrices mediante las trampas de alimento precompostado cada dos días durante una semana.

Colocando en una red alimento encima de la cama de cada tratamiento y repetición, y por acción del hambre las lombrices subieron al nuevo alimento, extrayendo así un 90 % de las lombrices y el otro 10% de manera manual. Todo este proceso fue realizado en sombra ya que la luz solar directa les causa la muerte instantáneamente (ver fotografía 23).

5.2.2.20. Postcosecha o secado del humus

Las lombrices sobrantes del humus se extrajeron mediante cosecha manual (fotografía 23 de anexos), finalmente se tomó los datos de peso y volumen final y se empezó la preparación del humus de lombriz para posterior análisis de calidad en laboratorio.

El secado del humus se realizó bajo la red semisombra para evitar que se seque en exceso, además se separó en cajas de cartón para que no se mezclen entre tratamientos y repeticiones (ver fotografía 25 y 26)

Finalmente, el producto fue mezclado y cernido a 5 mm para analizar la calidad nutritiva en laboratorio (ver fotografía 27).

5.2.2.21. Evaluación y análisis de las variables en estudio

Los datos se procesaron en el programa InfoStat Versión “2014” con un nivel de significancia ($p < 0,05$), realizando el Análisis de Varianza (ANVA) además la prueba de comparación de medias Test de Duncan.

5.2.2.22. Análisis de calidad del humus producido

El análisis de calidad se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelos y Aguas (LAFASA) de la Facultad de Agronomía-U.M.S.A.

Para dicho análisis se envió 1 kilogramo de muestra por tratamiento, tamizado y con humedad de 40-50% aproximadamente (verificado de con el método manual). Por lo tanto, los parámetros de calidad de los sustratos fueron corroborados por los resultados de laboratorio, seguidamente con los resultados se procedió a comparar los valores obtenidos en laboratorio con los estándares exigidos para que sea considerado humus de lombriz de buena calidad en diferentes normativas.

5.2.3. Diseño experimental de la investigación

El presente trabajo se realizó bajo un diseño experimental completamente al azar (DCA), con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, con el siguiente modelo lineal aditivo.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij}$$

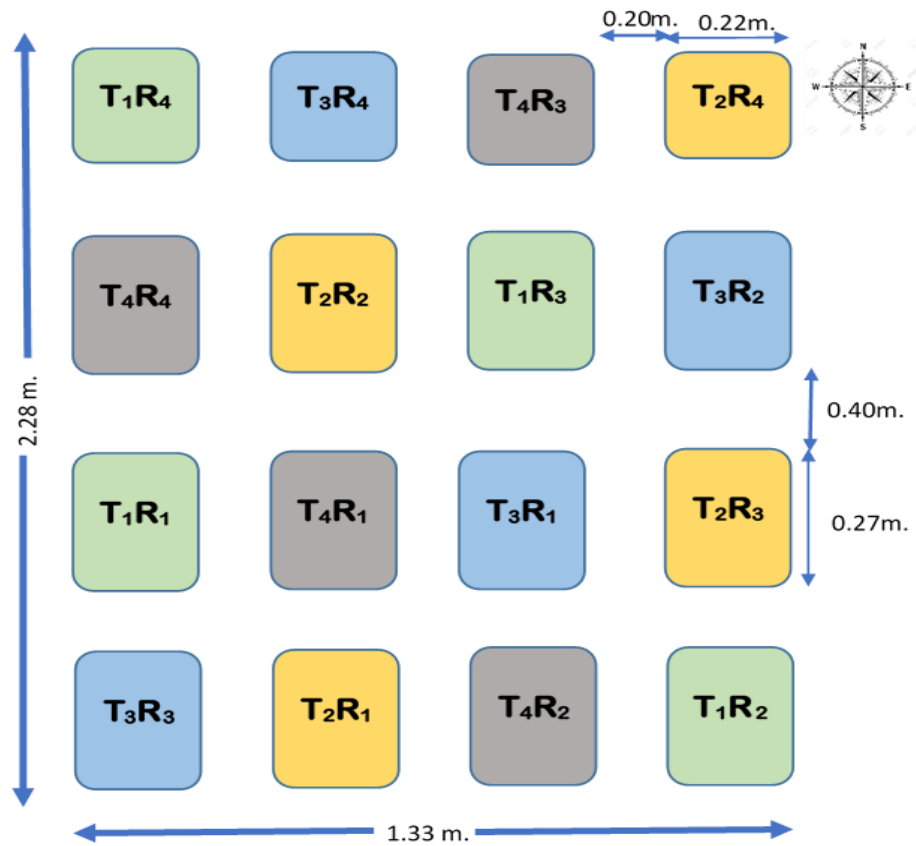
Donde:

- Y_{ij} = valor de la variable de respuesta en la j-ésima unidad experimental que recibió el i-ésimo tratamiento
- μ = Media poblacional.
- T_i = Efecto fijo del Tratamiento
- ϵ_{ij} = Efecto aleatorio del Error Experimental

5.2.4. Croquis experimental

La figura 3 presenta la distribución de las unidades experimentales en el área donde se realizó la investigación, distribuidas aleatoriamente con un total de 4 tratamientos y 4 repeticiones, cada caja o balde mide 27 cm de largo y 22 cm de ancho. Los pasillos presentes entre las cajas eran para una mejor comodidad en la recolección de datos.

Figura 3 Croquis experimental dentro del ambiente atemperado



Nota: Elaboración propia (2022)

5.2.5. Tratamientos

T1: residuos orgánicos frescos de mercado (50%) + estiércol bovino (50%) + aserrín (0%)

T2: residuos orgánicos frescos de mercado (37,5%) + estiércol bovino (37,5%) + aserrín (25%)

T3: residuos orgánicos frescos de mercado (25%) + estiércol bovino (25%) + aserrín (50%)

T4: residuos orgánicos frescos de mercado (12,5%) + estiércol bovino (12,5%) + aserrín (75%).

5.2.6. Variables de respuesta

- Parámetros de temperatura, pH en el proceso de precompostaje de residuos orgánicos en estudio.
- Condiciones ambientales para el desarrollo de la lombriz californiana: temperatura, humedad y pH.
- Rendimiento en masa del producto final.
- Rendimiento en volumen del producto final.
- Porcentaje de degradación de sustrato del humus de lombriz.
- Tiempo de transformación de los sustratos a humus de lombriz.
- Calidad y cantidad de nutrientes.

6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

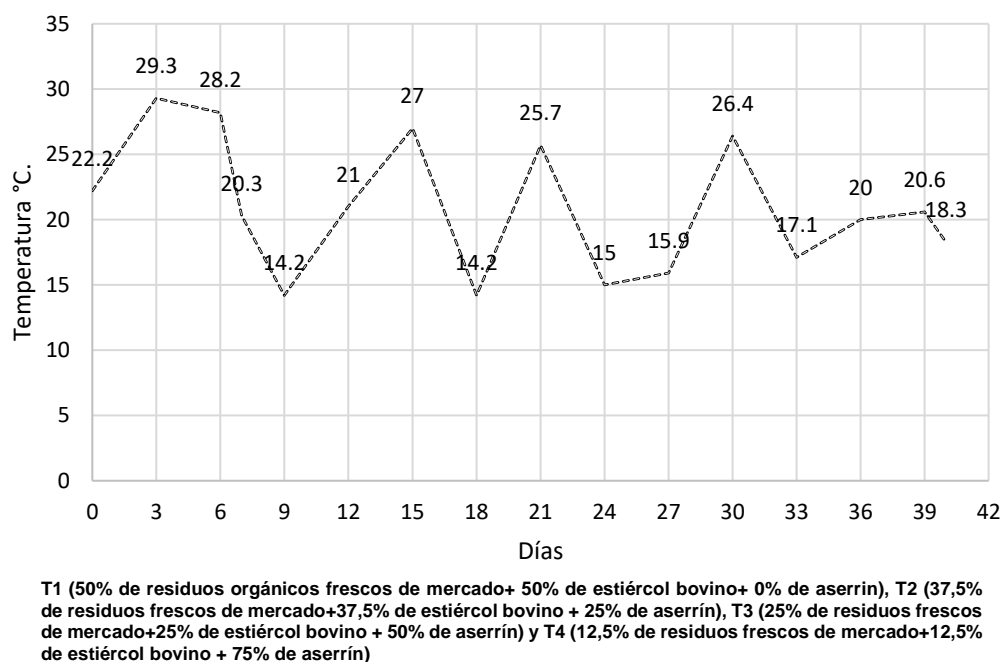
6.1. Fase de precompostaje

6.1.1. Temperatura ambiente dentro del invernadero

La temperatura ambiente se evaluó en horas de la mañana porque había menor variación de temperatura en el invernadero.

Figura 4

Fluctuaciones de temperatura ambiente dentro del invernadero durante el proceso de precompostaje en Bajo Pampahasi, La Paz



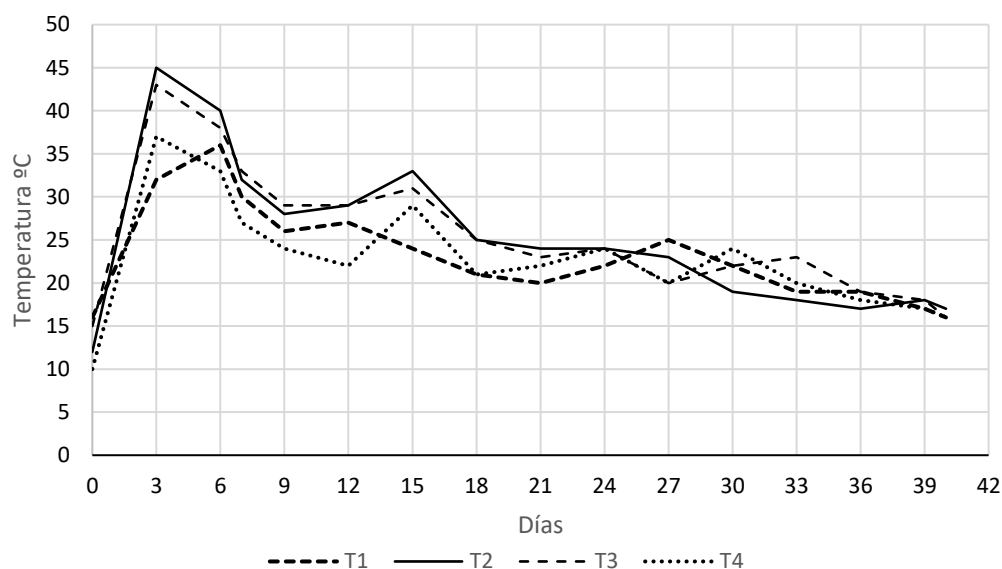
Como se observa en la figura 4, la temperatura ambiente presentó fluctuaciones debido a los cambios de temperatura de la zona, asimismo, siendo determinante en la temperatura alcanzadas por los sustratos en precompostaje. Sin embargo, Chilón (2016), niega que la condición de periodo frío y cálido tengan influencia significativa en el proceso térmico del compost como se verifico en su estudio realizado "Compostaje Altoandino, seguridad alimentaria, cambio climático y biorremediación de suelos".

6.1.2. Temperaturas de los sustratos en el proceso de precompostaje

Según FAO (2013) indica que el proceso de compostaje se divide en cuatro fases de acuerdo a las temperaturas alcanzadas por el compost: Mesófila, Termófila o de higienización, Enfriamiento y maduración.

Figura 5

Temperaturas de los sustratos durante el precompostaje en Pampahasi Bajo, La Paz.



T1 (50% de residuos orgánicos frescos de mercado+ 50% de estiércol bovino+ 0% de aserrín), T2 (37,5% de residuos frescos de mercado+37,5% de estiércol bovino + 25% de aserrín), T3 (25% de residuos frescos de mercado+25% de estiércol bovino + 50% de aserrín) y T4 (12,5% de residuos frescos de mercado+12,5% de estiércol bovino + 75% de aserrín)

Observando la figura 5, se puede describir que tratamiento dos y tres alcanzaron la máxima temperatura en el día 3 y siendo los tratamientos que mejor se comportan ya que ganan eficiencia al subir las temperaturas llegando a una temperatura máxima de 45°C y 43° C respectivamente, en cambio los tratamientos uno y cuatro no alcanzaron temperaturas correspondientes a la fase termófila sino solo hasta la fase mesófila (36° y 37°C respectivamente).

Los resultados obtenidos en la presente investigación difieren con los datos obtenidos en la investigación de López, *et al* (2013) "Influencia de diferentes sustratos orgánicos en la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)" donde las temperaturas máximas

alcanzadas en el proceso de precompostaje, no superan los 30,6°C, los mismos que estaban conformados por aserrín, estiércol bovino y aceleradores a base de melaza.

Asimismo, la diferencia en comparación con los antecedentes, se debe posiblemente a la materia prima inicial en la elaboración del sustrato y además las concentraciones y dosis, el T1 presentó problemas de encharcamiento por la humedad desprendida por los residuos orgánicos frescos de mercado, consecuentemente la temperatura máxima alcanzada fue de 36°C, el T4, el mismo conformado por un 75% de aserrín, y el resto por residuos orgánicos frescos y estiércol, posiblemente por la granulometría fina, la densidad y porosidad el precompostado alcanzó temperatura máxima de 37°C, siendo los dos tratamientos que no alcanzaron las temperaturas características de la fase termófila. En cambio, los resultados de los tratamientos 2 y debido posiblemente a una buena dosis y equilibrio en la relación C/N, y también a la granulometría equilibrada de la materia prima aplicada en dichos tratamientos, asimismo y según varios autores; la temperatura que alcanza el compostado depende de varios factores como: relación C/N, si es baja eleva más la temperatura y también si la granulometría de los materiales es fina, eleva menos la temperatura, asimismo, depende del material de partida.

Tortosa (2013) indica que la temperatura máxima alcanzada y aceptada en el proceso de compostaje puede ser entre 40° a 45° C., iniciando así la degradación de compuestos más complejos y resistentes a la biodegradación, asimismo a la eliminación de agentes patógenos o semillas de malas hierbas.

Con lo anterior expuesto, y coincidiendo con la investigación de Piza (2017), se puede concluir que el proceso de precompostaje no necesariamente debe alcanzar temperaturas características de la fase termófila (45-70°C), para ser considerado sustrato para la alimentación de las lombrices, sino debe estabilizarse la temperatura para que, al consumirlo como alimento, este beneficie en el desarrollo y reproducción, sin perder las propiedades nutritivas. Además, es necesario realizar el proceso de precompostaje, para bajar la temperatura de los sustratos, y al alimentar a las lombrices no cause trastornos estomacales por la fermentación de los sustratos, como

se logró en la presente investigación, al estabilizar la temperatura T1, T3 y T4 en 16°C, el T2 en 17°C.

Los ascensos y descensos de temperatura se deben probablemente a los volteos que se realizaron a los sustratos, los mismos eran necesarios para que el proceso sea aeróbico y así evitar que desprenda malos olores, y coinciden con las gráficas de fluctuaciones de temperatura de sustratos de la investigación de (López et. al, 2013).

6.1.3. Reacción pH de los sustratos en el precompostaje

La tabla 7 indica el comportamiento del pH en el proceso de precompostaje de los cuatro tratamientos en estudio, el mismo se evaluó cada 9 días iniciando después del primer volteo (9º día), debido que al inicio no había homogeneidad en el sustrato por los diferentes materiales orgánicos presentes.

Tabla 7

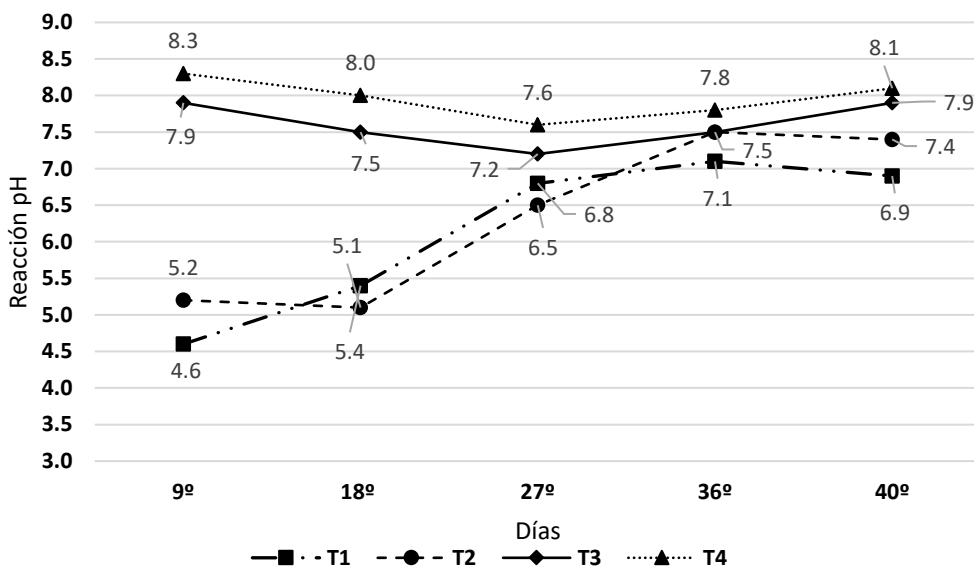
Comportamiento del pH de los sustratos en proceso de precompostaje

TRATAMIENTOS	pH 9º Día	pH 18º Día	pH 27º Día	pH 36º Día	pH 40º Día
T1	4,6	5,4	6,8	7,1	6,9
T2	5,2	5,1	6,5	7,5	7,4
T3	7,9	7,5	7,2	7,5	7,9
T4	8,3	8,0	7,6	7,8	8,1

La figura 6 muestra las fluctuaciones del pH en los tratamientos en estudio, los mismos presentan incrementos y decrementos durante todo el proceso de precompostaje. Las reacciones de pH se encontraban entre 4,6 a 8,3 de pH al inicio, con tendencia ligeramente ácida, neutra y ligeramente alcalina.

Figura 6

Comportamiento del pH de los sustratos en el proceso de precompostaje de cuatro tratamientos, en Bajo Pampahasi-La Paz



T1 (50% de residuos orgánicos frescos de mercado+ 50% de estiércol bovino+ 0% de aserrín), T2 (37,5% de residuos frescos de mercado+37,5% de estiércol bovino + 25% de aserrín), T3 (25% de residuos frescos de mercado+25% de estiércol bovino + 50% de aserrín) y T4 (12,5% de residuos frescos de mercado+12,5% de estiércol bovino + 75% de aserrín)

Asimismo, como se observa en la figura 6; el T1 y T2 al inicio del proceso tenían valores ácidos, con el pasar de los días estos buscaron el equilibrio, llegando a un pH casi neutro 6,9 y 7,4 respectivamente. En cambio, los tratamientos tres y cuatro iniciaron con pH ligeramente alcalino a alcalino, e igualmente durante todo el proceso de precompostaje buscaron el equilibrio, obteniendo un valor de 7,9 a 8,1.

Los resultados obtenidos en la presente investigación se encontraban en el rango óptimo descrito por bibliografía de 6,5 a 8 según Pati (2002) citado por Pati (2021); los mismos coinciden con la investigación de realizada por Cajas (2009) “Efecto de la Utilización de Aserrín en combinación con Estiércol Bovino como sustrato en la producción de humus de *Lombriz Esenia foetida* (*Lombriz Roja Californiana*)”, en los que los sustratos se estabilizaron entre 7,5 a 8,0 de pH. Sin embargo, los resultados logrados difieren con los obtenidos en el artículo de López *et al.*, (2013), los mismos

eran superiores a pH 9, posiblemente se debió al uso de aceleradores en el proceso de precompostaje.

Consecuentemente, los resultados obtenidos fueron corroborados por la literatura revisada, indicando que las fluctuaciones observadas en la reacción pH, se debe a la liberación de ácidos orgánicos en forma no uniforme por la descomposición de la materia orgánica, además se estabiliza hacia la neutralidad por acción de los microorganismos presentes Martínez *et al.*, (2013). Asimismo, las diferencias de pH inicial entre los tratamientos 1 y 2 se deben posiblemente a que no todo el estiércol agregado en la investigación era maduro sino talvez era más viejo por lo tanto tendrá tendencia acida afectando directamente proporcional al resultado de pH de tal sustrato o también se debía al exceso de humedad y mala aireación; como consecuencia un pH muy ácido. En cambio, la reacción pH inicial alta de los T3 y T4 se debió probablemente a la dosis alta de aserrín presente, el mismo aporta valor ligeramente alcalino a alcalino.

6.2. Fase de humificación o transformación del sustrato en humus de lombriz

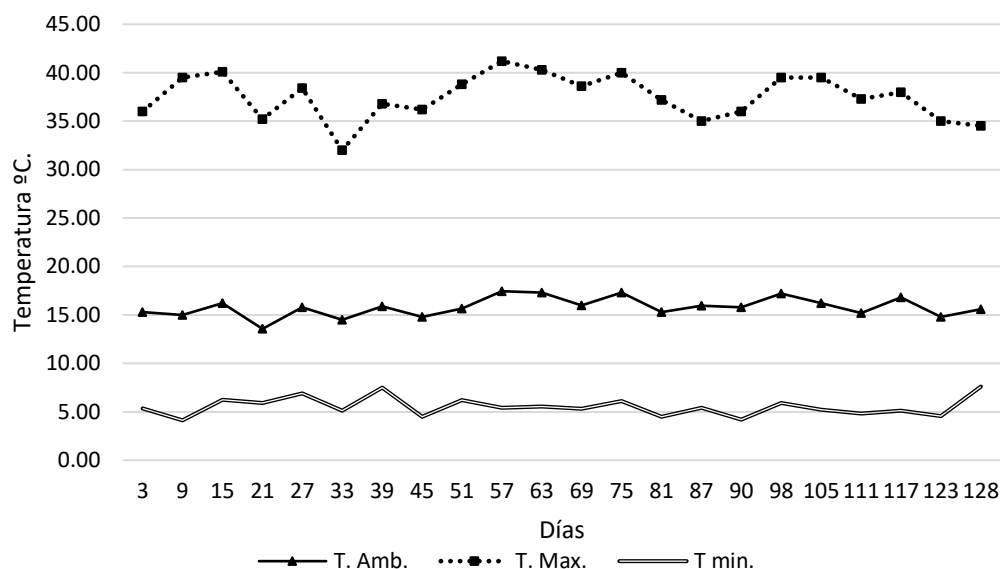
6.2.1. El comportamiento de temperatura del ambiente atemperado

La temperatura ambiente se evaluó entre las 8:30 a 9:00 am, ya que existía menor variación de temperatura en la mañana con respecto del día, sin embargo, la temperatura mínima en las primeras horas del día y las temperaturas máximas desde el mediodía en adelante. Y con lo anterior expuesto podemos concluir que las temperaturas más bajas en promedio se registran a las 6:00 am y las máximas se registran a las 14:00 pm.

En la figura 7 muestra los cambios o fluctuaciones de la temperatura ambiente, máximas y mínimas.

Figura 7

Fluctuaciones de la temperatura ambiente, máximas y mínimas dentro el invernadero durante el proceso de humificación en Bajo Pampahasi-La Paz



T1 (50% de residuos orgánicos frescos de mercado+ 50% de estiércol bovino+ 0% de aserrín), T2 (37,5% de residuos frescos de mercado+37,5% de estiércol bovino + 25% de aserrín), T3 (25% de residuos frescos de mercado+25% de estiércol bovino + 50% de aserrín) y T4 (12,5% de residuos frescos de mercado+12,5% de estiércol bovino + 75% de aserrín)

Asimismo, los resultados de temperatura máxima y mínima promedio registrados en la investigación, varían mínimamente con los datos de la tesis de Aroa (2011), Tmax= 33,C, Tmin= 5°C, y esto se debe posiblemente a que las temperaturas mínimas en el altiplano son sumamente menores y bruscos, en cambio la temperatura mínima en la Ladera Este está entre 6° y 7° C., asimismo, la temperatura máxima registrada en la presente investigación es mayor debido probablemente a que el invernadero construido no tenía ventanas suficientes necesarias para a ventilación, por lo que la temperatura se concentraba más, llegando hasta a abrir y mantener la puerta abierta durante el día, en cuanto a la temperatura del ambiente, se tomó a primeras horas del día como anteriormente se expuso.

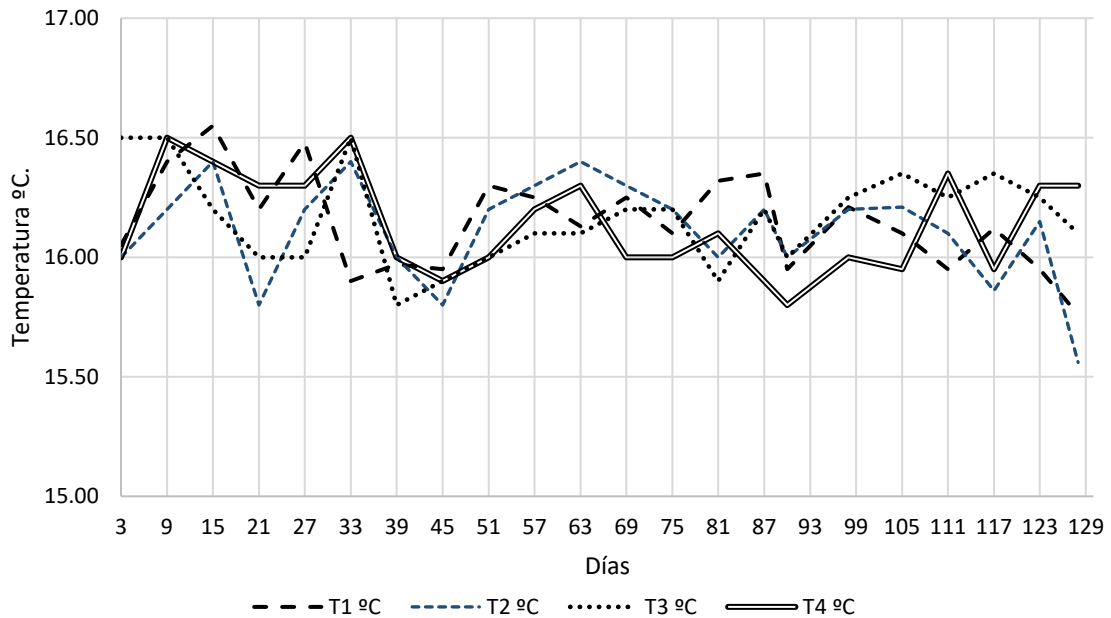
6.2.2. Temperatura dentro de los lechos o sustratos en proceso de humificación.

Los datos promedios de cada seis días y cinco veces al mes (Ver figura 3 del anexo 2), donde los valores promedio de la temperatura dentro de los lechos o camas de las lombrices fueron los siguientes: en el tratamiento uno, 16.15°C, tratamiento dos 16.11°C, el tratamiento tres 16.17°C y el tratamiento cuatro con 16.14°C.

En la figura 8 se observa las fluctuaciones de temperatura durante el proceso de transformación o humificación, las mismas no presentaron variación en gran escala esto se debe a que la investigación se realizó en ambiente controlado.

Figura 8

Temperaturas dentro de las cajas lombricarias de los cuatro tratamientos en estudio en Bajo Pampahasi, La Paz



T1 (50% de residuos orgánicos frescos de mercado+ 50% de estiércol bovino+ 0% de aserrín), T2 (37,5% de residuos frescos de mercado+37,5% de estiércol bovino + 25% de aserrín), T3 (25% de residuos frescos de mercado+25% de estiércol bovino + 50% de aserrín) y T4 (12,5% de residuos frescos de mercado+12,5% de estiércol bovino + 75% de aserrín)

Los resultados obtenidos en la presente investigación, se encuentran dentro del rango de temperaturas de 12 a 25°C en los lechos o camas, considerado óptimo para el crecimiento y desarrollo de la lombriz. Sin sobrepasar la máxima tolerable (42°C) y mínima de (0°C) (Blanco, 2020). Y coinciden con los datos obtenidos por Aroa (2011) en su investigación realizada en invernadero y en tratamientos en base a residuos orgánicos urbanos, entre 16,1 a 16,8° C, concluyendo así también que las temperaturas se mantienen constantes dentro de los lechos. Empero, no coinciden con los datos de la investigación de Pati (2021), ya que se realizó su experimento en ambiente abierto, y la diferencia se debió posiblemente a la temperatura del lugar, a los vientos del altiplano, por tanto, las temperaturas de los lechos se encontrarían en el límite óptimo recomendado, en cambio la carpa solar brinda las condiciones debido a que es un ambiente más controlado y constante.

Sin embargo, la literatura también indica que la temperatura óptima del sustrato, es aquella que se acerca a la temperatura de su propio cuerpo, 19°C. Y los datos registrados en la investigación son menores al valor descrito, y esto se debe posiblemente a que el piso del invernadero es de hormigón, por lo tanto, transmite frío a las camas o lechos de las lombrices. Al inicio de la experimentación se observó que las temperaturas eran bajas y para mejorar las mismas se optó por colocar en la base de las camas, bloques de maderas y maples de huevo, por encima se puso igualmente maples pero encajando en la medida exacta del envase y finalmente se tapó con plástico negro y yutes, de este modo se logró mejorar las temperaturas de las camas, llegando a temperaturas adecuadas para su reproducción y humificación, encontrándose dentro de los rangos óptimos.

Adicionalmente, se pudo verificar la existencia de cocones, por lo tanto, la proliferación y reproducción de lombrices gracias a las medidas tomadas para mejorar la temperatura y además se observó la producción de humus. Sin embargo, la lombriz roja es reguladora de su temperatura corporal y es necesario dar condiciones adecuadas para su reproducción, formación de cocones y eclosión de las mismas como también para la transformación de material orgánico al humus (Sullcata, 2014).

Cabe recalcar que las lombrices utilizadas en la presente investigación, ya se encontraban adaptadas a la temperatura del lugar ya que las mismas se reproducen y se alimentan en camas puestas en el jardín del domicilio, pero con grandes cantidades de sustrato y alimento por el cual se mantienen la temperatura óptima para su desarrollo de las lombrices, y además tapado con plásticos, maples y maderas delgadas.

6.2.3. Prueba de supervivencia

La prueba P50L, es fundamental para evitar el riesgo de pérdida de núcleo de lombriz al otorgar alimentación equivocada (Blanco, 2020).

Se pusieron a prueba los sustratos de los cuatro tratamientos elaborados en la investigación, mediante la técnica P50L, que consistía en colocar 50 lombrices rojas en 2 kilogramos de alimento en una caja lombricera por cada tratamiento, pasado 48 horas se verificó a las lombrices, tanto en su estado como en la cantidad presente, y se obtuvo como resultados los siguientes valores.

Tabla 8

Datos de la prueba de supervivencia P50L de los sustratos en estudio

Tratamientos	Inicio (N° Lombrices)	Final (N° Lombrices)	% de supervivencia
T1	50	49	98
T2	50	50	100
T3	50	50	100
T4	50	46	92

Como se observa en la tabla 8, los datos de la prueba de supervivencia (P50L), donde el tratamiento uno (T1) de 50 lombrices sembradas después de 48 horas sobrevivieron 49 lombrices, siendo el 98%, el tratamiento dos y tres (T2 y T3, respectivamente), tiene un porcentaje de supervivencia del 100%, donde después de haber puesto 50 lombrices en sustrato, sobrevivieron las 50 lombrices, finalmente el tratamiento cuatro (T4) obtuvo un porcentaje de supervivencia del 98%, de donde sobrevivieron 46 lombrices de las 50 iniciales sembradas.

Los resultados presentados son inferiores a los presentados por López et.al (2013), en el que obtiene datos de mortandad entre 0 y 10%, esto debido posiblemente a la reacción pH presente en los sustratos en estudio, los mismos fueron mayores a 9,5 o también al tiempo aplicado para la prueba, que fue mayor en comparación con el de la presente investigación, tiempo en el cual puede haber alguna fuga de las lombrices. Asimismo, la diferencia de mortandad entre los tratamientos en estudio se debe probablemente a la porosidad del sustrato y a las dosis de los mismos.

Los resultados obtenidos en la presente investigación y comparados con la literatura revisada, podemos concluir que: el T1, T2 y T3 se encontraban en un rango aceptable, y lo cual se debe a que el alimento estaba correctamente estabilizado y fermentado y era apto para la alimentación de las lombrices, sin embargo, el T4 como alimento requería corrección, el mismo que al tener un 75 % en aserrín tenía muy poca humedad y era más poroso que los demás tratamientos, por lo tanto afectaba a la respiración de las lombrices, no obstante inmediatamente se mejoró la humedad y estaba apto para la inoculación respectiva según los tratamientos del estudio.

Asimismo, los sustratos de los diferentes tratamientos se encontraban estabilizados en temperatura, pH y humedad, como recomienda bibliografía, para garantizar la supervivencia de las mismas.

6.2.4. Humedad dentro de los lechos

Las lombrices cuentan con una capacidad impresionante con respecto a las condiciones de temperatura y humedad, pues si estas entran en desequilibrio, ellas pueden activar su estado de inactividad (dormición), periodo en el cual las lombrices permanecen enroscadas hasta que las condiciones se adecuen (Luna, 2020).

En los resultados encontrados en la presente investigación, se observó que, durante todo el periodo de transformación de sustrato en humus, la humedad se mantuvo como promedio entre 72 a 75 % en los cuatro tratamientos en estudio (Ver anexo 3). De esta forma se aplicó un mínimo riego para mantener dentro del rango aceptable de humedad (ver anexo 3).

Los resultados obtenidos en la presente investigación coinciden con lo encontrado por López *et al.*, (2013) que obtuvo valores de humedad de 74 a 77 % en sus sustratos en estudio.

Los antecedentes y sus coincidencias con la presente investigación, evidencian que el manejo adecuado de los sustratos, además la temperatura optima del medio, consecuentemente mantienen la humedad de los lechos en un rango adecuado, los mismos favoreciendo a las lombrices ya que ellas no cuentan con dientes , por lo tanto el alimento succionan o chupan, sin embargo, si la humedad no es la adecuada tendrá problemas con el consumo adecuado del alimento, siendo este necesario para su desarrollo y producción de humus.

Asimismo, cabe recalcar que, al inicio de la experimentación, se observó que la humedad disminuía en la superficie de la cama, entonces para mantener y evitar lo descrito se procedió a cortar maples de huevo de la misma área de la caja lombricaria y humedecerlos, entonces se encajó encima del sustrato para mantener la humedad y no afectar al consumo respectivo de alimentos y al mismo tiempo la producción de humus de lombriz.

6.2.5. Reacción pH durante el periodo de humificación de los sustratos

El pH es una característica importante que tienen todas las tierras, sustratos, etc. Se expresa con un número, puede estar comprendido entre 1 y 14, pero el 99% de los casos se encuentra entre 3 y 9.

Luna (2020) indica que las lombrices presentan glándulas que secretan carbonato cálcico y producen una digestión alcalina; así neutralizando los ácidos orgánicos presentes en el alimento, por lo que es de esperar valores de pH ligeramente alcalinos en los diferentes humus de lombriz.

Durante los primeros cuatro meses se midió el pH con papel pH, sin embargo, al finalizar la experimentación se realizó la evaluación de dicho parámetro de los cuatro tratamientos en el Laboratorio de Suelos (LAFASA), los mismos fueron sometidos a un proceso de secado bajo semisombra por un periodo de un mes, no directamente al sol, recomendado por varios autores, asimismo para reducir la humedad del lombricompost de un 70-80% hasta 40-50% aproximadamente para luego proceder a ser almacenado, pero conservando los nutrientes y microorganismos presentes.

En la tabla 9 podemos observar el comportamiento del pH durante los cuatro meses de transformación de sustrato a humus, asimismo, los datos obtenidos en LAFASA.

Tabla 9

Comportamiento del pH de los tratamientos en estudio durante la humificación

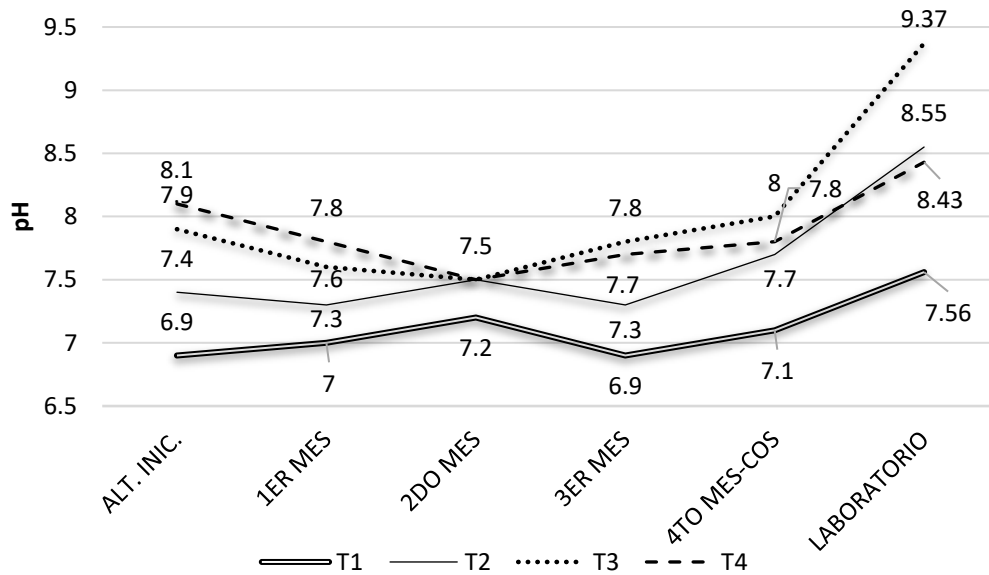
Tratamiento	pH. inicial	Mes				Análisis de Laboratorio
		1°	2°	3°	4°	
T1	6,9	7	7,2	6,9	7,1	7,56
T2	7,4	7,3	7,5	7,3	7,7	8,55
T3	7,9	7,6	7,5	7,8	8	9,37
T4	8,1	7,8	7,5	7,7	7,8	8,43

Asimismo, el pH inicial registrado corresponde al dato obtenido al finalizar el proceso de precompostaje, es el mismo dato al inicio del proceso de humificación o transformación de sustrato en humus.

En los resultados obtenidos en la presente investigación con respecto al pH, se pudo observar que al inicio del proceso los sustratos se encontraban con valores neutro y ligeramente alcalinos, pero con la prueba de supervivencia se verifico que el alimento era apto para la lombriz, ya que ellas mismas lo aceptaron para su alimentación, asimismo se puede observar, durante los cuatro meses hubo fluctuaciones ligeras del pH, los mismos se encontraban dentro del rango de 5 a 8,4 descrito por Blanco (2020).

Figura 9

Comportamiento del pH en el proceso de transformación de los cuatro sustratos en estudio dentro del ambiente atemperado en Bajo Pampahasi-La Paz



T1 (50% de residuos orgánicos frescos de mercado+ 50% de estiércol bovino+ 0% de aserrín), T2 (37,5% de residuos frescos de mercado+37,5% de estiércol bovino + 25% de aserrín), T3 (25% de residuos frescos de mercado+25% de estiércol bovino + 50% de aserrín) y T4 (12,5% de residuos frescos de mercado+12,5% de estiércol bovino + 75% de aserrín)

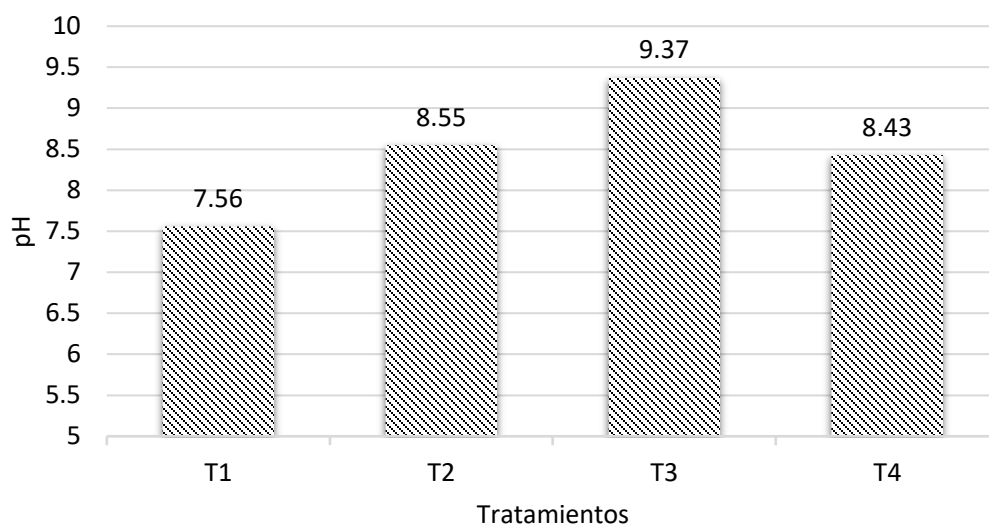
Como se puede observar en la figura 9, el comportamiento del pH en el proceso de transformación fue:

El T1 pasó de cambio ligero de pH, llegando hasta neutro (7,1) pero durante el proceso de secado bajo semisombra cambio su valor a ligeramente alcalino con 7,53 de pH. El T2 inicio de un valor ligeramente alcalino de 7,4 y durante todo el proceso de transformación hasta el secado obtuvo un valor de 7,7 catalogado como ligeramente alcalino como al inicio, pero al igual que el tratamiento uno, el tratamiento dos tuvo un cambio de pH durante el proceso de secado, llegando a una reacción de pH de 8,55. El T3 inicio de un pH de 7,9 y durante todo el proceso de humificación presento una variación mínima, hasta finalmente llegar a un pH de 8, pero igualmente la reacción cambio a 9,37 después del proceso de secado. El T4 de un pH inicial de 8,1, durante el proceso de transformación llego al final con pH de 7,8, pero igualmente cambio el valor en un mes durante el secado bajo semisombra a un pH de 8,43.

En la figura 10 podemos observar los datos de pH del producto (Humus de lombriz) de los cuatro tratamientos en estudio en la presente investigación, evaluados en Laboratorio (LAFASA). Los mismos tuvieron tendencia alcalina, siendo el T3 con la reacción pH más alto con 9,37. Seguido por el tratamiento 2, 4, 1 los cuales presentan 8,55; 8,43 y 7,56 de pH respectivamente.

Figura 10

Comparación de la reacción pH evaluado en laboratorio en el humus de lombriz como sustrato final



T1 (50% de residuos orgánicos frescos de mercado+ 50% de estiércol bovino+ 0% de aserrín), T2 (37,5% de residuos frescos de mercado+37,5% de estiércol bovino + 25% de aserrín), T3 (25% de residuos frescos de mercado+25% de estiércol bovino + 50% de aserrín) y T4 (12,5% de residuos frescos de mercado+12,5% de estiércol bovino + 75% de aserrín)

Los resultados presentados coinciden con los obtenidos por Uruchi (2018) en su investigación "Evaluación de tres fuentes de sustratos en la producción de humus de lombriz roja (*Eisenia foetida*) en el Cantón Santiago de LLallagua Comunidad Juiracollo, Provincia Aroma Departamento de La Paz", quien encontró valores similares con tendencia alcalina, de 8.90 en tratamientos de estiércol bovino. Asimismo, también concuerda con los datos obtenidos por López *et al.*, (2013), en su investigación "Influencia de diferentes sustratos orgánicos en la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)", con 9,47 en el tratamiento de aserrín con melaza y sin melaza con 9,43 de pH.

Asimismo, Piza (2017) y Paco (2011) indican que el pH neutro-alcalino puede deberse a la presencia de elementos alcalinizantes que poseen los residuos domésticos, tales como sales y amonio liberado durante la fermentación de residuos ricos en nitrógeno. Además, el uso de estiércol bovino por su naturaleza tiene pH salino, y es normal que los valores de pH cambien y apunten a la neutralidad.

Las fluctuaciones del pH entre la cosecha y el secado bajo semisombra, observados en la presente investigación, coinciden con los resultados obtenidos por Pati (2021) quien observó la variación del pH aun después de haber realizado la cosecha, donde, de un rango óptimo cambia en un mes a reacción ligeramente alcalino y alcalino, finalmente después de dos meses vuelve a su neutralidad en su proceso de maduración, tal fenómeno debido posiblemente a que el humus tiene microorganismos los cuales se encuentran en actividad constante durante el tiempo de maduración y almacenamiento.

Los antecedentes y sus coincidencias con la presente investigación evidencian que el humus se encuentra en actividad constante por la presencia de microorganismos, y es la causa principal de las fluctuaciones observadas. Y como Luna (2020) indicó que es normal que el humus de lombriz tenga tendencia alcalina, ya que presente en su organismo glándulas calcáreas que excretan carbonato cálcico.

Además, posiblemente el pH alcalino registrado en la presente investigación podría deberse a que el humus no alcanzó su madurez total, asimismo, con la ayuda de las lombrices, microorganismos y otros factores como ser la temperatura y riego, se puede llegar a estabilizar el mismo.

6.3. Análisis de las variables altura y volumen

6.3.1. Altura

Los datos de altura ayudaron a calcular el volumen de sustrato de forma indirecta, siguiendo la metodología descrita por Pati (2021), realizando un cálculo del ancho por largo de la caja (dato conocido) y por la altura (H) del sustrato obteniendo los siguientes resultados como promedio.

Como podemos observar en la tabla 10, la altura inicial corresponde al inicio del proceso de humificación, la altura del 4º mes concierne a la cosecha del humus momento en que se separó las lombrices del humus, finalmente se tomó la altura del sustrato después del proceso de secado bajo semisombra (postcosecha)

Tabla 10

Comportamiento de altura de los cuatro sustratos durante el proceso de humificación o transformación

Tratamientos	Altura (cm).		
	Inicial	4º Mes-Cosecha	Postcosecha
T1	19,6	14,4	13,0
T2	20,8	14,4	13,5
T3	22,0	15,4	14,1
T4	24,4	17,3	17,0

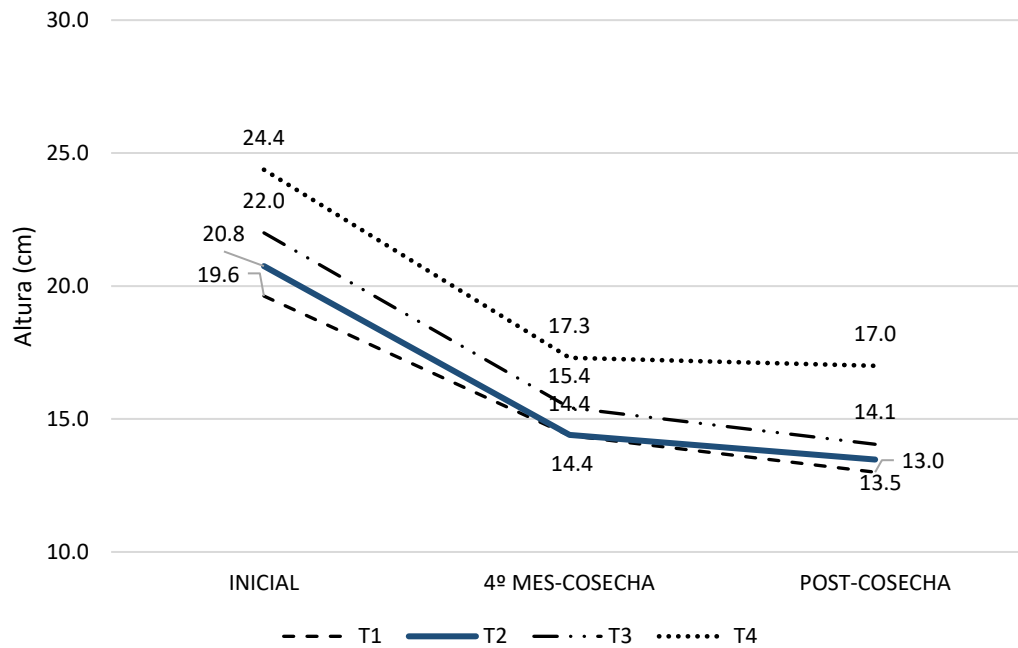
La variación de alturas iniciales en los diferentes tratamientos se debía a que los sustratos estaban compuestos por diferentes niveles de aserrín, el mismo tiene un esponjamiento mayor por lo tanto otorga mayor porosidad y volumen.

Por ejemplo, el tratamiento cuatro presentaba una altura inicial de 24.4 cm, siendo superior a los demás tratamientos porque el mismo estaba compuesto de 75% de aserrín y lo demás completaba con residuos orgánicos de mercado y estiércol bovino.

La reducción de altura de los diferentes tratamientos en estudio se puede observar en la figura 11, donde cada sustrato por sus características de los residuos que los componen, difiere.

Figura 11

Comportamiento de la altura de sustrato de los cuatro tratamientos en estudio durante el proceso de humificación.



T1 (50% de residuos orgánicos frescos de mercado+ 50% de estiércol bovino+ 0% de aserrín), T2 (37,5% de residuos frescos de mercado+37,5% de estiércol bovino + 25% de aserrín), T3 (25% de residuos frescos de mercado+25% de estiércol bovino + 50% de aserrín) y T4 (12,5% de residuos frescos de mercado+12,5% de estiércol bovino + 75% de aserrín)

6.3.2. Volumen

Los datos de altura anteriormente expuestos nos sirvieron para calcular el volumen con la siguiente formula: $L \cdot A \cdot H \rightarrow (27 \text{ cm} \times 22 \text{ cm} \times \text{Altura del sustrato})$, para posteriormente realizar análisis estadístico.

Después de haber realizado el Análisis de Varianza (ANVA) en los datos de volumen inicial, volumen a la cosecha (corresponde al 4^o mes de iniciado el proceso de humificación) y finalmente a la postcosecha, como podemos observar en la tabla 11 donde los resultados son altamente significativos ** para la variable rendimiento en volumen en los tres periodos evaluados, rechazando así la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alterna, lo cual indica que cuando se utiliza diferentes niveles de residuos orgánicos frescos de mercado, estiércol bovino y aserrín precompostados en la alimentación de la lombriz, hay diferencias en la variable rendimiento de volumen de humus de lombriz.

A un nivel del 5% el análisis de varianza indica que los resultados son altamente confiables (B.M.U.E.) buen manejo de unidades experimentales, presentando el coeficiente de variabilidad de 1,94; 2,19 y 3,57 para volumen inicial, volumen a la cosecha y volumen postcosecha respectivamente.

Tabla 11

Comportamiento del volumen inicial, a la cosecha y a la postcosecha de los tratamientos en estudio durante el proceso de humificación en Bajo Pampahasi-La Paz

Volumen	p-valor	Interpretación	CV
Vol. Inicial	<0,0001	** altamente significativo	1,94
Vol. Cosecha	<0,0001	** altamente significativo	2,19
Vol. Postcosecha	<0,0001	** altamente significativo	3,57

Analizando el Test de Duncan se puede verificar que respecto a la variable volumen inicial (siembra de lombrices) todos los tratamientos son estadísticamente diferentes siendo representados por letras desiguales, sin embargo, en el Test de Duncan para el volumen a la cosecha (separación de lombrices y humus) se observó al tratamiento cuatro como el mejor en comparación con los demás tratamientos. En cambio, el tratamiento 2 y 1 son estadísticamente similares.

Para el volumen postcosecha (después del proceso de secado bajo semisombra) igualmente el tratamiento cuatro siendo superior a los demás tratamientos, pero entre el tratamiento 3 y 2; y los tratamientos 2 y 1 son estadísticamente iguales como se observa en la tabla 12.

Tabla 12

Test de Duncan del volumen inicial del humus, a la cosecha y a la postcosecha de los tratamientos en estudio durante el proceso de humificación en Bajo Pampahasi-La Paz

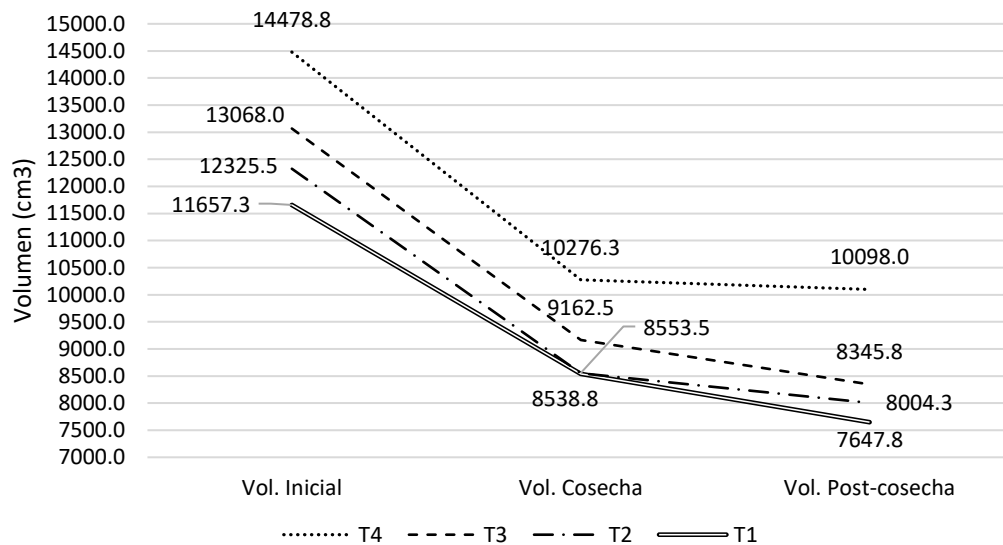
Tratamiento	V. Inicial (cm³)		V. Cosecha (cm³)		V. Postcosecha (cm³)	
T4	14478,8	A	10276,3	A	10098,0	A
T3	13068,0	B	9162,5	B	8345,8	B
T2	12325,5	C	8553,5	C	8004,25	BC
T1	11657,3	D	8538,8	C	7647,8	C

En la figura 12 se puede observar cómo cada tratamiento se comportó durante el proceso de humificación en cuanto a la variable volumen, en la siembra de lombrices (volumen inicial), volumen a la cosecha (separación de lombrices y humus) y el volumen final (sustrato antes de ser enviado a laboratorio para su respectivo análisis).

Los mismos se representan en centímetro cúbico para mejor observación en la figura, demostrando y acertando que el material inicial para la elaboración de los sustratos es fundamental en el rendimiento en volumen del humus durante el proceso de humificación o transformación de sustrato en humus de lombriz.

Figura 12

Comportamiento del volumen del sustrato durante el proceso de humificación de cuatro tratamientos en estudio



T1 (50% de residuos orgánicos frescos de mercado+ 50% de estiércol bovino+ 0% de aserrín), T2 (37,5% de residuos frescos de mercado+37,5% de estiércol bovino + 25% de aserrín), T3 (25% de residuos frescos de mercado+25% de estiércol bovino + 50% de aserrín) y T4 (12,5% de residuos frescos de mercado+12,5% de estiércol bovino + 75% de aserrín)

El tratamiento uno (T1) se redujo de un volumen inicial de 11.657,3 a 7647,8 cm³ al proceso de postcosecha, reduciendo a un 65,6% del volumen inicial como se observa en la tabla 13 siendo el % de reducción menor en comparación con los demás tratamientos.

El tratamiento dos (T2) se redujo a un 64,9% del volumen inicial; de 12.325,5 a 8.004,3 para la finalización del proceso de secado bajo semisombra (postcosecha).

El tratamiento tres se redujo en volumen a un 63,9% de un volumen inicial de sustrato.

Finalmente, el tratamiento cuatro de un volumen inicial de 14.478,8 cm³ se redujo a 10.098 cm³ hasta el proceso de postcosecha (secado del humus bajo semisombra) reduciéndose a un 69,7% como se observa en la tabla 13.

Tabla 13

Porcentaje de reducción de volumen de humus a la cosecha y postcosecha

Tratamiento	Porcentaje de volumen a la cosecha (%)	Porcentaje de volumen a la postcosecha (%)
T1	73.2	65.6
T2	69.4	64.9
T3	70.1	63.9
T4	71.0	69.7

Cabe recalcar que los volúmenes iniciales de los sustratos son diferentes por los materiales que se usaron para conformar los mismos y los porcentajes. Mostrando el tratamiento cuatro con mayor volumen inicial, a diferencia de los demás tratamientos.

Los resultados expuestos en la presente investigación difieren con la tesis de Piza (2017) "Determinación de la calidad de humus de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) a partir de dos procesos en el tratamiento de alimento ofertado", quien obtuvo porcentajes de reducción de volumen en sustratos a base de residuos frescos de mercado y estiércol bovino, entre 9 y 20%, esto se debe posiblemente al tiempo empleado en la humificación, que en el caso de la presente investigación fue de 4 meses, en cambio la investigación comparada fue de menor tiempo,

Los resultados de Piza (2017) coinciden con los hallados por Pati (2021) los mismos experimentados en tierras de diatomeas provenientes de la industria cervecera, quien concluyó que los sustratos no experimentaron una gran pérdida en cuanto a volumen (entre 4,62 y 10,07%), pudiendo ser la causa desde la asimilación del sustrato por las lombrices o debido al lugar donde se realizó el estudio no brindaba las condiciones adecuadas, en cambio en la presente investigación se realizó en ambiente atemperado ofreciendo así condiciones óptimas para su desarrollo y asimilación.

Los antecedentes y sus diferencias con la presente investigación evidencian que el rendimiento en volumen depende de varias razones o causas: una de ellas son las características particulares de cada material, la humedad presente y la capacidad de retención de humedad, el mismo incide en el factor volumen; desechos con mayor humedad presentaran menor volumen y desechos con menor humedad presentaran menor volumen final.

6.3.3. Rendimiento en masa del humus de lombriz

El rendimiento de humus en masa, es la cantidad de estiércol o deyecciones que producen las lombrices. La lombriz adulta consume diariamente su propio peso, aproximadamente 1 gramo, además excreta el 60% como humus y el 40% metaboliza para formar tejido y acumular energía (Luna, 2020).

Una vez realizado el cálculo de análisis de varianza respecto al rendimiento en masa del humus en la cosecha y postcosecha como muestra la tabla 14, se pudo determinar que en ambos periodos existe diferencia altamente significativa **, rechazando así la hipótesis nula esto indica que cuando se utiliza diferentes niveles de aserrín, residuos orgánicos frescos de mercado, estiércol bovino precompostados en la alimentación de la lombriz, el rendimiento en masa será diferente entre los tratamientos. Esta diferencia se les atribuye a las características de cada sustrato.

Asimismo, los resultados experimentales son altamente confiables, (B.M.U.E.) buen manejo de unidades experimentales, obteniendo un coeficiente de variabilidad de 6,16 y 6,67% en la cosecha y postcosecha del humus respectivamente.

Tabla 14

Comportamiento de la masa del humus de lombriz a la cosecha y postcosecha durante el proceso de humificación

Masa	p-valor	Interpretación	CV
Cosecha	<0,00027	** altamente significativo	6,16
Postcosecha	<0,0018	** altamente significativo	6,67

Mediante el Test de Duncan que se muestra en la tabla 15, podemos deducir que el T4 resultó el más eficiente en cuanto a rendimiento en masa tanto en la cosecha del humus y en la postcosecha obteniendo una media de 6,5 y 5,9 kg respectivamente; en cambio los tratamientos dos, tres y uno son estadísticamente similares representados por una misma letra.

Tabla 15

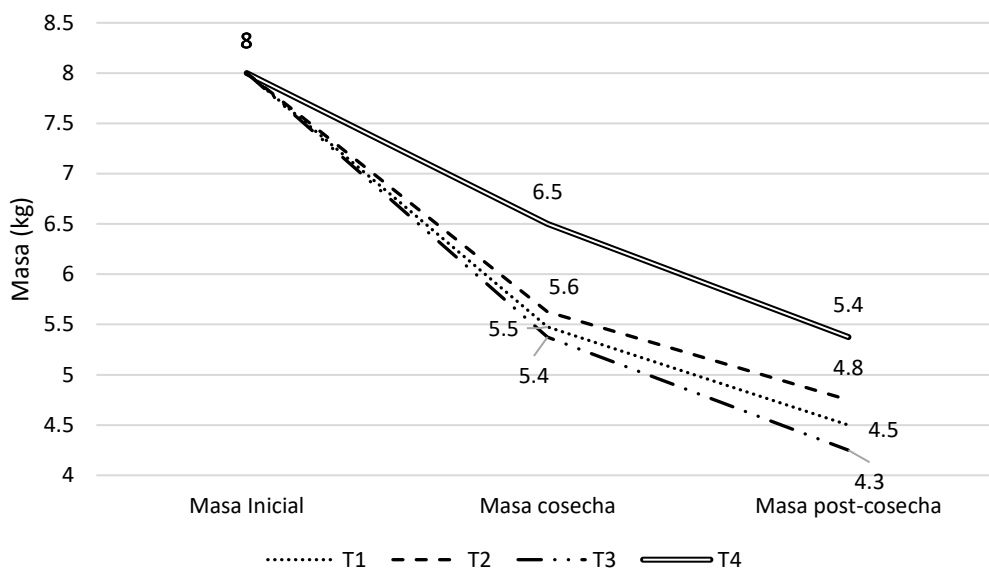
Test de Duncan en la variable rendimiento en masa del humus en la cosecha y postcosecha

Tratamiento	Masa Cosecha (kg)		Masa postcosecha (kg)	
T4	6,5	A	5,4	A
T2	5,6	B	4,8	B
T1	5,9	B	4,5	B
T3	5,4	B	4,3	B

Los resultados descritos en la tabla 15 podemos demostrarlos gráficamente en la figura 13, corroborando que el T4 es más eficiente en rendimiento en masa, con 6,5 kg; y el T1 es el sustrato con menor rendimiento en humus producido (5,3 kg) por la lombriz roja californiana.

Figura 13

Diferencias de los rendimientos en masa en los diferentes tratamientos para la producción de humus de lombriz en la cosecha y postcosecha



En la tabla 16 se observa el porcentaje de reducción de una masa inicial (8kg) a la cosecha y postcosecha del humus de lombriz en los cuatro tratamientos en estudio.

Tabla 16

Porcentaje de reducción de masa inicial de sustrato a humus en la cosecha y postcosecha

Tratamiento	Porcentaje de masa a la cosecha	Porcentaje de masa a la postcosecha
T1	68.4	56.3
T2	70.3	59.4
T3	67.2	53.1
T4	81.3	67.2

Los resultados obtenidos coinciden con Cajas (2009) en su investigación titulada “Efecto de la Utilización de Aserrín en combinación con Estiércol Bovino como sustrato en la producción de humus de Lombriz *Esenia foetida* (Lombriz Roja Californiana)”, el mismo obtuvo resultados de 68% en un tratamiento testigo (50% aserrín+50% estiércol bovino), coincidiendo con el Tratamiento 3 de la presente investigación, igualmente en otros tratamientos obtuvo un rendimiento de 75%, 65% , sin embargo en el tratamiento de aserrín al 75% obtuvo un rendimiento mayor en comparación con los demás tratamientos.

Además, en la investigación realizada por Pati (2021) difiere con la presente investigación obteniendo rendimientos altos en comparación con atribuyendo a que las lombrices no comen directamente las tierras de diatomeas, sino absorben el líquido que existe en sus poros (líquido residual del filtro en la elaboración de la cerveza) para alimentarse. Por lo tanto, la diferencia debe al tipo de sustrato ofertado.

Con lo anteriormente expuesto, los resultados coinciden con la literatura revisada de Luna (2020) indicando que, del total consumido por la lombriz, el 60% aproximadamente excreta como humus y el 40% lo metaboliza para formar tejido y acumular energía. Sin embargo, el T4, con el 81,3% indica que, en el tiempo de humificación, fue el sustrato menos asimilado por las lombrices.

Asimismo, las diferencias de rendimiento en masa presentados, posiblemente se atribuya a las características de los sustratos, como a la retención de humedad y también a la asimilación por parte de las lombrices.

6.3.4. Porcentaje de degradación de sustrato

Al inicio de la investigación, durante el proceso de humificación, se introdujo 8 kilogramos de alimentos a cada caja lombricaria. Para la variable porcentaje de degradación del sustrato se midió de la diferencia de la masa inicial del sustrato (8 kg) y la masa final de humus de lombriz(cosecha).

Una vez realizado el Análisis de Varianza (ANVA) como se observa en la tabla 17 respecto al porcentaje de degradación de sustrato se pudo determinar que existe diferencia altamente significativa **, rechazando así la hipótesis nula, esto indica que cuando se utiliza diferentes niveles de residuos orgánicos frescos de mercado, estiércol bovino y aserrín precompostado en la alimentación de la lombriz, el porcentaje de degradación será diferente entre los tratamientos. Esta diferencia al igual que el rendimiento en volumen y masa se debe a las características de cada sustrato utilizados en la investigación.

La tabla 17 muestra también que los resultados experimentales son altamente confiables (B.M.U.E.) buen manejo de unidades experimentales, obteniendo un coeficiente de variabilidad de 9,22%.

Tabla 17

Análisis de varianza de porcentaje de degradación de sustrato en humus

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,07	3	0,02	8,67	0,0025
Tratamiento	0,07	3	0.02	8,67	0,0025**
Error	0,03	12	6E-03		
Total	0,10	15			

CV= 9,22%

Después de haber rechazado la hipótesis nula se realizó el Test de Duncan, representada en la tabla 18 y podemos deducir que los tratamientos T3, T1 y T2 son iguales estadísticamente, por lo tanto, son los que fueron mejor asimilados por las lombrices y como anteriormente se expuso en la variable rendimiento en masa, coincide con los resultados presentes, en cambio el T4 presentó el resultando más bajo, corroborando así que la dosis al 75% de aserrín, es menos asimilable por la lombriz.

Tabla 18

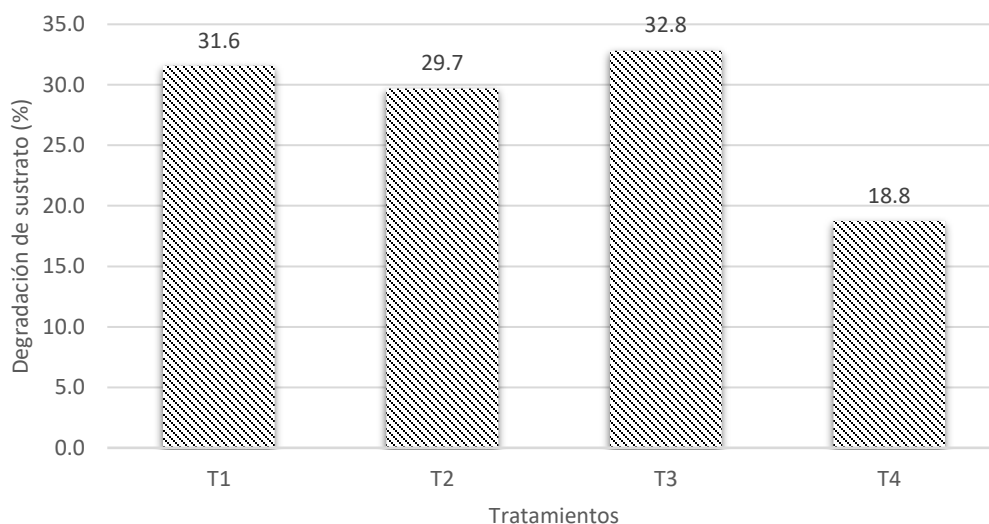
Test de Duncan de la variable porcentaje de degradación del humus de lombriz.

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T3	32,8%	4	0,03	A
T1	31,6%	4	0,03	A
T2	29,7%	4	0,03	A
T4	18,8%	4	0,03	B

En la figura 14, podemos observar las diferencias de porcentaje de degradación de sustratos de los tratamientos en estudio, donde: se confirma lo expuesto en la tabla 18, el T3 fue uno de los mejores sustratos asimilados con el 32,8% y el T4 con 18,8%, siendo el tratamiento con el resultado más bajo.

Figura 14

Diferencias de porcentaje de degradación de los diferentes sustratos en estudio en Bajo Pampahasi, La Paz



T1 (50% de residuos orgánicos frescos de mercado+ 50% de estiércol bovino+ 0% de aserrín), T2 (37,5% de residuos frescos de mercado+37,5% de estiércol bovino + 25% de aserrín), T3 (25% de residuos frescos de mercado+25% de estiércol bovino + 50% de aserrín) y T4 (12,5% de residuos frescos de mercado+12,5% de estiércol bovino + 75% de aserrín)

Los resultados de la presente investigación coinciden con la investigación de Cajas (2009) quien encontró valores similares en cuanto a la variable porcentaje de degradación, donde su tratamiento testigo (50% aserrín+50% estiércol bovino) con 32%, coincidiendo con el T3 de la presente investigación, donde se empleó 25% de residuos orgánicos frescos+ 25% estiércol bovino +50% de aserrín, asimismo, el T1 y T2, obtiene valores aproximados (31,6 y 29,7% respectivamente) los cuales también son asimilados por las lombrices de manera óptima, estas coincidencias se pueden respaldar en que estos tratamientos fueron asimilados de forma más efectiva por las lombrices, en menor tiempo y existiendo un menor gasto de energía por las lombrices, sin embargo el T4 que obtuvo un valor relativamente menor en comparación con los demás tratamientos, posiblemente se debe a la calidad del alimento, que fue asimilado en menor relación por a lombriz.

Las coincidencias entre los resultados y los antecedentes, evidencian la importancia de la calidad de alimento ofertado, las combinaciones y proporciones.

6.3.5. Tiempo de humificación

El tiempo de transformación de sustrato a humus se determinó observando las características físicas presentes en los sustratos finales, es decir las propiedades organolépticas: coloración, textura y el olor, donde Tejeira (2011) indica que el humus de lombriz listo para cosechar debe ser color negruzco, textura granulada y olor a mantillo de bosque.

Después de haber realizado el análisis de varianza (ANVA) a la variable tiempo de humificación, el cual se muestra en la tabla 19, se puede concluir que existe una diferencia altamente significativa(**), rechazando de esta forma la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alterna, lo cual indica que cuando se utilizara diferentes niveles de residuos orgánicos frescos de mercado, estiércol bovino y aserrín precompostado en la alimentación de la lombriz, hay diferencias en la variable tiempo de humificación del sustrato final de la lombriz.

El análisis de varianza nos indica que a un nivel de 5%, los resultados experimentales son altamente confiables obteniendo un coeficiente de variabilidad de 1,20%.

Tabla 19

Análisis de varianza de la variable tiempo de humificación de los sustratos en estudio

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8,21	3	2,74	184,07	<0.0001
Tratamiento	8,21	3	2,74	184,07	<0.0001**
Error	0,18	12	0,01		
Total	8,38	15			

CV=3,20%

Al mismo tiempo se realizó el Test de Duncan (0,05), como se observa los resultados en la tabla 20, y analizándolo podemos concluir que el tiempo de humificación en los cuatro tratamientos son diferentes, ya que cada tratamiento está representado por una letra diferente (A, B, C, D), sin embargo, el tratamiento que tuvo un mejor comportamiento en cuanto al tiempo de humificación fue el T3, y el que demoró más tiempo fue el T4 con 128 días.

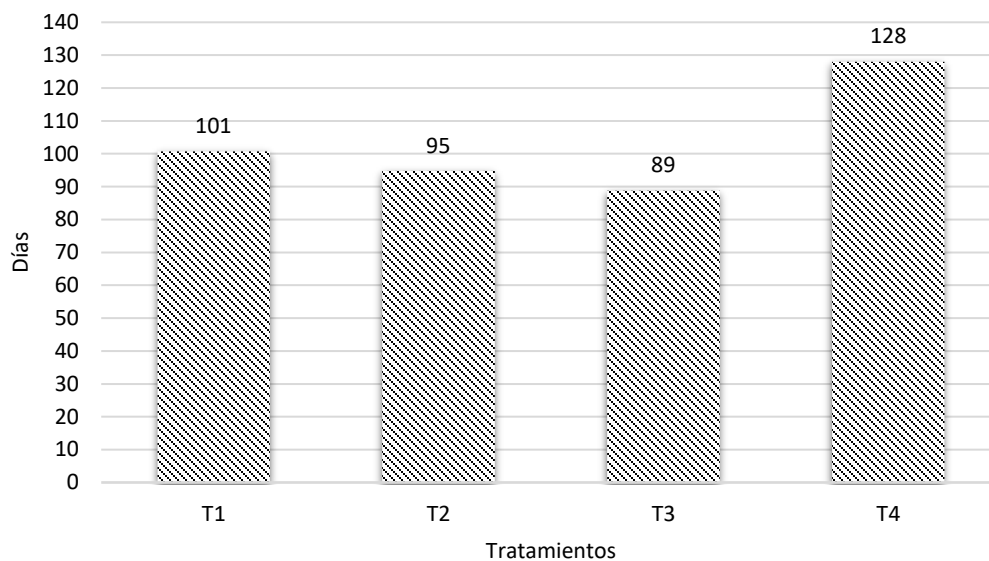
Tabla 20 *Test de Duncan (0.05) para la variable tiempo de humificación en los sustratos en estudio.*

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T3	89	4	1,27	A
T2	95	4	1,27	B
T1	101	4	1,27	C
T4	128	4	1,27	D

Finalmente, como se observa y corrobora en la figura 15, las diferencias del tiempo de humificación de los tratamientos en estudio, igualmente descritos en la tabla 20.

Figura 15

Tiempo de humificación en los cuatro tratamientos en estudio, bajo ambiente atemperado Bajo Pampahasi, La Paz



T1 (50% de residuos orgánicos frescos de mercado+ 50% de estiércol bovino+ 0% de aserrín), T2 (37,5% de residuos frescos de mercado+37,5% de estiércol bovino + 25% de aserrín), T3 (25% de residuos frescos de mercado+25% de estiércol bovino + 50% de aserrín) y T4 (12,5% de residuos frescos de mercado+12,5% de estiércol bovino + 75% de aserrín)

Los resultados encontrados en la presente investigación coinciden con los datos hallados en la tesis de Cajas (2009), quien obtuvo datos de tiempo de humificación como en el tratamiento tres (aserrín al 50% y estiércol al 50%) de 90 días, el mismo coincidiendo con el T3 (25% de residuos frescos de mercado+25% de estiércol bovino + 50% de aserrín) de la investigación en estudio (89 días), seguido por el tratamiento testigo de solo residuos orgánicos y estiércol bovino con un tiempo de 100 días, el mismo igualmente coincidiendo con el T1 de la presente investigación.

Asimismo, el T3 y T4 de ambas investigaciones coinciden con el tiempo de humificación, mayor a 120 días, resaltando que a una dosis del 100% de aserrín experimentado por Cajas (2009) el tiempo de humificación fue mayor a 150 días, siendo un tratamiento no recomendado por la baja asimilación del sustrato por parte de la lombriz roja californiana.

Los resultados presentados, como anteriormente se expuso, el tiempo de humificación se contrastó con las propiedades organolépticas, como el color y el olor de los sustratos. Los mismos eran de color marrón con tonalidad uniforme y el olor característico de mantillo de bosque, concluyendo que hubo un buen proceso de humificación.

De esta manera coincide con la literatura revisada, que indica que el color marrón oscuro uniforme es un indicador de un buen proceso de humificación, corroborando que el sustrato presenta una adecuada humedad y aireación durante el proceso de humificación. En cambio, si el humus es color oscuro o negro, podría ser un humus crudo el cual no culminó su proceso de maduración, o tal vez tiene exceso de humedad, con condiciones anaeróbicas y presente materiales contaminantes (Tejeira, 2011).

Las coincidencias con la presente investigación evidencian que existe una relación directa entre el tipo de sustrato y el tiempo de humificación o conversión y posiblemente por una buena relación Carbono/Nitrógeno (C/N) existente en los sustratos, las fibras de lignina presentes en el aserrín fueron más fácilmente degradadas y además formaba una textura más fácil de asimilar por parte de la lombriz. En cambio, el tiempo más prolongado indicaba la calidad del sustrato, siendo menos asimilable por la lombriz.

6.3.6. Calidad Nutritiva

En la tabla 21 se puede observar los resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Agua (LAFASA) respecto a calidad nutritiva realizada al humus correspondiente a los 4 tratamientos en estudio. Asimismo, en la misma tabla se presenta comparaciones de resultados de calidad nutritiva de humus de lombriz de diferentes autores, considerando ser parámetros de calidad para abonos orgánicos y humus de lombriz.

Las características nutricionales en el humus de lombriz pueden variar o ser muy diferentes entre sí y eso se debe en buena parte por la naturaleza de las fuentes de origen utilizadas para su elaboración, las proporciones de cada uno, el estado de descomposición de los residuos y las condiciones como se llevó a cabo el proceso. (Asprupal, 2013).

Tabla 21

Parámetros de calidad de diferentes autores y de la presente investigación evaluada en laboratorio (LAFASA)

Parámetro	Unidad	Calidad de humus de Diferentes países	FAO (2013)	T1	T2	T3	T4
Densidad aparente	g/cm ³	0.2-0.9	0,19	0,571	0,556	0,455	0,476
Humedad	%	40	-	57	57	64	72
pH	-	6.8-7.2	6.8-7.3	7,56	8,55	9,37	8,43
C.E	mmhos/cm	4.2	-	3,88	5	3,15	2,08
Potasio	meq/100g. S	4400-7700	1400mg/kg	12.815	15.453	14.486	12.194
Calcio	meq/100g. S	2,8-8,7%	2,70%	29.816	29.990	22.923	20.824
Magnesio	meq/100g. S	0.2-0.5	8,30%	8.357	7.686	6.944	6.060
Nitrógeno total	%	1,5-3,5	0.3-1.5	1,38	1,19	0,96	0,95
Materia Orgánica	%	30-50	22%	20,8	20,81	30,9	56
Carbono Orgánico	%	8,7-38,8	13	12,06	12,06	17,92	32,57
Fósforo disponible	ppm	700-2500	100-1000	183,45	184,65	165,1	108
C/N	-	9-13	8,1	8.74	10.13	18.68	34.32

Nota: la calidad de humus de diferentes países fue citado por Pati (2021) en su investigación.

6.3.7. Parámetros físicos

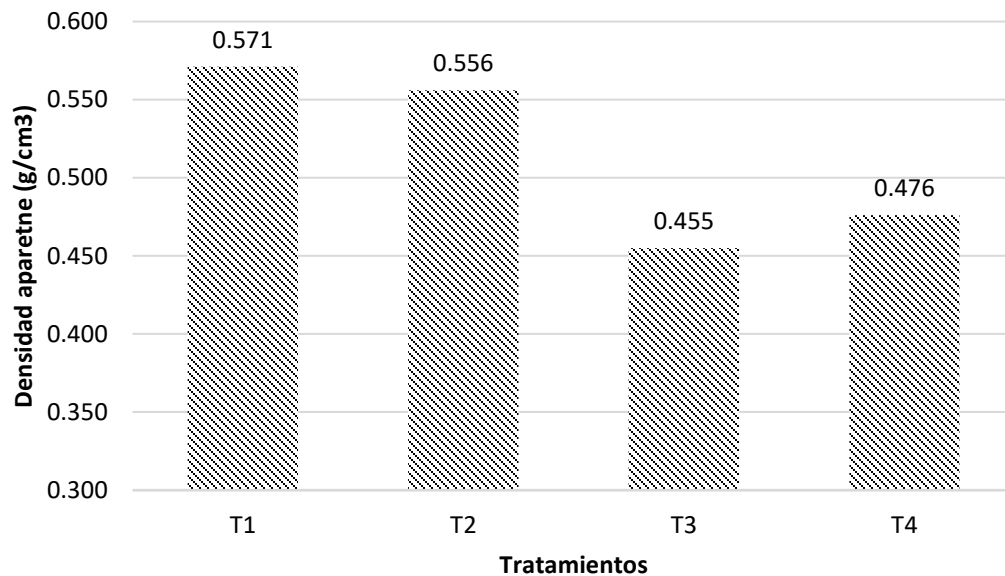
6.3.7.1. Densidad aparente

La densidad aparente describe la compactación del suelo, representa la relación de sólidos y espacio poroso, el mismo varía de acuerdo a la textura, contenido de materia orgánica y resulta ser un buen indicador de calidad de suelo (Álvarez, 2018).

De acuerdo a los resultados obtenidos en Laboratorio, como se puede observar en la figura 16, el T1 presenta mayor densidad aparente, 0,57 g/cm³, en relación al T2 con una densidad aparente de 0,56 g/cm³, el T4 y T3 con 0,48 g/cm³ y 0,46 g/cm³ respectivamente.

Figura 16

Comparación de densidad aparente del análisis de laboratorio de humus producto de cuatro sustratos ofertados a la lombriz roja californiana



T1 (50% de residuos orgánicos frescos de mercado+ 50% de estiércol bovino+ 0% de aserrín), T2 (37,5% de residuos frescos de mercado+37,5% de estiércol bovino + 25% de aserrín), T3 (25% de residuos frescos de mercado+25% de estiércol bovino + 50% de aserrín) y T4 (12,5% de residuos frescos de mercado+12,5% de estiércol bovino + 75% de aserrín)

Los resultados presentados, son diferentes en cada tratamiento, pero se encuentran dentro del rango de 0,2-0,9 g/cm³, de acuerdo a lo recomendado por la normativa de humus de diferentes países, rechazando de tal manera la hipótesis nula y así aceptando la hipótesis alterna.

Los resultados expuestos en la presente investigación coinciden con lo reportado por Pati (2021) con 0.506 gr/cm^3 , el mismo provenía de tierras diatomeas y estiércol bovino. Al igual que en la investigación de Carrillo (2013), en tratamientos realizados a base de estiércol bovino, rastrojos agrícolas y heces fecales humanas, el mismo llegando a obtener resultados como promedio de $0,51\text{g/cm}^3$, siendo un buen indicador de suelo poroso.

Sin embargo los resultados del tratamiento 1 se asemeja a los resultados hallados por Uruchi (2018) en su tesis titulado “Evaluación de tres fuentes de sustratos en la producción de humus de lombriz roja (*Eisenia foetida*) en el Cantón Santiago de LLallagua Comunidad Juiracollo, Provincia Aroma Departamento de La Paz” el cual reportó una densidad aparente de $0,66\text{g/cm}^3$, el mismo que se trató con un 100% de estiércol maduro, siendo un indicador de un sustrato ligeramente compacto, posiblemente se debe al manejo del sustrato.

Además, los resultados expuestos en la presente investigación concuerdan con la revisión literaria, indicando que, si la densidad aparente es alta, se incrementa la compactación por ende reducción de espacio poroso, afecta a las condiciones de retención de humedad, en cambio cuando son valores bajos, los mismos son propios de suelos porosos, bien aireados y la retención de humedad es mayor (Álvarez, 2018).

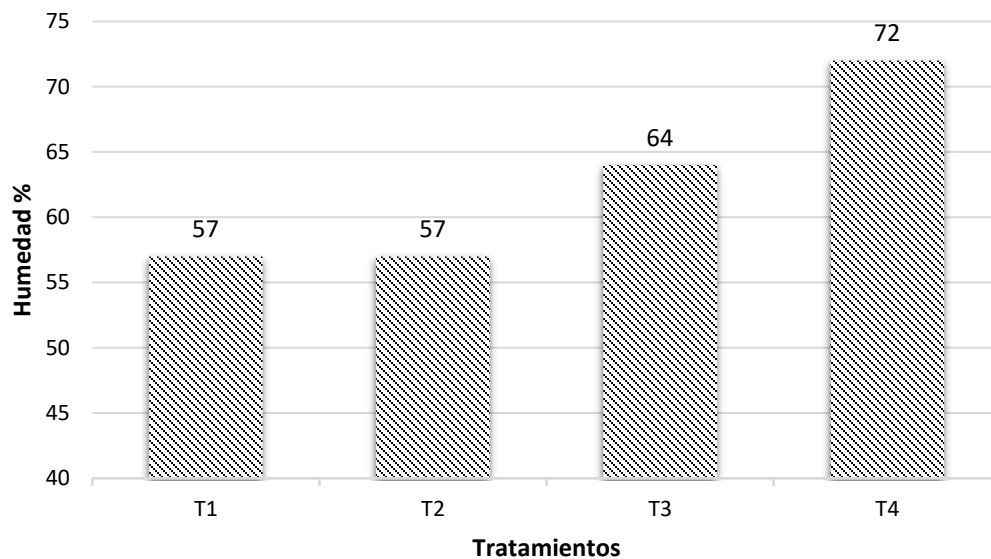
Por lo tanto, la variabilidad entre tratamientos de la presente investigación, posiblemente se debe a aspectos relacionados con postcosecha del humus de lombriz, y también al material de inicio utilizado en la conformación de sustratos para la alimentación de las lombrices, los mismos que tenían diferente tamaño de partícula, otorgándole al sustrato características diferentes con respecto a la densidad aparente.

6.3.7.2. Humedad Gravimétrica

En la figura 17 se puede observar los resultados de humedad, evaluados en laboratorio, después de haber sometido a un proceso de secado in situ bajo semisombra.

El humus de lombriz del T1 y T2 presentaban 57% de humedad, el T3 y T4 con 64 % y 72% de humedad respectivamente.

Figura 17 Comparación de la humedad del análisis de laboratorio de humus producto de cuatro sustratos ofertados a la lombriz roja californiana



T1 (50% de residuos orgánicos frescos de mercado+ 50% de estiércol bovino+ 0% de aserrín), T2 (37,5% de residuos frescos de mercado+37,5% de estiércol bovino + 25% de aserrín), T3 (25% de residuos frescos de mercado+25% de estiércol bovino + 50% de aserrín) y T4 (12,5% de residuos frescos de mercado+12,5% de estiércol bovino + 75% de aserrín)

La humedad del sustrato tiene relación directa con la densidad aparente, a mayor densidad aparente; menor retención de humedad como en los tratamientos 1 y 2, y a menor densidad aparente, la humedad retenida es mayor como se corrobora con los resultados del T3 y T4. Asimismo, los resultados presentados coinciden con los hallados en la investigación de Piza (2017), el cual obtuvo valores de humedad similares al de la presente investigación, los mismos eran tratamientos a base de residuos orgánicos frescos y estiércol bovino.

Los resultados obtenidos, sus coincidencias con antecedentes y literatura revisada, evidencian que la humedad en el humus es un parámetro importante, el cual es indispensable para mantenerlo almacenado y a su vez sobrevivan los microorganismos durante unos meses antes de su uso.

Sin embargo, las diferencias presentes en los resultados con respecto a la variable humedad, se debe posiblemente al proceso de secado realizado in situ, asimismo, a las combinaciones de los materiales utilizados en la elaboración de los sustratos.

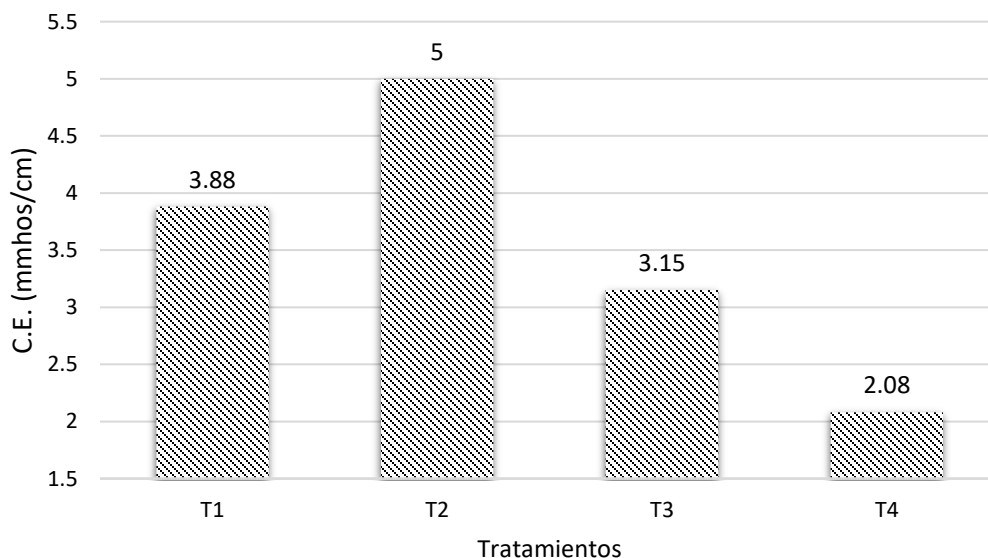
Cabe recalcar que, para la comercialización del humus de lombriz, la humedad debe encontrarse en el rango de 30-40%, no menos porque estaría demasiado seco y no tendría los microorganismos presentes. Por lo tanto, en el periodo de secado del humus de la presente investigación faltó reducir la humedad del humus de lombriz, para llegar a lo estimado y requerido para su respectiva venta del humus; además la normativa de comercialización.

6.3.8. Parámetros químicos

6.3.8.1. Conductividad Eléctrica

La conductividad Eléctrica (CE) indica la concentración presente de sales en los sustratos, por lo tanto, presencia de nutrientes disponibles para las plantas. Uruchi (2018) indica que la conductividad eléctrica es proporcional a la concentración de sales en solución, es decir a mayor concentración de sales mayor conductividad.

Figura 18 Conductividad eléctrica del análisis de laboratorio de humus producto de cuatro sustratos ofertados a la lombriz roja californiana



T1 (50% de residuos orgánicos frescos de mercado+ 50% de estiércol bovino+ 0% de aserrín), T2 (37,5% de residuos frescos de mercado+37,5% de estiércol bovino + 25% de aserrín), T3 (25% de residuos frescos de mercado+25% de estiércol bovino + 50% de aserrín) y T4 (12,5% de residuos frescos de mercado+12,5% de estiércol bovino + 75% de aserrín)

De acuerdo a los resultados obtenidos en Laboratorio (LAFASA), sobre el parámetro conductividad eléctrica, como se observa en la figura 18, el T2 obtuvo un valor de 5 mmhos/cm, el mismo es el valor más alto entre los tratamientos en estudio, seguidamente el T1 con un valor de 3,88 mmhos/cm, el T3 y T4 con 3,15 mmhos/cm y 2,08 mmhos/cm respectivamente.

Por lo tanto, los tratamientos 1 y 3 se encuentran dentro del rango recomendado por diferentes países dentro de la calidad de humus, dentro de 2,5 a 3,5 mmhos/cm, lo cual indica la presencia optima de nutrientes disponibles por las plantas, asimismo, el T4 con un valor muy inferior con respecto a los demás tratamientos, evidencian la falta de humificación, el cual es verificado al observar los resultados de Carbono/Nitrógeno (C/N) descritos en la tabla 17, indicando que tiene pocos nutrientes disponibles para las plantas.

Además, los resultados coinciden con los datos hallados por Piza (2017) con valores entre 3 y 3,4 mmhos/cm, el T2 coincide con un tratamiento a base de residuos orgánicos realizados por Castillo (2015), obteniendo un valor de 5,15 mmhos/cm.

Cabe recalcar, que un valor superior a 8,0 mmhos/cm en el humus es un indicador de alta salinidad, causando el peligro de muerte para las lombrices (Bollo, 2001 citado por Pati, 2021). También si se usa el sustrato reduciría el crecimiento de las plantas, causando problemas de marchites y quemadura apical de las hojas, sobre todo si se usa en concentraciones elevadas López *et al.*, (2013).

Respecto a las coincidencias de los resultados y los antecedentes, además la literatura revisada, evidencian la importancia del tiempo de humificación, no todos los materiales se transforman en humus en el mismo tiempo, cada uno tiene características diferentes como la relación Carbono/Nitrógeno, y ahí la importancia de realizar un análisis químico a cada material que se utilizara para elaborar sustratos para la alimentación de las lombrices, concluyendo también que si se encuentra en un rango optimo, el mismo es apto para utilizarse como enmienda orgánica en almácigos para semillas pequeñas, ayudando en la germinación de las mismas y al desarrollo inicial de las plantas, además contribuye a la mejora de la estructura del suelo.

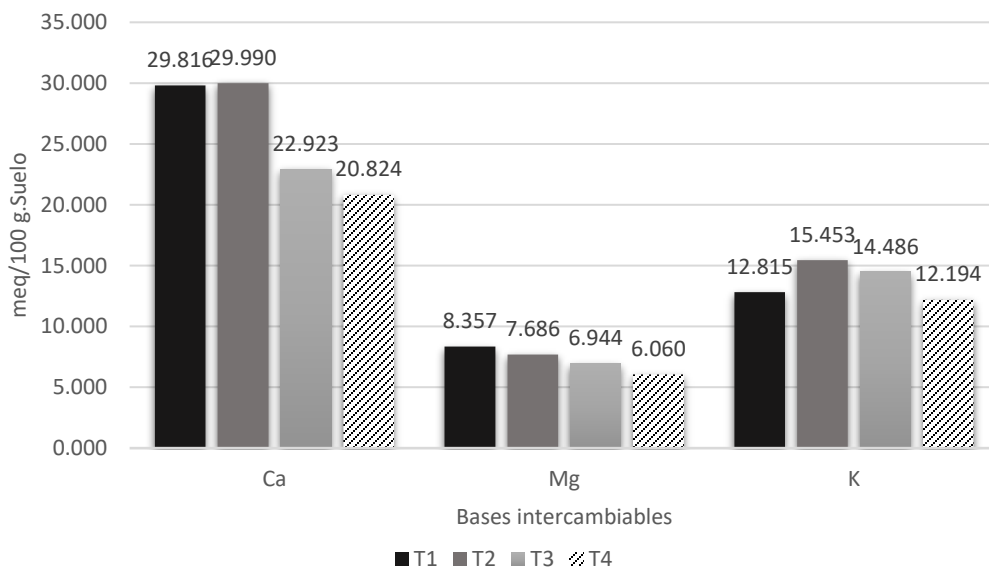
6.3.8.2. Calcio, Magnesio y Potasio Intercambiable

La unidad meq/100g se refiere a milequivalente por 100 gramos de suelo. 1 meq/100=1cmol (Centimoles por Kilogramo), estas unidades se usan para detallar el CIC (Capacidad de Intercambio Cationico) del suelo y la cantidad de cationes intercambiables que pueden ocupar los sitios de intercambio (Potasio, calcio, magnesio, sodio, aluminio, amonio e hidrogeno). El mismo significa el número de sitios de intercambio que cada uno de ellos ocupa, por tanto 1 meq/100g de potasio ocupará el mismo número de sitios de intercambio que ocupará 1 meq/100 de calcio, magnesio y cualquiera de los otros cationes intercambiables, asimismo la relación de los mismos determinará la disponibilidad de nutrientes.

El contenido de las bases intercambiables, definen el grado de fertilidad del suelo, cuando existen valores dentro de los rangos óptimos, significa que estamos presentando un sustrato con alta fertilidad, asimismo, la alta saturación de bases está asociada a valores de pH más altos, mientras que una baja saturación de bases se relación con condiciones acidas (Miranda, 2016).

Figura 19

Comparación del Calcio, Magnesio y Potasio intercambiable del análisis de laboratorio de humus de lombriz



T1 (50% de residuos orgánicos frescos de mercado+ 50% de estiércol bovino+ 0% de aserrín), T2 (37,5% de residuos frescos de mercado+37,5% de estiércol bovino + 25% de aserrín), T3 (25% de residuos frescos de mercado+25% de estiércol bovino + 50% de aserrín) y T4 (12,5% de residuos frescos de mercado+12,5% de estiércol bovino + 75% de aserrín)

En la figura 19 se puede observar los siguientes resultados con respecto a las bases Intercambiables; Calcio, Magnesio y Potasio Calcio obtenidos en Laboratorio (LAFASA) de los cuatro tratamientos en estudio, descritos a continuación.

- Los resultados de Calcio Intercambiable fueron los siguientes: el T2 con un valor de 29.990 meq/100g.S, siendo el valor más alto, seguido por el T1 con un valor de 29.816 meq/100g.S., los tratamientos con resultados más bajos fueron el T3 y T4, con valores de 22.923 y 20.824 meq/100g.S. respectivamente.
- Los resultados de Magnesio Intercambiable fueron los siguientes: el T1 y T2 presentaron valores altos en comparación con los demás tratamientos, con 8,357 y 7,686 meq/100g.S respectivamente, frente a 6,944 y 6,606 meq/100g.S de los últimos tratamientos respectivamente.
- En cambio, los resultados de Potasio Intercambiable fueron los siguientes: el T2 presenta mayor cantidad con 15,453 meq/100g.S con respecto con el T3 con 14,486 meq/100g.S, seguido por el T1 con 12,815 meq/100g.S y finalmente el T4 con el valor menor de 12,194 meq/100g.S.

Los resultados obtenidos en la presente investigación en comparación con los rangos óptimos recomendados por otros autores son:

- El Calcio Intercambiable expuesto como resultados, no se encuentran dentro del rango de 2,8 a 8,7 meq/ 100 g.S.
- El Magnesio Intercambiable, según (1meq/100 g.S=1 cmol/L.), los resultados se encuentran dentro de los valores óptimos de 1 a 6 cmol/L o meq /100g S para abonos orgánicos.
- En el caso del Potasio intercambiable, se convirtió las unidades de unidad meq/100 g.S. a ppm y finalmente a mg/kg (1ppm=1mg/kg), por lo tanto, los nuevos resultados fueron T1=6041 mg/kg, T2=6042.1 mg/kg, T3=5664 mg/kg y T4=4767.9 mg/kg o ppm. Sin embargo, los resultados se encuentran dentro del rango descrito por la normativa de humus de diferentes países con 4400 a 7700 mg/kg o ppm.

Los resultados de la presente investigación en comparación con los antecedentes, se obtuvo las siguientes conclusiones:

Con respecto al Calcio Intercambiable coincide con la investigación de Cajas (2009) que concluye que para dosis altas de estiércol bovino como en su T1, el calcio intercambiable es mayor en comparación con el tratamiento con altos niveles de aserrín. Asimismo, podríamos indicar que los resultados elevados se deben posiblemente al material orgánico de partida, así como también por las proporciones de los mismos.

Además, en comparación con la literatura revisada, indica que el exceso o deficiencia de calcio intercambiable en el humus de lombriz no es bueno para la planta, ya que en exceso empiezan a marchitar las hojas nuevas, el crecimiento del mismo es atrofiado y bloquea la absorción de potasio, hierro y manganeso, por la acumulación excesiva de calcio, en cambio cuando hay deficiencia, se desarrollan manchas irregulares, el desarrollo de flores es lento, las raíces comienzan a retroceder (Intagri, 2022). Asimismo, Molina (2010) indica que los suelos fértiles se caracterizan por tener altos contenidos de Calcio y Magnesio, coincidiendo con los resultados.

En cuanto al Magnesio Intercambiable, los resultados obtenidos coinciden con los resultados de Cajas (2009), concluyendo que en el tratamiento a base de estiércol bovino y aserrín (50% y 50% respectivamente) obtiene valores superiores en comparación con los otros tratamientos. Asimismo, las diferencias presentes entre tratamientos de la presente investigaciones, posiblemente sea por el tipo de material y proporciones.

Cabe recalcar que el magnesio es absorbido por el sistema radical de las plantas, además es constituyente de la clorofila, la misma que permite a la planta realizar el proceso de fotosíntesis, también interviene en el metabolismo y respiración, cuando hay deficiencias de magnesio se retrasa el crecimiento de la planta y tallos son delgados, además se desarrolla la clorosis (Vistoso y Martínez, 2020).

El potasio intercambiable presente, coinciden con los resultados obtenidos por Uruchi (2018), donde halló valores similares en tratamientos a base de estiércol bovino, encontrándose dentro los rangos óptimos, igualmente coincide con la tesis realizada por Carrillo (2013) en tratamientos a base de aserrín, estiércol bovino y heces fecales.

En cambio, cabe recalcar que el magnesio en las plantas participa en diferentes procesos bioquímicos y fisiológicos de los vegetales. Asimismo, cuando hay deficiencias provoca la clorosis o amarillamiento en las hojas, pudiendo llegar a la necrosis, en cambio cuando hay exceso provoca la deficiencia de otros nutrientes como magnesio y calcio (Fertibox, 2022).

Los antecedentes y sus coincidencias con los resultados de la presente investigación evidencian la importancia de considerar el material de partida, como las proporciones de los mismos para formular sustratos como alimento para las lombrices, asimismo, el tiempo de humificación corrobora la presencia de bases intercambiables, demostrando así la fertilidad presente en el sustrato. Asimismo, la literatura indica, que en general la concentración de fósforo, calcio y magnesio suelen ser incrementados por la lombricultura, a causa de la mineralización de la materia orgánica y la reducción del volumen que ocurre en el proceso. (Fernández, 2011 citado por Piza, 2017).

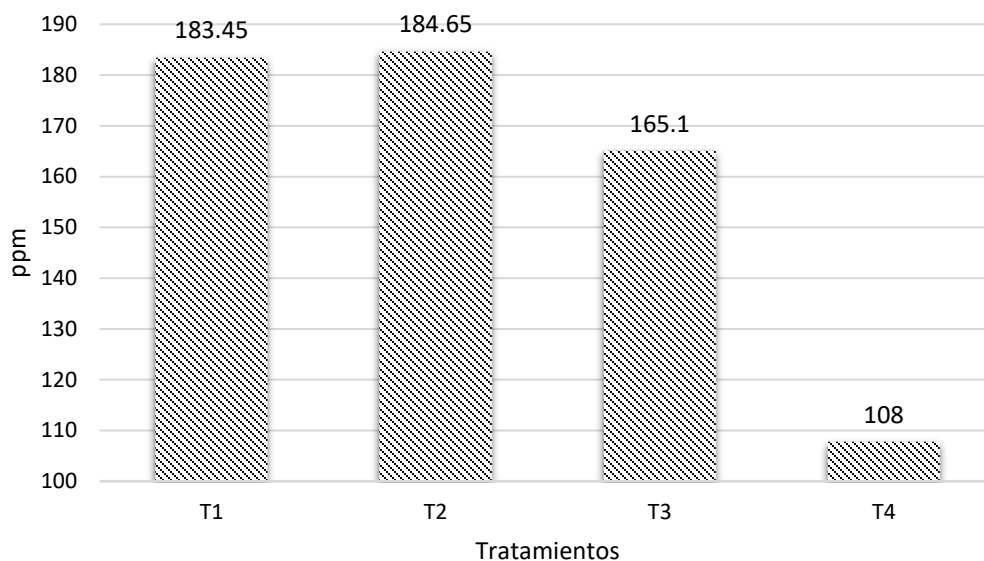
6.3.8.3. Fósforo disponible

El fósforo es el segundo nutriente de importancia, interviene en procesos de fotosíntesis, fijación de nitrógeno y favorece al crecimiento de las raíces laterales, sin embargo, la mayor parte del fósforo está en forma no asimilable para las plantas (Fertibox, 2022),

Los resultados obtenidos en laboratorio (LAFASA) con respecto al fósforo disponible en el humus de lombriz de diferentes tratamientos en estudio, podemos observar en la figura 20 que el tratamiento que tiene mayor cantidad de fósforo, es el T2 con 184,65 ppm, seguido y casi sin diferencia con el T1 con 183,45 ppm, el T3 y T4 con 165,1 ppm y 108 ppm respectivamente.

Figura 20

Comparación de fósforo del análisis de laboratorio de humus producto de cuatro sustratos ofertados a la lombriz roja californiana



T1 (50% de residuos orgánicos frescos de mercado+ 50% de estiércol bovino+ 0% de aserrín), T2 (37,5% de residuos frescos de mercado+37,5% de estiércol bovino + 25% de aserrín), T3 (25% de residuos frescos de mercado+25% de estiércol bovino + 50% de aserrín) y T4 (12,5% de residuos frescos de mercado+12,5% de estiércol bovino + 75% de aserrín)

Cabe recalcar que, para la interpretación de los resultados, los mismos se convirtieron en la unidad de ppm (1ppm=1mg/kg). En tanto los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango adecuado de 100-1000 mg/kg para abonos orgánicos descrito por la FAO (2013) sin embargo, los valores son bajos.

Asimismo, los resultados expuestos, no coinciden con la investigación realizada en la Fundación Sumaj Huasi (2012) citado por Carrillo (2013) donde observaron que en el tratamiento a base de heces fecales humanas y aserrín blanco se tenía valores de fósforo disponible de 2960 ppm en un tiempo de 8 meses, igualmente difiere con la tesis de Uruchi (2018) en un tratamiento a base de estiércol bovino obtuvo un valor de 3688 mg/kg, resultados obtenidos por ambas investigaciones se encontraban por encima de los rangos de calidad de 100 a 2500 mg/kg descrito por la normativa de humus de diferentes países.

Las diferencias entre los resultados y los antecedentes, posiblemente la causa sea el uso de aceleradores en el precompostaje, sin embargo, Cabrera, (1998) citado por Piza (2017) indica que durante el proceso de humificación se incrementa el nivel de fósforo disponible en el humus de lombriz y probablemente podría deberse al trabajo de las enzimas que se encuentran dentro del aparato digestivo de las lombrices las mismas se encargan de liberar fósforo retenido en el material vegetal.

Con respecto a los resultados obtenidos y sus diferencias entre los tratamientos en estudio, puede explicarse de la siguiente manera; el T4 con fósforo disponible con niveles inferiores en comparación con los demás tratamientos, se debe posiblemente a la falta de mineralización durante el proceso de transformación de sustrato a humus, por lo tanto, coincide con los resultados de Carbono/Nitrógeno presentados, el mismo indica que falta tiempo de humificación, y los cuatro meses no fueron suficientes para mineralizar por completo la materia orgánica, por lo tanto tampoco tiene buena cantidad de nutrientes disponibles para las plantas. En caso que los resultados fueran por debajo de los niveles óptimos, (que no es el caso, pero hipotéticamente) posiblemente se debería principalmente a la naturaleza de la materia prima y a las pérdidas por lixiviación o lavado por el riego periódico durante el proceso de humificación usando lombrices, según (Piza, 2017).

Sin embargo, los resultados contrastan con la conclusión de Pati (2021) el mismo indica que el fósforo disponible en el humus de lombriz, incrementará a medida que el humus madure, y aumentará hasta que el sustrato este mineralizado por completo, implicando ahí el tiempo incremento de tiempo en la humificación.

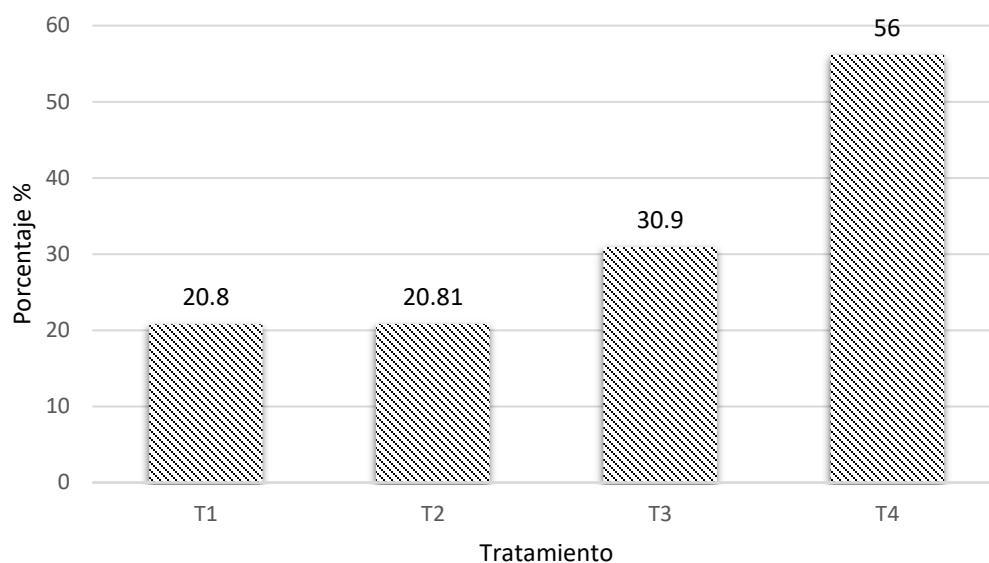
6.3.8.4. Materia Orgánica

La cantidad de materia orgánica presente en un sustrato, aporta a la planta nutrientes (micronutrientes, incrementa la capacidad de intercambio catiónico, la capacidad de intercambio aniónico y estabiliza la acidez del suelo. Cabe recalcar que el % se Materia Orgánica se puede calcular con la formula ($\%M.O.= \text{carbono orgánico} \times 1.724$) solo teniendo el dato de materia orgánica, sin necesidad de realizar laboratorio extra.

Después de obtener los datos de materia orgánica presente en los cuatro tratamientos de humus de lombriz, los mismos fueron tomados en Laboratorio (LAFASA), podemos observar en la figura 21, el T4 con el nivel más elevado de M.O. con el 56%, seguido por el T3 con 30,9%, el T1 y T2 con 20,8 % y 20,81% de materia orgánica respectivamente.

Figura 21

Comparación de materia orgánica del análisis de laboratorio del humus producto de cuatro sustratos ofertados a la lombriz roja californiana



T1 (50% de residuos orgánicos frescos de mercado+ 50% de estiércol bovino+ 0% de aserrín), T2 (37,5% de residuos frescos de mercado+37,5% de estiércol bovino + 25% de aserrín), T3 (25% de residuos frescos de mercado+25% de estiércol bovino + 50% de aserrín) y T4 (12,5% de residuos frescos de mercado+12,5% de estiércol bovino + 75% de aserrín)

Asimismo, de los resultados presentados, solo el T3 se encuentra dentro del rango considerado viable por la normativa de humus de diferentes países, entre 30-50%. Sin embargo, la FAO (2013) considera como óptimo 22% de, Asimismo, diversos autores indican rangos amplios para contenidos de M.O. en compostajes producidos por diferentes desechos, los cuales van de 24-70% de materia orgánica.

Los resultados obtenidos en la presente tesis, coinciden con la investigación realizada por la Fundación Sumaj Huasi (2012) citado por Carrillo (2013), obteniendo valores elevados de M.O. (65%) en el tratamiento que se utilizó en mayor cantidad el aserrín blanco y heces fecales. De la misma forma, en tratamientos realizados con estiércol camélido por Uruchi (2018) los valores son superiores a los de la presente investigación, a manera de comparar con otros tipos de alimentos usados en la alimentación de lombrices.

Los antecedentes de diferentes investigaciones y sus diferencias con los resultados de la presente investigación, prueban que debido a la descomposición del material; la cantidad de materia orgánica disminuye, como en los tres primeros tratamientos; en cambio cuando los desechos orgánicos iniciales presentan mayor relación Carbono/Nitrógeno como en el aserrín, los resultados se reflejan con altos contenidos de Materia orgánica como en el Tratamiento 4. De la misma forma, el tiempo de humificación o maduración es importante en la elaboración de humus de lombriz con las características propuestas en la presente investigación.

Con lo anterior expuesto, podemos concluir también que, los resultados presentados de Materia orgánica son corroborados con los datos de Conductividad Eléctrica, indicando que a menor C.E. menor cantidad de nutrientes disponibles para las plantas, de la misma forma, a mayor cantidad de M.O. hay menor cantidad de nutrientes para las plantas.

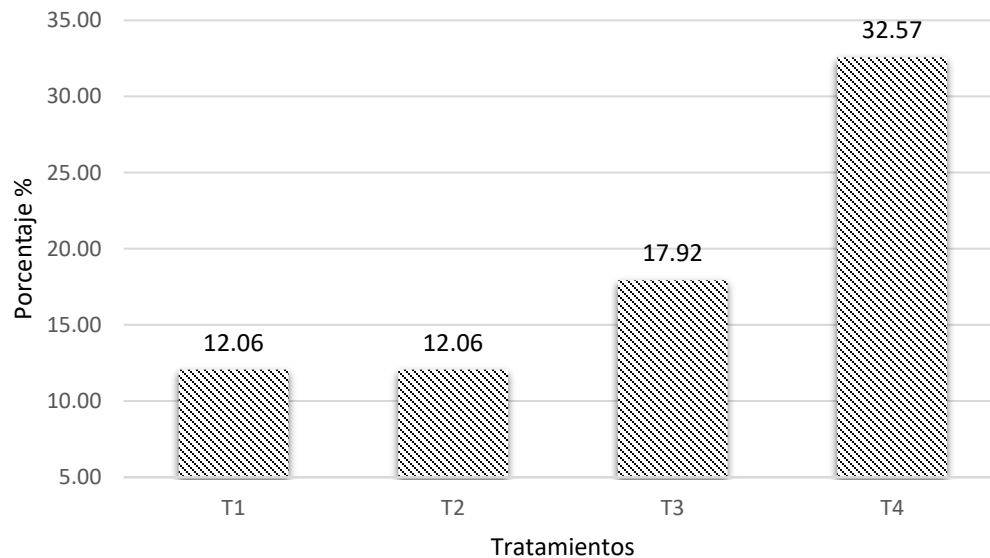
6.3.8.5. Carbono Orgánico

Asimismo, el carbono orgánico es un elemento clave para lograr alta calidad de los suelos. Entre sus beneficios esta: mejora la infiltración del agua y es fuente de nutrientes de los cultivos. Sin embargo cuando se habla de carbono orgánico, nos estamos refiriendo a la materia orgánica presente en el sustrato o suelo. Es un elemento clave para mejorar la estructura del suelo, asimismo ayuda a mejorar el rendimiento de las plantas (Fertibox, 2022).

Los resultados obtenidos en Laboratorio, respecto al Carbono Orgánico, se observan en la figura 22 y se describe: el T4 con el valor más elevado de 32,57%, seguido por el T3 con 17,92%, continuado con el T1 y T2, ambos con valores iguales de 12,06% respectivamente.

Figura 22

Carbono orgánico del análisis de laboratorio de humus producto de cuatro sustratos ofertados a la lombriz roja californiana



T1 (50% de residuos orgánicos frescos de mercado+ 50% de estiércol bovino+ 0% de aserrín), T2 (37,5% de residuos frescos de mercado+37,5% de estiércol bovino + 25% de aserrín), T3 (25% de residuos frescos de mercado+25% de estiércol bovino + 50% de aserrín) y T4 (12,5% de residuos frescos de mercado+12,5% de estiércol bovino + 75% de aserrín)

Los resultados presentados se encuentran dentro del rango establecido en la calidad de humus de diferentes países, citado por Pati (2021), el cual es óptimo entre 8.7-38.8%, sin embargo, la FAO considera que 13% es el valor promedio aceptable para abonos orgánicos.

No existe antecedentes con respecto a tratamientos similares, de esta manera se correlacionó con investigaciones de diferentes autores que utilizaron otro tipo de insumos y residuos orgánicos como en la investigación realizada por Pati (2021) a base de tierra de diatomeas, obtuvo valores menores en comparación con los resultados obtenidos a la presente investigación, pero al mismo tiempo se encontraba dentro de los rangos adecuados, de la misma forma, Toro (2014) citado por Carrillo (2013) corrobora que durante todo el proceso (desde precompostaje hasta humificación) la cantidad de C.O. disminuye, a medida que se va descomponiendo la materia orgánica y lo anteriormente expuesto lo demostró con resultados de laboratorio, con valores de 30,54% a 11,15%.

Las diferencias existentes entre los resultados, posiblemente se debe al material de partida y a las proporciones; son explicadas a continuación: los materiales secos como el aserrín, son considerados carbonados, los cuales según bibliografía deben estar presentes en dos partes contra una parte de residuos nitrogenados (residuos orgánicos frescos de cocina y estiércol), y el equilibrio entre ambos nos permitirá obtener sustratos adecuados para la alimentación de la lombriz, los mismos serán reflejados en un análisis de calidad nutritiva (como en la presente investigación). Demostrando así que el T4 con proporciones elevada de aserrín (residuo carbonado), tiene resultados altos en cuanto a carbono orgánico debido a que los microorganismos son menos eficientes en el uso de recursos energéticos presentes en la materia prima. Por lo tanto, los resultados altos de C.O., se debe probablemente a que la relación C/N inicial del sustrato era elevado y lo mismos se evidencia en los resultados finales, por lo tanto, el tiempo de humificación y maduración no fue suficiente.

Sin embargo, en los demás tratamientos se observa la relación Carbono /Nitrogeno es la adecuada o aproximada a lo óptimo, indicando que el tiempo de humificación fue lo adecuado para la mineralización de los residuos, por lo tanto, los nutrientes se encuentran disponibles para las plantas.

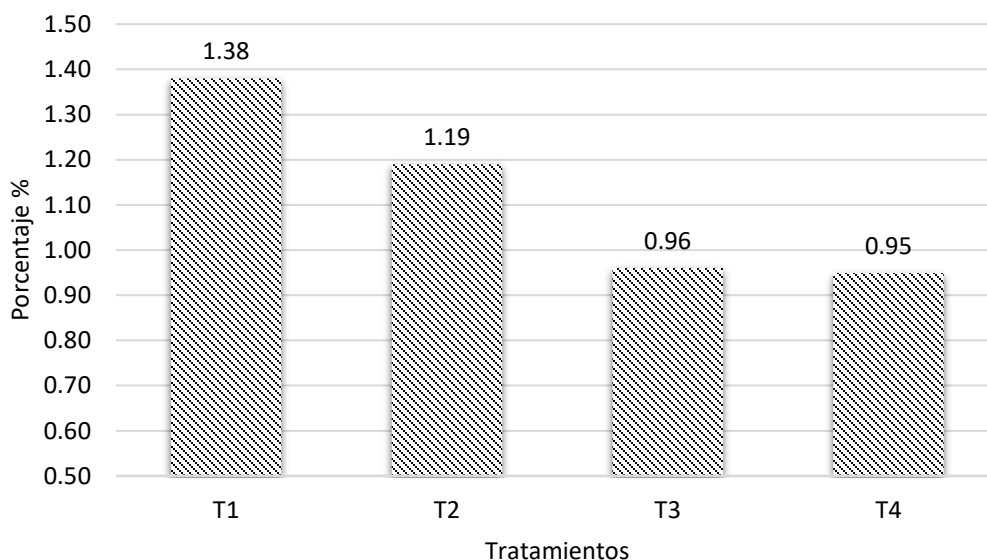
6.3.8.6. Nitrógeno total

La mineralización del Nitrógeno es mayor en presencia de las lombrices, lo que sugiere que éstas producen condiciones que favorecen la nitrificación, excretando también una cantidad importante en forma de amonio y muco-proteínas.

En la figura 23, podemos observar los resultados de nitrógeno total presente en el humus de lombriz de los cuatro tratamientos en estudio, evaluados en Laboratorio (LAFASA), describiendo los siguiente: el T1 obtuvo un valor de 1,38%, seguido por el T2 con un nivel de nitrógeno de 1,19%, el T3 y T4 con 0,96% y 0,95% respectivamente.

Figura 23

Comparación de Nitrógeno del análisis de laboratorio de humus producto de cuatro sustratos ofertados a la lombriz roja californiana



T1 (50% de residuos orgánicos frescos de mercado+ 50% de estiércol bovino+ 0% de aserrín), T2 (37,5% de residuos frescos de mercado+37,5% de estiércol bovino + 25% de aserrín), T3 (25% de residuos frescos de mercado+25% de estiércol bovino + 50% de aserrín) y T4 (12,5% de residuos frescos de mercado+12,5% de estiércol bovino + 75% de aserrín)

Los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango adecuado (0.3-1.5%) del parámetro de caracterización en abonos orgánicos de la FAO (2013), indicando que todos los tratamientos son de calidad.

De esta manera los resultados expuestos anteriormente coinciden con la Fundación Sumaj Huasi (2012) citado por Carillo (2013), elaborando humus de lombriz utilizando heces fecales y aserrín blanco como principal alimento para las lombrices, obtuvieron resultados de calidad nutricional en cuanto al nitrógeno un promedio de 2,1 % en 8 meses.

El contraste que existe a entre los resultados obtenidos en los tratamientos en estudio, se puede explicar de la siguiente manera: los residuos orgánicos frescos de mercado y estiércol de animales, son considerados residuos nitrogenados, los cuales deben estar presentes en la elaboración de sustratos, pero en niveles equilibrados con: 1 parte de material nitrogenado por 2 partes de material carbonados o secos según bibliografía. Por lo tanto, según las proporciones planteadas en los tratamientos en investigación, corrobora los resultados de nitrógeno. Valores altos en tratamientos con mayor proporción de residuos de mercado y estiércol bovino, en cambio valor inferior en el T4 debido a la baja proporción de residuos orgánicos de mercado y estiércol (25%), también respaldado por Durán y Henríquez (2007) citado por Sullcata (2014), que concluyen que en tratamientos a base de residuos orgánicos domésticos se obtienen valores superiores de Nitrógeno total.

Las coincidencias de los resultados con los antecedentes y literatura revisada, evidencian que en gran medida los residuos orgánicos de partida (proporciones o dosis) son una de las causas principales para obtener resultados óptimos en cuanto a calidad nutritiva, y encontrar un equilibrio adecuado en las proporciones nos asegurara resultados adecuados o aceptables para los requerimientos de las plantas.

Cabe recalcar que, si aplicamos humus con bajos niveles de nitrógeno puede provocar el marchitamiento y amarillamiento de las plantas.

6.3.8.7. Relación Carbono/ Nitrógeno

La relación C/N (Carbono/Nitrógeno), es un indicador del ritmo de la mineralización de la materia orgánica, es decir la capacidad de producir nitratos. En tanto la relación es una medida del grado de humificación de la materia orgánica incorporada al suelo (Villaroel, 1998 citado por Uruchi, 2018).

Una vez realizado el análisis de Laboratorio (LAFASA) en los humus producto de la Investigación presente, podemos observar en la tabla 18 la relación C/N (Carbono / Nitrógeno), el mismo se obtuvo a partir del cociente del Carbono Orgánico (%) y el Nitrógeno (%), mediante la formula:

$$C/N = \frac{\% \text{ Carbono Orgánico}}{\% \text{ Nitrogeno Total}}$$

Tabla 22

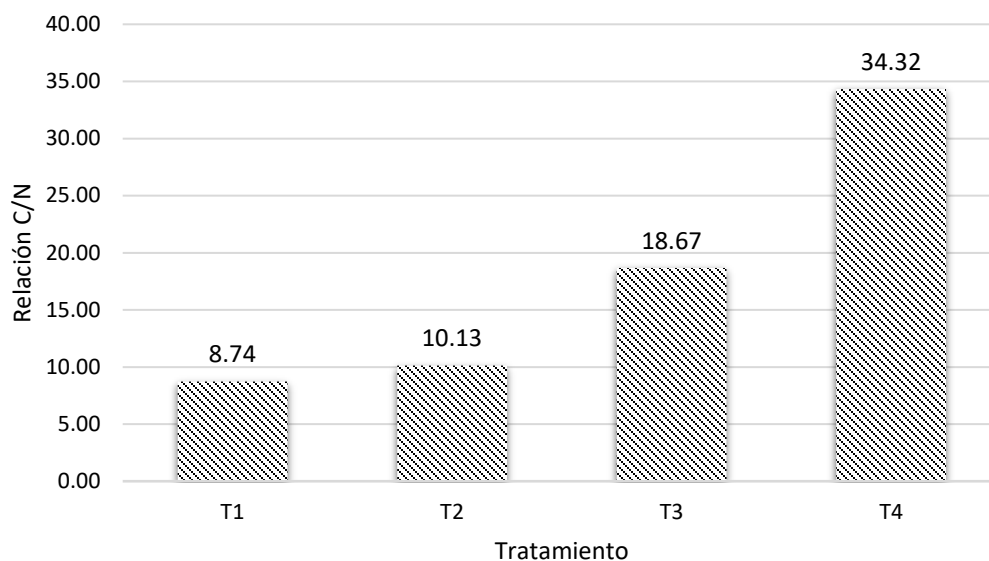
Relación C/N a partir del carbono orgánico y nitrógeno obtenido en Laboratorio en el humus producto de cuatro sustratos ofertados a la lombriz roja californiana

PARÁMETRO	T1	T2	T3	T4
% C.O.	12,06	12,06	17,92	32,57
% N	1,38	1,19	0,96	0,95
C/N	8,74	10,13	18,67	34,32

Asimismo, en la figura 24 con respecto a los resultados presentes de C/N en el humus de lombriz entre los tratamientos (obtenidos mediante la formula anteriormente descrita), donde el tratamiento cuatro presenta el más alto en comparación con los demás tratamientos, con un valor de 34,32, seguido por el tratamiento tres, con 18,67 de C/N, luego el tratamiento dos y uno con 10,12 y 8,74 respectivamente.

Figura 24

Comparación de C/N del análisis de laboratorio de humus de lombriz producto de cuatro sustratos ofertados a la lombriz roja californiana



T1 (50% de residuos orgánicos frescos de mercado+ 50% de estiércol bovino+ 0% de aserrín), T2 (37,5% de residuos frescos de mercado+37,5% de estiércol bovino + 25% de aserrín), T3 (25% de residuos frescos de mercado+25% de estiércol bovino + 50% de aserrín) y T4 (12,5% de residuos frescos de mercado+12,5% de estiércol bovino + 75% de aserrín)

Según los parámetros de calidad de humus de diferentes países debería estar con una relación C/N de 9 a 13, por lo tanto, el tratamiento cuatro tiene muy elevada la relación presente, los demás tratamientos se encuentran dentro o cerca de los rangos de calidad establecidos como óptimos en los abonos orgánicos.

Los resultados obtenidos en la presente investigación coinciden con la tesis de Cajas (2009), el mismo observó y corroboró que en un tratamiento a base de estiércol bovino (50%) y aserrín (50%), el mismo al iniciar el precompostado poseía relación C/N adecuada, de esta manera, se reflejó en los resultados evaluados en cuanto a población y reproducción de las lombrices, concluyendo que la combinación de las partículas finas de aserrín con el excremento bovino, formaron una pasta apetecible para las lombrices y fácil de digerir (las bacterias que contiene el estiércol ayudaron a degradar o descomponer el material lignificado que tiene el aserrín), el cual coincide con la literatura revisada.

Sin embargo, y con los resultados obtenidos hasta este punto, evidenciando la importancia de los residuos orgánicos y sus proporciones para lograr calidad nutritiva óptima en abonos orgánicos, se procedió a comparar con investigaciones realizadas con diferentes materiales orgánicos, reflejando así lo anteriormente expuesto. En la investigación realizada por Uruchi (2018) el tratamiento a base de estiércol camélido, obtuvo valor alto en relación C/N, de 26,60; el mismo fue inferior al T4 de la presente investigación.

Como anteriormente se expuso en los resultados de carbono orgánico y nitrógeno total, se manifiesta en la relación C/N, explicando de la siguiente manera las causas probables: el T4 obtuvo un valor elevado de C/N, posiblemente a la proporción de aserrín propuesto (75%) el mismo es considerado un material carbonado o seco, por lo tanto, el proceso de humificación fue lento en comparación con los otros tratamientos, recomendando otorgar más tiempo de mineralización; el cual es un proceso de transformación microbiana de la materia orgánica incorporada al suelo, en nutrientes minerales para la planta.

De la misma forma, cabe indicar que la relación C/N del aserrín se encuentra en 60:1 Fertibox (2022), por tanto, con eso se corrobora el porqué de los resultados finales de laboratorio expuestos anteriormente.

Sin embargo, con relación al tratamiento uno y dos, se encuentran dentro los parámetros establecidos (8,74 y 10,13 respectivamente) al igual que el tratamiento tres con valor cercano al óptimo, indicando la combinación recomendada entre residuos orgánicos frescos (nitrogenados) y residuos secos como el aserrín (carbonados), tanto en tiempo de humificación como en composición o proporción para la elaboración de alimento de las lombrices, para posteriormente producir humus de lombriz.

Cabe recalcar que, cuando un sustrato se encuentra en equilibrio (C/N =9 a 13), el cual evita la competencia de nitrógeno entre microorganismo del suelo y los cultivos en el que se desarrollen (Manual práctico de Lombricultura, 2022).

Según la literatura revisada de Pati (2021), indica que, si la relación C/N es superior al rango óptimo, significa que el humus todavía está inmaduro y se puede reducir la disponibilidad de nitrógeno para las plantas, asimismo mayor será la inmovilización del nitrógeno en el suelo por parte de los microorganismos. De este modo, los microorganismos requieren más tiempo de humificación, para que incorporen el carbono eliminando el sobrante hasta su estabilización, como sugiere Sullcata (2014). Sin embargo, si se aplica a la planta puede causar clorosis por la deficiencia de nitrógeno, llegando a los casos más extremos de muerte de hojas, por falta de nitrógenos disponibles para las plantas. Asimismo, indica que los compostes con relaciones de C/N bajas, una vez aplicados tendrán de 5-25% del N total disponible para la planta; sin embargo, valores muy bajos pueden provocar la pérdida del N debido a su rápida liberación en forma de amoníaco hacia la atmósfera.

En cuanto a los resultados de análisis químicos de laboratorio, Chilón, (2013), señala que se debe tomar en cuenta que la caracterización de la materia orgánica es solo parcial, porque considera a los abonos orgánicos y a la materia orgánica del suelo como algo inerte solo como una fuente de nutrientes inorgánicos, similar a los fertilizantes químicos, todo lo contrario, el suelo son entes vivos y gracias a los microorganismos evoluciona se desarrolla y transforma, por ello ante las limitaciones del análisis químico convencional de laboratorio, la cromatografía de Pfeiffer que resulta en una técnica que nos acerca más a la realidad, y a conocer las características propias del humus de lombriz.

Por otra parte, la proporción correcta recomendada por Fertibox (2022) para elaborar el precompostado es, 1 parte de material fresco por dos partes de material seco, dentro del material fresco están los nitrogenados: cáscaras de frutas, verduras, estiércol de animales, etc. En cambio, los materiales secos son los carbonados, como papel, cartón, hojas secas, pasto seco, cascarilla de arroz, caña de maíz, paja, hojas de plátano, aserrín sin químicos y de madera blanca, etc.

No obstante, las coincidencias de los resultados obtenidos en la presente investigación con los antecedentes y literatura revisada, evidencia que la materia prima es mucho más responsable de la calidad final del abono orgánico, asimismo, un equilibrio en las proporciones de los residuos orgánicos genera humus de buena calidad, en el que los nutrientes estén disponibles para las plantas, reflejando buen desarrollo de las mismas. De la misma forma, el incorporar estiércol bovino en la descomposición de aserrín es lo adecuado y recomendado, ya que el estiércol aporta lípidos y proteínas además abundante población de microorganismos, capaces de degradar la lignina presente en el aserrín como recomienda (Asprupal, 2013).

7. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados de la presente investigación titulada “Evaluación del efecto de cuatro niveles de aserrín con precompostaje de residuos orgánicos como sustrato en la producción de humus de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en Bajo Pampahasi en el departamento de La Paz” se llegó a las siguientes conclusiones:

- En cuanto a la temperatura durante el proceso de precompostaje (periodo necesario para estabilizar el alimento) solo el T2 y T3 llegaron a temperaturas características de la etapa termófila, pero debido a la compactación o exceso de porosidad, T1 y T4 respectivamente no alcanzaron dicha fase, en cuanto al pH se estabilizaron a un valor neutro a ligeramente alcalino.
- En el periodo de transformación o humificación de sustrato a humus de lombriz, las temperaturas dentro las cajas lombricarias asimismo la humedad se encontraron dentro el rango óptimo para un buen desarrollo de la lombriz y por lo tanto para producir humus, igualmente la temperatura ambiente máxima y mínima fueron aceptables debido a que la investigación se realizó en invernadero, la reacción pH es variable en el tiempo debido a la existencia de actividad microbiana en el humus de lombriz.
- Respecto al rendimiento en volumen y masa de humus, el T4 obtuvo resultados superiores con respecto a los demás tratamientos tanto en la cosecha y postcosecha, concluyendo que cuando se mezcla diferentes residuos orgánicos de diferentes características el rendimiento en masa y volumen será diferente.
- En cuando a la variable porcentaje de degradación, el T3 el que presenta mayor porcentaje en comparación con los demás tratamientos, con 32,8% y así concluyendo que dicho tratamiento es más asimilable por las lombrices como alimento.
- El T3 fue el más efectivo en cuanto a tiempo de transformación, tardó 89 días, y el tratamiento menos recomendable el T4 con 128 días.

- La calidad nutritiva es aceptable dentro de los parámetros de normativas de calidad de humus de lombriz, sin embargo, resalta que el tipo de materia prima utilizada en el sustrato para la producción de humus de lombriz determinará la variación en las características nutritivas del mismo.

En general, se concluye que cuando se utiliza diferentes niveles de residuos orgánicos frescos de mercado, estiércol bovino y aserrín precompostado en la alimentación de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) las variables como el tiempo de transformación, rendimiento en masa, rendimiento en volumen, porcentaje de degradación y la calidad nutritiva será diferente entre tratamientos, debido a las características de cada componente o residuo orgánico utilizado como sustrato en la alimentación de la lombriz

8. RECOMENDACIONES

- Respecto al uso de la carpa solar para el precompostado, se recomienda hacerlo al aire libre y en suelo directo, para evitar tener problemas de lixiviados excedentes o malos olores durante este proceso.
- Realizar estudio químico de los componentes iniciales usados en el precompostaje de los tratamientos, así determinar el tiempo específico de precompostado y humificación necesarios para obtener el humus de lombriz como producto final.
- Para acelerar el proceso de precompostaje o fermentación se recomienda el uso de activadores biológicos locales como suero de leche, yogurt, quinua y tarwi, etc., para obtener en un menor tiempo alimento estabilizado para las lombrices.
- Se recomienda realizar el experimento en lechos ubicados al aire libre (ya que las lombrices no tienen exigencias específicas) sin instalaciones ni estructuras de ningún tipo, del modo más sencillo y menos costoso, asimismo, para determinar si de alguna forma afecta el clima en la proliferación y producción de humus.
- Cubrir los lombricarios con cartón de maple de huevo húmedo, para evitar la pérdida de humedad por evaporación del medio, que también sirven de alimento para las lombrices.
- Se recomienda realizar análisis patológico de laboratorio al finalizar el proceso de precompostaje, para determinar la presencia de microorganismos patógenos en los sustratos que no alcanzaron temperaturas elevadas característico de la fase termófila del compostaje, así mismo en los demás tratamientos.
- Realizar un estudio poblacional y reproductivo en los tratamientos en estudio, para determinar la dinámica de lombrices y su rendimiento final en biomasa.
- Realizar análisis microbiológico al humus de lombriz para saber la riqueza de microorganismos además determinar la presencia o no de patógenos humanos como Salmonella y E. coli.

- Realizar análisis de calidad con diferentes métodos y diferentes laboratorios, los mismos son empleados en la caracterización del humus de lombriz, para observar y verificar la variación de los parámetros de acuerdo a los métodos analíticos usados. Y talvez con el futuro estandarizarlos.
- Cumplir con las medidas higiénico-sanitarias para evitar la contaminación del medio donde se cría a las lombrices, evitando el ingreso de personas ajenas a los lechos. Asimismo, Durante el tiempo de precompostaje se recomienda el uso de guantes que protejan manos y brazos, y ropa adecuada, para evitar la transmisión de microorganismos patógenos que podrían enfermarnos.
- Alimentar a las lombrices por periodos, a medida que se va terminando su alimento otorgarles más, porque las lombrices no son tan eficientes en la presencia de bastante alimento.
- Realizar un estudio cualitativo u propiedades organolépticas más exhaustivo, tanto en color, olor, textura, etc.
- Producir paralelamente el pie de cría y humus de lombriz para que sea más rentable la comercialización.
- Realizar un proyecto orgánico-urbano, incentivando a los hogares bolivianos al reciclaje de residuos orgánicos de cocina, asimismo capacitar sobre la alternativa de transformación de los mismos mediante lombricultura, el uso del humus de lombriz, y al mismo tiempo cada hogar tenga la capacidad de producir alimentos orgánicos en casa, haciendo el proceso de producción de residuos orgánicos y el tratamiento de los mismos más sustentable.
- Tomar conciencia para cuidar el medio ambiente, cuidar los recursos invertidos en rellenos sanitarios, que al final es el dinero de la misma población, asimismo, a las autoridades que tomen en cuenta la Ley del Medio Ambiente, asimismo, crear políticas que incentiven al reciclaje en áreas urbanas, así darle un buen uso de los residuos orgánicos y devolverle al suelo los nutrientes que requiere.

9. BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, C.R. 2018. Fertilidad física de los suelos. 2da Ed. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.

Aroa, L. (2011). “Propuesta de implementación de procedimientos para el manejo de residuos agropecuarios generados en la estación experimental de Choquenaira, Facultad de Agronomía”. (Trabajo dirigido). Universidad Mayor de San Andrés UMSA. La Paz Bolivia.

Arteaga, A. (28 de Marzo de 2019). Bolivia genera 7 mil toneladas de basura al día y sólo recicla el 4%. Página 7. Recuperado de: <https://www.paginasiete.bo/sociedad/bolivia-genera-7-mil-toneladas-de-basura-al-dia-y-solo-recicla-el-4-MAPS219371#:~:text=Bolivia%20genera%20aproximadamente%207.022%20toneladas,por%20parte%20de%20los%20municipios>.

Asrupal, N. (2013). Manual Técnico Lombricultura “Techo a dos aguas”. Ministerios de Agricultura y Riego-Instituto Nacional de Innovación agraria- INIA. URL: <http://162.248.52.172:8080/jspui/handle/inia/74>

AtlasRMLP. (2017). Atlas de la Región Metropolitana del Departamento de La Paz. Gobierno Autónomo Municipal de La Paz-Universidad Mayor de San Andrés. Pag. 22

Blanco, W. (Octubre de 2020). Curso de Lombricultura-Modalidad Virtual. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. La Paz-Bolivia.

BOLIVIA.COM. (2007). Las lombrices ayudan a recuperar el suelo de rellenos sanitarios. Artículo informativo. Consultado el 02 de julio de 2022. Disponible en www.bolivia.com/noticias/autonoticias/DetalleNoticia35789.asp

- Cajas, S., (2009).** “Efecto de la Utilización de Aserrín en combinación con Estiércol Bovino como sustrato en la producción de humus de Lombriz *Esenia foetida* (Lombriz Roja Californiana)”. (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias Pecuarias. Riobamba Ecuador.
- 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 pregrado). Universidad Mayor de San Andrés UMSA. La Paz Bolivia
- Castillo, J. (2015).** “Evaluación de la calidad de abonos ecológicos (Compost, Bokashi, y Lumbrifert) Elaborados a partir de residuos sólidos orgánicos de la Ciudad de El Alto”. (Tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés UMSA. La Paz Bolivia.
- Chilón, E. (2013).** Compostaje alto andino, suelo vivo y cambio climático. Ciencia Agro volumen 2. En línea. Disponible en. www.ibepa.org
- Chilón, E. (2016).** Compostaje Altoandino, seguridad alimentaria, cambio climático y biorremediación de suelos. Reporte investigación publicado en CienciaAgro. Vol. 1, No 6(2016) 43-56. Recuperado de: www.revistasbolivianas.ciencia.bo
- Correa, F. López, G. (2019).** “Abonos orgánicos sólidos, maduración y eficiencia”. Recuperado: https://www.researchgate.net/publication/335459435_Abonos_organicos_solidos_maduracion_y_eficiencia
- Del Rey, I. (2019).** Relación Carbono-Nitrogeno. Recuperado de: <https://www.tiloom.com/relacion-carbono-nitrogeno/>
- FAO.** (2013). Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en America Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Santiago de Chile. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/i3388s/l3388S.pdf>

Fertibox (2022). El potasio y su importancia en el crecimiento vegetal. Recuperado de: <https://www.fertibox.net/single-post/potasio-agricultura#:~:text=Contribuye%20a%20la%20mejora%20de,y%20desarrollo%20de%20la%20planta.>

GAMLP. (2016). Cartillas Macrodistritales del municipio de La Paz. Recuperado de: <http://sitservicios.lapaz.bo/cartillas/san-antonio.html>

GAMLP. (2021). La Paz inaugura una planta que convierte basura orgánica en abono. Correo del Sur. Recuperado de: https://correodelsur.com/sociedad/20210429_la-paz-inaugura-una-planta-que-convierte-basura-organica-en-abono.html

Gonzales, A. (2019). La basura, un problema creciente en Bolivia. Universidad Católica Boliviana-Instituto de Investigaciones Socio-Economicas. Recuperado en: <https://www.iisec.ucb.edu.bo/publicacion/la-basura-un-problema-creciente-en-bolivia>

Guanche, A. (2014) “Las lombrices y la agricultura”. (información técnica). Oficina Extensión Agraria y Desarrollo Rural - La Orotava.

Guzmán. W, Rodríguez. V, (2015). “Políticas y estrategias para la producción y Comercialización del Fertilizante Ecológico-Humus de Lombriz Caso: Empresa EMERGIRS S.R.L.”. (Trabajo dirigido). Universidad Mayor de San Andrés UMSA. La Paz Bolivia.

Iglesias, L. (2021). El estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente. Núm. 1/94. Ministerios de Agricultura Pesca y Alimentación.

INE. (2022). Cuadros Estadísticos mensuales y anuales de los residuos sólidos. Consultado el 11 de marzo de 2022.

INTAGRI (2022). La capacidad de Intercambio Catiónico del Suelo. Recuperado de: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>

La huerta de Ivan (2022). Diferencias entre humus de Lombriz , Compost y Estiércol. Consultado el 19 de octubre de 2022 y recuperado de: <https://www.lahuertadeivan.com/diferencias-entre-humus-de-lombriz-compost-y-estiercol/>

Limachi, E. (2018).” Evaluar el efecto de tres dosis de sustratos en la alimentación de la lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) con estiércol bovino y aserrín descompuesto en Sapecho Alto Beni. (Tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés. La Paz Bolivia.

LOMBRITEC (2021). Como almacenar correctamente el humus de lombriz. Recuperado de: <https://lombritec.com/como-almacenar-humus-de-lombriz>

López, C. Ruedas, R. Sañudo, R. Armenta, C. Herrán, J. (2013). Influencia de diferentes sustratos orgánicos en la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). Revista Tecno Ciencia Chihuahua. Vol. VII N°2. Recuperado de : <https://vocero.uach.mx/index.pHp/tecnociencia/article/view/662>

López, M. Machicado, P. (2010). “Plan de negocios Lombricultura Lombol S.R.L.”. (Proyecto de grado). Universidad Mayor de San Andrés UMSA. La Paz Bolivia.

Luna, G. (2020). “Condiciones ambientales y microorganismos adecuados para la obtención de humus de calidad y su efecto en el suelo agrícola”. Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo. Volumen 6 Numero 1. Recuperado de: https://revistas.upeu.edu.pe/index.pHp/ri_ctd/article/view/1405

Manual Práctico para la Lombricultura. Agrolanzarote-La web del campo de Lanzarote. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/317249017_Lombricultura_Manual_practico

Martínez, C. (2008). Lombricultura técnica mexicana. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. México, Texcoco.

Martínez, F. Calero, M. Nogales, Rovesti, L. (2013). Lombricultura Manual Práctico. Cuba, La Habana. Primera edición. Pag 30

- Mestanza, C. (2013).** Guía práctica de Lombricultura. CEMTRAR-CIS UNALM. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/258204593>
- Miranda, C. (2016).** Introducción a la Geología Agrícola. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. La Paz-Bolivia. p 68.
- MMAyA. (2011).** Compostaje y lombricultura domiciliario. Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Basico.1ra edición. Bolivia
- MMAyA/VAPSB/DGGIRS/Guía de Educación Ambiental en Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2012**
- MMAyA/VAPSB/DGGIRS/Guía para el Aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos, mediante Compostaje y Lombricultura, 2012**
- Molina, E. (2010).** Análisis de suelos y su interpretación. Recuperado de Infoagro.
- ONU (2013).** Manual de compostaje del agricultor-Experiencias en América Latina. Santiago de Chile. Pág. 24
- ONU-Hábitat. (2022).** El Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos
- Paco, G. (2011).** Scielo. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.pHp?script=sci_arttext&pid=S2072-92942011000200004
- Pati, L. A. (2021).** “Transformación de residuos biodegradables de la industria cervecera mediante la lombricultura en el municipio de Viacha del Departamento de La Paz”. (Tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés UMSA. La Paz Bolivia.
- Piza, C. (2017).** “Determinación de la calidad de humus de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) a partir de dos procesos en el tratamiento de alimento ofertado”. (Tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés UMSA. La Paz Bolivia.

Ramos, J. (2009). “El plan de cierre del relleno sanitario de mallasa: Evaluación y soluciones sobre contaminación de suelos mediante el uso de la lombricultura”. Disponible en: [https://www.academia.edu/es/33080553/ EL PLAN DE CIERRE DEL RELLENO SANITARIO DE MALLASA EVALUACION Y SOLUCIONES SOBRE CONTAMINACION DE SUELOS MEDIANTE EL USO DE LA LOMBRICULTURA](https://www.academia.edu/es/33080553/EL_PLAN_DE_CIERRE_DEL_RELLENO_SANITARIO_DE_MALLASA_EVALUACION_Y_SOLUCIONES SOBRE CONTAMINACION DE SUELOS MEDIANTE EL USO DE LA LOMBRICULTURA)

Reglamento General Gestion Integral de residuos. Artículo 59º. 19 de octubre de 2016. (Bolivia)

Rosado, J, Gómez, C, Araujo, A. (2022). Rehabilitación de suelos para la producción de alimentos y restauración de los ecosistemas en la ciencia del río Camarones La Guajira, mediante el lombricompost. Programa mundial de alimentos de las Naciones Unidas PMA-Corpogujira y Parques Nacionales Naturales-Santuario de Flora y Fauna los Flamencos.

Rostrán, J. Castillo, X. Bárcenas, M. (2016). Manual de producción: Compost “Una alternativa Ecológica para la Fertilización de sus cultivos”. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-LEON) Escuela de Ciencias Agrarias y Veterinaria. León Nicaragua.

SENAMHI. (2022). Boletín climatológico. Bolivia: Senamhi

Sullcata, R. (2014). “Desarrollo poblacional de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en relación a sustratos a base de estiércol y rastrojo de Cebada”. (Tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés. UMSA. La Paz Bolivia.

Tejeira, R. (2011). El color del suelo, facultad de Ciencias Agropecuarias. Consultado el 15 de julio de 2022. <http://colordelsuelo.blogspot.com/2014/11/el-color-del-suelo-dr.html>

Tortosa, G. (2013). Microbiología del compost según la temperatura del compostaje. Recuperado de: <http://www.compostandociencia.com/2013/08/microbiologia-del-compost-segun-la-temperatura-del-compostaje-html/>

Uruchi, A. (2018).” Evaluación de tres fuentes de sustratos en la producción de humus de lombriz roja (*Eisenia foetida*) en el Cantón Santiago de LLallagua Comunidad Juiracollo, Provincia Aroma Departamento de La Paz”. (Tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés UMSA. La Paz Bolivia.

Velásquez, E. (2019). Formulación del problema. Recuperado de: <https://slideplayer.es/slide/16314689/>

Vistoso, E. Martínez, J. (2020). Magnesio disponible y fertilización en suelos de la Región de los Ríos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA. Recuperado de: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcqlclefindmkaj/https://biblioteca.inia>

ANEXOS

Anexo 1

Presupuesto para la implementación de la presente investigación en la zona de Bajo Pampahasi en el departamento de La Paz

Nº	ITEM	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	COSTO TOTAL
1	Agrofilm 250 micras	metro	45	4	180
2	Listones de madera	pieza	7	40	280
3	Clavos	kilo	10	1	10
4	Semisombra	metro	20	2	40
5	Estiércol bovino	Saquillo	10	4	40
6	Aserrín	Saquillo	5	5	25
7	Lombriz (Eisenia foetida)	kilo	200	5,6	1400
8	Cajas lombricarias	unidad	9	16	144
9	Termómetro digital	unidad	180	1	180
10	Papel pH	caja	45	1	45
11	Termómetro de ambiente	unidad	45	1	45
12	Red tamizadora	metro	12	2	24
13	Bolsas plásticas y Saquillos	unidad	10	2	20
14	Laboratorio	servicio	1300	1	1300
TOTAL					3733

Nota: los residuos orgánicos frescos de mercado no tienen costo ya que son productos desechados por las vendedoras y solo se los recoge.

Anexo 2

Niveles en masa y volumen de residuos orgánicos propuestos en la investigación al inicio del proceso de precompostaje como sustrato en la producción de humus de lombriz roja californiana

N°	Trat.	Rep.	Componentes	%	Masa (Kg.)	Vol. parcial (m ³)	Vol. total (m ³)
1	T1	4	Res. Org. Frescos De Mercado	50%	45 Kg.	0,106	0,192
			Estiércol Bovino	50%	45 Kg.	0,086	
			Aserrín	0%	0 Kg.	-	
			TOTAL	100%	90 Kg.	0,192	
2	T2	4	Res. Org Frescos De Mercado	37,5%	33,8 Kg.	0,079	0,203
			Estiércol Bovino	37,5%	33,8 Kg.	0,066	
			Aserrín	25%	22,5 Kg.	0,058	
			TOTAL	100%	90 Kg	0,203	
3	T3	4	Res. Org. Frescos De Mercado	25%	22,5 Kg.	0,052	0,212
			Estiércol Bovino	25%	22,5 Kg.	0,045	
			Aserrín	50%	45 Kg.	0,115	
			TOTAL	100%	90 kg	0,212	
4	T4	4	Res. Org Frescos De Mercado	12,5%	11,3 Kg.	0,027	0,222
			Estiércol Bovino	12,5%	11,3 Kg.	0,022	
			Aserrín	75%	67,5 Kg.	0,172	
			TOTAL	100%	90 Kg.	0,222	

Anexo 3

Registro de datos de temperatura dentro los sustratos en el proceso de precompostaje y registro de temperatura ambiente dentro del invernadero

N	DIAS	T1	T2	T3	T4	TEMP. AMB. °C
		T°C	T°C	T°C	T°C	
1	0	16	12	15	10	22,2
2	3	32	45	43	37	29,3
3	6	36	40	38	33	28,2
4	7	30	32	33	27	20,3
5	9*	26	28	29	24	14,2
6	12	27	29	29	22	21
7	15	24	33	31	29	27
8	18*	21	25	25	21	14,2
9	21	20	24	23	22	25,7
10	24	22	24	24	24	15
11	27*	25	23	20	20	15,9
12	30	22	24	25	24	26,4
13	33	20	25	22	20	17,1
14	36*	19	17	19	18	20
15	39	17	18	18	17	20,6
16	40*	16	17	16	16	18,3

Datos de temperaturas de los sustratos en estudio y temperaturas máximas-mínimas y ambiente durante el proceso de humificación o transformación de sustrato en humus de lombriz.

Nº	Días	T1 °C	T2 °C	T3 °C	T4 °C	T. Amb.	T. Max.	T min.	H ambiente %
1	3	16.05	16.00	16.50	16.00	15.30	36.00	5.35	79
2	9	16.40	16.20	16.50	16.50	15.00	39.50	4.12	82
3	15	16.55	16.40	16.20	16.40	16.20	40.10	6.25	62
4	21	16.20	15.80	16.00	16.30	13.56	35.20	5.90	90
5	27	16.48	16.20	16.00	16.30	15.80	38.40	6.90	70
6	33	15.90	16.40	16.50	16.50	14.50	32.00	5.12	96
7	39	15.97	16.00	15.80	16.00	15.90	36.80	7.50	65
8	45	15.95	15.80	15.90	15.90	14.80	36.20	4.50	85
9	51	16.30	16.20	16.00	16.00	15.65	38.80	6.22	78
10	57	16.25	16.30	16.10	16.20	17.45	41.20	5.40	45
12	63	16.13	16.40	16.10	16.30	17.30	40.30	5.56	48
13	69	16.25	16.30	16.20	16.00	16.00	38.60	5.32	64
14	75	16.10	16.20	16.20	16.00	17.30	40.00	6.12	48
15	81	16.32	16.00	15.90	16.10	15.30	37.20	4.50	75
16	87	16.35	16.20	16.20	15.90	15.95	35.00	5.42	60
17	90	15.95	16.00	16.00	15.80	15.80	36.00	4.20	70
18	98	16.21	16.20	16.25	16.00	17.20	39.50	5.90	50
19	105	16.10	16.21	16.35	15.95	16.20	39.50	5.20	62
20	111	15.95	16.10	16.25	16.35	15.20	37.30	4.82	80
21	117	16.12	15.86	16.35	15.95	16.80	38.00	5.10	53
22	123	15.95	16.15	16.25	16.30	14.80	35.00	4.56	85
23	128	15.76	15.56	16.10	16.30	15.60	34.50	7.60	75
Promedio		16.15	16.11	16.17	16.14	15.80	37.50	5.53	69.18

Datos de humedad registrados en los sustratos en estudio durante el proceso de humificación o transformación de sustrato en humus de lombriz

Nº	Días	Humedad %			
		T1	T2	T3	T4
1	3	70	75	75	75
2	9	75	75	75	70
3	15	70	70	70	75
4	21	75	80	75	80
5	27	75	75	70	80
6	33	70	70	75	80
7	39	70	75	80	75
8	45	75	70	75	80
9	51	70	75	75	75
10	57	75	70	70	80
12	63	70	75	75	75
13	69	75	75	80	75
14	75	70	80	80	75
15	81	75	70	75	75
16	87	75	75	75	80
17	90	70	75	75	80
18	98	75	80	70	80
19	105	75	75	75	65
20	111	70	75	75	70
21	117	65	75	80	65
22	123	70	70	75	70
23	128	70	70	70	80
Promedio		72	74	75	75

Anexo 4

Base de datos utilizados en el Análisis de Varianza en el programa InfoStat de las diferentes variables en estudio

Trat.	Rep.	Vol. Inicial	Vol. a la cosecha	Vol. a la post-cosecha	Masa a la cosecha	Masa a la post-cosecha	Porcentaje de degradación	Tiempo de humificación
T1	1	11880	8316	7722	5.7	4.5	0.5659	9.9
T2	1	12474	8613	7841	5.5	4.5	0.5932	9.8
T3	1	13068	9088	8019	5.5	4.5	0.5932	9.5
T4	1	14850	10395	9801	7	6	0.3614	11.3
T1	2	11880	8316	7128	5.2	4.5	0.6331	10.2
T2	2	11880	8316	7722	5.5	5	0.5932	9.6
T3	2	13068	9207	8138	5	4	0.6591	9.4
T4	2	14256	10217	10395	6.5	5	0.4478	11.4
T1	3	11583	8613	8019	6	4.5	0.5236	10.0
T2	3	12474	8494	8138	5.5	5	0.5932	9.9
T3	3	13068	9326	8613	5.5	4	0.5932	9.3
T4	3	14256	10098	10098	6.5	5	0.4478	11.3
T1	4	11286	8910	7722	5	4.5	0.6591	10.1
T2	4	12474	8791	8316	6	4.5	0.5236	9.7
T3	4	13068	9029	8613	5.5	4.5	0.5932	9.6
T4	4	14553	10395	10098	6	5.5	0.5236	11.4

- *Análisis de varianza (ANVA) y Test de Duncan (0,05) de la variable volumen inicial de sustrato*

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Volumen Inicial	16	0,96	0,95	1,94

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	17575643,25	3	5858547,75	93,76	<0,0001
Tratamiento	17575643,25	3	5858547,75	93,76	<0,0001
Error	749776,50	12	62481,38		
Total	18325419,75	15			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 62481,3750 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T4	14478,75	4	124,98	A
T3	13068,00	4	124,98	B
T2	12325,50	4	124,98	C
T1	11657,25	4	124,98	D

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

- *Análisis de varianza (ANVA) y Test de Duncan (0,05) de la variable Volumen a la cosecha del humus*

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Volumen cosecha	16	0,94	0,93	2,19

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7987375,50	3	2662458,50	66,83	<0,0001
Tratamiento	7987375,50	3	2662458,50	66,83	<0,0001
Error	478039,50	12	39836,63		
Total	8465415,00	15			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 39836,6250 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T4	10276,25	4	99,80	A
T3	9162,50	4	99,80	B
T2	8553,50	4	99,80	C
T1	8538,75	4	99,80	C

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

- *Análisis de varianza (ANVA) y Test de Duncan (0,05) de la variable volumen de humus de lombriz a la postcosecha*

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Volumen postcosecha	16	0,93	0,91	3,57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	14188812,69	3	4729604,23	51,15	<0,0001
Tratamiento	14188812,69	3	4729604,23	51,15	<0,0001
Error	1109574,25	12	92464,52		
Total	15298386,94	15			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 92464,5208 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T4	10098,00	4	152,04	A
T3	8345,75	4	152,04	B
T2	8004,25	4	152,04	B C
T1	7647,75	4	152,04	C

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

- *Análisis de varianza (ANVA) y Test de Duncan (0,05) de la variable rendimiento en masa a la cosecha del humus de lombriz*

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rend. masa cosecha	16	0,68	0,60	6,16

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,18	3	1,06	8,46	0,0027
Tratamiento	3,18	3	1,06	8,46	0,0027
Error	1,50	12	0,13		
Total	4,68	15			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,1252 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T4	6,50	4	0,18	A
T2	5,63	4	0,18	B
T1	5,48	4	0,18	B
T3	5,38	4	0,18	B

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

- *Análisis de varianza (ANVA) y Test de Duncan (0,05) de la variable rendimiento en masa a la postcosecha del humus de lombriz*

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rend. masa postcosecha	16	0,70	0,63	6,67

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,80	3	0,93	9,42	0,0018
Tratamiento	2,80	3	0,93	9,42	0,0018
Error	1,19	12	0,10		
Total	3,98	15			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0990 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T4	5,38	4	0,16	A
T2	4,75	4	0,16	B
T1	4,50	4	0,16	B
T3	4,25	4	0,16	B

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

- *Análisis de varianza (ANVA) y Test de Duncan (0,05) de la variable porcentaje de degradación de sustrato*

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% de degradación	16	0,68	0,61	9,22

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,07	3	0,02	8,67	0,0025
Tratamiento	0,07	3	0,02	8,67	0,0025
Error	0,03	12	2,6E-03		
Total	0,10	15			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0026 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T3	0,61	4	0,03	A
T1	0,60	4	0,03	A
T2	0,58	4	0,03	A
T4	0,45	4	0,03	B

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

- *Análisis de varianza (ANVA) y Test de Duncan (0,05) de la variable tiempo de humificación*

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Tiempo de humificación	16	0,98	0,97	3,20

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8,21	3	2,74	184,07	<0,0001
Tratamiento	8,21	3	2,74	184,07	<0,0001
Error	0,18	12	0,01		
Total	8,38	15			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0149 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T3	9,47	4	0,06	A
T2	9,79	4	0,06	B
T1	10,09	4	0,06	C
T4	11,36	4	0,06	D

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

Anexo 5 Resultados de análisis de laboratorio de humus de lombriz obtenidos con la presente investigación



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



RES: FAC.AGRO.LAB. N°123

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUSTRATO

INTERESADO: Milenka Sirpa Torrez
SOLICITUD: LAF123_22
FECHA DE ENTREGA: 18/08/2022
PROCEDENCIA: Departamento La Paz
 Código Sustrato T1

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
Densidad Aparente	g/cm ³	0.571	Probeta
Humedad Gravimétrica	%	57	Gravimétrico
pH en H ₂ O relación 1:5	-	7.56	Potenciometría
Conductividad eléctrica en agua 1:5	mmhos/cm	3.88	Potenciometría
Potasio	meq/100g S.	12.815	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Calcio	meq/100g S.	29.816	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Magnesio	meq/100g S.	8.357	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Nitrógeno total	%	1.38	Kjendahl
Materia orgánica	%	20.80	Walkley y Black
Carbono Orgánico	%	12.06	
Fósforo disponible	ppm	183.45	Espectrofotometría UV-Visible


 Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS



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



RES: FAC.AGRO.LAB. N°124

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUSTRATO

INTERESADO: Milenka Sirpa Torrez
SOLICITUD: LAF124_22
FECHA DE ENTREGA: 18/08/2022
PROCEDENCIA: Departamento La Paz
Código Sustrato T2

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
Densidad Aparente	g/cm ³	0.556	Probeta
Humedad Gravimétrica	%	57	Gravimétrico
pH en H ₂ O relación 1:5	-	8.55	Potenciometría
Conductividad eléctrica en agua 1:5	mmhos/cm	5.00	Potenciometría
Potasio	meq/100g S.	15.453	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Calcio	meq/100g S.	29.990	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Magnesio	meq/100g S.	7.686	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Nitrógeno total	%	1.19	Kjendahl
Materia orgánica	%	20.81	Walkley y Black
Carbono Orgánico	%	12.06	
Fósforo disponible	ppm	184.65	Espectrofotometría UV-Visible




Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS

Dirección: Av. Landaeta esq. Héroes del Acre N.º 1850,
Telf. IIAREN: 2484647 - 74016356 - 73075326 • E-mail: lafasa.suelos@gmail.com
Página web: agro.umsa.bo • La Paz - Bolivia



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



RES: FAC.AGRO.LAB. N°125

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUSTRATO

INTERESADO: Milenka Sirpa Torrez
SOLICITUD: LAF125_22
FECHA DE ENTREGA: 18/08/2022
PROCEDENCIA: Departamento La Paz
Código Sustrato T3

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
Densidad Aparente	g/cm ³	0.455	Probeta
Humedad Gravimétrica	%	64	Gravimétrico
pH en H ₂ O relación 1:5	-	9.37	Potenciometría
Conductividad eléctrica en agua 1:5	mmhos/cm	3.15	Potenciometría
Potasio	meq/100g S.	14.486	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Calcio	meq/100g S.	22.923	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Magnesio	meq/100g S.	6.944	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Nitrógeno total	%	0.96	Kjendahl
Materia orgánica	%	30.90	Walkley y Black
Carbono Orgánico	%	17.92	
Fósforo disponible	ppm	165.1	Espectrofotometría UV-Visible


Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA EN SUELOS Y AGUAS
LAFASA
LA PAZ - BOLIVIA

Dirección: Av. Landaeta esq. Héroes del Acre N.º 1850,
Telf. IIAREN: 2484647 - 74016356 - 73075326 • **E-mail:** lafasa.suelos@gmail.com
Página web: agro.umsa.bo • La Paz - Bolivia



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



RES: FAC.AGRO.LAB. N°126

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUSTRATO

INTERESADO: Milenka Sirpa Torrez
SOLICITUD: LAF126_22
FECHA DE ENTREGA: 18/08/2022
PROCEDENCIA: Departamento La Paz
Código Sustrato T4

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
Densidad Aparente	g/cm ³	0.476	Probeta
Humedad Gravimétrica	%	72	Gravimétrico
pH en H ₂ O relación 1:5		8.43	Potenciometría
Conductividad eléctrica en agua 1:5	mmhos/cm	2.08	Potenciometría
Potasio intercambiable	meq/100g S.	12.194	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Calcio intercambiable	meq/100g S.	20.824	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Magnesio intercambiable	meq/100g S.	6.060	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Nitrógeno total	%	0.949	Kjendahl
Materia orgánica	%	56.16	Walkley y Black
Carbono Orgánico	%	32.57	
Fósforo disponible	ppm	107.8	Espectrofotometría UV-Visible




Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS

Dirección: Av. Landaeta esq. Héroes del Acre N.º 1850,
Telf. IIAREN: 2484647 - 74016356 - 73075326 • E-mail: lafasa.suelos@gmail.com
Página web: agro.umsa.bo • La Paz - Bolivia

Anexo 6 Archivo fotográfico estudio: “Evaluación del efecto de cuatro niveles de aserrin con precompostaje de residuos orgánicos como sustrato en la producción de humus de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en bajo Pampahasi en el departamento de La Paz” llevada a cabo entre enero y agosto del 2022. Bolivia



Fotografía 1. Construcción de ambiente atemperado en Pampahasi Bajo.



Fotografía 2. Recepción de Residuos Orgánicos Frescos de mercado.



Fotografía 3. Recepción de aserrin de la barraca de Pampahasi.



Fotografía 4. Recepción de estiércol bovino de Chicani.



Fotografía 5. Picado y triturado de los residuos orgánicos frescos de mercado.



Fotografía 6. Mezclado de los residuos orgánicos frescos de mercado.



Fotografía 7. Precompostado del tratamiento 1 en estudio.



Fotografía 8. Precompostado del tratamiento 2 en estudio.



Fotografía 9. Precompostado del tratamiento 3 en estudio.



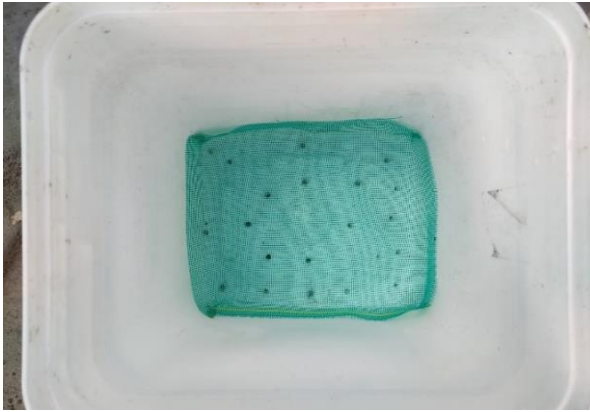
Fotografía 10. Precompostado del tratamiento 4 en estudio.



Fotografía 11. Evaluación de temperatura durante el proceso de precompostaje.



Fotografía 12. Volteo del precompostaje de los cuatro tratamientos en estudio.



Fotografía 13. Acondicionamiento de las cajas lombricarias



Fotografía 14. Núcleo de Lombriz Roja Californiana utilizada en la investigación.



Fotografía 15. Prueba de supervivencia en los sustratos de estudio.



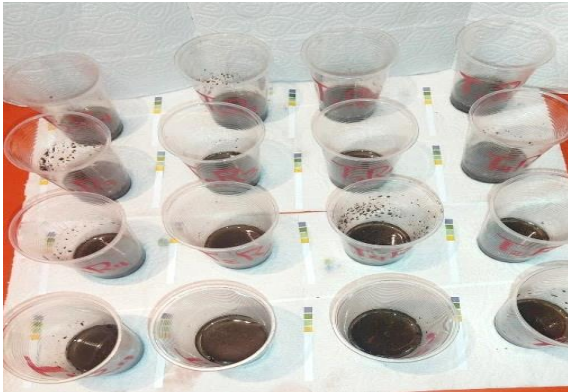
Fotografía 16. Pesaje de sustratos en estudio para inocular a las lombrices.



Fotografía 17. Inoculación de lombrices en las cajas lombricarias



Fotografía 18. Disposición de cajas lombricarias en el área de estudio.



Fotografía 19. Medición de pH de los sustratos por tratamiento y repeticiones



Fotografía 20. Medición de temperatura del sustrato con termómetro digital



Fotografía 21. Medición de temperatura del ambiente controlado



Fotografía 22. Evaluación de la humedad con el método del puño



Fotografía 23. Inicio de captura de lombrices con red y alimentos



Fotografía 24. Captura de lombrices



Fotografía 25. Cosecha manual de lombrices que no fueron capturadas con red



Fotografía 26. Secado del humus de lombriz bajo semisombra



Fotografía 27. Tamizado del humus de lombriz para enviar a laboratorio LAFASA