

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL



TESIS

**DETERMINACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DEL LOMBRICOMPOSTAJE EN
LA ESTABILIZACIÓN DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DE CELENDÍN**

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por la Bachiller:

EMELI MILAGROS CASTRO CRUZADO

Asesores:

ING. M.SC GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA

ING. M.SC. ADOLFO M. LÓPEZ AYLAS

CAJAMARCA – PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los seis días del mes de junio del año dos mil veintidós, se reunieron en el ambiente 2G - 207 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 371-2021-FCA-UNC, de fecha 29 de noviembre del 2021**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la TESIS titulada: "**DETERMINACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DEL LOMBRICOMPOSTAJE EN LA ESTABILIZACIÓN DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CELENDÍN**", realizada por la Bachiller **EMELI MILAGROS CASTRO CRUZADO** para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las once horas y cinco minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de diecisiete (17); por tanto, la Bachiller queda expedita para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las doce horas y veinticinco minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.



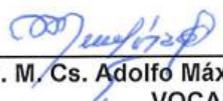
Ing. M. Sc. Attilio Israel Cadenillas Martínez
PRESIDENTE



Ing. M. Cs. José Ramiro Díaz Cumpén
SECRETARIO



Ing. M. Cs. Giovana Ernestina Chávez Horna
VOCAL



Ing. M. Cs. Adolfo Máximo López Aylas
VOCAL

DEDICATORIA

A todos aquellos que con su conocimiento, esfuerzo y dedicación buscan hacer del planeta un lugar mejor para ellos y las futuras generaciones.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, mis padres, hermanos y demás familiares involucrados en la realización de esta tesis.

A mis asesores la Ing. M.Sc. Yovana Chávez Horna y el Ing. M.Sc. Adolfo López Aylas quienes con su buena voluntad me supieron guiar para el desarrollo de la presente investigación.

Gracias.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA -----	iii
AGRADECIMIENTOS -----	ivii
RESUMEN -----	ix
ABSTRACT -----	x
CAPÍTULO I -----	1
INTRODUCCIÓN -----	1
CAPÍTULO II -----	3
REVISIÓN DE BIBLIOGRÁFICA -----	3
2.1 Antecedentes-----	3
2.1.1 Investigaciones en el extranjero-----	3
2.1.2 Investigaciones nacionales-----	4
2.2 Bases Teóricas-----	5
2.2.1 Lodos de PTAR-----	5
2.2.2 Estabilización de lodos residuales-----	9
2.2.3 Lombricompostaje o vermicompostaje-----	10
2.2.4 Lombriz roja californiana “ <i>Eisenia foetida</i> ”-----	14
2.2.5 Condiciones ambientales para el desarrollo de la lombriz roja californiana-----	18
2.2.6 Lombricompost-----	19
2.2.7 Compost de residuos municipales de la ciudad de Celendín-----	20
2.2.8 Estiércol de cuy-----	21
2.2.9 Descripción de la PTAR de la ciudad de Celendín-----	22
2.2.10 Normativa nacional para el aprovechamiento de lodos residuales-----	24
CAPÍTULO III -----	26
MARCO METODOLÓGICO -----	26
3.1 Localización de la investigación-----	26
3.2 Tipo y diseño de la investigación-----	28
3.2.1 Materiales experimentales-----	28
3.2.2 Factores, variables, niveles y tratamientos en estudio-----	29
3.2.3 Diseño experimental y arreglo de los tratamientos-----	30
3.2.4 Croquis del experimento-----	31
3.2.5 Evaluaciones realizadas-----	31
3.2.6 Procedimiento experimental-----	34
3.2.7 Tratamiento y análisis de datos-----	37
3.2.8 Presentación de la información-----	37
CAPÍTULO IV -----	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	38
4.1 Peso de la lombriz “ <i>Eisenia foetida</i> ” según el sustrato empleado-----	38
4.2 Degradación del lodo residual a lombricompost, considerando el pH, temperatura, humedad y color-----	40

4.2.1	pH del proceso de lombricompostaje-----	40
4.2.2	pH del lombricompost -----	43
4.2.3	Temperatura del proceso de lombricompostaje-----	45
4.2.4	Humedad del proceso de lombricompostaje-----	49
4.2.5	Análisis del color del lombricompost -----	51
4.3	Calidad del lombricompost de acuerdo al D.S. N°015-2017-VIVIENDA -----	53
4.3.1	Concentración de Materia Orgánica (MO) -----	53
4.3.2	Nitrógeno total -----	55
4.3.3	Metales pesados-----	57
4.3.4	Parámetros de higienización -----	70
CAPÍTULO V-----		76
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES-----		76
CAPÍTULO VI-----		77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----		77
CAPÍTULO VII -----		83
ANEXOS -----		83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del lodo crudo y digerido-----	6
Tabla 2. Valores típicos para metales en lodos residuales-----	6
Tabla 3. Densidad de microorganismos patógenos presentes en los lodos -----	7
Tabla 4. Clasificación taxonómica de la Lombriz Roja Californiana. -----	14
Tabla 5. Condiciones óptimas para el cultivo de <i>Eisenia foetida</i> en residuos animales y vegetales----	18
Tabla 6. Valores analíticos del lombricompost -----	20
Tabla 7. Caracterización físico-química del compost producido en el botadero controlado de la ciudad de Celendín -----	21
Tabla 8. Composición química del estiércol de cuy-----	22
Tabla 9. Características del lecho de secado y cámara de bombeo de lodos -----	24
Tabla 10. Parámetros de toxicidad química en biosólidos clase A y clase B -----	24
Tabla 11. Parámetros de higienización de biosólidos -----	25
Tabla 12. Factor, variable independiente, niveles y tratamientos -----	29
Tabla 13. Descripción de los tratamientos experimentales -----	30
Tabla 14. Especificaciones del monitoreo realizado durante el proceso de lombricompostaje--	32
Tabla 15. Parámetros analizados en los laboratorios -----	34
Tabla 16. Análisis de variancia -----	37
Tabla 17. Análisis de varianza del peso final de las lombrices -----	40
Tabla 18. Análisis de la Varianza del pH del proceso de lombricompostaje -----	43
Tabla 19. Análisis de la Varianza del pH del lombricompost -----	45
Tabla 20. Prueba de Tukey para el pH del lombricompost-----	45
Tabla 21. Análisis de varianza para la temperatura del proceso de lombricompostaje -----	48
Tabla 22. Prueba de Tukey para la temperatura del proceso de lombricompostaje -----	49
Tabla 23. Análisis de varianza de la humedad del proceso de lombricompostaje -----	51
Tabla 24. Color del lombricompost obtenido según tabla Munsell. -----	52
Tabla 25. Concentración de los parámetros analizados en el lombricompost obtenido en cada tratamiento-----	53
Tabla 26. Análisis de varianza de la concentración de materia orgánica en el lombricompost--	55
Tabla 27. Prueba de Tukey para las concentraciones de materia orgánica en el lombricompost	55
Tabla 28. Análisis de varianza de la concentración de nitrógeno en el lombricompost -----	57
Tabla 29. Prueba de Tukey para la concentración de nitrógeno en el lombricompost -----	57
Tabla 30. Análisis de varianza de la concentración de arsénico en el lombricompost -----	59
Tabla 31. Prueba de Tukey para la concentración de arsénico en el lombricompost-----	60
Tabla 32. Análisis de varianza de la concentración de cadmio en el lombricompost -----	61
Tabla 33. Prueba de Tukey para la concentración de cadmio en el lombricompost -----	61
Tabla 34. Análisis de varianza de la concentración de cromo en el lombricompost -----	62
Tabla 35. Prueba de Tukey para la concentración de cromo en el lombricompost -----	63
Tabla 36. Análisis de varianza de la concentración de cobre en el lombricompost -----	64
Tabla 37. Prueba de Tukey para la concentración de cobre en el lombricompost -----	64
Tabla 38. Análisis de varianza de la concentración de plomo en el lombricompost -----	65
Tabla 39. Análisis de varianza de la concentración de mercurio en el lombricompost -----	66
Tabla 40. Análisis de varianza de la concentración de níquel en el lombricompost -----	67
Tabla 41. Prueba de Tukey para la concentración de níquel en el lombricompost -----	68
Tabla 42. Análisis de varianza de la concentración de zinc en el lombricompost -----	69
Tabla 43. Prueba de Tukey para la concentración de Zinc en el lombricompost -----	70
Tabla 44. Análisis de varianza de la concentración de coliformes termotolerantes en el lombricompost -----	72
Tabla 45. Análisis de varianza de la concentración de huevos de helmintos en el lombricompost----	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Acción de las lombrices sobre residuos orgánicos e interacciones con los microorganismos durante el proceso de vermicompostaje -----	12
Figura 2. Evolución del índice del potencial metabólico y fases del proceso de vermicompostaje de lodos residuales. -----	13
Figura 3. Morfología externa de la lombriz <i>Eisenia foetida</i> -----	15
Figura 4. Corte transversal de la lombriz <i>Eisenia foetida</i> . -----	16
Figura 5. Ciclo biológico de la lombriz <i>Eisenia foetida</i> . -----	17
Figura 6. Esquema de un reactor UASB. -----	22
Figura 7. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas residuales de Celendín. -----	23
Figura 8. Ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Celendín -----	27
Figura 9. Croquis de la distribución del área experimental -----	31
Figura 10. Tabla de color Munsell-carta 10YR -----	33
Figura 11. Comparación del peso inicial y final de lombrices en cada tratamiento experimental. -----	39
Figura 12. Variación del pH en el tratamiento T1 durante el proceso de lombricompostaje. -----	41
Figura 13. Variación del pH en el tratamiento T2 durante el proceso de lombricompostaje -----	42
Figura 14. Variación del pH en el tratamiento T3 durante el proceso de lombricompostaje -----	42
Figura 15. Variación del pH en el tratamiento T4 durante el proceso de lombricompostaje -----	43
Figura 16. Valores de pH del lombricompost obtenido al final del proceso -----	44
Figura 17. Variación de la temperatura (°C) en el tratamiento T1 -----	46
Figura 18. Variación de la temperatura (°C) en el tratamiento T2 -----	47
Figura 19. Variación de la temperatura (°C) en el tratamiento T3 -----	47
Figura 20. Variación de la temperatura (°C) en el tratamiento T4 -----	48
Figura 21. Variación de la humedad en el tratamiento T1 durante el proceso de lombricompostaje-----	49
Figura 22. Variación de la humedad en el tratamiento T2 durante el proceso de lombricompostaje-----	50
Figura 23. Variación de la humedad en el tratamiento T3 durante el proceso de lombricompostaje-----	50
Figura 24. Variación de la humedad en el tratamiento T4 durante el proceso de lombricompostaje-----	51
Figura 25. Concentración de materia orgánica en el lombricompost -----	54
Figura 26. Concentración de nitrógeno en el lombricompost-----	56
Figura 27. Concentración de Arsénico en el lombricompost-----	59
Figura 28. Concentración de cadmio en el lombricompost-----	60
Figura 29. Concentración de cromo en el lombricompost-----	62
Figura 30. Concentración de cobre en el lombricompost-----	63
Figura 31. Concentración de plomo en el lombricompost-----	65
Figura 32. Concentración de mercurio en el lombricompost-----	66
Figura 33. Concentración de níquel en el lombricompost-----	67
Figura 34. Concentración de zinc el lombricompost -----	69
Figura 35. Concentración de coliformes termotolerantes en el lombricompost -----	72
Figura 36. Concentración de huevos de <i>Trichuris sp</i> en el lombricompost-----	74

RESUMEN

En la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Celendín se genera entre 18 a 22.5 t cada 3 meses de lodos residuales (Vega, 2018), los cuales son usados como abono por los pobladores locales sin realizar algún tipo de tratamiento previo contaminando de esa forma el suelo y las fuentes de agua; así mismo los lodos sobrantes son destinados al botadero controlado de la ciudad acortando la vida útil de este.

El objetivo de esta tesis fue estabilizar el lodo residual mediante el proceso de lombricompostaje para su aprovechamiento en agricultura de acuerdo al Decreto Supremo N°015-2017-Vivienda. El efecto del proceso de lombricompostaje usando la lombriz *Eisenia foetida* se evaluó mediante un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones, más una preprueba para la caracterización inicial del lodo; los tratamientos estuvieron conformados por las siguientes mezclas: T1 (lodo residual), T2 (lodo residual y compost), T3 (lodo y estiércol de cuy) y T4 (lodo, compost y estiércol de cuy).

Los valores de pH, temperatura y humedad analizados durante el proceso de lombricompostaje indican que éste se desarrolló adecuadamente brindando las condiciones óptimas para el desarrollo y adaptación de la lombriz *Eisenia foetida* para la obtención de lombricompost; así mismo la población final de lombrices, aunque no fue la esperada, la abundancia de cocones y lombrices recién eclosionadas indican que hubo una masiva reproducción en todos los sustratos.

Respecto a la calidad del lombricompost, el tratamiento T3 cumple con todos los parámetros de estabilización establecidos en el decreto supremo N°015-2017-Vivienda siendo clasificado como biosólido clase A para su aprovechamiento en agricultura y/o mejoramiento de suelos, presentando 35.46 % MO, 1.72 % N, 7 mg/kg Ar, 0.76 mg/kg Cd, 15.67 mg/kg Cr, 68.27 mg/kg Cu, 1.26 mg/kg Hg, 9.63 mg/kg Ni, 20.33 mg/kg Pb, 620.67 mg/kg Zn, 21.03 NMP/1g Coliformes termotolerantes y no hubo presencia de huevos de helmintos. Sin embargo, los tratamientos T1, T2 y T4 también presentan potencial como abono orgánico, pero es necesario la desinfección debido a que presentaron concentraciones altas de huevos de helmintos con 8.25, 15 y 15 huevos/kg respectivamente.

En conclusión, el proceso de lombricompostaje con *Eisenia foetida* mediante la aplicación del tratamiento T3 (lodo y estiércol de cuy) es efectivo para la estabilización del lodo residual de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín, produciendo un biosólido clase A apto para su aprovechamiento en agricultura y/o mejoramiento de suelos de acuerdo al Decreto Supremo N°015-2017-vivienda.

ABSTRACT

In the Wastewater Treatment Plant of the City of Celendín, between 18 and 22.5 t is generated every 3 months of residual sludge (Vega, 2018), which is used as fertilizer by local inhabitants without carrying out any type of prior treatment, thus contaminating the soil and water sources; likewise, the surplus sludge is destined to the controlled dump of the city shortening the useful life of this.

The objective of this thesis was to stabilize the residual sludge through the vermicomposting process for its use in agriculture according to Supreme Decree No. 015-2017-Housing. The effect of the vermicomposting process using the worm *Eisenia foetida* was evaluated by a completely random design with four treatments and three repetitions, plus a pre-test for the initial characterization of the sludge; the treatments were made up of the following mixtures: T1 (residual sludge), T2 (residual sludge and compost), T3 (sludge and guinea pig manure) and T4 (sludge, compost and guinea pig manure).

The pH, temperature and humidity values analyzed during the vermicomposting process indicate that it was properly developed providing the optimal conditions for the development and adaptation of the worm *Eisenia foetida* to obtain vermicompost; likewise, the final population of earthworms, although it was not as expected, the abundance of freshly hatched cocoons and worms indicate that there was a massive reproduction in all substrates.

Regarding the quality of vermicompost, the T3 treatment complies with all the stabilization parameters established in Supreme Decree No. 015-2017-Housing being classified as biosolid class A for use in agriculture and / or soil improvement, presenting 35.46 % MO, 1.72 % N, 7 mg / kg Ar, 0.76 mg / kg Cd, 15.67 mg / kg Cr, 68.27 mg/kg Cu, 1.26 mg/kg Hg, 9.63 mg/kg Ni, 20.33 mg/kg Pb, 620.67 mg/kg Zn, 21.03 NMP/1g Thermotolerant coliforms and no presence of helminth eggs. However, the T1, T2 and T4 treatments also have potential as organic fertilizer, but disinfection is necessary because they presented high concentrations of helminth eggs with 8.25, 15 and 15 eggs/kg respectively.

In conclusion, the vermicomposting process with *Eisenia foetida* through the application of T3 treatment (sludge and guinea pig manure) is effective for the stabilization of the sewage sludge of the wastewater treatment plant of the city of Celendín, producing a class A biosolid suitable for use in agriculture and / or soil improvement according to Supreme Decree No. 015-2017-housing.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARs) son el producto de la concentración de los sólidos contenidos en el agua residual o de la formación de nuevos sólidos suspendidos resultantes de los sólidos disueltos (Cartwright 2009, Morales 2005), estos lodos contienen patógenos, metales pesados y tóxicos orgánicos, su aplicación directa al suelo podría afectar el ambiente y la salud humana. El destino final de los lodos residuales es el depósito en rellenos sanitarios o en mínimos casos se conducen a compostaje para su aplicación en agricultura, por lo cual en el Perú se está promoviendo su aprovechamiento previo tratamiento que asegure su calidad mediante el Decreto Supremo N°015-2017-vivienda, de esta manera se está optimizando e incentivando la agricultura orgánica; además de mejorar la gestión de las PTARs al generar ingresos económicos por la comercialización de los lodos estabilizados.

La PTAR de la ciudad de Celendín genera entre 18 a 22.5 t de lodos cada tres meses (200 a 250 kg/día), los cuales después de ser deshidratados mediante la acción solar son trasladados al botadero controlado de la ciudad para su disposición final, acortando la vida útil de este botadero además de poner en riesgo la salud de los trabajadores por el alto contenido de patógenos presentes en el lodo. A si mismo el lodo residual deshidratado es usado sin restricciones por los agricultores locales contaminando el suelo con metales pesados y microorganismos patógenos. Dentro de este contexto la presente investigación pretende estabilizar el lodo residual reduciendo los patógenos (coliformes fecales y huevos de helmintos), logrando producir un abono de calidad que cumpla con los parámetros establecidos en el D.S.N°015-2017-vivienda para su aprovechamiento en agricultura y/o mejoramiento de suelos, además de generar un ingreso económico al área encargada de su manejo.

La estabilización de los lodos residuales mediante lombricompostaje, ha demostrado una disminución drástica de los valores microbiológicos (*Salmonella* y *Shigella*), y una mejora en los parámetros físico-químicos, cuando las excretas pasan por el tracto digestivo de las lombrices de tierra (Reinés *et al.* 2005); facilitando su manejo y aplicación al suelo. Por ende, la presente investigación tiene como propósito estabilizar el lodo de la PTAR de la ciudad de Celendín mediante este proceso usando la lombriz *Eisenia foetida*, para ello se realizaron mezclas de lodo, compost y estiércol de cuy en

diferentes proporciones en base a un peso de 50 kg por tratamiento (T₁:50 kg lodo, T₂: 30 kg lodo + 20 kg compost, T₃: 30 kg lodo + 20 kg estiércol de cuy, T₄: 30 kg lodo + 10 kg compost + 10 kg estiércol de cuy).

Objetivo general

Determinar la efectividad del lombricompostaje en la estabilización de los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Celendín.

Objetivos específicos

1. Determinar cuál es el sustrato (lodo, lodo + compost, lodo + estiércol o lodo + compost + estiércol) más adecuado para el desarrollo de las lombrices californianas "*Eisenia foetida*".
2. Determinar la degradación del lodo residual a lombricompost, considerando el pH, temperatura, humedad y color.
3. Determinar la calidad de los lodos estabilizados (lombricompost) mediante la comparación con los parámetros establecidos en el D.S.N°015-2017-Vivienda para su aprovechamiento.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE BIBLIOGRÁFICA

2.1 Antecedentes

2.1.1 Investigaciones en el extranjero

Avilés (2011), con el propósito de estabilizar los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de industrias Guapán llevó a cabo un sistema de vermiestabilización a escala piloto, el cual fue alimentado con materia orgánica, estiércol y lodo residual en proporciones 1:1:1, 1:1:2, 2:1:1 y 1:2:1 respectivamente; obteniendo una notable reducción tanto en coliformes fecales como en huevos de helminto respecto al lodo inicial. En relación a los tratamientos el mejor fue el primero (1:1:1) pues se obtuvo menores medidas de coliformes fecales y huevos de helminto, según la US-EPA CFR parte 503 el humus obtenido es de un biosólido tipo A apto para su uso no restringido en la agricultura.

Ojeda *et al* (2013) en su estudio Absorción de metales pesados por la lombriz *Eisenia foetida* de los jales de mina de oro en Mocorito, Sinaloa, México, obtuvo que las lombrices acumularon una gran cantidad de metales pesados en sus tejidos, y las concentraciones de Fe, Pb y Zn pasaron los límites permisibles que deben encontrarse en los organismos vivos que establece la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América y la Unión Europea.

López *et al* (s. f.) en su estudio Tratamiento de lodos residuales municipales con un proceso Aerobio-termofílico, compostó el lodo residual, pasto, viruta y cáscara de coco manteniendo una temperatura termofílica (45 a 48°C) durante 20 días, obteniendo así una reducción de metales pesados en la composta entre el 1 al 40%. En cuanto a la reducción de microorganismos patógenos (coliformes fecales y huevos de helminto) se tuvo una reducción del 100% de coliformes fecales, pero por otro lado las especies de huevos de helminto (*Ascaris sp* y *Trichuris sp*) persistieron con una concentración de 23 huevos/g de composta.

2.1.2 Investigaciones nacionales

Serpa (2017), utilizó la técnica de vermicomposteo con la especie "*Eisenia foetida*" para remover los metales pesados cadmio y mercurio de los lodos residuales de la laguna de estabilización el Espinar-Puno, elaboró un sistema con 4 muestras de 1 Kg de lodo residual con 5 lombrices adultas, en las cuales se determinó las concentraciones de cadmio y mercurio mediante la técnica ICP-AES (Espectrometría de Emisión Atómica). Los resultados obtenidos indican una remoción de cadmio y mercurio en las 4 muestras realizadas, se tuvo un promedio inicial de 1.0213 mg/kg de cadmio y después del vermicomposteo un promedio de remoción de 0.1478 mg/kg, para el mercurio inicialmente se tuvo un promedio de 0.1525 mg/kg y una remoción final de 0.1089 mg/kg; llegando a concluir que este tratamiento presenta mayor perspectiva para la remoción de metales pesados.

Marquina y Martínez (2016) en su estudio Obtención de abonos orgánicos por medio de las lombrices "*Eisenia foetida*" a partir de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales San Antonio de Carapongo Lima-Perú, evaluó el efecto de la lombriz sobre el lodo mediante un diseño cuasiexperimental y una muestra sin estímulo, la cual caracterizó obteniendo que los lodos deshidratados de la PTAR presentan una baja concentración de metales pesados pero una alta concentración de coliformes termotolerantes (0.23×10 NMP/10 g) clasificándolos como biosólidos de tipo B según la US-EPA. Al final del proceso obtuvo que el abono contiene un alto contenido de materia orgánica y un contenido de nutrientes adecuados, como se muestra a continuación pH:6.9, MO: 38.51%, N:1.97%, P_2O_5 :4.14%, K_2O :0.65%, CaO: 6.36%, MgO:1.32%, Hd:62.58%, Na:0.17%.

Guevara (2003), realizó el tratamiento de los lodos de las lagunas de estabilización de las aguas residuales de la ciudad de Cajamarca mediante la técnica de compostaje para obtener un abono orgánico de buena calidad. El estudio abarcó 18 mezclas de lodo con diferentes cantidades de aserrín y cal, los que fueron compostados en montículos aireados durante 6 meses. Al finalizar el proceso se obtuvo que las concentraciones de metales pesados estuvieron por debajo de los LMP, la población de coliformes termotolerantes se redujo notablemente respecto al lodo crudo y la cantidad de fósforo en el lodo compostado garantiza su valor como fertilizante.

Alva (1999), realizó el estudio del empleo del humus de lombriz con fines agrícolas, procedentes de los lodos residuales de depuradora en Cajamarca; primero obtuvo el humus (BIOMIX-C) de la lombriz proveniente del lodo por un periodo de cuatro meses, luego lo comparó con el humus obtenido del estiércol vacuno y de rastrojos con compost en el cultivo de maíz amarillo. Llegando a las conclusiones que el BIOMIX-C reúne las mejores condiciones para enmienda húmica en los suelos además de un bajo contenido de tóxicos, pero, por otro lado, encontró serias deficiencias de nitrógeno y potasio. Respecto al análisis bacteriológico y de parásitos califica al lodo como clase B.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Lodos de PTAR

Según la EPA (1994) lodo residual es el sólido, semisólido o líquido residual generado en una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, estos incluyen agua residual, espuma y compuestos sólidos removidos en procesos de tratamiento primario, secundario o avanzado de agua residual; así mismo el lodo residual no incluye las cenizas generadas durante la incineración de los mismos o las partículas separadas en el proceso de cribado durante su tratamiento primario.

El Decreto Supremo N°015-2017-Vivienda (2017:3), señala que:

Lodos son los residuos sólidos provenientes de procesos de tratamiento de aguas residuales que cuentan con alta concentración de materia orgánica, característica que se aplica principalmente a los lodos obtenidos en el tratamiento primario y tratamiento secundario, así como a las excretas de instalaciones sanitarias in situ.

- **Características y composición del lodo residual**

Las características de los lodos residuales varían en función del origen, edad y del tipo de procesos al que han sido sometidos; entre las características que afectan a su aptitud para su aplicación al suelo o su reutilización incluyen el contenido de materia orgánica, nutrientes, patógenos, metales y compuestos orgánicos tóxicos (Metcalf y Eddy 1995); respecto a su composición química en la Tabla 1 se incluyen algunos datos típicos de lodos crudos y digeridos.

Tabla 1. Composición química del lodo crudo y digerido

Parámetros	Unidades	Lodo primario crudo	Lodo primario digerido	Lodo activado
pH	Unidades	5,0-8,0	6,5-7,5	6,5-8,0
Sólidos secos totales	% (ST)	2,0-8,0	6,0-12,0	0,83-1,16
Sólidos volátiles	% (ST)	60-80	30-60	59-88
Grasas y aceites	% (ST)	6-30	5-20	--
Proteínas	% (ST)	20-30	15-20	32-41
Nitrógeno	% (ST)	1,5-4	1,6-6,0	2,4-5,0
Fósforo	% (ST)	0,8-2,8	1,5-4,0	2,8-11,0
Potasio	% (ST)	0-1	0,0-3,0	0,5-0,7
Celulosa	% (ST)	8,0-15,0	8,0-15,0	--
Hierro	--	2,0-4,0	3,0-8,0	--
Sílice	% (ST)	15,0-20,0	10,0-20,0	--
Alcalinidad (como CaCO ₃)	Mg/L	500-1500	2500-3500	580-1100
Ácidos orgánicos (como HAc)	Mg/L	200-2.000	100-600	1100-1700
Poder calorífico	MJ/Kg)	23000-29000	9000-13500	18500-23000

Fuente: Adaptado de Metcalf y Eddy 2004.

Los lodos de aguas domésticas contienen metales traza y compuestos orgánicos que quedan atrapados en el suelo y crean posibles riesgos tóxicos para las plantas, animales y el hombre. El metal que merece mayor atención es el cadmio, puesto que se puede acumular en las plantas hasta alcanzar niveles que resultan tóxicos para el hombre y para los animales, sin llegar a ser tóxico para las plantas (Castrejón *et al.* 2002).

Tabla 2. Valores típicos para metales en lodos residuales

Parámetro	Lodos de aguas residuales domésticas (mg/kg)	Lodos de aguas residuales domésticas + industriales (mg/kg)
Arsénico	10-50	--
Cadmio	10-400	90-240
Cromo	50-200	260-2650
Cobre	95-700	960-2300
Mercurio	1-11.2	2.6-5
Níquel	110-400	200-900
Plomo	200-500	760-2790
Selenio	10-180	--
Zinc	1000-1800	800-460

Fuente: Tomado de Morales 2005:19.

El lodo residual puede contener una gran variedad de microorganismos patógenos, comúnmente se encuentran *Salmonella spp.* (Especialmente *S. Typhi*), Coliformes Fecales, Huevos de Helminthos y virus; en el caso de los

virus de mayor preocupación está el de la hepatitis A y los calcivirus (Campos, citado por Llivichusca 2016). En la Tabla 3 se muestra las concentraciones de algunos microorganismos patógenos.

Tabla 3. Densidad de microorganismos patógenos presentes en los lodos

Tipo	Organismo	Densidad (NPM/gr peso seco)
Virus	Virus entéricos varios	$10^2 - 10^4$
	Bacterioganfos	10^3
	Coliformes totales	$10^7 - 10^9$
	Coliformes fecales	$10^7 - 10^8$
Bacterias	Estreptococcus fecales	$10^6 - 10^7$
	<i>Salmonella sp.</i>	$10^2 - 10^3$
	<i>Clostridium sp.</i>	10^6
	Mycobacterium de tuberculosis	10^6
Protozoos	<i>Giardia sp.</i>	$10^2 - 10^3$
	<i>Ascaris sp.</i>	$10^2 - 10^3$
Helmintos	<i>Trichuris vulpis</i>	10^2
	<i>Toxocara sp.</i>	$10^1 - 10^2$

Fuente: Tomado de Toro 2005:19.

La presencia de huevos de helmintos en los lodos usados en agricultura son el principal riesgo a la salud, ya que estos microorganismos tienen fases altamente resistentes y las prácticas tradicionales de desinfección no son eficaces para su control (Menocal y Caraballo 2014). Así mismo debido a que sobreviven años, comparados contra virus y bacterias que lo hacen por meses y los protozoos que sobreviven semanas, se les considera como uno de los principales grupos indicadores de contaminación microbiológica en muestras de lodos residuales (Ortiz 2010).

- **Tipos de lodos**

Los lodos generados dependen fundamentalmente del nivel de tratamiento de las aguas residuales, así tenemos lodos crudos, primarios, secundarios, activados, digeridos y los biosólidos que ya están estabilizados.

El lodo crudo es aquel que no ha sido tratado ni estabilizado, que puede extraerse de plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas y tiende a producir acidificación de la digestión, y generar olor (Lentech 2008).

Lodos primarios, son aquellos que se extraen de la sedimentación primaria, en la cual se remueven sólidos sedimentables, y están constituidos tanto por

sólidos inorgánicos como orgánicos; presentan una consistencia limosa de color marrón a gris, son sumamente inestables, poco estabilizados, y altamente fermentables y putrescibles, por lo que se vuelven sépticos y generan mal olor con gran facilidad (Gonzales 2015).

Lodo activado o biológico es el lodo fresco, en buenas condiciones, tiene apariencia floculenta de color café y un característico olor a tierra que no es molesto, pero puede volverse séptico rápidamente, cambiando a color café muy oscuro. El contenido de sólidos suspendidos, su alto contenido en agua, su resistencia al espesamiento por gravedad y la presencia de floc activo microbiano, hacen dificultoso el manejo de este residuo (Toro 2005).

Lodos secundarios son lodos generados en el tratamiento secundario biológico de aguas residuales, que convierten residuos o substratos solubles en biomasa, también incluyen la materia particulada que permanece en el agua después de la sedimentación primaria y que se incorpora en la biomasa (Cardoso y Ramírez 2000). Son de color marrón, no suelen generar olor con tanta rapidez, sin embargo, producen un olor tan fuerte como el lodo primario (Valderrama 2013).

Los lodos digeridos se producen en los procesos de digestión aerobia o anaerobia, el lodo digerido por vía aerobia varía de color marrón a marrón oscuro, y tiene apariencia floculenta, el olor no es molesto se suele clasificar como moho, además si está bien digerido se deshidrata fácilmente en eras de secado. El lodo digerido por vía anaerobia es de color marrón oscuro-negro y contiene una cantidad excepcionalmente grande de gas, cuando está totalmente digerido, no es molesto, siendo su olor relativamente débil y parecido al alquitrán caliente, goma quemada o lacre (Metcalf y Eddy 1995).

Biosólido es el subproducto resultante de la estabilización de la fracción orgánica de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales, con características físicas, químicas y microbiológicas que permiten su aprovechamiento como acondicionador del suelo; no son biosólidos las cenizas producto de la incineración de lodos residuales (Decreto Supremo N°015-2017-Vivienda:3). Así mismo, este término fue establecido por la EPA (1994:4) en su guía para la Regla de Biosólidos del código 40 CFR 503

como «el producto sólido principalmente orgánico producido por los procesos municipales de tratamiento de aguas residuales que pueden reciclarse beneficiosamente» como acondicionador o mejorador del suelo.

2.2.2 Estabilización de lodos residuales

«Son los procesos físicos, químicos o biológicos a los que se someten los lodos para condicionarlos para su aprovechamiento o disposición final para evitar o reducir sus efectos contaminantes al medio ambiente» (SEMARNAT 2003:3). El término estabilización puede considerarse como el proceso o el conjunto de procesos que dan como producto final un lodo con características tales que después del proceso puede ser usado sin que comprometa la salud pública o al medio ambiente, de esta manera la estabilización busca reducir la presencia de patógenos, eliminar olores desagradables; inhibir, reducir o eliminar su potencial de putrefacción y reducir los efectos de compuesto orgánicos (Morales 2005).

La estabilización de los lodos se realiza para reducir la presencia de patógenos, eliminar olores desagradables e inhibir su potencial de putrefacción. El éxito en la consecución de estos objetivos está relacionado con los efectos del proceso u operación de estabilización sobre la fracción orgánica o volátil del fango. La supervivencia de los organismos patógenos, la proliferación de olores y la putrefacción, se producen cuando se permite que los microorganismos se desarrollen sobre la fracción orgánica del fango. Los medios de estabilización disponibles para eliminar el desarrollo de estas condiciones desagradables son la reducción biológica del contenido de materia volátil; oxidación química de la materia volátil; adición de agentes químicos para hacer el fango inadecuado para la supervivencia de los microorganismos, y la aplicación de calor con el objeto de desinfectar o esterilizar el fango (Metcalf y Eddy 1995).

Los principales métodos para la estabilización de lodos son: oxidación con cloro, estabilización con cal, tratamiento térmico, digestión anaerobia, digestión aerobia, siendo los mejores métodos los dos últimos. La digestión anaerobia es un proceso llevado a cabo por microorganismos anaerobios los cuales realizan una descomposición de la materia orgánica produciendo un lodo final inerte y una liberación de gases, por otro lado, la digestión aerobia es un proceso similar al

procesado de lodos activos. Sin embargo, existe otra alternativa económicamente viable y ambientalmente segura para la estabilización de lodos residuales y es el compostaje, el cual es un proceso biológico aeróbico realizado por bacterias y hongos que transforman la materia orgánica en compost, bajo condiciones de temperatura, humedad y ventilación controladas (López y Calderón 2015).

Otro proceso para el manejo de lodos es el lombricompostaje o vermicompostaje el cual consiste en el uso de la lombriz de tierra, y al igual el compostaje conlleva una importante reducción de las poblaciones de microorganismos patógenos. Se ha observado que después de 60 días de vermicompostaje, la cantidad de coliformes fecales en lodos de depuradora cayó desde 39000 NMP/g hasta 0 NMP/g, la *Salmonella spp* también sufrió una reducción drástica desde 5 NMP/g hasta <1 NMP/g, otros valores similares se observan en virus entéricos y huevos de platelmintos (Moreno y Moral 2008).

2.2.3 Lombricompostaje o vermicompostaje

La primera referencia a los beneficios de vermicompostaje fue aportada por el monje Benedicto August Hessing en los años 30, cuando utilizaba lombrices para eliminar los residuos que producía el monasterio. A mediados de los años 40 se comenzó en Estados Unidos la cría intensiva de lombrices con el fin de obtener vermicompost o humus de lombriz (...), sin embargo, el conocimiento científico de los procesos de vermicompostaje se inició en los años 1970 (...). El vermicompostaje es un proceso de bio-oxidación, degradación y estabilización de la materia orgánica mediada por la acción combinada de lombrices y microorganismos, mediante el cual se obtiene un producto final estabilizado, homogéneo y de granulometría fina denominado vermicompost, lombricompost o humus de lombriz (Moreno y Moral 2008:189).

El vermicompostaje, lombricompostaje o compostaje con lombrices, es un proceso biotecnológico de bajo coste que permite biodegradar y estabilizar residuos orgánicos bajo condiciones aerobias y mesófilas mediante la acción de ciertas especies de lombrices de tierra capaces de alimentarse del residuo a la vez que aceleran su degradación microbiana. Así en este proceso se aprovecha la capacidad detritívora de las lombrices, que ingieren, trituran y digieren el residuo

orgánico, descomponiéndolo mediante la acción de sus enzimas digestivas y de la microflora aeróbica y anaeróbica presente en el interior de su intestino. El vermicompostaje es el proceso por el cual las lombrices son utilizadas con el fin de convertir residuos orgánicos en vermicompost, o también llamado humus de lombriz, un producto orgánico caracterizado por su valor agrícola y/o enmendante de suelos (Vargas et al. 2014:15).

- **Microorganismos implicados en el proceso**

En el proceso de vermicompostaje al igual que en el compostaje intervienen un gran número de microorganismos, fundamentalmente bacterias y hongos mesófilos los cuales juegan un papel en la descomposición, mineralización y estabilización del residuo orgánico. El desarrollo y actividades de las lombrices y microorganismos se encuentran estrechamente ligados ya que estos constituyen una parte fundamental de la dieta de las lombrices, con una importancia de menor a mayor de bacterias, algas, hongos y protozoos, y por otro lado las lombrices modifican la estructura física de los residuos, fragmentando la materia orgánica y aumentando su superficie, lo cual incrementa la actividad de los microorganismos. Así mismo ha sido demostrado que la acción de las lombrices sobre el residuo no solo modifica su masa microbiana, sino también su estructura y la biodiversidad de la comunidad microbiana la cual incrementa justo después de su paso por el intestino de la lombriz (Aria, Domínguez, Drake citados por Fernández 2011). En la Figura 1 se puede observar esta relación.

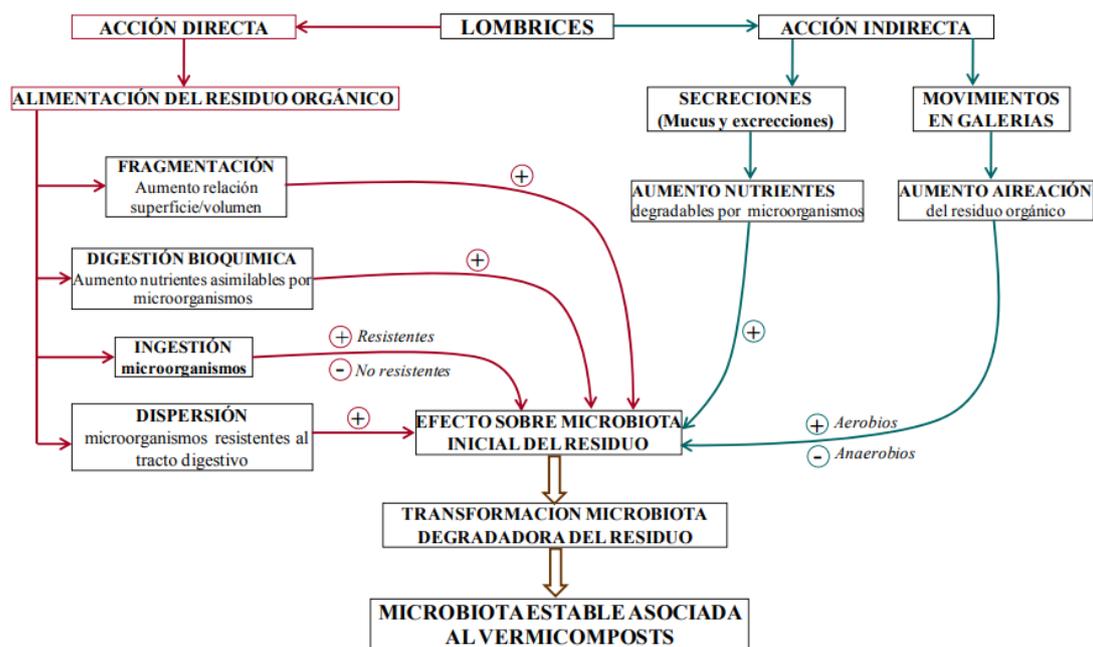


Figura 1. Acción de las lombrices sobre residuos orgánicos e interacciones con los microorganismos durante el proceso de vermicompostaje

Fuente: Tomado de Fernández 2011:24.

- **Cambios en las propiedades de los residuos producidos por el proceso de vermicompostaje**

La acción combinada de lombrices y microorganismos modifica las características y composición de los residuos orgánicos, así durante este proceso una fracción de la materia orgánica contenida en los residuos se mineraliza por lo que los valores de carbono orgánico total disminuyen apreciablemente entre en 10 y 55%, las hemicelulosas y celulosas se degradan más fácilmente que las ligninas por lo que su contenido se mantiene o aumenta. Para obtener información de los cambios de los residuos orgánicos, así como el funcionamiento de los ciclos de elementos se ha estudiado la evolución de la actividad enzimática como biomarcador del proceso de vermicompostaje donde la mayoría de las actividades enzimáticas después de un aumento durante los primeros estadios del proceso tienden a disminuir a medida que avanza la biodegradación de los residuos por acción de las lombrices y microorganismos, por lo que se han podido diferenciar dos fases en los procesos de vermicompostaje: una inicial hidrolítica y otra final de maduración (Benítez y Col citados por Saavedra 2007), como se puede ver en la Figura 2.

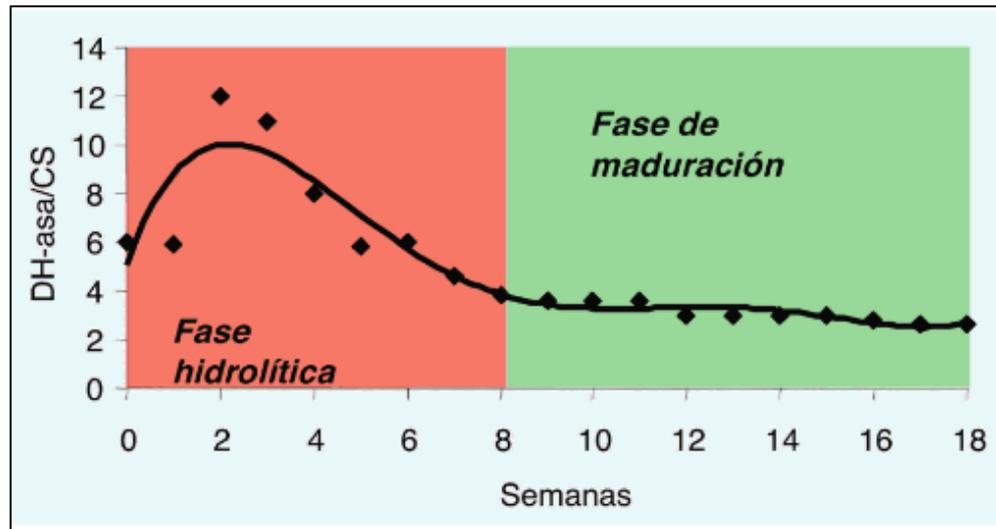


Figura 2. Evolución del índice del potencial metabólico y fases del proceso de vermicompostaje de lodos residuales.

Fuente: Tomado de Moreno y Moral 2008:198.

La concentración de nutrientes como fósforo, calcio, magnesio y micronutrientes tiende a aumentar y son atribuidos a un efecto de concentración de ellos, debido a la mineralización de la materia orgánica contenida en los residuos, en el caso del nitrógeno es variable observándose aumentos como disminuciones. Las concentraciones de metales pesados (Cd, Ni, Cr, Pb, etc) presentes en los residuos aumenta durante el vermicompostaje debido a la mineralización de la materia orgánica, sin embargo, las concentraciones de metales asimilables o extraíbles tienden a disminuir apreciablemente por la formación de complejos insolubles con los ácidos húmicos (Domínguez citado por Moreno y Moral 2008).

Respecto a los microorganismos patógenos, aunque el vermicompostaje no tenga fase termófila (50 a 70 °C) para reducirlos, se ha demostrado que es muy eficaz para la eliminación de estos microorganismos, diversos estudios han puesto de manifiesto la efectividad para reducir e incluso eliminar coliformes fecales, salmonella, virus entéricos y huevos de helmintos. La destrucción de estos microorganismos sería por acción directa de la lombriz cuando los residuos atraviesan el sistema digestivo (digestión enzimática), por las sustancias antimicrobianas que producen las lombrices y se encuentran en su líquido celomático; por otro lado los patógenos son reducidos indirectamente debido a que la lombriz estimula la proliferación de determinadas especies microbianas que compiten, antagonizan o fagocitan a

los microorganismos patógenos (Brown, Eastman, Monroy y Col, Rodríguez y col citados por Vargas et al 2014).

2.2.4 Lombriz roja californiana “*Eisenia foetida*”

La lombriz roja californiana “*Eisenia foetida*” es un anélido doméstico que fue cultivada y seleccionada por la Universidad Agrícola de California (1973), originario del Centro Occidental de Europa. Lo convierte una lombriz de importancia económica por su longevidad (viven 16 años), prolificidad (1.500 lombrices por año) y deyecciones (abono orgánico, con dos billones de colonias de bacterias vivas y activas por gramo de humus producido) (Ferruzzi citado por Sánchez 2012). En la Tabla 4 se puede observar su clasificación taxonómica.

Tabla 4. Clasificación taxonómica de la Lombriz Roja Californiana.

Reino	Animal
División	Anélidos
Clase	Clitelados
Orden	Oligoquetos
Familia	Lombrícidos
Género	<i>Eisenia</i>
Especie	<i>foetida</i>

Fuente: Tomado de Díaz 2002:8.

- **Características externas de la lombriz roja californiana**

La lombriz *Eisenia foetida* se caracteriza por su color rojizo, pero al nacer son blancas y pasados 5 o 6 días se ponen rosadas y a los 120 días ya se pueden considerar adultas estando aptas para aparearse. Las lombrices alcanzan una longitud de hasta 10 cm, con un diámetro de 3mm a 5mm y un peso aproximado de 1gr; su cuerpo es alargado, segmentado y con simetría bilateral además cuentan con una porción más gruesa en el tercio anterior de 5mm de longitud llamada clitelium cuya función está relacionada con la reproducción (Rodríguez 2005, Pozo 2012).

Tienen entre 40 y 120 segmentos o metámeros los cuales tienen distintas funciones según su ubicación, en la primera sección se encuentra la boca y el prostomio que es un lóbulo que cubre la misma y actúa como una cuña rompiendo lo que encuentra cuando se desliza. En cada segmento se localizan pequeñas cerdas que pueden moverse a voluntad para su traslación, careciendo de otras estructuras visibles que faciliten su desplazamiento, pero

ayudándose con secreciones glandulares que producen una sustancia lubricante “mucus”, muy útil para su desplazamiento y estabilización de las galerías del lombricompost (Diaz 2002:10-11). En la Figura 3 se puede observar su morfología.

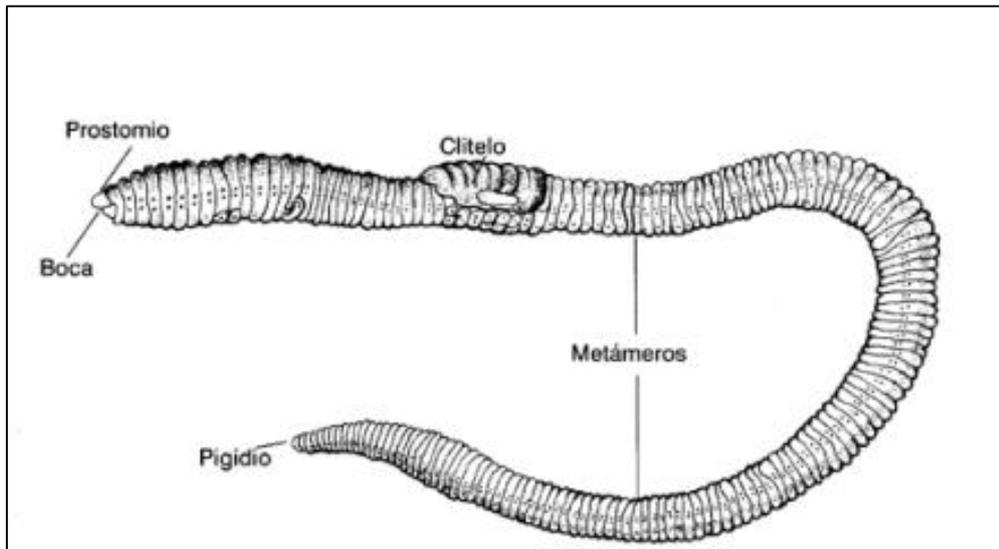


Figura 3. Morfología externa de la lombriz *Eisenia foetida*
Fuente: Tomado de Las lombrices *s.f.*

- **Características internas de la lombriz roja californiana**

Las lombrices presentan sistemas de órganos los cuales están incluidos en la cavidad del cuerpo o celoma, el cual contiene el líquido celómico o sangre, que no es comprimible y actúa como esqueleto hidráulico; están dotadas de cinco corazones y seis riñones y aunque carecen de órganos respiratorios específicos su cuerpo se halla revestido por una fina cutícula que permite que el intercambio gaseoso se realice a través de su piel (Mejía 2016).

El sistema nervioso está constituido por un par de ganglios cerebrales situados encima de la faringe, de los ganglios parten dos cordones nerviosos que discurren ventralmente dentro de las capas musculares de la pared corporal. El aparato circulatorio es cerrado, está formado por dos vasos sanguíneos, uno dorsal y uno ventral que recorren todo el cuerpo, el vaso dorsal presenta una dilatación contractil que asegura la propulsión de la sangre y a la altura del esófago los dos vasos se unen formando una serie de corazones laterales. El aparato excretor está formado por dos nefridios por cada segmento que no

son mas que tubos comunicados con el exterior que permiten eliminar los residuos del celoma (Compagnoni y Putzolu 1998).

El aparato digestivo de la lombriz es de forma tubular y recta, con una abertura anterior en la boca y una posterior en el ano, entre el tubo digestivo y la pared del cuerpo se forma una cavidad llamada celoma; la cual se encuentra dividida simétricamente en cada segmento, en dos compartimientos, en cuyo interior circula el líquido celómico que junto con la sangre transporta el alimento, los desechos y los gases respiratorios dentro del cuerpo de la lombriz. El alimento es masticado en la molleja luego pasa al intestino, en donde las grasas, proteínas y carbohidratos son atacados por diferentes enzimas digestivas (Clark, citado por Alas y Alvarenga 2002).

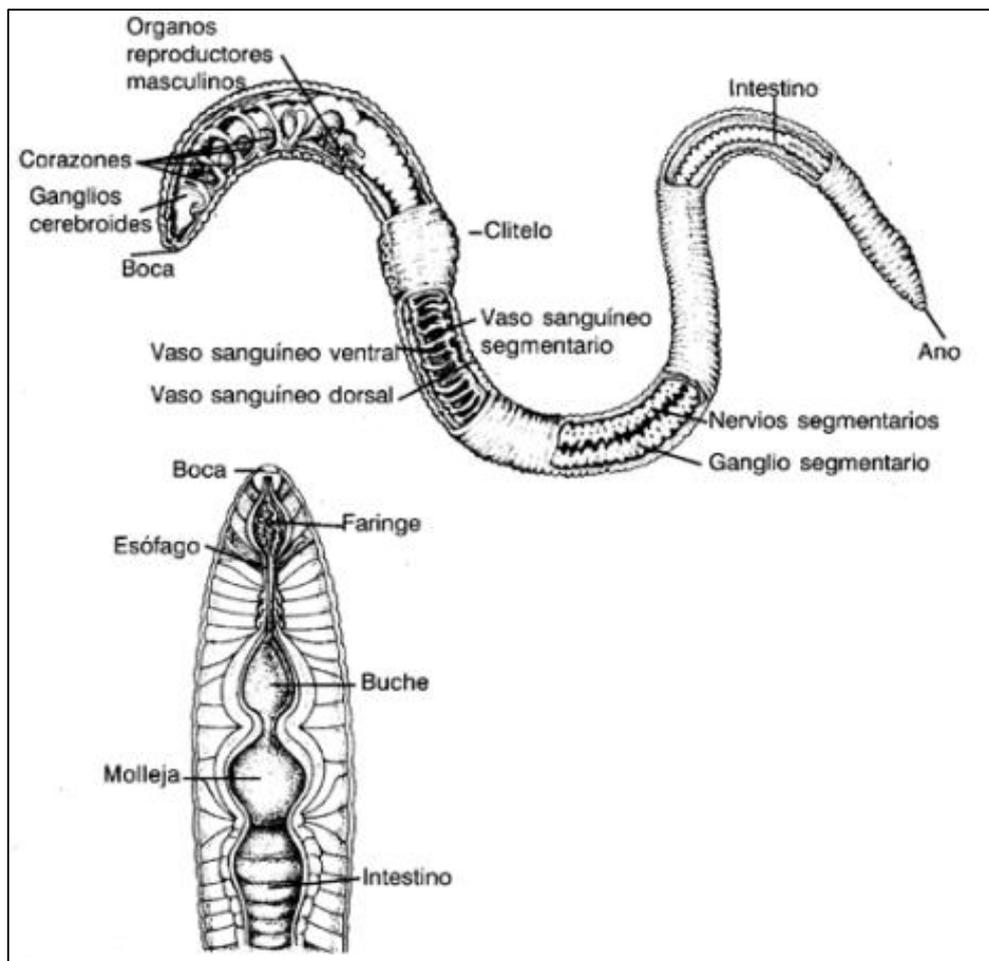


Figura 4. Corte transversal de la lombriz *Eisenia foetida*.

Fuente: Tomado de Las lombrices *s.f.*

- **Reproducción y ciclo de vida**

Las lombrices son hermafroditas incompletas, es decir están dotadas de órganos sexuales masculinos (testículos) y femeninos (ovarios) pero son incapaces de autofecundarse por lo que se reproducen recíprocamente por fecundación cruzada. La copula tiene lugar cuando la temperatura es adecuada y para ello las lombrices se disponen enlazando sus cuerpos estrechamente, en posición invertida, de manera que queden en contacto las superficies ventrales y quedan pegadas por las secreciones de los clitelios. Durante el apareamiento se intercambian los espermatozoos, los cuales no fertilizan inmediatamente las huevas sino que por un tiempo quedan depositados en unas envolturas viscosas, alojadas en el clitelio (Compagnoni y Putzolu 1998).

Cada lombriz adulta puede depositar un huevo que eclosiona al cabo de 3 semanas y de éste emergen entre 2 y 20 estados juveniles que ya están listas para reproducirse a los 3 meses. La lombriz tiene un promedio de vida de 16 años, aunque algunos autores confirman que *E. foetida* dura 4.5 años (Pineda 2006). En la Figura 5 se puede observar su ciclo biológico.

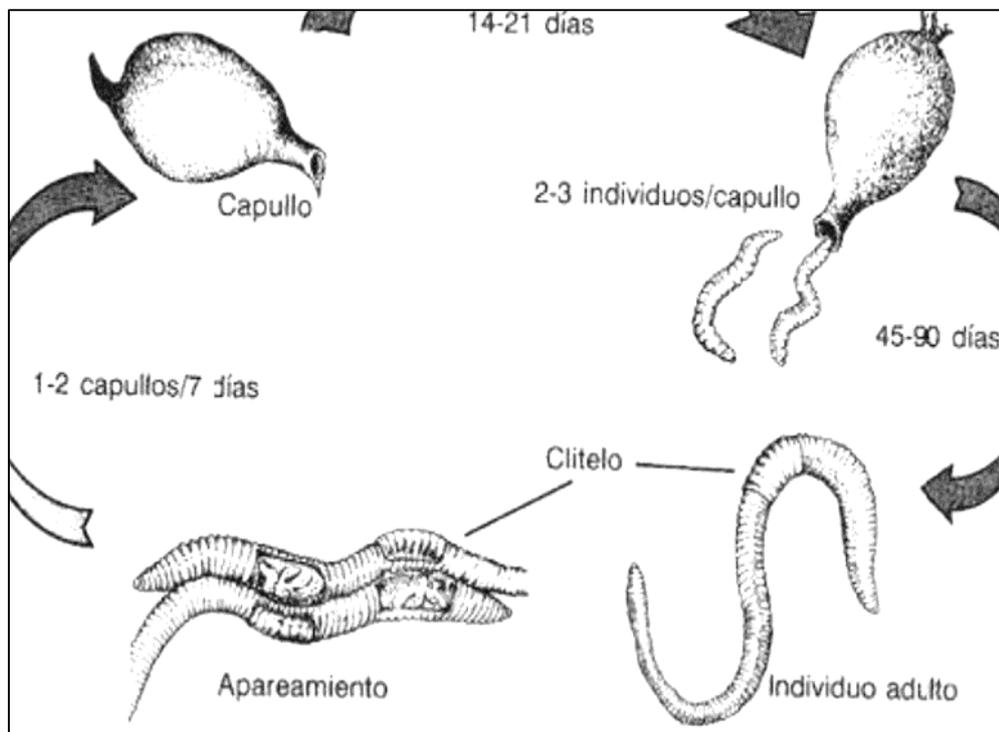


Figura 5. Ciclo biológico de la lombriz *Eisenia foetida*.
Fuente: Tomado de Las lombrices s.f.

2.2.5 Condiciones ambientales para el desarrollo de la lombriz roja californiana

Las condiciones óptimas para el desarrollo de la lombriz *Eisenia foetida* son fundamentalmente controlables por el hombre, entre estas tenemos a la temperatura, el pH, la humedad y la alimentación adecuada. La humedad de los lechos debe ser del 70% para facilitar la digestión del alimento y el deslizamiento de las lombrices a través del material. Una humedad superior al 85% es perjudicial ya que compactan las camas o lechos disminuyendo la aireación y el alimento pierde parte de su valor nutricional. En cambio, si falta humedad, puede dar lugar a su muerte ya que esta ingiere el alimento succionándolo (Tenecela 2012).

La temperatura considerada óptima para el desarrollo de las lombrices, oscila entre 18° a 25°C (su temperatura corporal es de 19° a 20°C). Cuando la temperatura desciende por debajo de 15°C las lombrices entran en un periodo de latencia, disminuyendo su actividad y su tasa de reproducción. Temperaturas por encima de los 35° a 40°C o por debajo de los 4°C le resultan mortales para el animal (Rivas 2002).

La lombriz *Eisenia foetida* tolera valores de pH comprendidos entre 5 y 9, aunque prefieren valores cercanos a la neutralidad (Edwards y Bohlen citados por Moreno y Moral 2008).

Las lombrices respiran a través de su piel por lo que una aireación adecuada también es fundamental para su desarrollo. En la Tabla 5 se resume las condiciones óptimas para el desarrollo de la lombriz *Eisenia foetida*.

Tabla 5. Condiciones óptimas para el cultivo de *Eisenia foetida* en residuos animales y vegetales

Parámetros	Condiciones óptimas
Temperatura	15-20 °C (límites 4-30°C)
Humedad	80-90% (límites 60-90%)
pH	>5 y <9

Fuente: Adaptado de Fundación hogares Juveniles campesinos 2005.

2.2.6 Lombricompost

Es el resultado de las deyecciones de las lombrices, es un polvo liviano de olor agradable a bosque húmedo cuya apariencia y textura es similar a la borra del café, suave al tacto. Es el mejor fertilizante orgánico natural que hay en el mundo; contiene un millón de veces más microorganismos por gramo que el mejor estiércol, regenera el suelo y no cristaliza su superficie ni la empobrece, como ocurre con los fertilizantes químicos; y comparando con los residuos ingeridos por las lombrices, estos contienen siete veces más fósforos, cinco veces más potasio y dos veces más de calcio (Bustamante 1995).

- **Composición y calidad del lombricompost**

El lombricompost está compuesto por carbono, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno, elementos menores y presencia de microorganismos, dependiendo del tipo de substrato que se ofrezca. El lombricompost presenta algunas características o ventajas como ser: capacidad de retención del agua, mejora la estructura del suelo, actúa como cemento de unión entre las partículas de suelo, mayor intercambio gaseoso, mayor actividad de microorganismos del suelo, oxidación de la materia orgánica; disponibilidad de nutrientes para las plantas, modera cambios de acidez y neutraliza los compuestos orgánicos tóxicos, protege de enfermedades fungosas y bacterianas a los cultivos; también tiene propiedades hormonales de crecimiento vegetal y por ende del sistema radicular (Pineda 2006).

Según Bollo citado por Pati (2002), para determinar la buena calidad del lombricompost se tiene en cuenta el pH (neutro, en un rango entre 6,7 a 7,3), contenido de materia orgánica (superior a 28%), nivel de nitrógeno (superior a 2%), relación C/N (en un rango entre 9 a 13) y contenido de cenizas (no superior al 27%). En la Tabla 6 se puede observar la concentración de los parámetros presentes en el lombricompost.

Tabla 6. Valores analíticos del lombricompost

Parámetro	Concentración	Unidades
Nitrógeno (N)	1.5 a 3	%
Fósforo (P ₂ O ₅)	0.5 a 1.5	%
Potasio (K ₂ O)	0.5 a 1.5	%
Magnesio (Mg O)	0.20 a 0.50	%
Manganeso (Mn)	260 a 580	ppm
Cobre (Cu)	85.0 a 100.0	ppm
Zinc (Zn)	85.0 a 400.0	ppm
Cobalto (Co)	10 a 20	ppm
Boro (Bo)	3 a 10	ppm
Calcio	2.5 a 8.5	%
Carbonato de Calcio	8 a 14	%
Ceniza	28 a 68	%
Ácidos húmicos	5 a 7	%
Ácidos fúlvicos	2 a 3	%
PH	6.5 a 7.2	Unidades
Humedad	30 a 40	%
Materia Orgánica	30 a 60	%
Capacidad de intercambio Catiónico (CIC)	75 a 80	meq/100gr
Conductividad eléctrica (CE)	hasta 3.0	milimhos/cm
Retención de Humedad	1500 a 2000	cc/kg seco
Superficie específica	700 a 800	m ² /gr
Carga bacteriana	(+) 2000 millones	Colonias de bacterias vivas/gr

Fuente: Tomado de Diaz 2002.

2.2.7 Compost de residuos municipales de la ciudad de Celendín

El compost se define como el producto de la degradación aeróbica de residuos orgánicos, es un material inodoro, estable y parecido al humus que no representa riesgo sanitario para el medio ambiente natural y social; y se produce bajo condiciones controladas que recrean, favorecen y, en ocasiones, aceleran las condiciones naturales de generación del humus. El proceso por el cual se elabora compost se denomina “compostaje” y varía en su composición, color, textura, etc., según los residuos y el proceso de origen. El compostaje de residuos municipales urbanos permite la reducción de hasta un 50% en el peso de los residuos que vayan a ser depositados en el sitio de disposición final (Rodríguez y Córdova 2006).

El compost producido en el botadero controlado de la ciudad de Celendín es de buena calidad en comparación con la Norma Chilena de compost (NCh 2880), con

valores de metales pesados por debajo del límite establecido y con una concentración de N, P, K aceptable (Livaque 2018); a continuación, se presenta los resultados del análisis químico del compost obtenido de manera convencional:

Tabla 7. Caracterización físico-química del compost producido en el botadero controlado de la ciudad de Celendín

Parámetro	Unidades	Valor	NCh 2880
pH	Unidades	7.5	5-8.5
Materia orgánica	%	37.31	>= 20
Tamaño de partícula	mm	19	16
Conductividad eléctrica (CE)	Ds/m	5.83	<3
Temperatura	°C	--	35-40
Humedad	%	--	30-45
Nitrógeno total	%	1.87	>= 0.5
Fosforo		90.84	
Potasio		11940	
Olores		Olor a tierra	No sulfurosos, amoniacales, mercaptano y/o azufre
Cadmio	ppm	<0.005	<= 2
Cromo	ppm	<0.05	<=120
Plomo	ppm	<0.001	<= 100

Fuente: Adaptado de Livaque 2018.

2.2.8 Estiércol de cuy

El estiércol de cuy es considerado como uno de los mejores en cuanto a su calidad, junto con el estiércol de caballo, por sus propiedades físicas y químicas, además de su facilidad de recolección en comparación con el estiércol de otros animales, puesto que normalmente se los encuentra en galpones por lo que usualmente es usado por los agricultores como abono directo. La cantidad de estiércol producido por un cuy es de 2 a 3 kg por cada 100 kg de peso vivo y su composición depende de la alimentación del animal (Pantoja 2014), en la Tabla 8 se puede ver su composición.

El contenido de nitrógeno del estiércol de cuy es de 437.62 kg/año ubicándolo en primer lugar en comparación a otros tipos de estiércol, es por ello que se destaca su calidad, además de hacerlo importante para una agricultura sostenible familiar (CATIE 1992).

De acuerdo con el INIA, el estiércol de cuy contiene mayor cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio, componentes que mayormente utilizan las plantas, además de su bajo nivel de humedad que lo hace más duradero (Zambrano 2015).

Tabla 8. Composición química del estiércol de cuy

Parámetros	Unidades	Valor
Nitrógeno	Ppm	0.70
Fósforo	Ppm	0.05
Potasio	Ppm	0.31
pH	Ppm	10.00
Materia seca	%	14
N	%	0.6
CaO	%	0.55
MgO	%	0.18
SO ₄	%	0.1

Fuente: Elaborado con base en Zhofre 1996 y Serpar citado por cordero 2010.

2.2.9 Descripción de la PTAR de la ciudad de Celendín

La ciudad de Celendín para el tratamiento de sus aguas residuales, cuenta con dos reactores anaeróbicos de flujo ascendente (RAFA) para el tratamiento primario y una laguna facultativa de forma irregular para el tratamiento secundario.

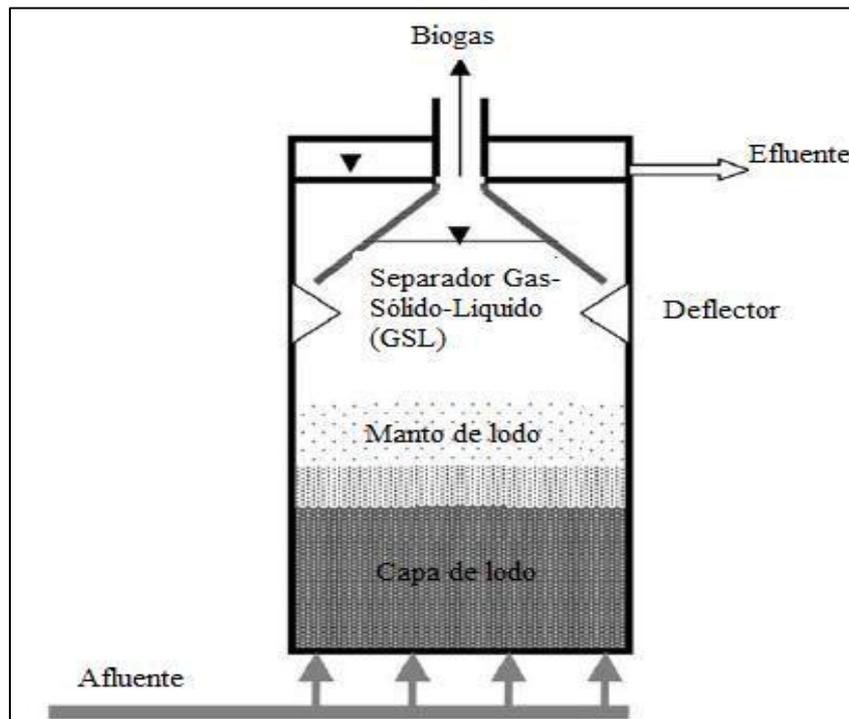


Figura 6.Esquema de un reactor UASB.

Fuente: Tomado de Chernicharo 2007.

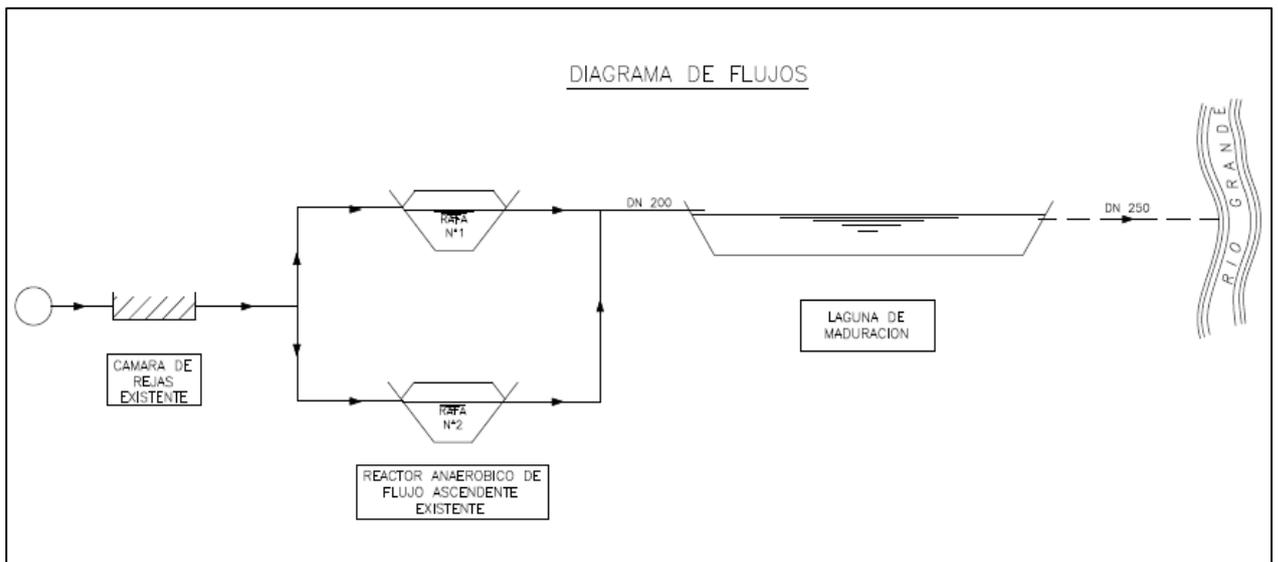


Figura 7. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas residuales de Celendín.

Fuente: Tomado del Perfil “Mejoramiento y Ampliación de los sistemas de Agua Potable y Alcantarillado de Ciudad de Celendín”-SEMACEL.

- **Generación de lodos en la PTAR**

Los lodos generados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales provienen principalmente del reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA) y en menor cantidad de la laguna de estabilización. La extracción de lodos del RAFA se hace periódicamente cada tres meses mediante una bomba especializada con un caudal de extracción de 15.5 L/s, por otro lado, la remoción de los lodos de la laguna de estabilización se hace cada 2 o 3 años durante su mantenimiento. En un periodo trimestral se genera aproximadamente entre 18 a 22.5 toneladas de lodo, los cuales son depositados en los lechos de secado hasta ser dispuestos en el botadero controlado de la ciudad o en el caso de tener demanda de estos lodos son empleados como mejoradores de suelos agrícolas.

Actualmente el RAFA y los lechos de secado se encuentra en reparación, se está cambiando la tubería, las bombas de extracción y el material filtrante, con el fin de mejorar su eficiencia y evitar futuras obstrucciones¹.

¹ Vega, R. 2018. Producción y manejo de lodos en la PTAR de la ciudad de Celendín (entrevista). Celendín, PTAR-PROREGIÓN.

Tabla 9. Características del lecho de secado y cámara de bombeo de lodos

Lecho de secado de lodos		
Profundidad	1	m
Largo	20	m
Ancho	10	m
Unidades existentes	5	unidades
Cámara de bombeo de lodos		
Profundidad útil	2,5	m
Profundidad total	3	m
Diámetro	1,75	m
Bombas	sumergibles	
Cantidad de bombas	2	
Caudal	15	L/s

Fuente: Adaptado de PROREGIÓN 2008.

2.2.10 Normativa nacional para el aprovechamiento de lodos residuales

- **Decreto Supremo N°015-2017-Vivienda**

El presente reglamento establece las disposiciones para determinar las características de los lodos, su clasificación, y los parámetros para la producción y el control de la aplicación de los biosólidos provenientes de la estabilización de lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales; con la finalidad de promover su aprovechamiento en actividades agrícolas, forestales, industria cerámica, entre otras, considerando los riesgos a la salud y el ambiente. Los lodos generados en las PTAR para ser estabilizados y calificados como biosólidos de Clase A y de Clase B deben cumplir con el parámetro de concentración de materia orgánica (SV) \leq 60% de Materia seca (ST), indicar la concentración de nitrógeno total y cumplir con los parámetros señalados en la Tabla 10 y Tabla 11.

Tabla 10. Parámetros de toxicidad química en biosólidos clase A y clase B

Parámetros	Biosólidos Clase A y B	Unidades
Arsénico	40	mg/Kg ST Materia Seca
Cadmio	40	mg/Kg ST Materia Seca
Cromo	1200	mg/Kg ST Materia Seca
Cobre	1500	mg/Kg ST Materia Seca
Plomo	400	mg/Kg ST Materia Seca
Mercurio	17	mg/Kg ST Materia Seca
Níquel	400	mg/Kg ST Materia Seca
Zinc	2400	mg/Kg ST Materia Seca

Fuente: Tomado del D.S.N°015-2017-Vivienda:36.

Tabla 11. Parámetros de higienización de biosólidos

Indicador	Parámetros	Clase A	Clase B
Indicadores de contaminación fecal	<i>Escherichia coli</i> - <i>Coliformes termotolerantes</i>	< 1000 NMP/ 1g ST	El nivel de higienización se podrá demostrar de forma alternativa mediante las tecnologías indicadas para la higienización, en la Sección II del Anexo N° 2 del presente reglamento.
	ó <i>Salmonella sp</i>	< 1 NMP / 10g ST	
Indicador de huevos de helmintos	Huevos viables de Helmintos	< 1 / 4g ST ó Prueba de utilización de tecnologías indicadas para la higienización	

NMP: Número más probable. ST: Sólidos totales (Materia seca).

Fuente: D.S.N°015-2017-Vivienda:36.

- **Ley N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos**

Según la Quinta Disposición Complementaria Final, los lodos generados por las plantas de tratamiento de agua para consumo humano, las plantas de tratamiento de aguas residuales y otros sistemas vinculados a la prestación de los servicios de saneamiento, son manejados como residuos sólidos no peligrosos, salvo en los casos que el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento determine lo contrario. Por otro lado, la Sexta Disposición Complementaria Final de esta ley, vigente, señala que el MVCS regula el aprovechamiento de estos lodos mediante la aplicación de tecnologías adecuadas y señala que se debe cumplir con los parámetros establecidos de estabilización para su disposición como es el caso del suelo agrícola, suelo degradado u otros.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Localización de la investigación

El presente trabajo de investigación se realizó en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Celendín, capital de la provincia de Celendín y departamento de Cajamarca. Según software Google Earth (2018) la PTAR se encuentra a una altitud de 2605 msnm y sus coordenadas UTM son: 815436.72 E y 9241974.92 S.

El clima es templado seco (2001 a 3500 msnm), la temperatura promedio es de 14 °C, existiendo marcadas diferencias de temperaturas entre las distintas zonas altitudinales y grandes variaciones entre las temperaturas del día y la noche. La precipitación media anual es de 818 mm, las precipitaciones en los meses de Setiembre a abril son de carácter torrencial, provocando pérdida de suelos en las zonas de gran pendiente y desprotegidas del manto vegetal. En los meses sin precipitaciones (mayo, junio, julio, agosto) se presentan heladas en las zonas altas (Climate-data.org 2018).

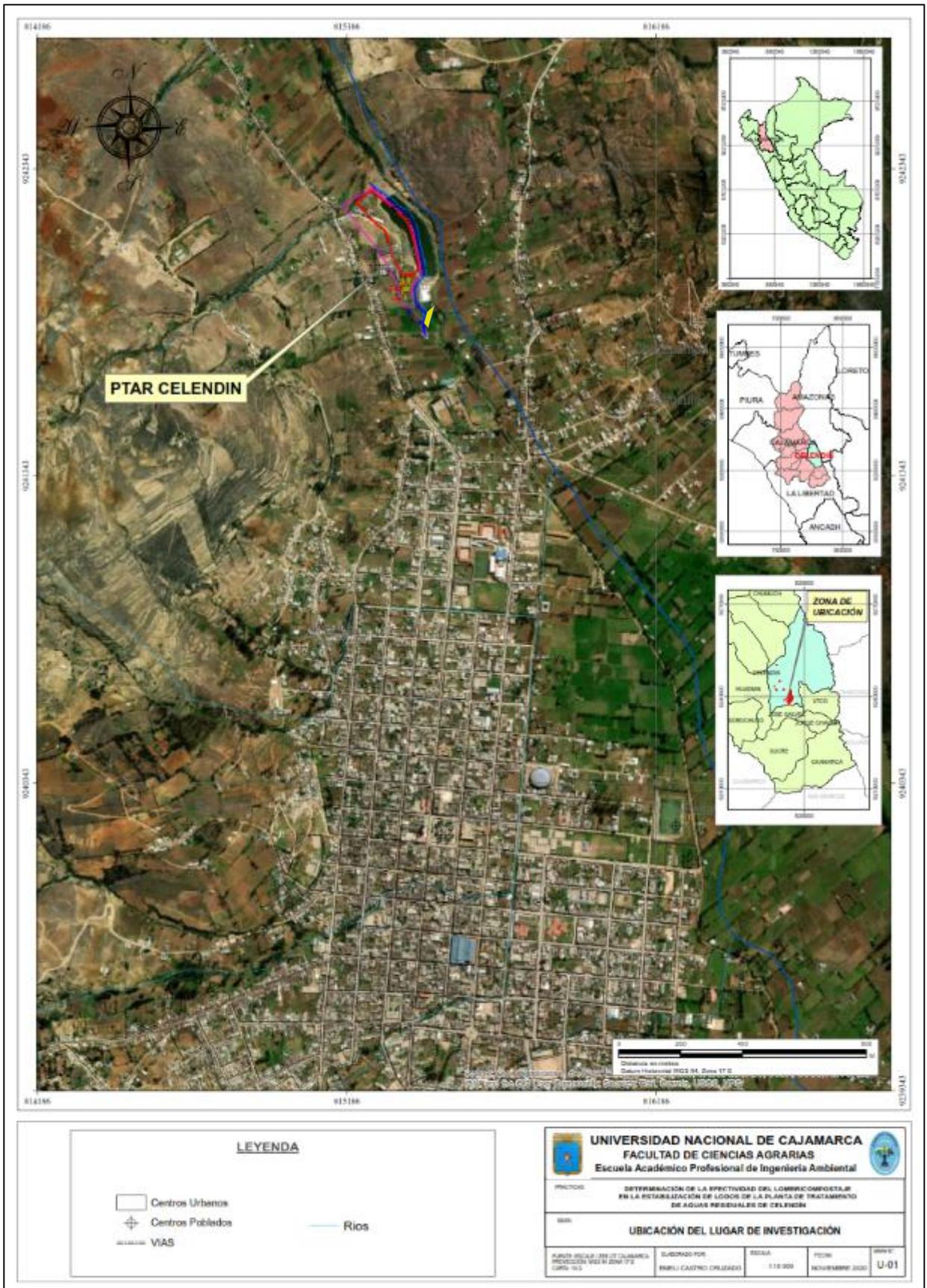


Figura 8. Ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Celendín

3.2 Tipo y diseño de la investigación

La presente investigación es experimental porque es este estudio se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos consecuencias), dentro de una situación de control para el investigador (Hernández 2014)².

3.2.1 Materiales experimentales

- Material biológico:
 - Lombriz roja californiana “*Eisenia foetida*”, las cuales fueron adquiridas de un criadero de Lurín, Lima.

- Material experimental:
 - Lodo residual de la PTAR de Celendín
 - Compost del botadero de la ciudad de Celendín
 - Estiércol de cuy de los productores locales.

- Material de campo y equipo de laboratorio
 - Cajas de plástico
 - pH-metro 4 en 1 Soil
 - Solución Buffer
 - Vaso de precipitación
 - Bagueta
 - Papel filtro
 - Embudo
 - Balanza analítica
 - Balanza electrónica Generic 100 kg/+20gr.
 - Palana
 - Wincha
 - Galonera
 - Plástico
 - Tamiz 5" ELE

² Hernández, R. 2014. Metodología de la Investigación. 6 ed. México, Editorial McGraw-Hill Interamericana de México S.A. 656 p.

- Malla
- Bolsas de plástico con cierre hermético
- Libreta de campo
- Tabla Munsell
- Equipos de protección personal (EPP)
 - Guantes desechables
 - Mascarillas
 - Botas
- Otros equipos
 - Equipo de cómputo.
 - Cámara fotográfica.
 - USB.
 - Materiales de escritorio

3.2.2 Factores, variables, niveles y tratamientos en estudio

Tabla 12. Factor, variable independiente, niveles y tratamientos

Factor	Variable Independiente	Niveles	Tratamientos
Proceso de lombricompostaje	Lombricompostaje de lodos residuales	- Lodo residual	T1: 50 kg lodo residual + 1 kg lombriz <i>Eisenia foetida</i> .
		- Lodo residual + Compost	T2: 30 kg lodo residual + 20 kg compost + 1 kg lombriz <i>Eisenia foetida</i> .
		- Lodo residual + estiércol de cuy	T3: 30 kg lodo residual + 20 kg estiércol de cuy + 1 kg lombriz <i>Eisenia foetida</i> .
		- Lodo residual + compost + estiércol de cuy	T4: 30 kg lodo residual + 10 kg compost + 10 kg estiércol de cuy + 1 kg lombriz <i>Eisenia foetida</i> .

3.2.3 Diseño experimental y arreglo de los tratamientos

El diseño de la investigación es experimental completamente aleatorizado, en este diseño los tratamientos fueron dispuestos completamente al azar (DCA) con un total de 4 tratamientos, cada uno con 3 repeticiones, totalizando 12 unidades experimentales. Cabe mencionar que se realizó una preprueba como línea base con la finalidad de conocer las características del lodo residual fresco.

Modelo estadístico del diseño experimental (Romaina 2012):

$$Y_{ik} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ik}$$

Donde:

Y_{ik} = Cualquier observación del experimento

μ = Media poblacional

τ_i = Efecto del i-ésimo Tratamiento

ε_{ik} = Error experimental

Cada tratamiento experimental constó de 50 kg en total a los cuales se les agregó 1 kg de lombriz *Eisenia foetida* (ver Tabla 13), como sustrato se utilizó lodo residual y como fuentes orgánicas se utilizaron compost y/o estiércol de cuy; cabe mencionar que el tratamiento 1 corresponde a lodo residual sin ninguna fuente orgánica y en los demás tratamientos se priorizó el lodo residual debido a la alta producción de este en la PTAR.

Tabla 13. Descripción de los tratamientos experimentales

Tratamientos experimentales	Descripción
T ₁	50 kg lodos residuales sin ningún tipo de mezcla + 1 kg Lombriz roja californiana.
T ₂	30 kg lodos residuales + 20 kg compost + 1 kg lombriz roja californiana.
T ₃	30 kg lodos residuales + 20 kg estiércol de cuy + 1 kg lombriz roja californiana.
T ₄	30 kg lodos residuales + 10 kg compost + 10 kg estiércol de cuy + 1 kg lombriz roja californiana.

3.2.4 Croquis del experimento

El área total donde se instaló el experimento fue de 18.62 m² con 3.8 m de ancho y 4.9 m de largo. Se instalaron 12 unidades experimentales compuestas por cajas de plástico por su fácil manejo y menor atracción de roedores e insectos, cada unidad midió 50 cm de ancho por 70 cm de largo con 40 cm de alto y 50 cm de separación entre cajas.

En el siguiente esquema se observa la distribución el área experimental:

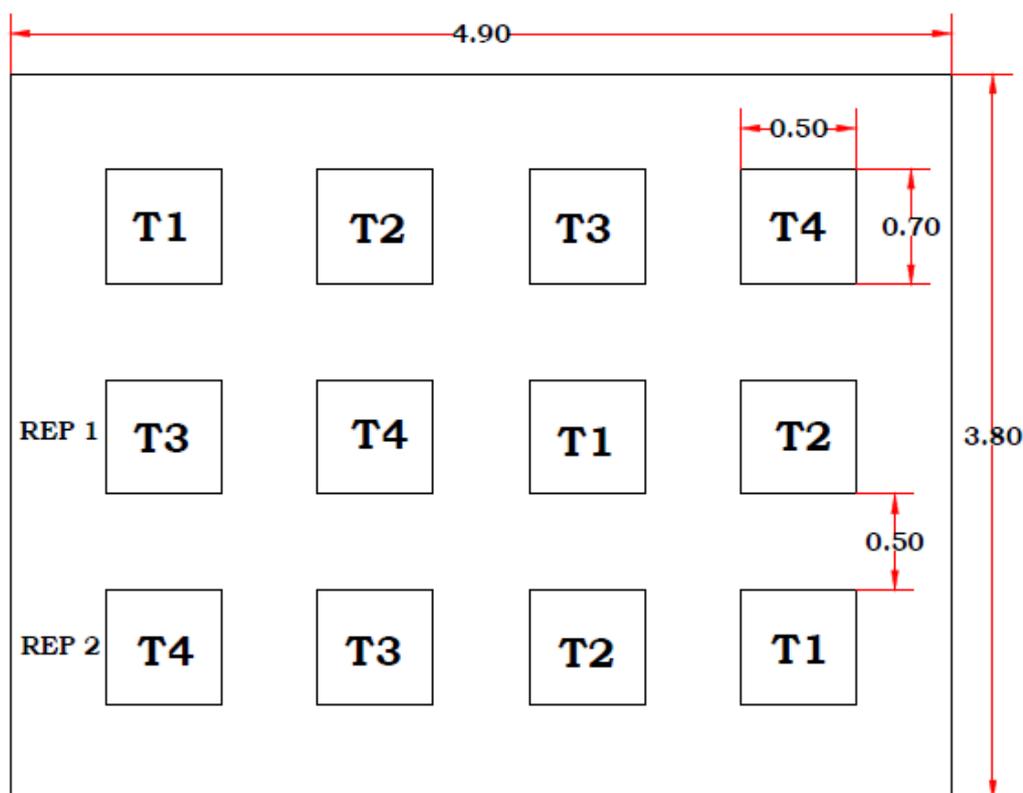


Figura 9. Croquis de la distribución del área experimental

3.2.5 Evaluaciones realizadas

- **Línea base (Análisis de las características del lodo residual fresco de la PTAR-Celendín)**

Se realizó el análisis químico y microbiológico del lodo residual fresco en el laboratorio SGS del Perú S.A.C. (ver Anexo 7.2), se analizaron los parámetros de materia orgánica, nitrógeno, coliformes termotolerantes, huevos de helminto y metales pesados los cuales se compararon con los valores establecidos en el Decreto Supremo N°015-2017-Vivienda (biosólido clase A) para su aprovechamiento en agricultura y/o mejoramiento de suelos.

- **Monitoreo durante el proceso de lombricompostaje (humedad, pH y temperatura)**

Las mediciones de humedad, pH y temperatura se realizaron con el medidor GM-KC300B Multifuncional 4 en 1 Soil Survey Instrument tal como se indica en la Tabla 14; con la finalidad de regular y mantener los parámetros dentro del rango establecido para un óptimo desarrollo del proceso de lombricompostaje.

Tabla 14. Especificaciones del monitoreo realizado durante el proceso de lombricompostaje

Monitoreo	Rango de medición	Instrumento	N° de repeticiones
Control de humedad	Húmedo- Muy húmedo	Multifuncional 4 en 1 Soil Survey Instrument	Dos
Control de pH	5-9 unidades		
Control de Temperatura	15-25 °C		

- **Peso final de la población de lombrices por tratamiento**

El proceso se dio por concluido a los 4 meses luego de notar que los sustratos habían cambiado su consistencia, es decir se veían más granulados y de color oscuro. La cosecha y pesado de lombrices se realizó un mes después debido a la humedad presente en los lechos, se lo hizo manualmente y volteando cada caja experimental; cabe mencionar que durante la extracción se encontró una abundante cantidad lombrices recién eclosionadas en todos los tratamientos, pero no se tomaron en cuenta ya que no se las pudo extraer.

- **Comparación del color del lombricompost con la tabla Munsell**

Se determinó el color del lombricompost usando las notaciones para matiz, valor y croma como se da en la Tabla de Colores de Suelo Munsell en condiciones de húmedo y seco. El matiz, es el color espectral dominante (rojo, amarillo, verde, azul o violeta); el valor, es la claridad u oscuridad de los rangos de color de 1 (oscuro) a 8 (claro); y el croma, es la pureza o fuerza del rango de color desde 1 (pálido) a 8 (brillante) (Ver figura 10).

De acuerdo a la revisión bibliográfica el humus es de color negruzco y está asociado a la carta 10YR 2/1 de la tabla Munsell por lo que el lombricompost obtenido se comparó con este color, la medición se realizó primero en seco

comparando las muestras de cada unidad experimental con la carta 10YR para luego anotar su color correspondiente y para la medición en húmedo se hizo lo mismo humedeciendo previamente con agua cada muestra.

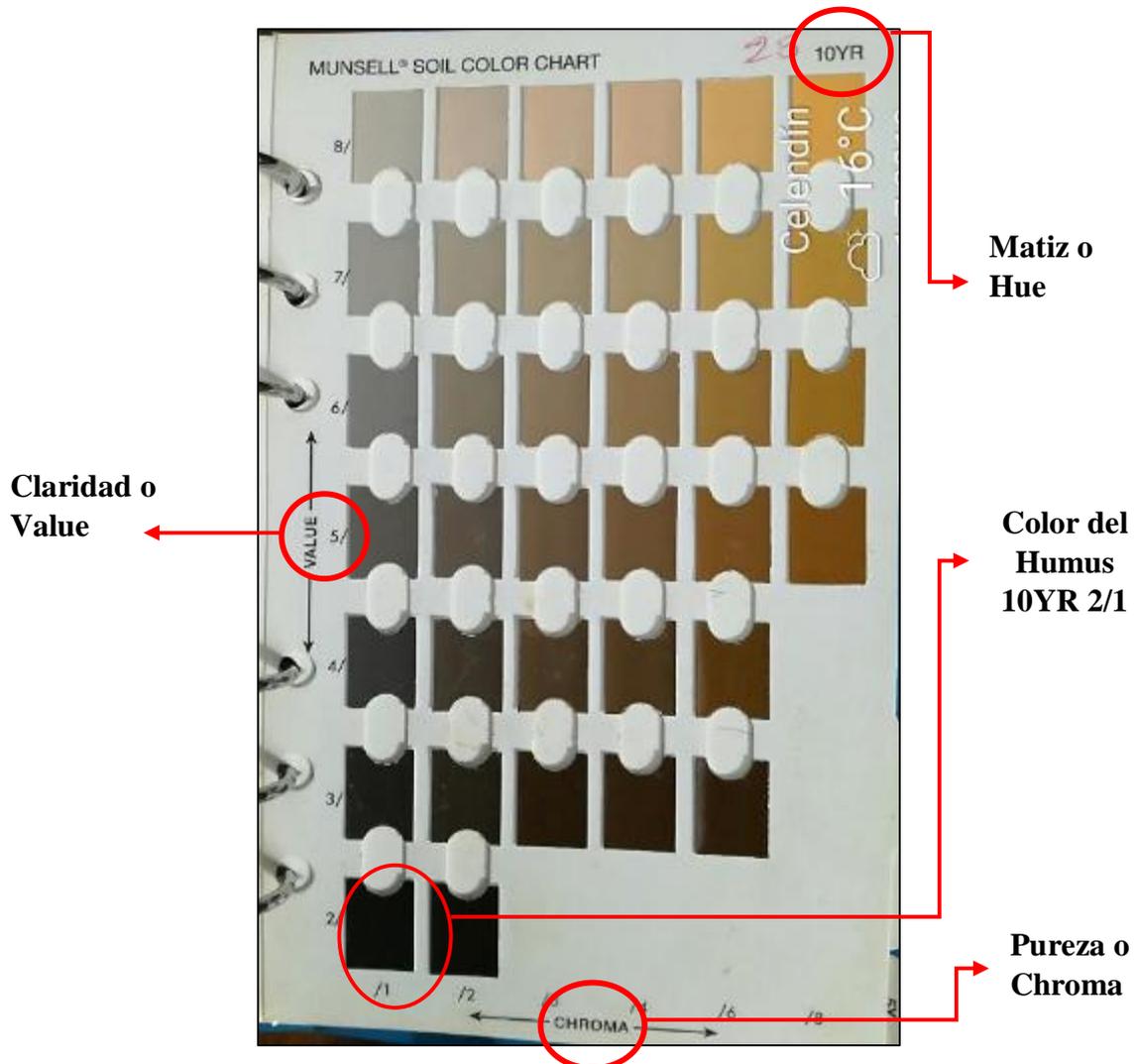


Figura 10. Tabla de color Munsell-carta 10YR

- **Análisis de laboratorio**

En la tabla 15 se muestra los parámetros analizados en el lombricompost, así como su respectivo método analítico por laboratorio.

Tabla 15. Parámetros analizados en los laboratorios

Laboratorio	Método de análisis	Parámetros
LASPAF-UNALM	--	Materia orgánica
	--	Nitrógeno
		pH
SGS del Perú S.A.C.	SGS-MN-ME-/abril 2018 rev.00/Suelos Agrícolas y Fertilizantes: Digestión Ácido Nítrico y Clorhídrico-ICPMS	Arsénico Cadmio Cromo Cobre Mercurio Níquel Plomo Zinc
	SMEWW-APHA-AWWA- WEF.Parte 9221 E1, 23. ^a Ed.2017. Técnica de fermentación en tubos múltiples para miembros del grupo Coliformes. Procedimiento de coliformes fecales. Prueba de coliformes termotolerantes (medio EC)	Coliformes termotolerantes
CERPER S.A.	CERPER LE-ME-HPA (Método validado). 2011. Detección y/o Enumeración de huevos de Helminthos en Aguas: para uso y consumo humano, residual, subterránea, de mar y superficial.	Huevos de helmintos: <i>Fasciola hepatica</i> <i>Paragonimus sp</i> <i>Schistosoma sp</i> <i>Clonorchis sp</i> <i>Echinostoma sp</i> <i>Taenia sp</i> <i>Dipylidium sp</i> <i>Hymenolepis sp</i> <i>Diphyllobothrium sp</i> <i>Ascaris sp</i> <i>Ancylostoma sp/necator sp</i> <i>Trichuris sp</i> <i>Capillaria sp</i> <i>Trichostrongylus sp</i> <i>Strongyloides sp</i> <i>Enterobius sp</i> <i>Macracanthorhynchus sp</i>

3.2.6 Procedimiento experimental

- **Construcción de la caseta experimental y acondicionamiento de las unidades experimentales**

Se realizó la gestión a PROREGION (encargada de las operaciones de la PTAR) para la autorización de la ejecución del trabajo de investigación (ver anexo 7.1), la caseta experimental se ubicó cerca a los lechos de secado para su fácil traslado del lodo a las unidades experimentales, se cerró completamente la caseta con plástico negro para evitar el ingreso de luz solar así mismo se usó calamina para el techo.

- **Acondicionamiento del lodo y fuentes orgánicas**

Para el manejo del lodo se tuvo en cuenta el enfoque de seguridad por lo que se utilizó Equipo de Protección Personal (EPP) como guantes y mascarillas en el momento de la extracción de los lechos de secado, la parte superior del lodo se encontraba seco por lo que se humedeció antes de su traslado a la caseta experimental. Las fuentes orgánicas para el proceso de lombricompostaje adicionales al lodo fueron compost y estiércol de cuy, el compost fue obtenido del botadero controlado de la ciudad de Celendín y el estiércol de cuy de productores locales.

- **Preparación de camas y acondicionamiento de lombrices**

Se compró un saco de 50 kg entre humus y lombriz (12 kg) la cual se separó manualmente y se agregó a cada tratamiento la cantidad de 1 kilogramo. Cabe mencionar que la lombriz *Eisenia foetida* utilizada estaba compuesta por una población adulta.

Respecto al lodo y fuentes orgánicas se pesó la cantidad establecida para cada tratamiento, las cuales fueron dispuestos en cajas de plástico de la siguiente manera:

- T1 (Lodo residual): Se dispuso la cantidad de 50 kg de lodo residual para luego acondicionar las lombrices esparciéndolas por toda la superficie, se regó con agua hasta que quedó completamente húmedo y finalmente se cubrió con cartón y plástico adicional a la tapa de la caja.
- T2 (lodo residual y compost): Se dispuso la cantidad de 30 kg de lodo residual y 20 kg de compost³ para luego acondicionar las lombrices esparciéndolas por toda la superficie, se regó con agua toda la mezcla hasta que quedó completamente húmeda y finalmente se cubrió con cartón y plástico adicional a la tapa de la caja.
- T3 (lodo residual y estiércol de cuy): Se dispuso la cantidad de 30 kg de lodo residual y 20 kg de estiércol de cuy para luego acondicionar las lombrices

³ Se consideró 30 kg lodo debido a la gran cantidad que se genera en la PTAR en comparación a la menor disponibilidad de compost y estiércol de cuy.

esparciéndolas por toda la superficie, se regó con agua toda la mezcla hasta que quedó completamente húmeda y finalmente se cubrió con cartón y plástico adicional a la tapa de la caja.

- T4 (lodo residual, compost y estiércol de cuy): Se dispuso la cantidad de 30 kg de lodo residual, 10 kg de estiércol de cuy y 10 kg de compost para luego acondicionar las lombrices esparciéndolas por toda la superficie, se regó con agua toda la mezcla hasta que quedó completamente húmeda y finalmente se cubrió con cartón y plástico adicional a la tapa de la caja.

- **Control y monitoreo**

La primera medición de los parámetros de pH, humedad y temperatura de cada tratamiento se hizo el 17 de enero del 2019, durante los dos primeros meses este procedimiento se realizó dos veces a la semana para luego hacerlo solo una vez por semana debido a que los datos se mantenían constantes. Cabe mencionar que el riego se hizo semanalmente y los volteos se realizaron de forma manual una vez al mes, con mucho cuidado porque con un volteo agresivo las lombrices pueden morir.

- **Cosecha de lombricompost y lombrices**

El proceso concluyó el 17 de mayo del 2019 a los cuatro meses de haber iniciado, sin embargo, se esperó un mes para que la humedad disminuyera y poder cosechar las lombrices de cada tratamiento. Al cabo de este tiempo se realizó la extracción y pesado de lombrices, por otro lado, el lombricompost obtenido de cada unidad experimental se colocó en costales y se los dejó al aire libre para que secan.

- **Obtención de muestras**

Después de haber dejado secar el lombricompost se procedió a extenderlo para obtener una muestra representativa de cada unidad experimental, luego se realizó el tamizado en un tamiz de 2 mm hasta obtener tres kilogramos de cada unidad las cuales fueron debidamente empaquetadas y rotuladas en bolsas de cierre hermético para su respectivo análisis de laboratorio. Las muestras se enviaron a tres laboratorios distintos ya que uno solo no realizaba el análisis completo.

3.2.7 Tratamiento y análisis de datos

Se realizó una transformación de datos (logarítmica y raíz cuadrada) para asegurar que tienen una distribución normal y realizar el análisis estadístico ANOVA. La prueba estadística ANOVA (análisis de varianza) se aplicó con la finalidad de determinar si existe diferencia significativa entre los tratamientos y una vez encontrada esta diferencia para determinar que tratamiento está causando esta variación se utilizó la prueba de Tukey; para el análisis estadístico se usó el software InfoStat.

Tabla 16. Análisis de variancia

Fuentes de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F Calculado	F Tabulado	Signi f.
Tratamientos	SCTratamientos	$t - 1 = 3$	CM tratamientos	CM tratamiento s/ CMError	$F > F_0$	
Error Exp	SCError	$t (r - 1) = 8$	CMError			
Total Gen.	SCtotal	$Tr - 1 = 11$				

3.2.8 Presentación de la información

La presentación de los resultados obtenidos se hizo de la siguiente manera:

- Respecto al peso final de lombrices por tratamiento primero se realizó una breve descripción de la presencia de estas registradas en las notas de campo y luego se hizo la comparación del peso final respecto al peso inicial con la ayuda de un gráfico en Excel.
- De igual forma para el color característico del lombricompost (según el sistema Munsell) se diseñó una tabla con el color identificado en seco y en húmedo correspondiente a cada unidad experimental.
- Para los demás parámetros evaluados los valores se presentaron en gráficos donde se hizo la comparación de las concentraciones obtenidas con el valor límite establecido en el decreto supremo N°015-2017-Vivienda.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Peso de la lombriz “*Eisenia foetida*” según el sustrato empleado

Con la finalidad de determinar el correcto desarrollo del lombricompostaje se analizó el crecimiento, reproducción y adaptación de la lombriz *Eisenia foetida* en los diferentes sustratos: lodo residual, lodo más compost, lodo más estiércol de cuy y lodo más compost más estiércol de cuy; a los cuales se les había adicionado un kilogramo de lombrices adultas.

Durante todo el proceso de lombricompostaje se registró las siguientes observaciones: Durante el segundo mes se encontró a muchas lombrices en la superficie de todos los tratamientos, así como cocones o huevos, esto se presentó en mayor cantidad en los tratamientos T4 y T2 donde además se registró una temperatura más alta por la presencia de compost cuya actividad microbiana es mayor. En el tercer mes se evidenció la presencia de diminutos gusanos blancos (*Enchytraeidae albidus*) en la superficie del tratamiento T1, estos anélidos no son de preocupación y al igual que las lombrices se alimentan de materia orgánica, hongos y bacterias; también se observó la presencia de larvas de moscas en los otros tratamientos, pero estas no representaron ningún peligro para las lombrices más bien ayudaron a la descomposición del sustrato. A inicios del cuarto mes, en el tratamiento T4R2 se encontraron lombrices muertas, estaban fermentadas y desprendían un olor fuerte; estas habrían muerto por el aumento de la temperatura del sustrato lo cual concuerda con el estudio de Marquina y Martínez (2016) donde señala la muerte de lombrices por activación del compost.

Al final de los cuatro meses se observó que los sustratos concordaban con las características propias del lombricompost es decir estaban granulados, con un color más oscuro y ya no tenían el olor desagradable del inicio del experimento; también se encontró abundantes cocones (huevos) y lombricillas recién salidas de sus huevos en todos los tratamientos.

En la figura 11 se observa el peso (kilogramos) de las lombrices por tratamiento al final del proceso de lombricompostaje, de manera general se puede apreciar que la población de lombrices no aumentó según la literatura consultada donde indica que en condiciones ideales durante todo el proceso la población de lombrices californianas puede llegar a triplicarse al momento de la cosecha. Según las observaciones registradas anteriormente, estas se desarrollaron correctamente con la aparición de muchos huevos o cocones y su posterior eclosión, sin embargo, las lombrices recién nacidas no alcanzaron su etapa adulta al final de los cuatro meses por lo que, aunque se las dejó un mes más en las cajas su peso no logró ser representativo además de no ser extraídas en su totalidad por su diminuto tamaño. Cabe mencionar que cuando las lombricillas salen de sus cocones demoran entre 50 a 65 días para alcanzar un tamaño de 2 a 3 centímetros por lo que es posible que al término del proceso de lombricompostaje las lombrices recién nacidas se encuentren en esta etapa de su desarrollo.

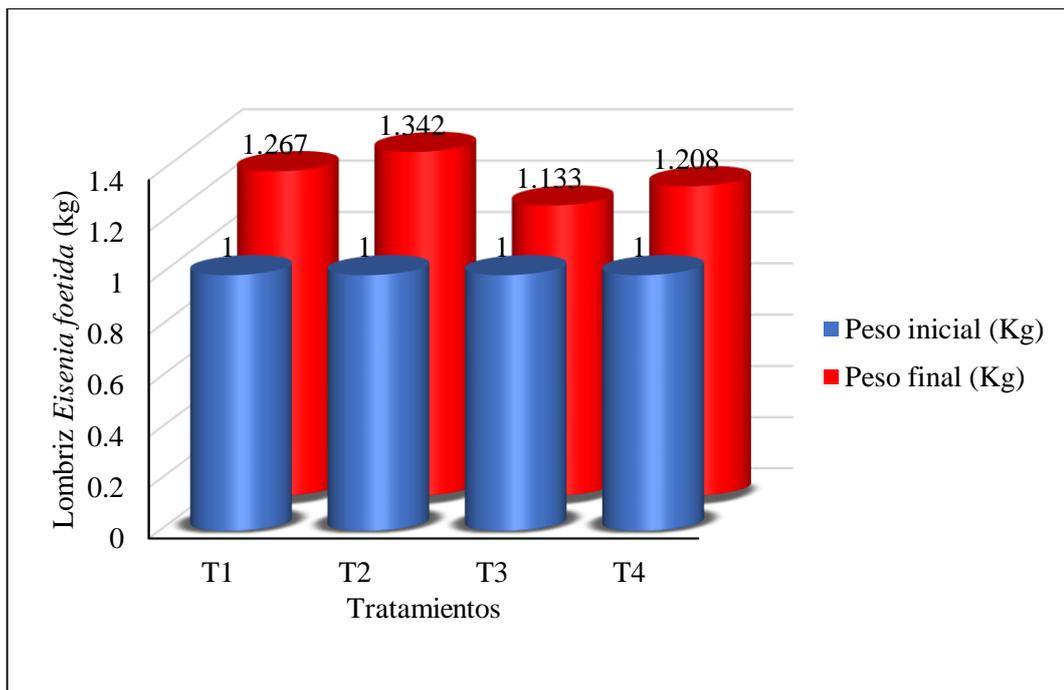


Figura 11. Comparación del peso inicial y final de lombrices en cada tratamiento experimental.

La mayor población de lombrices se registró en el tratamiento T2 con un valor de 1.342 kilogramos tal como se puede apreciar en la figura 11, la población aumentó en 342 gramos respecto a la población inicial de 1 kg, por lo que esta mezcla de lodo residual más compost tuvo un mayor efecto en la adaptabilidad de la lombriz *Eisenia*

foetida. Por otro lado, fue en el tratamiento T3 donde hubo menor cantidad de lombrices con 1.133 kilogramos observándose solamente un aumento de 133 gramos respecto a la población inicial, esta mezcla de lodo más estiércol de cuy no tuvo el mejor efecto en la adaptación y desarrollo de la lombriz posiblemente porque el pH del estiércol es ácido (6 unidades) al no estar compostado previamente o por las condiciones de humedad que causaron la compactación del lodo y taponamiento de los agujeros para la salida del agua.

De acuerdo al análisis de varianza realizado (tabla 17) se observa que no existe diferencias significativas, entonces no existen diferencias reales en el peso final de lombrices de los cuatro tratamientos. El coeficiente de variación es de 12.45% lo cual nos indica que los datos obtenidos son homogéneos dando confiabilidad a los resultados.

Tabla 17. Análisis de varianza del peso final de las lombrices

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F	p-valor
Modelo	0.016	3	0.0055	0.290	sd
Tratamientos	0.016	3	0.0055	0.290	
Error	0.151	8	0.0188		
Total	0.167	11			

CV = 12.45 %

4.2 Degradación del lodo residual a lombricompost, considerando el pH, temperatura, humedad y color

4.2.1 pH del proceso de lombricompostaje

El pH es un factor determinante de un buen proceso de lombricompostaje, pues se debe tener un pH comprendido entre 6.5 y 7.5, siendo los valores óptimos que se encuentren entre 6.8 y 7.2 no obstante las lombrices pueden desarrollarse apropiadamente cuando el pH esta entre 5 y 8 unidades.

Este parámetro es uno de los más afectados en el proceso de lombricompostaje ya que es modificado dependiendo el valor inicial del sustrato a lombricompostar, los valores de pH registrados durante la evaluación del proceso están detallados en el anexo 7.3, al igual que el realizado en el laboratorio de química la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental (ver anexo 7.4).

En las figuras 12, 13, 14 y 15 se presenta la variación del pH durante el proceso de lombricompostaje, se observa un incremento de los valores iniciales de pH en todos los tratamientos hasta mantenerse constante en el rango de 6.5 a 7.5 unidades cerca a la neutralidad que es lo que se esperaba al final del proceso, sin embargo, es en el tratamiento T3 donde al final se registró un pH ligeramente alcalino de 7.76 unidades. Este aumento se debería al proceso natural de maduración del lombricompost llegando a alcalinizarse producto de la pérdida de los ácidos orgánicos (aunque difícilmente rebase las 8 unidades de pH); y al tipo de sustrato utilizado como fuente orgánica (estiércol de cuy) ya que según Villar (2017) el aumento del pH en el lombricompost de distinto origen sugiere que podría ser causado por el exceso de nitrógeno orgánico no requerido por los microorganismos, que se libera como amoníaco, se disuelve en agua e incrementa el pH del lombricompost.

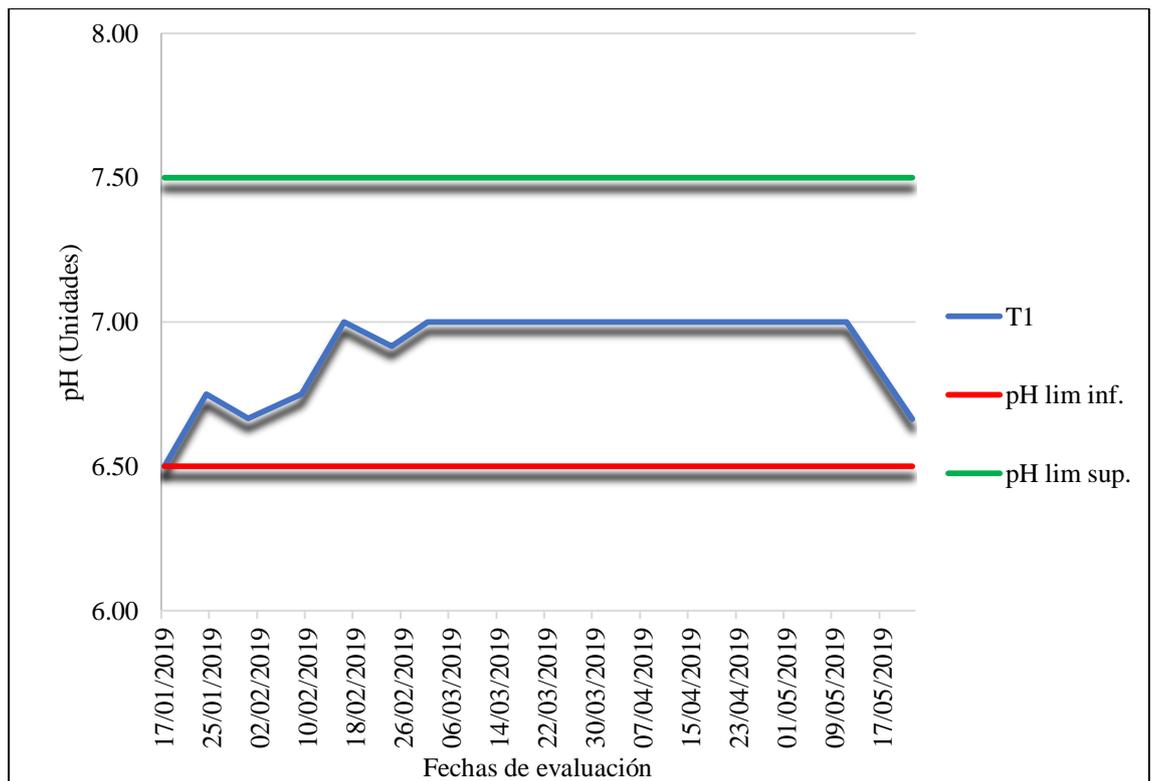


Figura 12. Variación del pH en el tratamiento T1 durante el proceso de lombricompostaje.

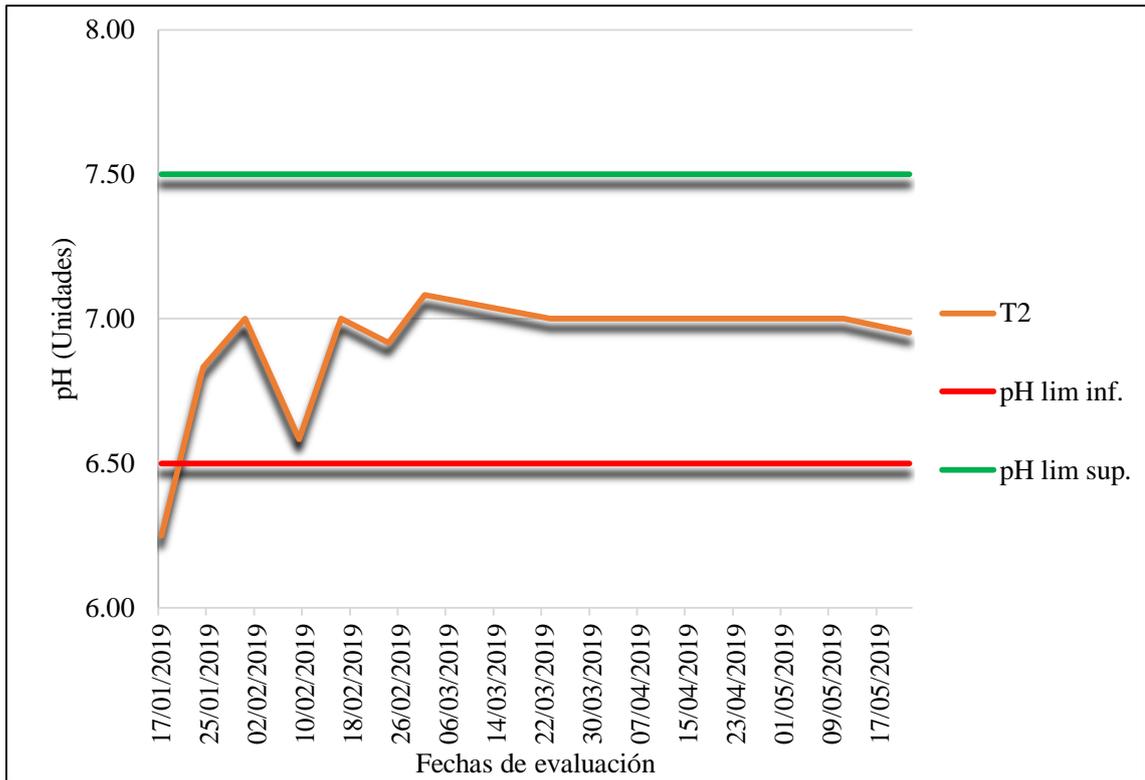


Figura 13. Variación del pH en el tratamiento T2 durante el proceso de lombricompostaje

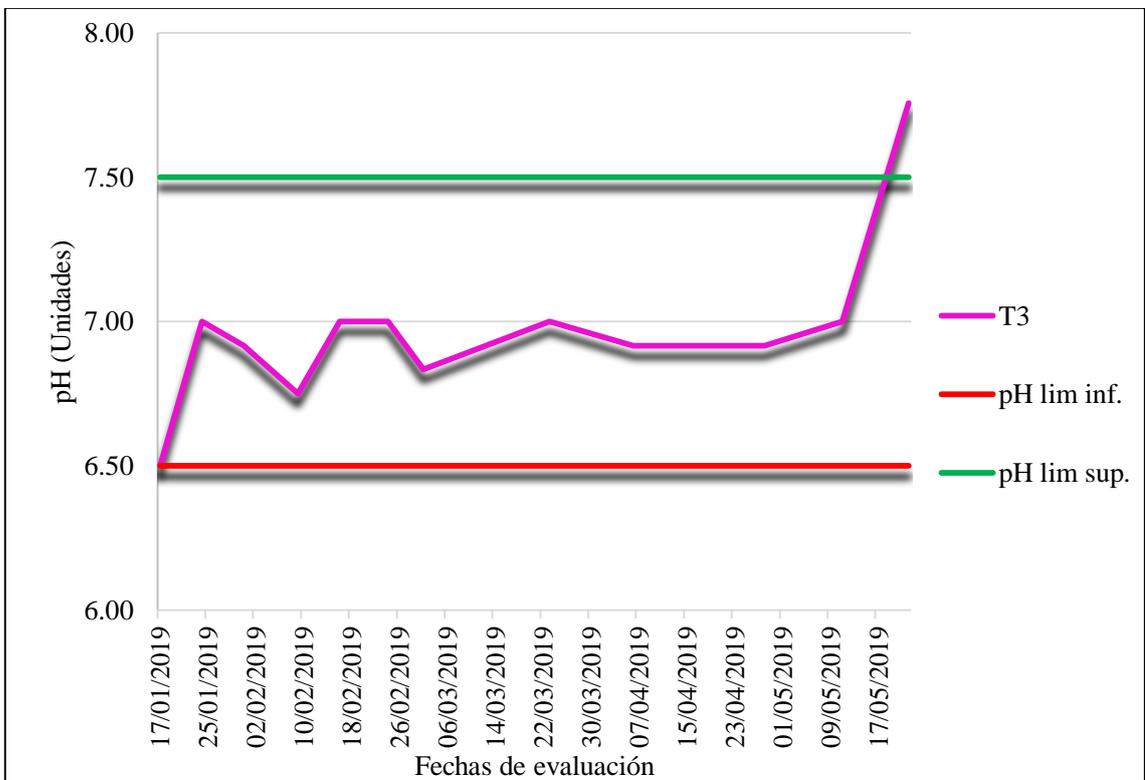


Figura 14. Variación del pH en el tratamiento T3 durante el proceso de lombricompostaje

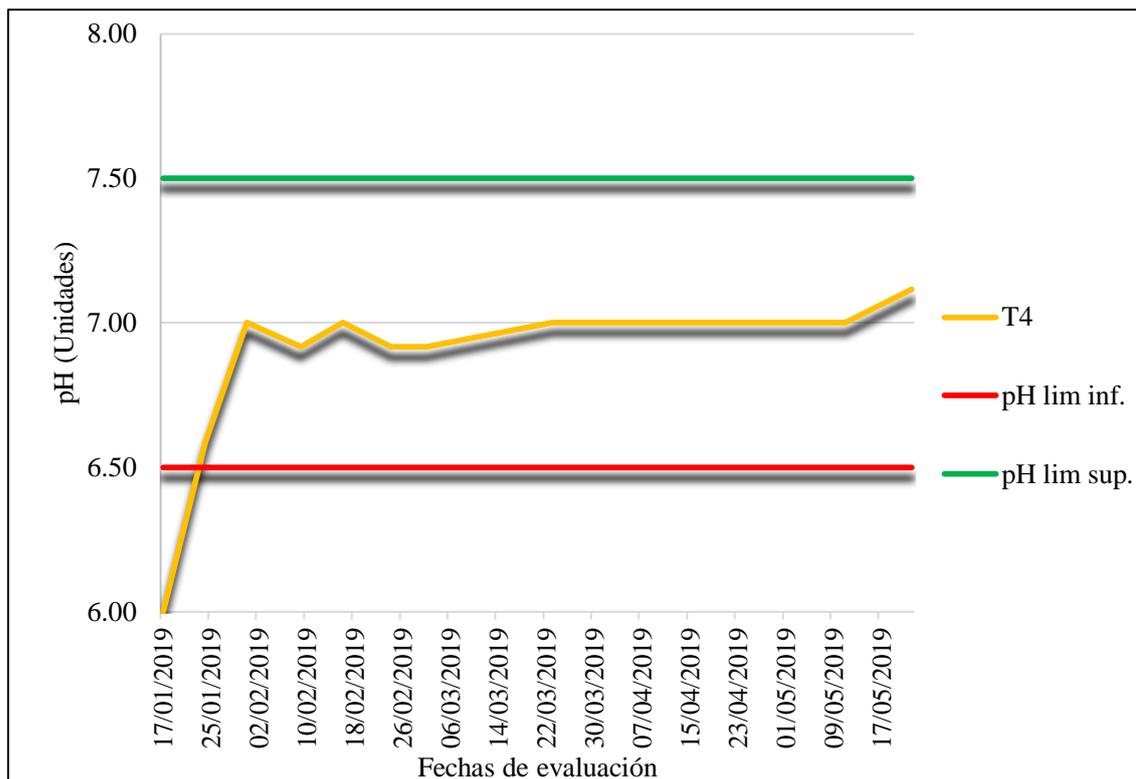


Figura 15. Variación del pH en el tratamiento T4 durante el proceso de lombricompostaje

De acuerdo al análisis de varianza realizado (tabla 18) se observa que no existe diferencias significativas, dado que el valor de significación (p -valor = 0.6084) es mayor al 0.05, esto significa que no existen diferencias reales en el contenido del pH de los cuatro tratamientos durante el proceso de lombricompostaje. El coeficiente de variación es de 0.93% lo cual nos indica que los datos obtenidos son homogéneos dando confiabilidad a los resultados.

Tabla 18. Análisis de la Varianza del pH del proceso de lombricompostaje

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F	p-valor
Modelo	0.008	3	0.003	0.643	0.6084
Tratamientos	0.008	3	0.003	0.643	0.6084
Error	0.033	8	0.004		
Total	0.041	11			

CV = 0.93%

4.2.2 pH del lombricompost

En la figura 16 se presenta los valores registrados del lombricompost obtenido al final del proceso donde se observa que el pH de los tratamientos fluctuó desde un

pH ligeramente ácido de 6.70 unidades hasta un pH ligeramente alcalino de 7.69 unidades; el valor más bajo se presentó en el tratamiento T1 de lodo residual sin ninguna mezcla y los valores más altos se presentaron en los tratamientos de lodo residual más fuente orgánica (compost y estiércol de cuy). Según los valores analíticos del lombricompost se debería tener un pH entre 6.5 a 7.3 unidades o valores cercanos a la neutralidad, sin embargo, los tratamientos T2, T3 y T4 reportan datos por encima de estos; estos valores más altos se deberían al tipo de sustrato y al estado de maduración en que se utilizaron en el proceso.

Así mismo según Vargas *et al* (2014) el pH del lombricompost obtenido a partir de residuos orgánicos ácidos tiende a ser neutro o ligeramente alcalino, debido a la degradación de los residuos ácidos en condiciones aerobias y en presencia de elevada humedad, lo que favorecen a la formación de hidróxidos básicos durante las primeras fases del proceso.

Por otro lado, Bollo citado por Duran y Henríquez (2007) menciona que la función de las glándulas de Morren dentro de la morfología de la lombriz, es secretar carbonato cálcico y producir una digestión alcalina, por lo que se es de esperar un pH ligeramente alcalino en el lombricompost.

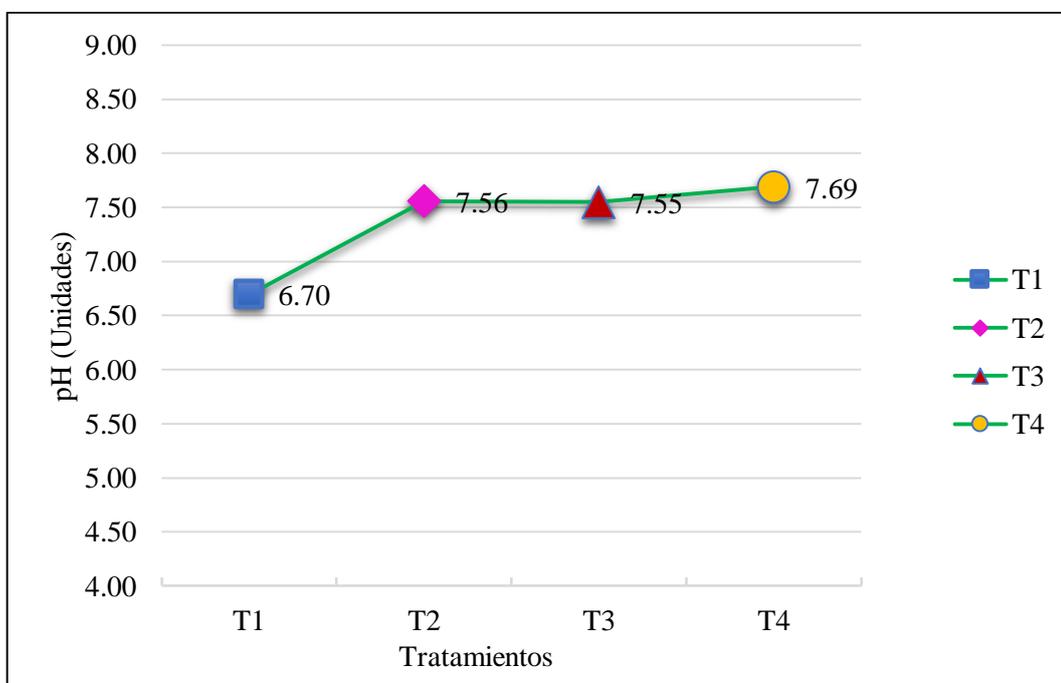


Figura 16. Valores de pH del lombricompost obtenido al final del proceso

De acuerdo al análisis de varianza realizado (tabla 19) se observa que existe diferencias significativas, dado que el valor de significación (p-valor = 0.0199) es menor al 0.05, esto significa que existen diferencias reales en el contenido del pH de los cuatro tratamientos del lombricompost. El coeficiente de variación es de 2.27 % lo cual nos indica que los datos obtenidos son homogéneos dando confiabilidad a los resultados.

Tabla 19. Análisis de la Varianza del pH del lombricompost

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F	p-valor
Modelo	0.01	3	2.3E-03	5.91	0.0199
Tratamientos	0.01	3	2.3E-03	5.91	0.0199
Error	3.1E-03	8	3.9E-04		
Total	0.01	11			

CV = 2.27%

La prueba de tukey (tabla 20) realizada a un nivel de significación del 5% establece dos grupos de significación, donde los tratamientos T4, T2 y T3 poseen medias semejantes (A) a diferencia del tratamiento T1 (B) que presenta el pH mas bajo con 6.70 unidades, lo que indica que tuvo un mejor efecto de la aplicación de lombricompostaje por estar mas cercano a la neutralidad. Asi mismo cabe señalar que este tratamiento corresponde solo al sustrato de lodo residual.

Tabla 20. Prueba de Tukey para el pH del lombricompost

Tratamientos	Medias	N	E.E.		
T4	0.89 (7.69)*	3	0.01	A	
T2	0.88 (7.56)*	3	0.01	A	
T3	0.88 (7.55)*	3	0.01	A	
T1	0.83 (6.70)*	3	0.01		B

* Datos reales sin transformar

4.2.3 Temperatura del proceso de lombricompostaje

Para llevar a cabo un adecuado proceso de lombricompostaje es necesario contar con la temperatura adecuada (18 a 25°C) que garantice el óptimo desarrollo y reproducción de la lombriz *Eisenia foetida*, por otro lado, si la temperatura desciende por debajo de 15° C las lombrices entran en un período de latencia donde disminuye su actividad, reproducción, crecimiento y producción de lombricompost; los cocones (huevos) no eclosionan hasta que las condiciones sean las adecuadas. Los valores de la temperatura registrados durante el proceso se pueden ver en el anexo 7.5.

En las figuras 17, 18, 19 y 20 se puede observar la variación de la temperatura durante el proceso de lombricompostaje, las temperaturas más altas se registraron durante los primeros meses de iniciado el proceso llegando hasta los 20°C en el tratamiento T4 sin embargo en los meses siguientes hasta el final del proceso la temperatura descendió considerablemente hasta los 15.3°C en el tratamiento T1. Así mismo la temperatura promedio de todos los tratamientos estuvo dentro del rango ideal (15°C a 20°C lo más cercano a la temperatura corporal de la lombriz 19°C) señalado por Somarriba y Guzmán citado por Sánchez (2018).

Cabe mencionar que el tratamiento T1 presentó la temperatura más baja en comparación a los demás tratamientos los cuales presentaron una variación similar, así mismo las altas temperaturas registradas al inicio del proceso de lombricompostaje se debería al incremento natural de dicho proceso ya que luego se observó que la temperatura descendió y se mantuvo estable hasta el final. Es importante señalar que cuando hay altas temperaturas en el sustrato, comienza un proceso de degradación llamado “composta”, este proceso genera calor, al punto de matar las lombrices si se presenta temperaturas por encima de los 35°C, aunque esto no se llegó a observar, si se registró un aumento inicial en el proceso (Guaque 2017).

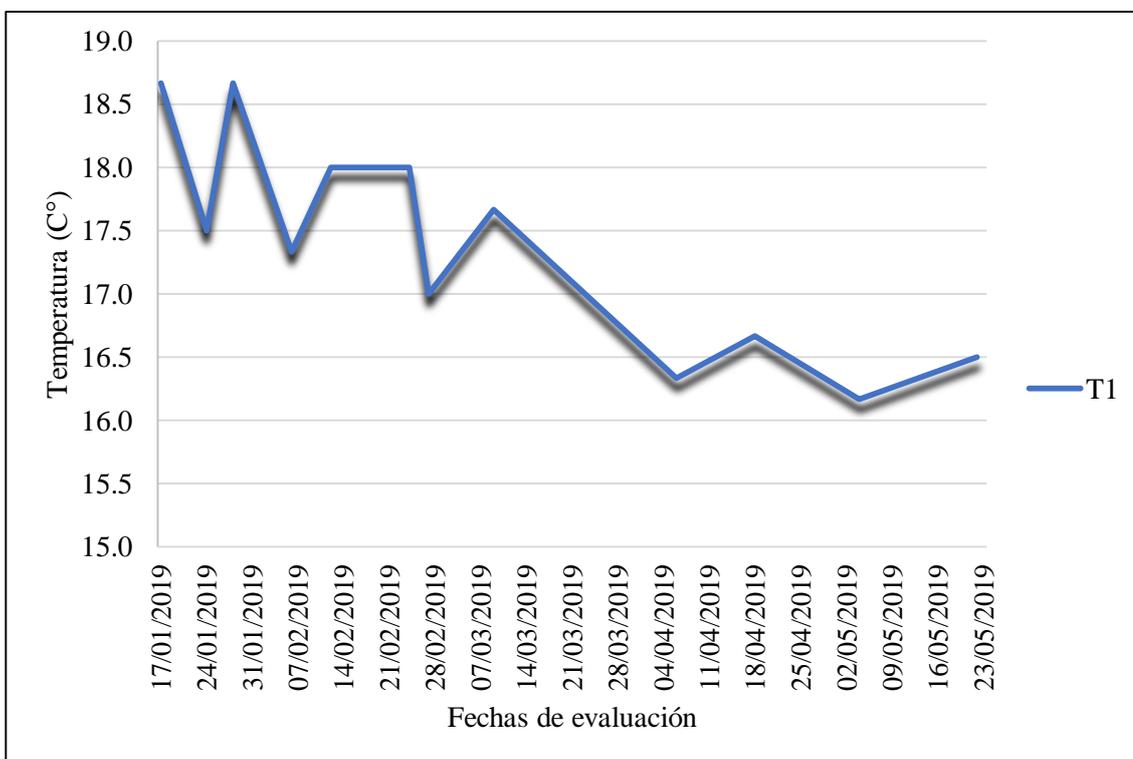


Figura 17. Variación de la temperatura (°C) en el tratamiento T1

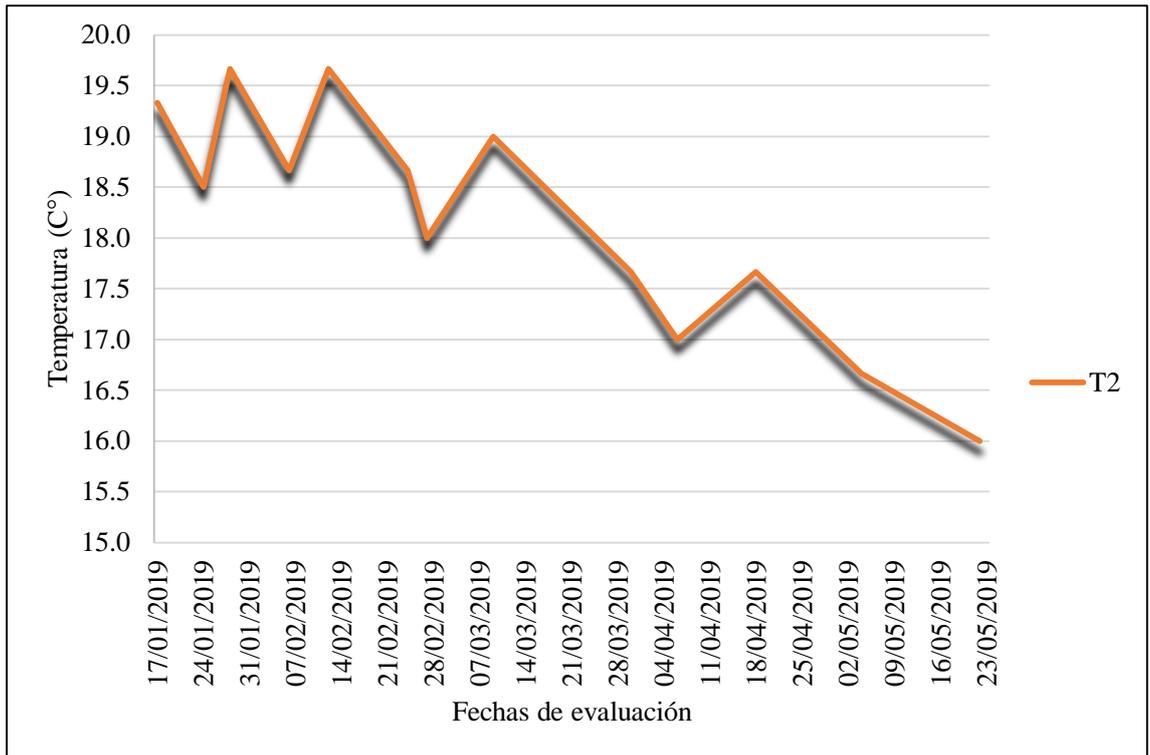


Figura 18. Variación de la temperatura (°C) en el tratamiento T2

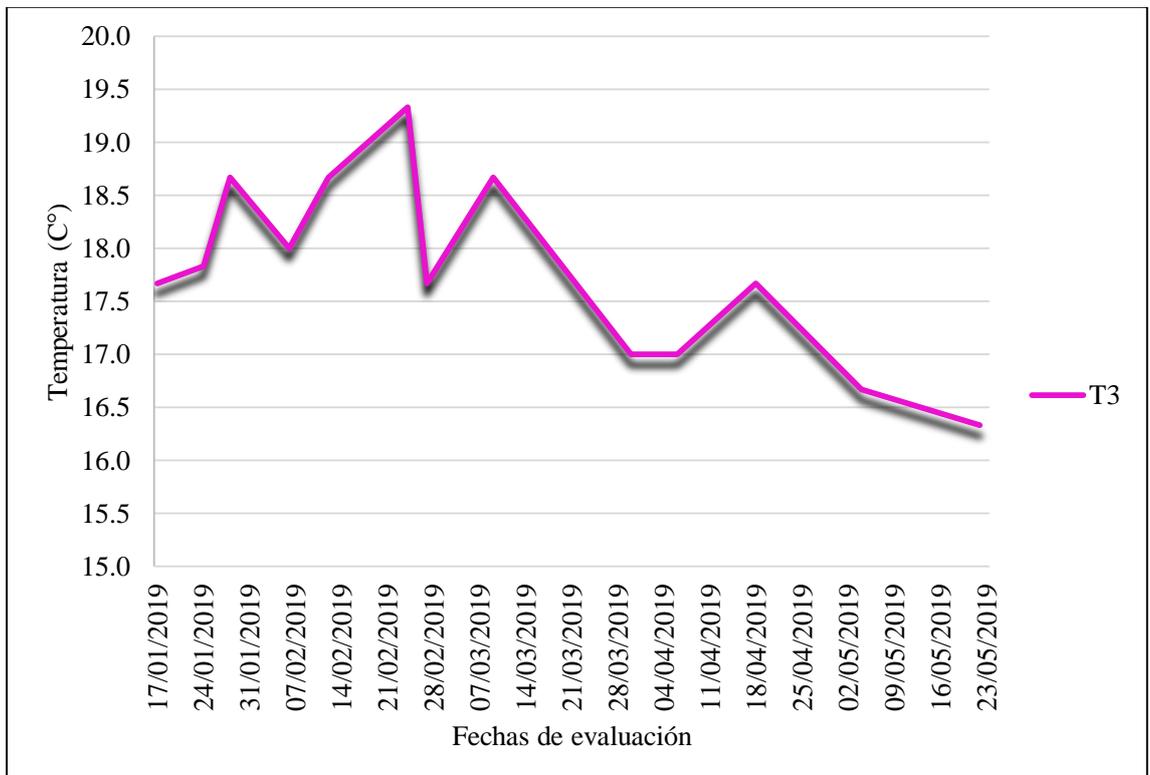


Figura 19. Variación de la temperatura (°C) en el tratamiento T3

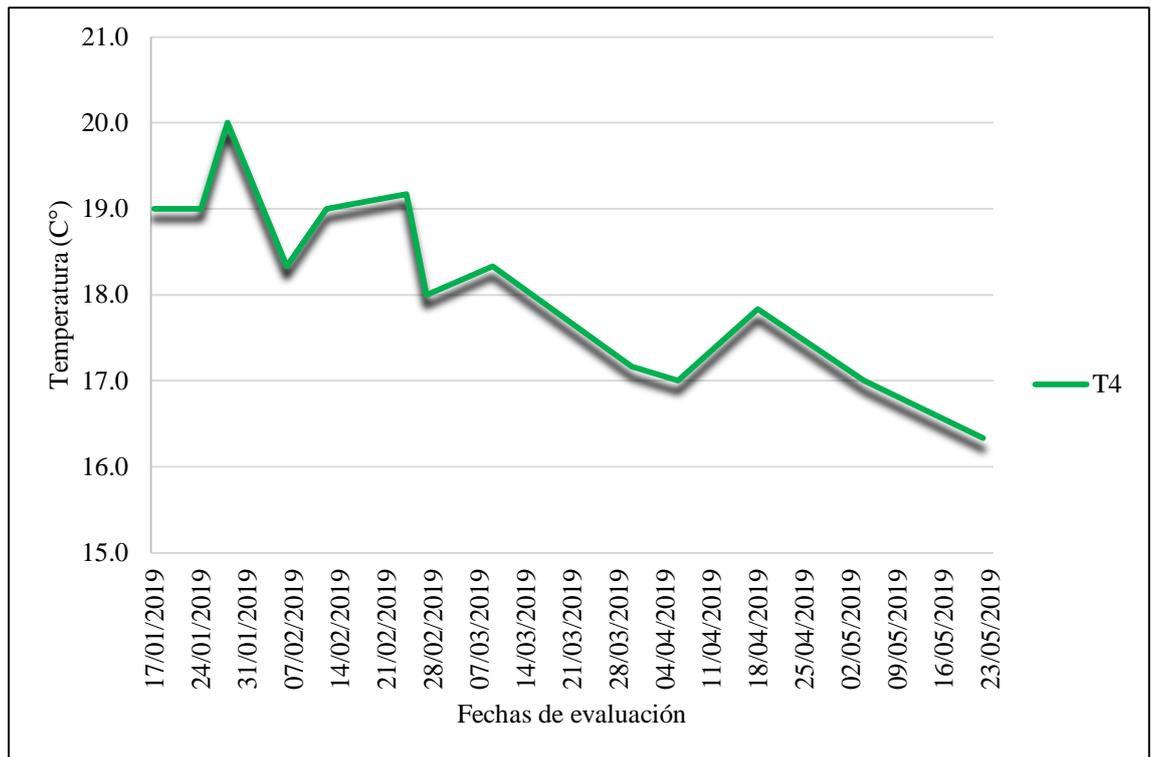


Figura 20. Variación de la temperatura (°C) en el tratamiento T4

El análisis de la varianza realizado (tabla 21) indica que existe diferencias significativas, dado que el valor de significación (p-valor = 0.0395) es menor a 0.05, esto significa que existen diferencias reales en la temperatura registrada de los cuatro tratamientos durante el proceso de lombricompostaje. El coeficiente de variación es de 0.64% lo cual nos indica que los datos obtenidos son homogéneos dando confiabilidad a los resultados.

Tabla 21. Análisis de varianza para la temperatura del proceso de lombricompostaje

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F	p-valor
Modelo	8.5E-04	3	2.8E-04	4.50	0.0395
Tratamientos	8.5E-04	3	2.8E-04	4.50	0.0395
Error	5.0E-04	8	6.3E-05		
Total	1.4E-03	11			

CV = 0.64 %

La prueba de Tukey (tabla 22) con un nivel de significación al 5% no establece diferencias significativas entre las medias de los cuatro tratamientos, la letra A indica que las medias no son significativamente diferentes.

Tabla 22. Prueba de Tukey para la temperatura del proceso de lombricompostaje

Tratamientos	Medias	N	E.E.	
T1	17.10	3	0.19	A
T3	17.62	3	0.19	A
T4	17.93	3	0.19	A
T2	17.93	3	0.19	A

4.2.4 Humedad del proceso de lombricompostaje

La humedad es un factor muy importante para lograr un adecuado proceso de lombricompostaje pues debe estar entre el 70% y 80%, si la humedad es superior al 85% las lombrices entran en un período de latencia afectando su reproducción y la producción de lombricompost, además la excesiva humedad puede producir condiciones anaerobias y generar lixiviados. Debajo de 70% de humedad se dificulta la supervivencia de la población ya que necesitan un medio húmedo tanto para moverse como para ingerir el alimento, y cuando la humedad es inferior al 55 % las lombrices pueden morir.

Los valores de humedad registrados se pueden ver en el anexo 7.6 y en resumen en las figuras 21-24, la humedad registrada tuvo una variación entre el 50% y el 85% además de una marcada fluctuación presentando picos bajos y altos en todos los tratamientos hasta al final del proceso. Aunque no se mantuvo una humedad constante del 80%, esta si estuvo en el rango adecuado para el desarrollo de las lombrices.

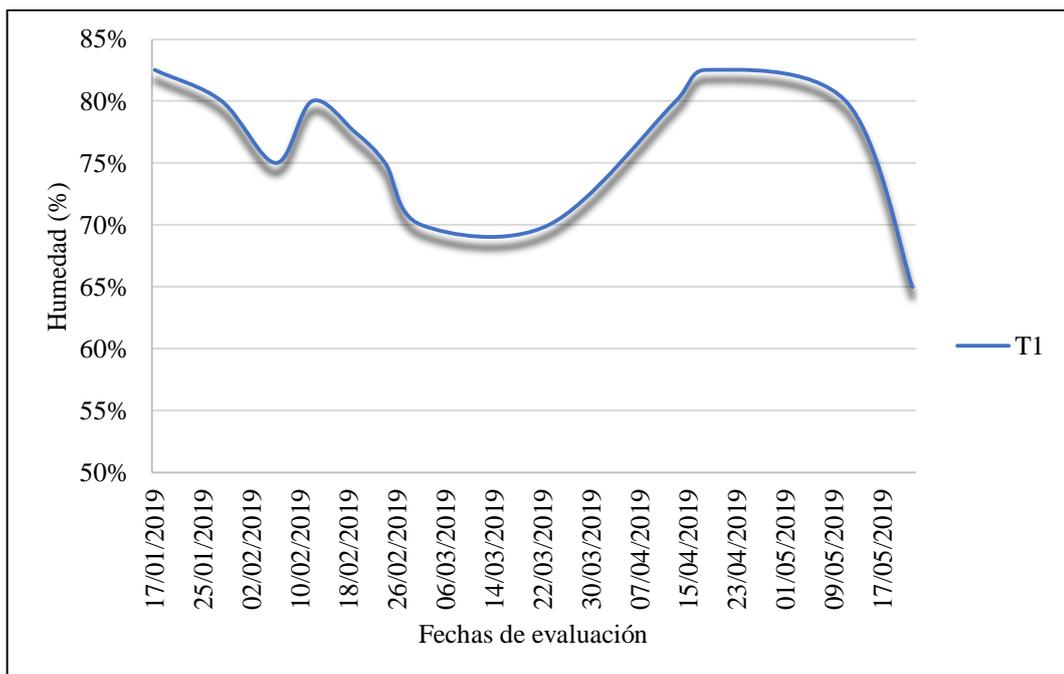


Figura 21. Variación de la humedad en el tratamiento T1 durante el proceso de lombricompostaje

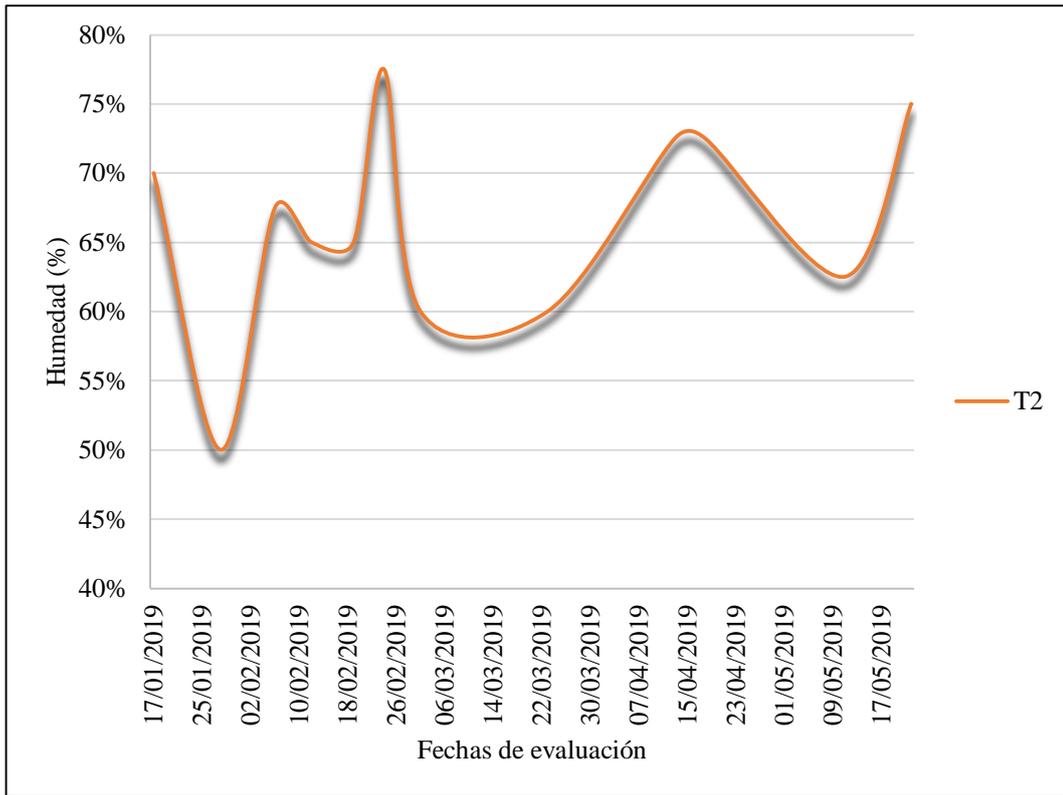


Figura 22. Variación de la humedad en el tratamiento T2 durante el proceso de lombricompostaje

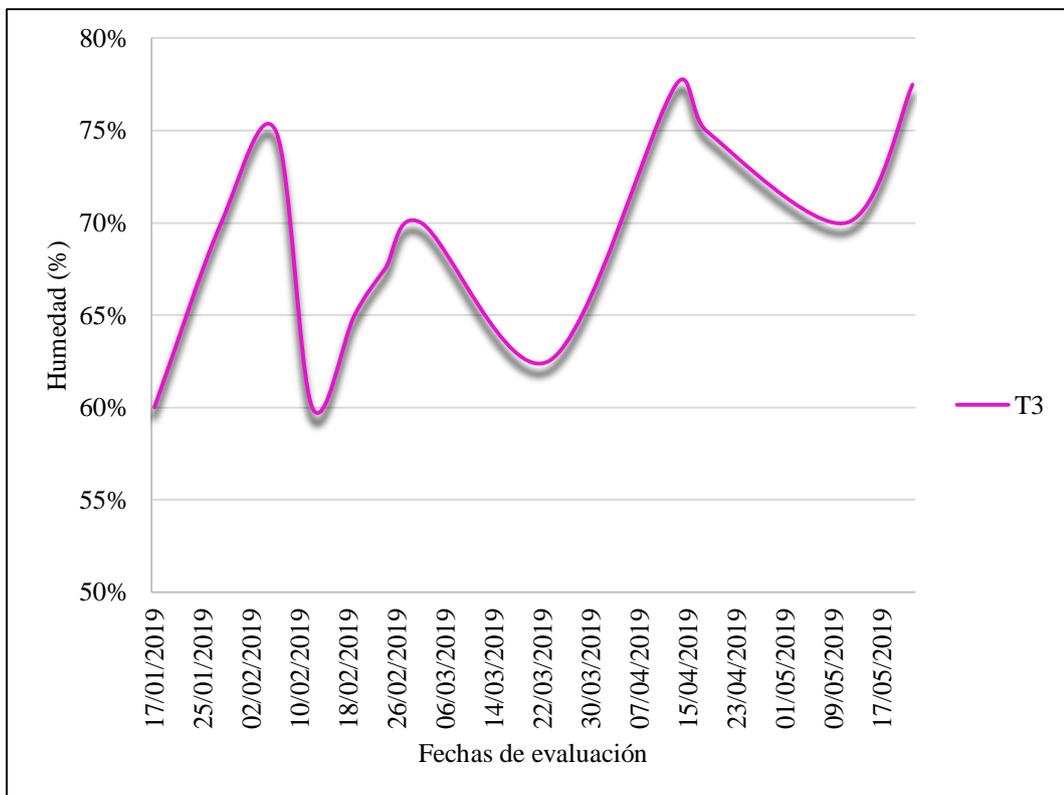


Figura 23. Variación de la humedad en el tratamiento T3 durante el proceso de lombricompostaje

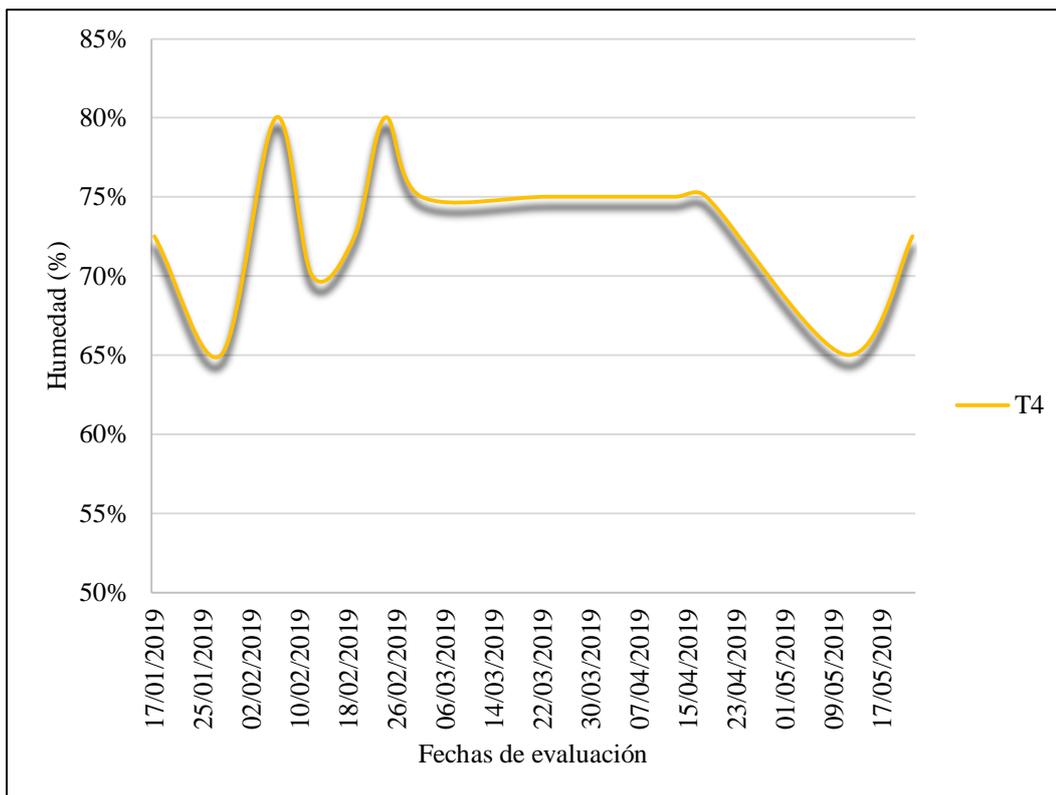


Figura 24. Variación de la humedad en el tratamiento T4 durante el proceso de lombricompostaje

Respecto al análisis de la varianza, en la tabla 23 se observa que no existe diferencias estadísticamente significativas a una confianza del 0.05, esto significa que no existen diferencias reales en el contenido de humedad de los cuatro tratamientos durante el proceso de lombricompostaje. El coeficiente de variación es de 2.24% el cual indica que los datos obtenidos son homogéneos dando confiabilidad a los resultados.

Tabla 23. Análisis de varianza de la humedad del proceso de lombricompostaje

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F	p-valor
Modelo	0.01	3	1.7E-03	0.99	0.4465
Tratamientos	0.01	3	1.7E-03	0.99	0.4465
Error	0.01	8	1.7E-03		
Total	0.02	11			

CV = 2.24 %

4.2.5 Análisis del color del lombricompost

Según la FAO (2009), el color del suelo refleja la composición, así como las condiciones pasadas y presentes de oxidación-reducción del suelo. Está determinado generalmente por el revestimiento de partículas muy finas de materia orgánica

humificada (oscuro), óxidos de hierro (amarillo, pardo, anaranjado y rojo), óxidos de manganeso (negro) y otros. Por ello para determinar si el proceso de lombricompostaje se desarrolló correctamente y las lombrices degradaron el lodo residual hasta obtener un abono orgánico (lombricompost) se hizo el análisis del color comparándolo con la carta 10YR de la tabla Munsell, los datos obtenidos de esta medición se presentan en la tabla 24 donde se puede apreciar que en la comparación de la muestra en seco los únicos tratamientos que coinciden con el color del humus (10YR 2/1) son el T1R1, T2R2 y T4R2 a los cuales les corresponde un color negro de intensidad 2 y pureza 1; sin embargo, en el caso de la muestra húmeda adicionalmente los tratamientos T1R2, T3R1 y T3R2 también presentan un color negro de intensidad 2 y pureza 1 correspondiente al humus.

Tal como se puede ver existe una clara diferencia en la comparación del color en húmedo y en seco de los tratamientos, en las comparaciones en húmedo se observa un tono más oscuro que la comparación en seco, esto debido a la adición de agua la cual hace que se oscurezca el suelo, ya que el agua absorbe más cantidad de radiación que el aire al ser atravesada por la luz reflejada por el suelo. También se debería a la presencia de materia orgánica la cual cambia de volumen al hidratarse y modifica su absorción luminosa. Es importante señalar que el tipo de sustrato utilizado en el proceso de lombricompostaje condiciona su color final, como en este caso con el estiércol de cuy se obtuvo un lombricompost de color marrón muy oscuro (10YR 2/2).

Tabla 24. Color del lombricompost obtenido según tabla Munsell.

Tratamientos	Color en seco	Descripción	Color en húmedo	Descripción
T1R1	10YR 2/1	Color negro (Humus)	10YR 2/1	Color negro (Humus)
T1R2	10YR 2/2	Marrón muy oscuro	10YR 2/1	Color negro (Humus)
T1R3	10YR 2/2	Marrón muy oscuro	10YR 2/2	Marrón muy oscuro
T2R1	10YR 2/2	Marrón muy oscuro	10YR 2/2	Marrón muy oscuro
T2R2	10YR 2/1	Color negro (Humus)	10YR 2/1	Color negro (Humus)
T2R3	10YR 2/2	Marrón muy oscuro	10YR 2/2	Marrón muy oscuro
T3R1	10YR 2/2	Marrón muy oscuro	10YR 2/1	Color negro (Humus)
T3R2	10YR 2/2	Marrón muy oscuro	10YR 2/1	Color negro (Humus)
T3R3	10YR 2/2	Marrón muy oscuro	10YR 2/2	Marrón muy oscuro
T4R1	10YR 2/2	Marrón muy oscuro	10YR 2/2	Marrón muy oscuro
T4R2	10YR 2/1	Color negro (Humus)	10YR 2/1	Color negro (Humus)
T4R3	10YR 2/2	Marrón muy oscuro	10YR 2/2	Marrón muy oscuro

4.3 Calidad del lombricompost de acuerdo al D.S. N°015-2017-VIVIENDA

Para determinar la calidad del lombricompost obtenido a partir de lodo residual se comparó con los parámetros de estabilización de acuerdo al Decreto Supremo N°015-2017-Vivienda para su aprovechamiento como biosólido clase A. Los informes del análisis de laboratorio de los parámetros correspondientes se presentan en los anexos 7.7, 7.8 y 7.9, y en la tabla 25 se puede observar en resumen estos resultados además de la preprueba realizada al lodo residual fresco.

Tabla 25. Concentración de los parámetros analizados en el lombricompost obtenido en cada tratamiento

Parámetros	Unidades	Preprueba	T1	T2	T3	T4
Materia orgánica	%	40.7	30.52	24.40	35.46	21.67
Nitrógeno	%	9.8	1.63	1.12	1.72	1.12
Ar	mg/Kg	5.16	8.33	7.67	7.00	5.67
Cd	mg/Kg	0.55	0.98	0.68	0.76	0.50
Cr	mg/Kg	52.03	20.00	17.00	15.67	14.33
Cu	mg/Kg	9.89	81.87	65.97	68.27	40.77
Hg	mg/Kg	<0.26	1.19	0.79	1.26	0.28
Ni	mg/Kg	5.36	12.10	9.13	9.63	8.07
Pb	mg/Kg	13.57	25.73	22.63	20.33	19.70
Zn	mg/Kg	458.65	797.00	530.67	620.67	266.33
Coliformes termotolerantes	NMP /1g	24000000	0.37	9.40	21.03	2.93
Huevos de helmintos (<i>Trichuris sp</i>)	Huevos/4g	0	33.33	60.00	0.00	60.00

4.3.1 Concentración de Materia Orgánica (MO)

La Materia Orgánica tiene un papel clave en la fertilidad de los suelos como fuente de nutrientes para las plantas y fuente de energía para los microorganismos, y a través de funciones de tipo biológico, químico y físico entre las que se incluyen cambio iónico, oxidación-reducción, capacidad tampón, complejación de metales y adsorción de compuestos orgánicos naturales y/o xenobióticos (Lal citado por Sales 2006).

La concentración de la materia orgánica de los tratamientos se presenta en la figura 25 donde la mayor concentración es de 35.46% en el tratamiento T3 y la menor es de 21.67% en el tratamiento T4. Esta variación en los valores se debería al tipo de sustrato utilizado tal como se puede observar el porcentaje más alto

corresponde a la mezcla de lodo y estiércol de cuy, y los valores más bajos corresponden a las mezclas con compost, estos datos concuerdan con los obtenidos por Mamani *et al.* citado por Sánchez (2018) donde señala que al usar estiércol se obtiene mayor cantidad de materia orgánica que al usar residuos vegetales, pero por otro lado una alta concentración de materia orgánica indicaría que el material es fresco y consecuentemente la actividad de la lombriz no ha tenido lugar. Así mismo estos valores concuerdan con el D.S.N°015-2017-VIVIENDA que indica que se debe tener valores por debajo del 60%.

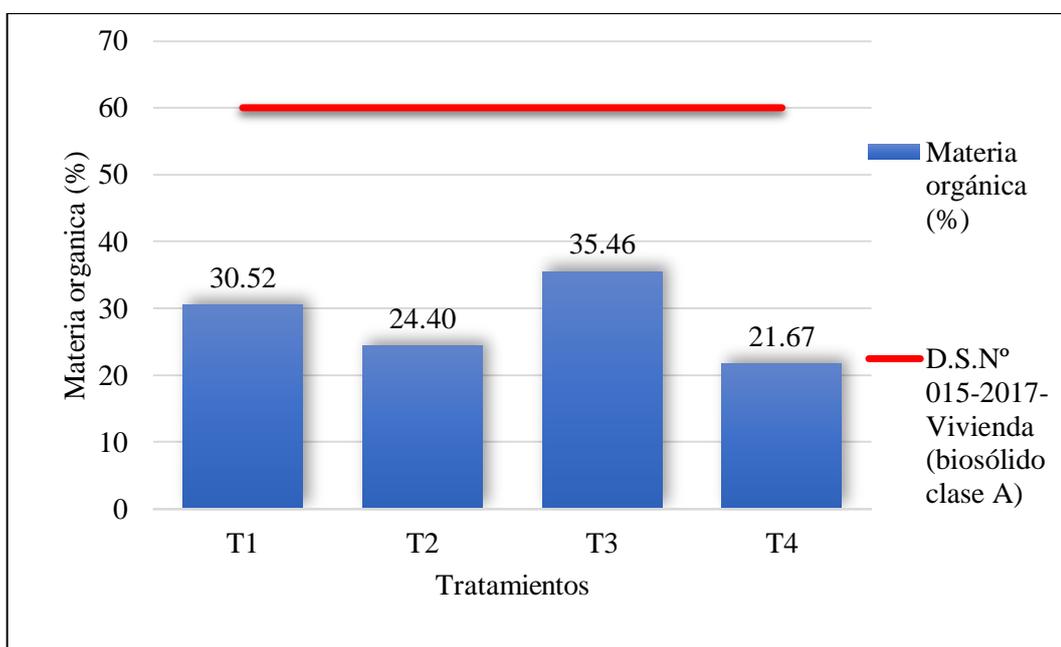


Figura 25. Concentración de materia orgánica en el lombricompost

El análisis de varianza realizado (tabla 26) indica que existe diferencias significativas, dado que el valor de significación (p-valor = 0.0018) es menor al 0.05, esto significa que existen diferencias reales en la concentración de materia orgánica en el lombricompost obtenido del proceso de lombricompostaje. El coeficiente de variación es de 3.14% el cual indica que los datos obtenidos son homogéneos dando confiabilidad a los resultados.

Tabla 26. Análisis de varianza de la concentración de materia orgánica en el lombricompost

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	de Grados de libertad	Cuadrado Medio	F	p-valor
Modelo	0.08	3	0.03	13.26	0.0018
Tratamientos	0.08	3	0.03	13.26	0.0018
Error	0.02	8	2.0E-03		
Total	0.10	11			

CV= 3.14 %

La prueba de Tukey (tabla 27) con un nivel de significación al 5% establece tres grupos de significación, donde los tratamientos T3 y T1 presentan medias semejantes (A), los tratamientos T1 y T2 también presentan medias semejantes (B) y por último los tratamientos T2 y T4 presentan medias semejantes (C). El lombricompost obtenido de los tratamientos del grupo A (T3 y T1) obtuvieron el mejor efecto de la aplicación del lombricompostaje, con una mayor concentración de materia orgánica: 35.46% y 30.52% respectivamente.

Tabla 27. Prueba de Tukey para las concentraciones de materia orgánica en el lombricompost

Tratamientos	Medias	N	E.E.			
T3	1.55 (35.46)*	3	0.03	A		
T1	1.48 (30.52)*	3	0.03	A	B	
T2	1.39 (24.40)*	3	0.03		B	C
T4	1.34 (21.67)*	3	0.03			C

* Datos reales sin transformar

4.3.2 Nitrógeno total

El nitrógeno es el elemento más indicado para valorar la calidad de un abono orgánico, porque presenta altas posibilidades de ocasionar daño ambiental por pérdidas de amoníaco (NH_3^+) por volatilización, de nitrato (NO_3^-) por lixiviación y por la presencia de emisiones de óxido nitroso (N_2O) (Figuroa *et al*, 2012).

De acuerdo al decreto supremo N°015-2017-Vivienda para el aprovechamiento de los lodos como biosólido clase A se debe analizar la concentración de nitrógeno total de manera que en la aplicación no se exceda la tasa máxima de nutrientes en el suelo y así prevenir el exceso de Nitrógeno y sus derivados en las fuentes de agua. Los valores de nitrógeno se observan en la figura 26 donde la concentración más alta es de 1.72% en el tratamiento T3 y la concentración más baja es de 1.12 % en los tratamientos T2 y T4. Tal como se puede observar

las concentraciones más altas corresponden a la mezcla de lodo más estiércol de cuy y solo lodo, por otro lado, los valores más bajos corresponden a las mezclas con compost; esta variación del % de nitrógeno se debería al tipo de sustrato y a la adaptación de la lombriz ya que según Mamani *et al.* citado por Sánchez (2018) las lombrices asimilan la mayor parte de este elemento para realizar sus procesos fisiológicos lo cual disminuye su concentración en el producto final.

La concentración de nitrógeno total obtenido en todos los tratamientos es adecuada para su uso como abono orgánico de acuerdo a la norma chilena de compost (NCh 2880), la cual indica que los valores de nitrógeno deben ser mayor o igual a 0.5 %.

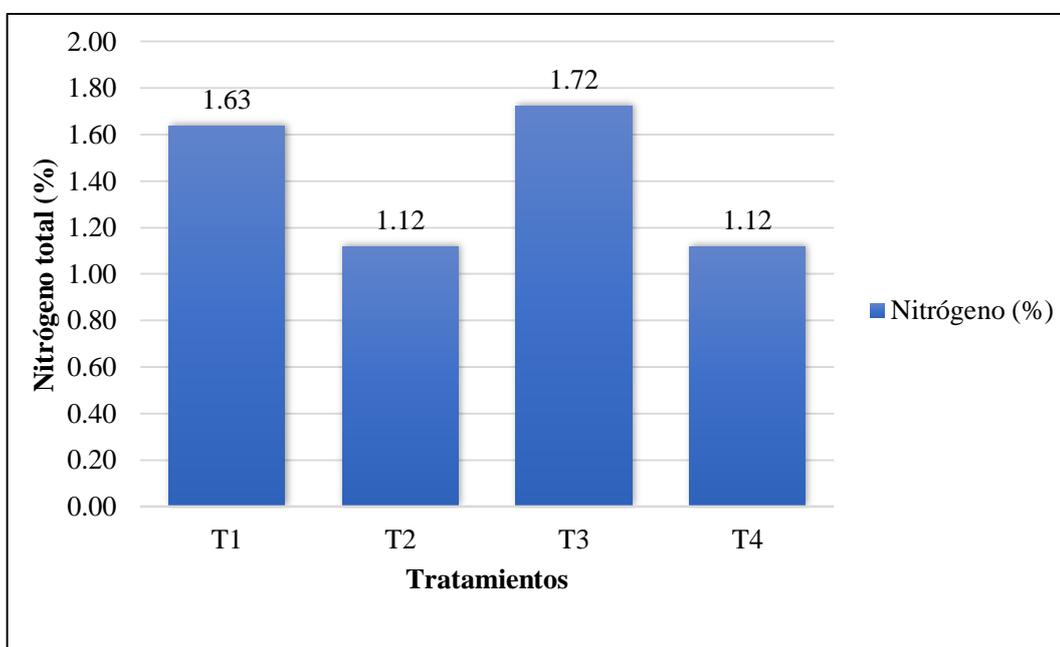


Figura 26. Concentración de nitrógeno en el lombricompost

Es importante mencionar que el valor de nitrógeno registrado en la preprueba es más alto a los obtenidos en el lombricompost, esta disminución concuerda con lo que menciona Moreno y Moral (2008), que la concentración de nitrógeno en el vermicompost es variable observándose tanto aumentos como disminuciones, los descensos se han registrado en residuos que inicialmente presentaban dosis altas de este nutriente y se han atribuido al consumo de las lombrices, a procesos de desnitrificación, pérdidas por volatilización en forma de amonio, así como por lixiviación en el drenaje del sistema de lombricompostaje.

En la tabla 28 se muestra el análisis de varianza donde se observa que existe diferencias significativas, dado que el valor de significación (p-valor= 0.0022) es menor al 0.05, esto significa que existen diferencias reales en la concentración de nitrógeno en el humus obtenido del proceso de lombricompostaje. El coeficiente de variación es de 5.83% el cual indica que los datos obtenidos son homogéneos dando confiabilidad a los resultados.

Tabla 28. Análisis de varianza de la concentración de nitrógeno en el lombricompost

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F	p-valor
Modelo	0.18	3	0.06	12.53	0.0022
Tratamientos	0.18	3	0.06	12.53	0.0022
Error	0.04	8	4.7E-03		
Total	0.21	11			

CV = 5.83%

La prueba de tukey (tabla 29) realizada con un nivel de significación al 5% establece dos grupos de significación, donde los tratamientos T3 y T1 presentan medias semejantes (A) con un mayor contenido de nitrógeno que los tratamientos T4 y T2 que tienen medias iguales (B). El mejor efecto de la concentración de nitrógeno en el humus obtenido del proceso de lombricompostaje se obtuvo en el grupo A (T3 y T1) con 1,72% y 1.63% respectivamente; cabe precisar que estos tratamientos corresponden al lodo y a la mezcla de lodo con estiércol de cuy.

Tabla 29. Prueba de Tukey para la concentración de nitrógeno en el lombricompost

Tratamientos	Medias	N	E.E.	
T3	1.31 (1.72)*	3	0.04	A
T1	1.28 (1.63)*	3	0.04	A
T4	1.05 (1.12)*	3	0.04	B
T2	1.05 (1.12)*	3	0.04	B

* Datos reales sin transformar

4.3.3 Metales pesados

Según la FAO (2013) los metales pesados constituyen un grupo de elementos químicos que se convierten en no deseados, porque no se descomponen (solo cambian de estado de oxidación), tienen efectos negativos en la salud humana, y un impacto en la cadena trófica a nivel terrestre y acuático. También señala que, aunque se encuentran en la naturaleza, cuando la concentración supera límites definidos, puede haber problemas de acumulación en tejidos vegetales (fruta, raíz)

o en órganos vitales (hígado, cerebro, tejido graso) con efectos generalmente a largo plazo (crónicos).

La procedencia de estos metales pesados en los lodos residuales se asociaría a la alimentación de la población celendina, diversos estudios señalan su presencia en productos de origen vegetal (cereales, arroz, trigo, raíces comestibles) y en alimentos de origen animal (pescados, crustáceos y moluscos). Hardisson *et al* (2004) señala que un adulto sano no expuesto al plomo ingiere a diario entre 0,3 a 0,5 mg de este metal, el 80% es eliminado por el riñón, sin embargo, si la ingesta es superior a 0,6 mg/día el plomo se acumula y puede provocar enfermedad. Otra fuente de procedencia estaría relacionado a los residuos generados en talleres mecánicos y a los productos utilizados en la limpieza domésticas.

Las concentraciones de metales pesados registrados en el lombricompost obtenido no exceden a los valores indicados en el Decreto Supremo N°015-2017-VIVIENDA, registrándose valores muy bajos en todos los tratamientos por lo que el lombricompost obtenido es de buena calidad y cumple con lo establecido para su aprovechamiento en agricultura como biosólido clase A. Así mismo cabe mencionar que la concentración de estos metales en la muestra de lodo residual fresco tampoco excedía los valores de toxicidad indicados en el Decreto Supremo, a continuación, se describe los valores obtenidos de metales pesados:

- **Arsénico**

Para una mejor apreciación de la concentración de arsénico en la figura 27 se puede observar que los valores están en el eje primario y el valor límite indicado en el Decreto Supremo (40 mg/kg) en el eje secundario. El valor más alto fue de 8.33 mg/kg en el tratamiento T1 muy por debajo del valor límite por lo que es adecuado para su aprovechamiento en agricultura como biosólido clase A. También se evidencia que la mayor concentración corresponde al tratamiento solo con lodo residual y en los tratamientos con mezclas de lodo y fuentes orgánicas (compost y estiércol de cuy) la concentración es menor.

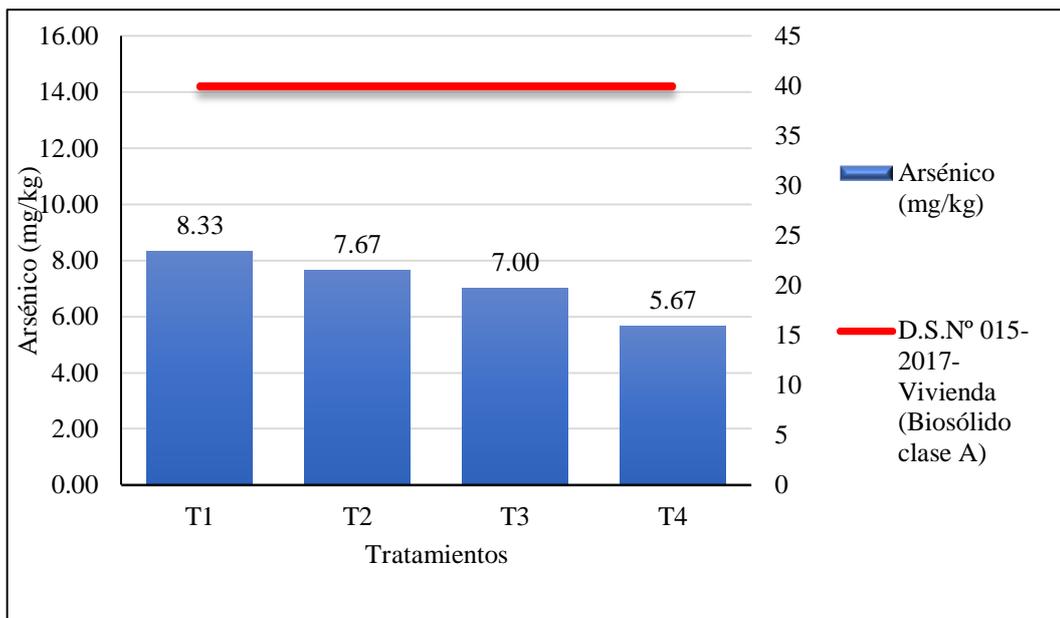


Figura 27. Concentración de Arsénico en el lombricompost

El análisis de la varianza realizado (tabla 30) indica que existe diferencias significativas, dado que el valor de significación (p -valor= 0.0232) es menor al 0.05, esto significa que existen diferencias reales en la concentración de arsénico en el lombricompost. El coeficiente de variación es de 6.20% el cual indica que los datos obtenidos son homogéneos dando confiabilidad a los resultados.

Tabla 30. Análisis de varianza de la concentración de arsénico en el lombricompost

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F	p-valor
Modelo	0.05	3	0.02	5.57	0.0232
Tratamientos	0.05	3	0.02	5.57	0.0232
Error	0.02	8	2.8E-03		
Total	0.07	11			

CV= 6.20%

La prueba de tukey (tabla 31) realizada a un nivel de significación del 5% establece dos grupos de significación, donde los tratamientos T1, T2 y T3 poseen medias semejantes (A) y los tratamientos T2, T3 y T4 también poseen medias semejantes (B). El mejor efecto de la concentración de arsénico en el lombricompost se obtuvo en el rango B con la concentración más baja de 5.67 mg/kg en el tratamiento T4; cabe precisar que corresponde a la mezcla de los sustratos: compost, estiércol de cuy y lodo residual.

Tabla 31. Prueba de Tukey para la concentración de arsénico en el lombricompost

Tratamientos	Medias	N	E.E.		
T1	0.92 (8.33)*	3	0.03	A	
T2	0.88 (7.67)*	3	0.03	A	B
T3	0.84 (7.00)*	3	0.03	A	B
T4	0.75 (5.67)*	3	0.03		B

* Datos reales sin transformar

- **Cadmio**

Para una mejor apreciación de la concentración de cadmio en la figura 28 se puede observar que los valores están en el eje primario y el valor máximo indicado en el decreto supremo (40 mg/kg) en el eje secundario. El valor más alto registrado fue de 1 mg/kg en el tratamiento T1 muy por debajo del valor límite por lo que es adecuado para su reaprovechamiento en agricultura como biosólido clase A. Así mismo se evidencia que la mayor concentración corresponde al tratamiento solo con lodo residual y en los demás tratamientos donde hubo mezclas con compost y estiércol de cuy la concentración es menor.

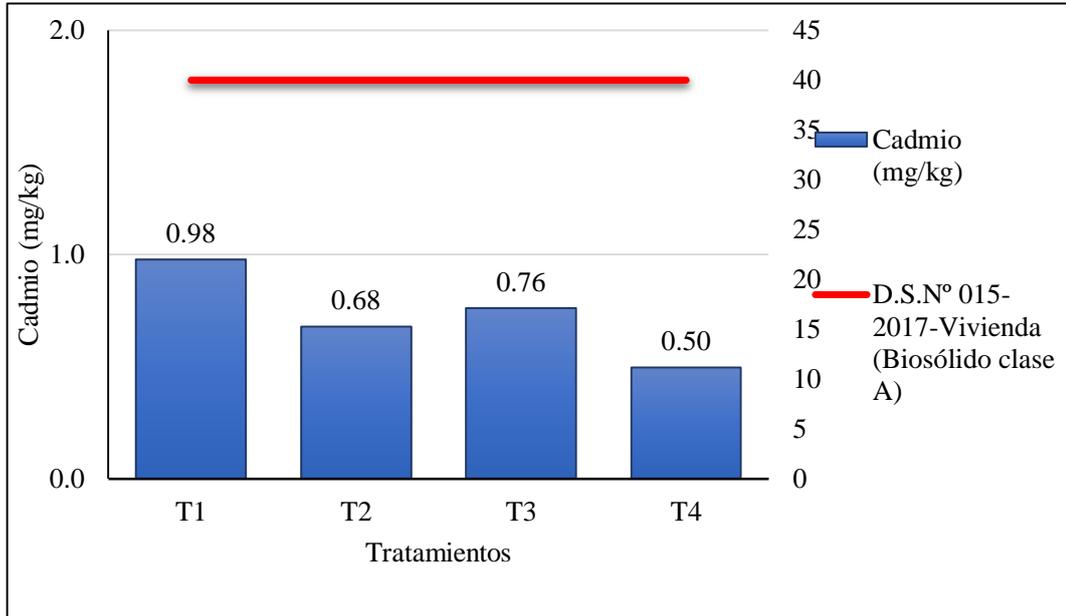


Figura 28. Concentración de cadmio en el lombricompost

El análisis de varianza realizado (tabla 32) indica que existe diferencias significativas, dado que el valor de significación (p-valor= 0.0015) es menor al 0.05, esto significa que existen diferencias reales en la concentración de

cadmio en el lombricompost. El coeficiente de variación es de 6.86% el cual indica que los datos obtenidos son regularmente homogéneos dando confiabilidad a los resultados.

Tabla 32. Análisis de varianza de la concentración de cadmio en el lombricompost

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F	p-valor
Modelo	0.39	3	0.13	13.89	0.0015
Tratamientos	0.39	3	0.13	13.89	0.0015
Error	0.08	8	0.01		
Total	0.47	11			

CV= 6.86%

La prueba de tukey (tabla 33) realizada con un nivel de significación al 5% establece tres grupos de significación, donde los tratamientos T1 y T3 presentan medias semejantes (A), los tratamientos T3 y T2 también presentan medias semejantes (B) y por último los tratamientos T2 y T4 también presentan medias semejantes (C). El mejor efecto del contenido de cadmio en el lombricompost se obtuvo en el grupo C con la concentración más baja de 0.05 mg/kg en el tratamiento T4; cabe precisar que corresponde a la mezcla de los sustratos estiércol de cuy, compost y lodo residual.

Tabla 33. Prueba de Tukey para la concentración de cadmio en el lombricompost

Tratamientos	Medias	N	E.E.			
T1	0.99 (0.98)*	3	0.03	A		
T3	0.87 (0.76)*	3	0.03	A	B	
T2	0.82 (0.68)*	3	0.03		B	C
T4	0.70 (0.50)*	3	0.03			C

* Datos reales sin transformar

- **Cromo**

Para una mejor apreciación de la concentración de cromo en la figura 29 se puede observar que los valores están en el eje primario y el valor límite indicado en el decreto supremo (1200 mg/kg) en el eje secundario. El valor más alto registrado fue de 20 mg/kg en el tratamiento T1 muy por debajo del valor límite por lo que es adecuado para su uso en agricultura como biosólido clase A. Así mismo se evidencia que la mayor concentración corresponde al tratamiento solo con lodo residual y en los demás tratamientos donde hubo mezclas con compost y estiércol de cuy la concentración es menor.

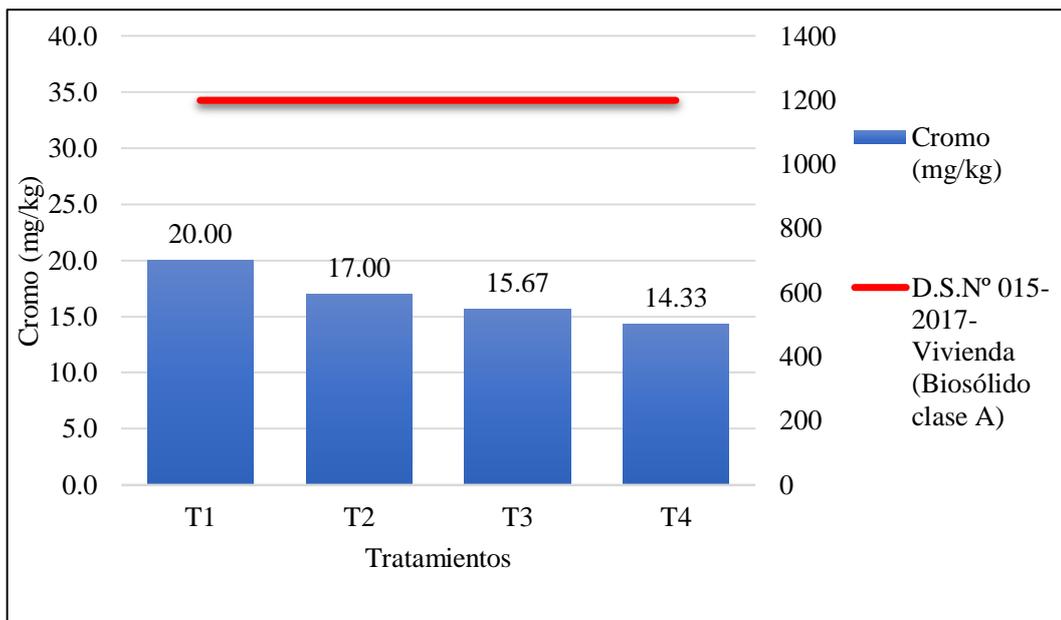


Figura 29. Concentración de cromo en el lombricompost

El análisis de la varianza realizado (tabla 34) indica que existe diferencias significativas, dado que el valor de significación (p-valor= 0.0124) es menor al 0.05, esto significa que existen diferencias reales en la concentración de cromo en el lombricompost. El coeficiente de variación es de 3.32% el cual indica que los datos obtenidos son homogéneos dando confiabilidad a los resultados.

Tabla 34. Análisis de varianza de la concentración de cromo en el lombricompost

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F	p-valor
Modelo	0.03	3	0.01	7.04	0.0124
Tratamientos	0.03	3	0.01	7.04	0.0124
Error	0.01	8	1.6E-03		
Total	0.05	11			

CV= 3.32%

La prueba de Tukey (tabla 35) realizada con un nivel de significación al 5% establece dos grupos de significación, donde los tratamientos T1 y T2 presentan medias semejantes (A) y los tratamientos T2, T3 y T4 también presentan medias semejantes (B). El mejor efecto del contenido de cromo en el lombricompost se obtuvo en el rango B con la concentración más baja de 14.33 mg/kg en el tratamiento T4; cabe precisar que corresponde a la mezcla de lodo, compost y estiércol de cuy.

Tabla 35. Prueba de Tukey para la concentración de cromo en el lombricompost

Tratamientos	Medias	N	E.E.		
T1	1.30 (20.00)*	3	0.02	A	
T2	1.23 (17.00)*	3	0.02	A	B
T3	1.19 (15.67)*	3	0.02		B
T4	1.16 (14.33)*	3	0.02		B

* Datos reales sin transformar

- **Cobre**

Para una mejor apreciación de la concentración de cobre en la figura 30 se puede observar que los valores están en el eje primario y el valor límite indicado en el decreto supremo (1500 mg/kg) en el eje secundario. El valor más alto registrado fue de 83.7 mg/kg en el tratamiento T1 muy por debajo del valor límite por lo que es adecuado para su uso en agricultura como biosólido clase A. Así mismo se evidencia que la mayor concentración corresponde al tratamiento solo con lodo residual y en los demás tratamientos donde hubo mezclas con compost y estiércol de cuy la concentración es menor.

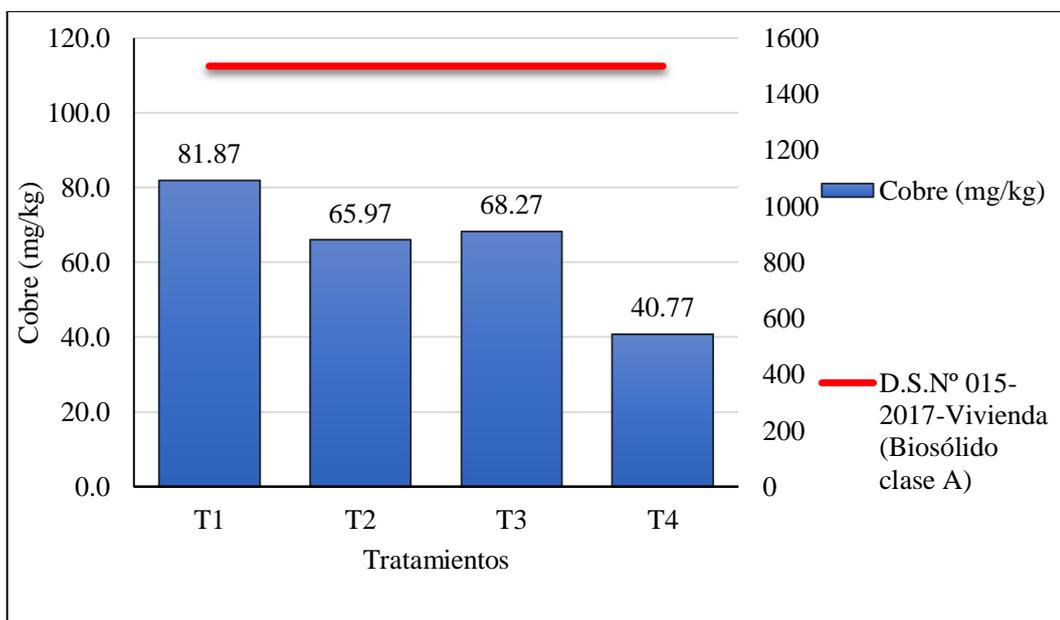


Figura 30. Concentración de cobre en el lombricompost

El análisis de la varianza (tabla 36) indica que existe diferencias significativas, dado que el valor de significación (p-valor = 0.0011) es menor al 0.05, esto significa que existen diferencias reales en la concentración de cobre en el lombricompost. El coeficiente de variación es de 3.17% el cual indica que los datos obtenidos son homogéneos dando confiabilidad a los resultados.

Tabla 36. Análisis de varianza de la concentración de cobre en el lombricompost

Fuente de Variación	de Suma Cuadrados	de Grados de libertad	de Cuadrado Medio	F	p-valor
Modelo	0.15	3	0.05	15.40	0.0011
Tratamientos	0.15	3	0.05	15.40	0.0011
Error	0.03	8	3.2E-03		
Total	0.17	11			

CV= 3.17%

La prueba de Tukey (tabla 37) realizada con un nivel de significación al 5% establece dos rangos de significación, donde los tratamientos T1, T3 y T2 poseen medias semejantes (A) a diferencia del tratamiento T4 (B) que presenta la media mas baja en la concentración de cobre; lo que indica que tuvo un mejor efecto de la aplicación de lombricompostaje. Asi mismo cabe señalar que este tratamiento corresponde a la mezcla de lodo, compost y estiércol de cuy.

Tabla 37. Prueba de Tukey para la concentración de cobre en el lombricompost

Tratamientos	Medias	N	E.E.		
T1	1.91 (81.87)*	3	0.03	A	
T3	1.83 (68.27)*	3	0.03	A	
T2	1.81 (65.97)*	3	0.03	A	
T4	1.61 (40.77)*	3	0.03		B

* Datos reales sin transformar

- **Plomo**

Para una mejor apreciación de la concentración de plomo en la figura 31 se puede observar que los valores están en el eje primario y el valor límite indicado en el Decreto Supremo (400 mg/kg) en el eje secundario. El valor más alto fue de 25.73 mg/kg en el tratamiento T1 muy por debajo del valor límite por lo que es adecuado para su reaprovechamiento en agricultura como biosólido clase A. Así mismo se evidencia que la mayor concentración corresponde al tratamiento solo con lodo residual y en los demás tratamientos donde hubo mezclas con compost y estiércol de cuy la concentración es menor.

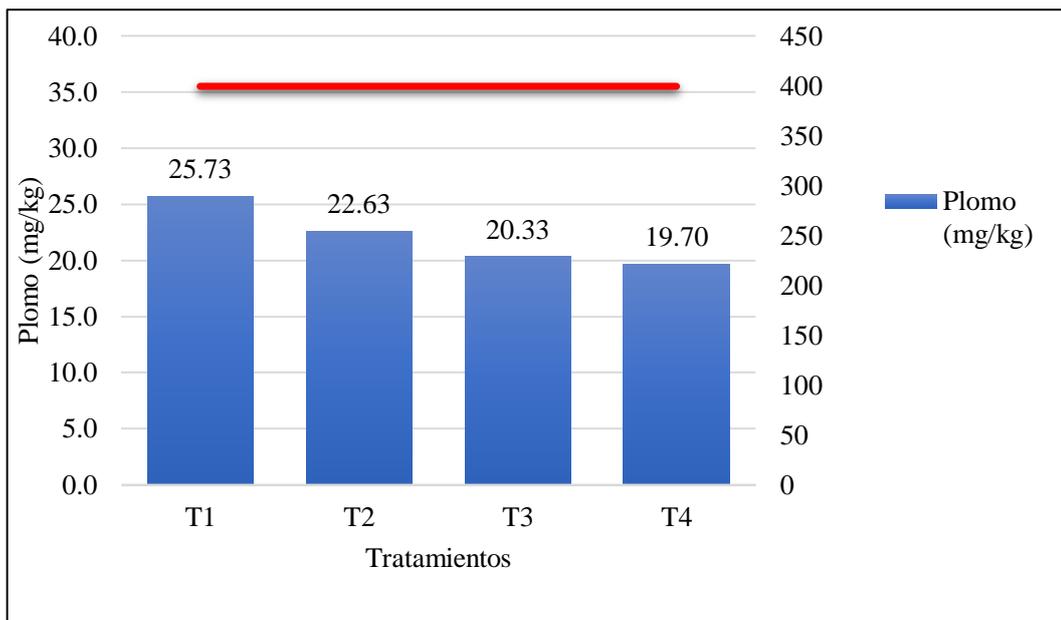


Figura 31. Concentración de plomo en el lombricompost

En el análisis de varianza (tabla 38) se observa que no existe diferencias significativas, dado que el valor de significación (p-valor = 0.1384) es mayor al 0.05, esto significa que no existen diferencias reales en la concentración de plomo en el lombricompost de los cuatro tratamientos. El coeficiente de variación es de 4.47% el cual indica que los datos obtenidos son homogéneos dando confiabilidad a los resultados.

Tabla 38. Análisis de varianza de la concentración de plomo en el lombricompost

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	de Grados de libertad	Cuadrado Medio	F	p-valor
Modelo	0.03	3	0.01	2.45	0.1384
Tratamientos	0.03	3	0.01	2.45	0.1384
Error	0.03	8	3.6E-03		
Total	0.06	11			

CV = 4.47 %

- **Mercurio**

Para una mejor apreciación de la concentración de mercurio en la figura 32 se puede observar que los valores están en el eje primario y el valor límite indicado en el decreto supremo (17 mg/kg) en el eje secundario. El valor más alto registrado fue de 1.26 mg/kg en el tratamiento T3 muy por debajo del valor límite por lo que es adecuado para su reaprovechamiento en agricultura como biosólido clase A. Cabe resaltar que el tratamiento T3 corresponde a la

mezcla de lodo residual más estiércol de cuy y respecto a los otros tratamientos la concentración fue menor.

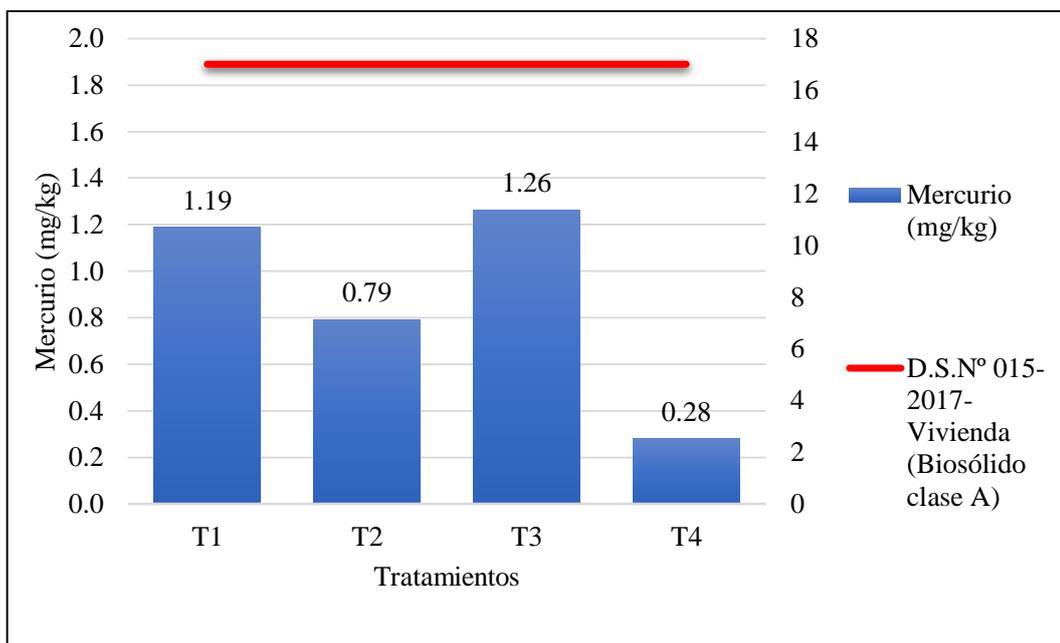


Figura 32. Concentración de mercurio en el lombricompost

El análisis de varianza (tabla 39) indica que no existe diferencias significativas, dado que el valor de significación (p-valor = 0.0634) es mayor al 0.05, esto significa que no existen diferencias reales en la concentración de mercurio en el lombricompost de los cuatro tratamientos. El coeficiente de variación es de 26.52% el cual indica que los datos obtenidos son variables y no hay precisión, ya que están dispersos respecto a la media; esto se debería a algún error relativo.

Tabla 39. Análisis de varianza de la concentración de mercurio en el lombricompost

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	de Grados de libertad	Cuadrado Medio	F	p-valor
Modelo	0.61	3	0.20	3.65	0.0634
Tratamientos	0.61	3	0.20	3.65	0.0634
Error	0.45	8	0.06		
Total	1.06	11			

CV = 26.52 %

- **Níquel**

Para una mejor apreciación de la concentración de níquel en la figura 33 se puede observar que los valores están en el eje primario y el valor límite

indicado en el decreto supremo (400 mg/kg) en el eje secundario. El valor más alto fue de 12.40 mg/kg en el tratamiento T1 muy por debajo del valor límite por lo que es adecuado para su reaprovechamiento en agricultura como biosólido clase A. Así mismo se evidencia que la mayor concentración corresponde al tratamiento solo con lodo residual y respecto a los demás tratamientos donde se hizo mezclas de lodo con compost y estiércol de cuy la concentración es menor.

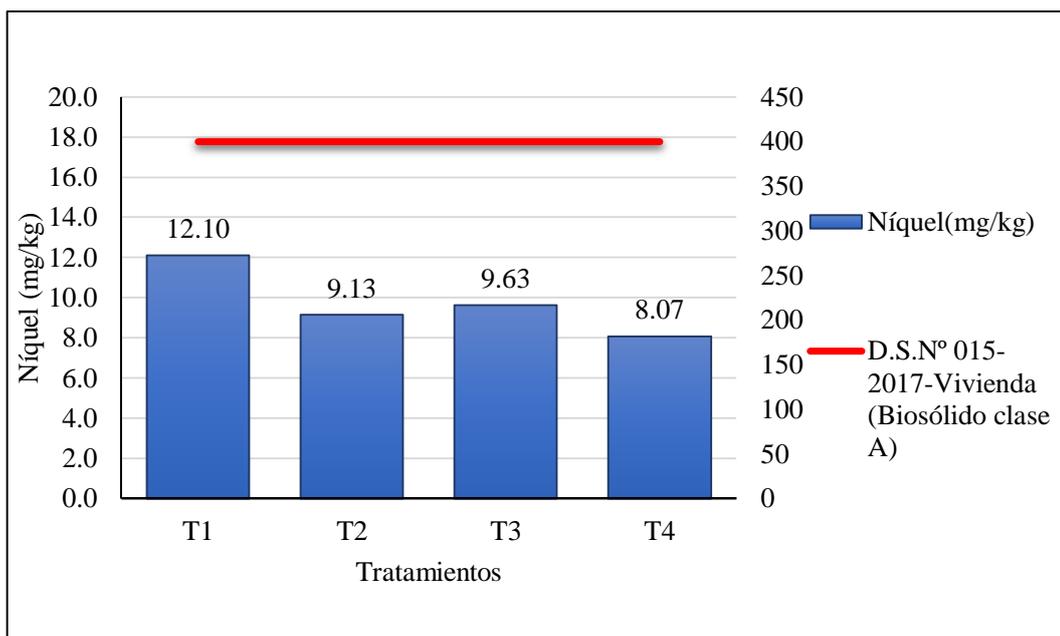


Figura 33. Concentración de níquel en el lombricompost

El análisis de varianza (tabla 40) indica que existe diferencias significativas, dado que el valor de significación (p -valor = 0.0049) es menor al 0.05, esto significa que existen diferencias reales en la concentración de níquel en el lombricompost de los cuatro tratamientos. El coeficiente de variación es de 4.20% el cual indica que los datos obtenidos son homogéneos dando confiabilidad a los resultados.

Tabla 40. Análisis de varianza de la concentración de níquel en el lombricompost

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F	p-valor
Modelo	0.05	3	0.02	9.63	0.0049
Tratamientos	0.05	3	0.02	9.63	0.0049
Error	0.01	8	1.7E-03		
Total	0.06	11			

CV = 4.20 %

La prueba de Tukey (tabla 41) realizada con un nivel de significación al 5% establece dos grupos de significación, donde los tratamientos T1 y T3 presentan medias semejantes (A) y los tratamientos T3, T2 y T4 también poseen medias semejantes (B). Entonces el mejor efecto en el contenido de níquel en el lombricompost se obtuvo en el grupo B con la concentración mas baja de 8.07 mg/kg en el tratamiento T4 que corresponde a las mezclas del lodo con los sustratos compost y estiércol de cuy.

Tabla 41. Prueba de Tukey para la concentración de níquel en el lombricompost

Tratamientos	Medias	N	E.E.		
T1	1.08 (12.10)*	3	0.02	A	
T3	0.98 (9.63)*	3	0.02	A	B
T2	0.96 (9.13)*	3	0.02		B
T4	0.91 (8.07)*	3	0.02		B

* Datos reales sin transformar

- **Zinc**

Para una mejor apreciación de la concentración de zinc en la figura 34 se puede observar que los valores están en el eje primario y el valor límite indicado en el decreto supremo (2400 mg/kg) en el eje secundario. El valor más alto registrado fue de 809.67 mg/kg en el tratamiento T1 muy por debajo del valor límite por lo que es adecuado para su reaprovechamiento en agricultura como biosólido clase A. Así mismo se evidencia que la mayor concentración corresponde al tratamiento solo con lodo residual y respecto a los demás tratamientos donde hubo mezclas con compost y estiércol de cuy la concentración fue menor.

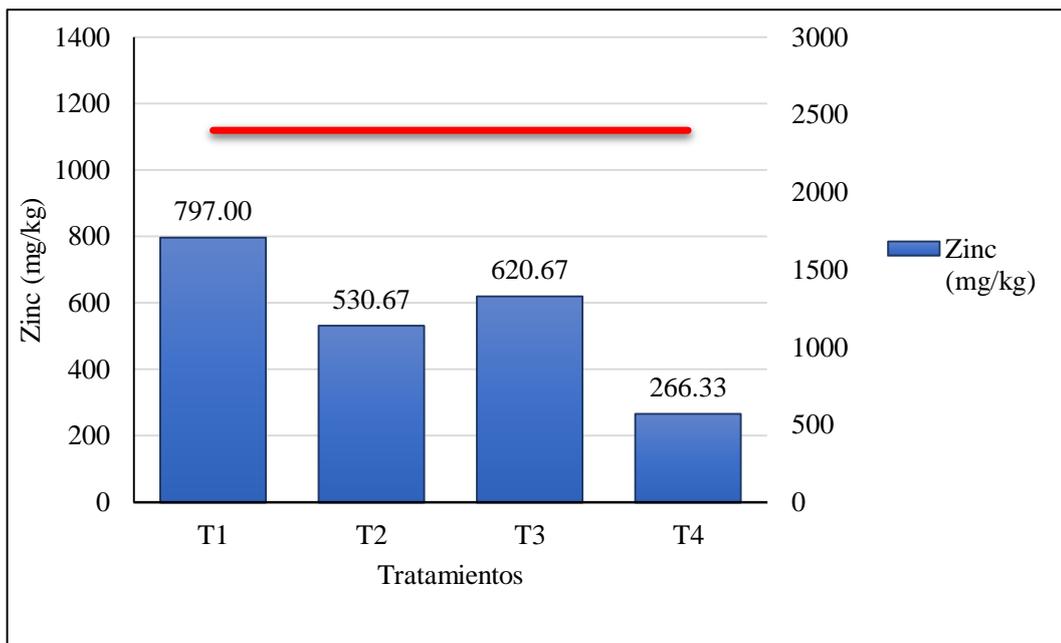


Figura 34. Concentración de zinc el lombricompost

El análisis de la varianza (tabla 42) indica que existe diferencias significativas, dado que el valor de significación (p -valor = 0.0003) es menor al 0.05, esto significa que existen diferencias reales en la concentración de Zinc en el lombricompost obtenido de los cuatro tratamientos. El coeficiente de variación es de 2.70% lo cual nos indica que los datos obtenidos son homogéneos dando confiabilidad a los resultados.

Tabla 42. Análisis de varianza de la concentración de zinc en el lombricompost

Fuente de Variación	de	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F	p-valor
Modelo		0.38	3	0.13	23.50	0.0003
Tratamientos		0.38	3	0.13	23.50	0.0003
Error		0.04	8	0.01		
Total		0.42	11			

CV = 2.70 %

La prueba de tukey (tabla 43) realizada con un nivel de significación al 5% establece dos rangos de significación, donde los tratamientos T1, T3 y T2 poseen medias semejantes (A) y significativamente mayores respecto al tratamiento T4 que posee la media mas baja (B) de la concentración de zinc; por lo tanto es en este tratamiento donde se obtuvo el mejor efecto de la aplicación del proceso de lombricompostaje con 266.33 mg/kg. Cabe

mencionar que corresponde a la mezcla del lodo con los sustratos de estiércol de cuy y compost.

Tabla 43. Prueba de Tukey para la concentración de Zinc en el lombricompost

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T1	2.90 (797.00)*	3	0.04	A
T3	2.79 (620.667)*	3	0.04	A
T2	2.72 (530.67)*	3	0.04	A
T4	2.42 (266.33)*	3	0.04	B

* Datos reales sin transformar

4.3.4 Parámetros de higienización

El lodo digerido e incluso el deshidratado contienen una alta cantidad de organismos productores de enfermedades que pueden ser transmitidos por el forraje o por el suelo contaminado cuando son vertidos al medio ambiente, entre los microorganismos que pueden afectar al ser humano los más importantes son las bacterias del género *Salmonella* que producen trastornos gastrointestinales. Aunque el proceso de lombricompostaje no tiene fase termófila (50 a 70 °C) como el compostaje para asegurar la eliminación de estos microorganismos, numerosos estudios realizados han demostrado la efectividad del proceso para reducir e incluso eliminar coliformes fecales y huevos de helmintos mediante la digestión enzimática cuando los residuos atraviesan el sistema digestivo de las lombrices, y también por las sustancias antimicrobianas que se encuentran en su líquido celomático, e indirectamente por la proliferación de especies microbianas que compiten, antagonizan o fagocitan los microorganismos patógenos (Vargas et al. 2014).

A continuación, se describe la presencia de coliformes termotolerantes y huevos de helmintos encontrados en el humus:

- **Coliformes termotolerantes**

Se denominan coliformes termotolerantes a un grupo de bacterias Gram negativas perteneciente a las enterobacterias capaces de fermentar lactosa y producir indol a 44,5°C. De acuerdo a la EPA la presencia de este grupo en un alto número es un posible indicador de la presencia de bacterias patógenas como *Salmonella*, *Shigella* y *E. coli* verotoxigénicas. También su presencia en

concentraciones altas en un compost o material orgánico indica que el proceso térmico ha sido insuficiente o deficiente. Se ha establecido que recuentos por debajo de 1.000 Ufc por gramo de peso seco del compost significa que los patógenos entéricos han sido destruidos (FAO, 2013:97).

Para una mejor apreciación de las concentraciones de coliformes termotolerantes registrados en los tratamientos, en el eje principal de la figura 35 se presenta los valores y en el eje secundario el límite máximo según el decreto supremo (≤ 1000 NMP/g). Tal como se puede observar todos los valores se encuentran muy por debajo del límite establecido con una cantidad máxima de 21.033 NMP/g en el tratamiento T3 que es la mezcla correspondiente de lodo más estiércol de cuy, por otro lado, en el tratamiento T1 que corresponde solo a lodo residual se registró la menor cantidad de coliformes con 0.3667 NMP/g. De acuerdo a esto es posible que el estiércol de cuy y compost presenten contaminación fecal antes del proceso de lombricompostaje o que no hayan favorecido su reducción por lo que su concentración al final del proceso fue mayor en estas tres mezclas.

Es importante mencionar que la concentración de coliformes termotolerantes en el lodo fresco caracterizado era de 24×10^6 NMP/g llegando a valores muy reducidos en el lombricompost, esto concuerda con el estudio realizado por Avilés (2011), en donde al final del proceso de lombricompostaje usando materia orgánica, estiércol y lodos se obtuvo concentraciones menores a 4 NMP/1g. Por otro lado, en el estudio realizado por Guevara (2003), quien utilizó la técnica de compostaje para el tratamiento de lodos, obtuvo una reducción considerable de coliformes termotolerantes respecto a la concentración inicial, pero esta no fue lo suficiente para eliminar el riesgo ya que no fue menor a 1000 NMP/1g.

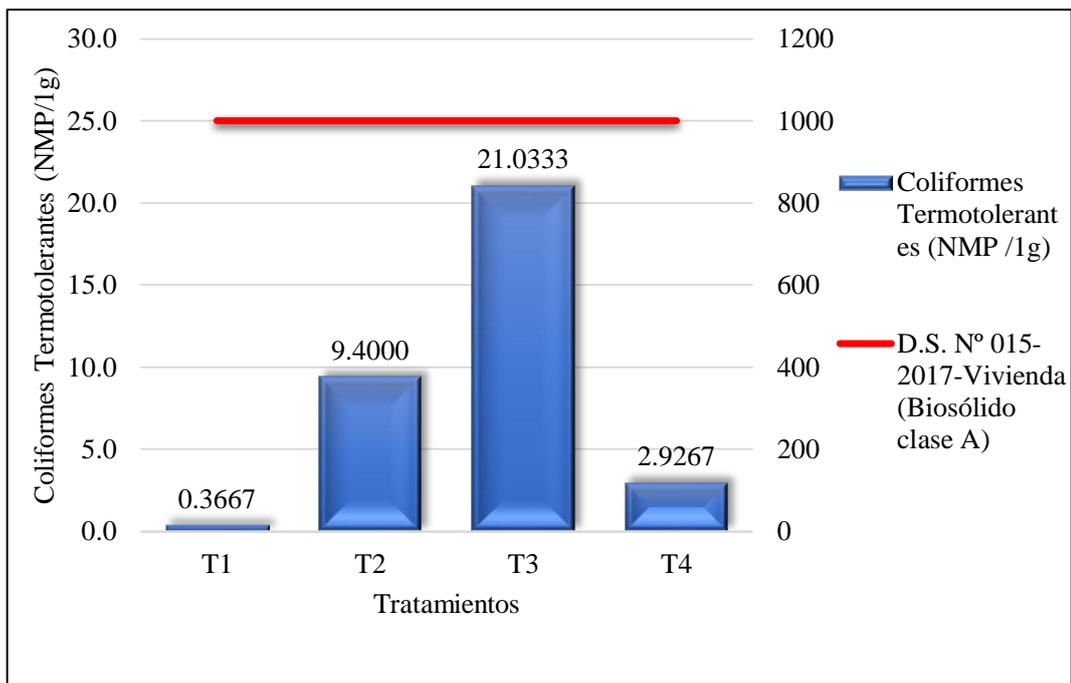


Figura 35. Concentración de coliformes termotolerantes en el lombricompost

El análisis de la varianza (tabla 44) indica que no existe diferencias significativas, dado que el valor de significación (p-valor = 0.1707) es mayor al 0.05, esto significa que no existen diferencias reales en la concentración de coliformes termotolerantes en el lombricompost de los cuatro tratamientos. El coeficiente de variación es de 80.83% lo cual indicaría la variabilidad y falta de precisión de los datos respecto a la media debido a errores relativos propios de la variable biológica.

Tabla 44. Análisis de varianza de la concentración de coliformes termotolerantes en el lombricompost

Fuente de Variación	de	Suma de Cuadrados	de	Grados de libertad	de	Cuadrado Medio	F	p-valor
Modelo		19.97		3		6.66	2.16	0.1707
Tratamientos		19.97		3		6.66	2.16	0.1707
Error		24.64		8		3.08		
Total		44.61		11				

CV = 80.83%

- **Huevos de helmintos**

Los huevos de helmintos son indicadores de contaminación fecal, estos se han detectado en los biosólidos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales por lo que el contacto de agricultores o consumidores puede resultar en su infección con agentes patógenos. El riesgo se genera por el contacto directo con los biosólidos y los alimentos cultivados en suelos donde se han utilizado biosólidos como enmienda orgánica, además estos huevos pueden seguir siendo infecciosos durante meses incluso años debido a su resistencia a las condiciones ambientales por lo que son considerados los microorganismos patógenos más resistentes (Campos *et al* 2018). Es importante mencionar que en el lodo fresco caracterizado no hubo presencia de huevos de helmintos sin embargo en el lombricompost obtenido la concentración fue elevada, esto debido a que solo se envió una muestra de lodo para su caracterización.

En la figura 36 se presenta la concentración de huevos de helmintos encontrados en los tratamientos, como se puede observar solo se encontró la presencia de la especie *Trichuris sp* con una elevada cantidad de huevos que excedieron la cantidad máxima establecido en el decreto supremo (<1 huevo/4gramos), la concentración más alta se registró en el tratamiento T2 y T4 con 60 huevos/4 gramos, pero por otro lado en el tratamiento T3 la presencia fue nula; siendo de este modo que el tratamiento de la mezcla de lodo residual con estiércol de cuy cumple con las exigencias para su aprovechamiento en agricultura como biosólido clase A.

Así mismo el reglamento menciona que la inviabilidad de huevos de helmintos podrá ser probada alternativamente con la utilización de alguna de las tecnologías como compostaje térmico, secado térmico o solar, digestión anaerobia termófila, tratamiento alcalino y procesos equivalentes para su utilización por lo que se necesitaría un proceso adicional para aprovechar el potencial agronómico del lodo residual de los demás tratamientos en estudio.

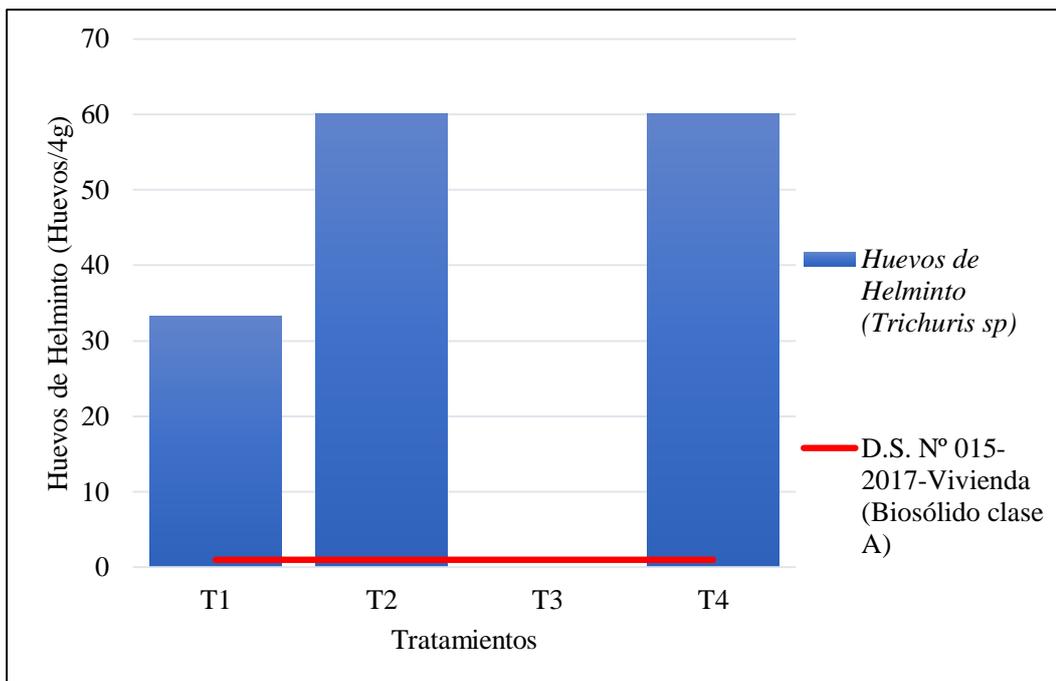


Figura 36. Concentración de huevos de *Trichuris sp* en el lombricompost

La elevada cantidad de huevos de *Trichuris sp* en los tratamientos T1, T2 y T4 se considera como un riesgo potencial para la salud en caso se tenga contacto con este abono a pesar de haber pasado por un proceso de lombricompostaje, estos huevos son altamente infecciosos y pueden causar disentería, anemia, desnutrición y ocasionalmente prolapso rectal hasta incluso algunos parásitos adultos invaden el apéndice y causan apendicitis. Esta persistencia de estos huevos al tratamiento mediante lombricompostaje coincide con el estudio de López *et al.* (s.f.) donde menciona que se encontraron huevos de *Trichuris sp* en una concentración de 5.07 huevos/g al final del proceso de compostaje a pesar de haber trabajado con una temperatura de 45°C por lo que recomienda trabajar en rango termofílico de 55 a 60°C para lograr la remoción de estos microorganismos patógenos.

Sin embargo, en el estudio realizado por Avilés (2011) al final del proceso de lombricompostaje se encontró una notable reducción de huevos de helmintos con cantidades menores a 1 huevo/4g de muestra.

El análisis de la varianza (tabla 45) indica que no existe diferencias significativas, dado que el valor de significación (p-valor = 0.1282) es mayor al 0.05, esto significa que no existen diferencias reales en la concentración de

huevo de helminto en el lombricompost de los cuatro tratamientos. El coeficiente de variación es de 62.51% el cual indicaría la variabilidad y falta de precisión de los datos respecto a la media debido a errores relativos propios de la variable biológica.

Tabla 45. Análisis de varianza de la concentración de huevo de helminto en el lombricompost

Fuente de Variación	de	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F	p-valor
Modelo		78.09	3	26.03	2.56	0.1282
Tratamientos		78.09	3	26.03	2.56	0.1282
Error		81.42	8	10.18		
Total		159.50	11			

CV = 62.51 %

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El sustrato de lodo residual y la mezcla con fuentes orgánicas (compost y estiércol de cuy) son adecuados para el crecimiento, reproducción y adaptación de la lombriz *Eisenia foetida*, debido al aumento del peso final de lombrices, a la presencia de innumerables cocones y lombrices recién eclosionadas en todos los tratamientos.
- Los valores de control del proceso de lombricompostaje (pH, temperatura y humedad) se encuentran dentro del rango óptimo para el desarrollo de las lombrices, lo cual indica que la degradación del lodo residual a lombricompost se desarrolló correctamente; de igual manera el color del lombricompost obtenido es de tonalidad oscura de acuerdo al establecido en la tabla Munsell (10YR 2/1) para humus.
- El lombricompost obtenido en el tratamiento T3 (lodo residual + estiércol de cuy) cumple con todos los parámetros de estabilización establecidos en el decreto supremo N°015-2017-Vivienda siendo clasificado como biosólido clase A para su aprovechamiento en agricultura y/o mejoramiento de suelos. Por otro lado, los tratamientos T1, T2 y T4 exceden la concentración de huevos de helmintos por lo que no pueden ser clasificados como biosólidos clase A ni clase B, por lo que se recomienda realizar un proceso adicional que asegure su eliminación debido a su potencial agronómico.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alas, R; Alvarenga, A. 2002. Evaluación de sustratos de origen animal y vegetal en la producción de humus y carne de Lombriz (*Eisenia foetida*). Tesis Ing. Agr. Salvador, Universidad de El Salvador. 102 p.
- Alva, E. 1999. Estudio del empleo del humus de lombriz con fines agrícolas, procedentes de lodo residuales de depuradora en Cajamarca. Tesis M Sc. Lima, Perú, UNALM.
- Avilés, E. 2011. Determinación de la efectividad del proceso de lombricultura como tratamiento para la estabilización de lodos residuales provenientes de una planta de tratamiento de aguas. Tesis Ing. ambiental, Universidad Politécnica Salesiana. 105 p.
- Bustamante, J. 1995. Lombricultura. Ministerio de producción Rio Negro. Rio Negro, Argentina. 42 p.
- Campos, M; Beltrán, M; Fuentes, N; Moreno, G. 2018. Huevos de helmintos como indicadores de contaminación de origen fecal en aguas de riego agrícola, biosólidos, suelos y pastos (en línea). *Biomédica* (38): 42-53. Consultado 15 oct 2019. Disponible en <https://doi.org/10.7705/biomedica.v38i0.3352>.
- Cardoso, L. 2002. Sistema de vermiestabilización para plantas de tratamiento municipal. Memorias del XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún, México. 8 p.
- Cardoso, L; Ramírez, A. 2000. Identificación de sistemas de tratamiento de lodos residuales (en línea). México, Subdirección General de Administración del Agua (IMTA). 57 p. Consultado 25 may 2018. Disponible en <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/lodosresiduales.pdf>.
- Cartwright, P. 2009. Tratamiento y reúso del agua en aplicaciones comerciales e industriales. *Revista Agua Latinoamérica* 9(1): p 20-24.
- Castrejón, A; Barrios, J; Jiménez, B; Maya, C; Rodríguez, A; Gonzales, A. 2002. Evaluación de la calidad de lodos residuales de México (en línea). Congreso Nacional de la Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (13, Guanajuato, México). Mexico, Universidad nacional autónoma de México. 14 p. Consultado 04 mar 2018. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/228368946_Evaluacion_de_la_calidad_de_lodos_residuales_de_Mexico.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1992. Memoria de la reunión técnica sobre la conservación para el desarrollo de los recursos genéticos animales en América Latina. Turrialba, Costa Rica, Assefaw Tewolde. 152 p.
- Chernicharo, C. 2007. *Anaerobic Reactors, Biological Wastewater Treatments*. London, England, IWA Publishing. 175 p. (Series, v. 4).
- Climate-data.org. 2018. Clima Celendín. Consultado el 04 jul 2018. Disponible en <https://es.climate-data.org/america-del-sur/peru/cajamarca/celendin-51364/>
- Compagnoni, L; Putzolu, G. 1998. *Cria Moderna de Las Lombrices y Utilizacion Rentable Del Humus*. Barcelona, España, De Vecchi, Editorial, S.A. 128 p.

- Cordero, I. 2010. Aplicación de biol a partir de residuos: Ganaderos de cuy y gallinaza, en cultivos de *Raph. Anus sativus l.* para determinar su incidencia en la calidad del suelo para agricultura (en línea). Tesis Ing. Amb. Cuenca, Ecuador, Universidad Politécnica Salesiana. 107 p. Consultado 10 dic. 2019. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1505/13/UPS-CT002009.pdf>
- Crespo, M; Miramontes, E; Gonzales, D. 2005. Caracterización de composta de residuos sólidos Municipales y efectos en algunas propiedades del suelo (en línea). Guadalajara, Mexico, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Consultado el 04 de diciembre del 2019. Disponible en http://www.cucba.udg.mx/sites/default/files/publicaciones1/avances/avances_2005/Agronomia/CrespoGonzalezMarcosR/CrespoGonzalezMarcosR.pdf
- Decreto Supremo N°015, 2017. Decreto Supremo que aprueba el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Diario Oficial El Peruano. Perú. 22 jun.
- Diaz, E. 2002. Guía de lombricultura. Lombricultura una alternativa de producción para emprendedores y productores del agro. La Rioja, Argentina, ADEX. 57 p.
- Duran, L; Henríquez, C. 2007. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos (en línea). Agronomía Costarricense 31(1): 41-51. Consultado 17 oct 2019. Disponible en file:///C:/Users/KB/Downloads/DialnetcaracterizacionQuimicaFisicaYMicrobiologicaDeVermi-2574777%20(3).pdf.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1994. Programa Nacional de lodos residuales cloacales. U.S, OWM. 5 p. (Serie 833F94016)
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1994. *A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule*. Washington, DC, U.S, EPA/832-R-93-003. 184 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Chile). 2013. Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina. Roman, P; Martinez, M y Pantoja, A. Santiago, Chile. 112 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma). 2009. Guía para la descripción de suelos. 4 ed. Vargas, R. Roma, Italia. 111 p.
- Fernández, M. 2011. Aplicación de la tecnología del vermicompostaje para la valorización agronómica de residuos y de cultivos de invernadero. Tesis doc. Granada, España, Universidad de Granada. 423 p.
- Figuerola, A; Álvarez, J, Forero, A; Salamanca, C; Pinzón, L. 2012. Determinación del nitrógeno potencialmente mineralizable y la tasa de mineralización de nitrógeno en materiales orgánicos (en línea). Temas Agrarios 17(1): 32-43. Consultado 16 oct 2019. Disponible en <https://doi.org/10.21897/rta.v17i1.694>.
- Fundación Hogares Juveniles Campesinos. 2005. Manual cría de la lombriz de tierra: Una alternativa ecológica y rentable. Bogotá, Colombia, Editorial San Pablo. 192 p.
- Gonzales, I. 2015. Generación, caracterización y tratamiento de lodos de Edar. Tesis doc. Córdoba, España, Universidad de Córdoba. 356 p.

- Guevara, S. 2003. Producción de compost mediante el tratamiento de lodos de las lagunas de estabilización de Cajamarca. Tesis M.Sc. Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca. 195 p.
- Guauque, D. 2017. Comparación del proceso de vermicompostaje con la especie *Eisenia fétida* desde la variación de los residuos orgánicos (en línea). Especialización. Bogota, Colombia, Universidad Militar Nueva Granada. 20 p. Consultado 20 dic 2019. Disponible en <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16549/GuauqueSanchezDianaMarcela2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hardisson, A., & Revert, C., & Gutiérrez, A.J., & Martín, R.E., & Rubio, C., & Lozano, G. (2004). El plomo como contaminante alimentario. Revista de Toxicología, 21(2-3),72-80. Consultado el 8 de Junio de 2022. ISSN: 0212-7113. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91921303>
- Hernández, R. 2014. Metodología de la Investigación. 6 ed. México, Editorial McGraw-Hill Interamericana de México S.A. 656 p.
- Lenntech, BV. 2008. Tratamiento de Lodos (en línea). Consultado 07 mar 2018. Disponible en <https://www.lenntech.es/lodos-componentes.htm>.
- Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos N°1278. 5ta disposición complementaria. Diario Oficial El Peruano. Perú. 23 dic. 2016.
- Llivichusca, M. 2016. Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante proceso electroquímicos para la disminución de la concentración de huevos de helmintos. Tesis Ing. Ambiental. Cuenca, Ecuador, Universidad Politécnica Salesiana. 128 p.
- López, S; Calderón, S. 2015. Depuración de aguas residuales. Madrid, España, Editorial Elearning S. L. 516 p.
- López, S; Ramírez, E; Cardoso, L; Mijaylova, P; Moeller, G. s. f. Tratamiento de lodos residuales municipales con un proceso Aerobio-termofílico (en línea). Morelos, México. 16 p. Consultado el 15 de octubre del 2019. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/265996097_TRATAMIENTO_DE_LODOS_RESIDUALES_MUNICIPALES_CON_UN_PROCESO_AEROBIO-TERMOFILICO.
- Marquina, L; Martínez, J. 2016. Obtención de abonos orgánicos por medio de las lombrices "*Eisenia Foetida*" a partir de los lodos residuales de la Planta de Tratamiento de aguas residuales San Antonio de Carapongo Lima – Perú. Tesis Ing. Callao, Perú Universidad Nacional del Callao. 177 p.
- Mejia, P. 2016. Agroflor Manual de lombricultura (en linea). Chile. 30 p. Consultado 15 oct 2019. Disponible en <http://agro.unc.edu.ar/~biblio/Manual%20de%20Lombricultura.pdf>.
- Menocal, L; Caraballo, Y. 2014. Importancia de la vigilancia sanitaria de los parásitos en la calidad del agua según su uso. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología 52(2):197.
- Metcalf y Eddy. 1995. Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. 3 ed. Madrid, España, McGraw-Hill. 1505 p.
- Morales, M. 2005. Digestión anaerobia de lodos de plantas de tratamiento de aguas y su aprovechamiento. Capítulo 4. Lodos. Tesis de Ing. Puebla, México, Universidad de Las Américas. 18 p.
- Moreno, J; Moral, R. 2008. Compostaje. Madrid, España, MUNDIPRENSA. 570 p.

- Munsell, A. 1975. Tabla de Colores de Suelo Munsell. 13 p.
- Ojeda, J; Franco, M; Rodríguez, G. 2013. Absorción de metales pesados por la lombriz *Eisenia foetida* de los jales de mina de oro en Mocorito, Sinaloa, México. Congreso Interamericano de Residuos Sólidos (5, 2013, Lima, Perú). Lima, Perú, AIDIS DIRSA. 5 p.
- Ortiz, C. 2010. Prevalencia de huevos de helmintos en lodos: Agua residual cruda y tratada, provenientes de un sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio el Rosal Cundinamarca. Tesis M Sc. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia. 125 p.
- Pantoja, R. Evaluación de diferentes dosis de abonos orgánicas de origen animal en el comportamiento agronómico, del cultivo de brócoli en la zona de Huaca, Provincia de Carchi (en línea). Tesis Ing. Agr. El ángel, Ecuador, Universidad técnica de Babahoyo. 85 p. Consultado 05 dic. 2019. Disponible en <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/49000/691/1/T-UTB-FACIAG-AGR-000122.pdf>
- Pastorelly, D. 2001. Agricultura orgánica. S. 1. 17 p. Consultado 15 oct 2019. Disponible en <https://es.scribd.com/document/40069767/Agricultura-organica-Lombricultura>
- Pati, A. 2002. Determinación de la calidad de humus de lombriz (*Eisenia foetida*). Elaborado a partir de residuos sólidos orgánicos urbanos de la ciudad de La Paz. Tesis Ing. Agr. La paz, Bolivia, Universidad Mayor de San Andrés. 100 p.
- Pineda, J. 2006. Lombricultura. 01 ed. Instituto Hondureño del Café. Tegucigalpa, Honduras, Litografía López. 38 p.
- Pozo, V. 2012. Crianza de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida* nc) para la producción de carne usando cuatro tipos de sustratos en la EEAS. Tesis Ing. Zootecnista. Huancayo, Lima, Universidad Nacional del Centro del Perú. Consultado el 10 oct del 2019. Disponible en <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1924/Sanchez%20Pozo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- PROREGIÓN. 2008. Mejoramiento y ampliación de los sistemas de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Celendín. Memoria de cálculos. Celendín, Cajamarca. 89 p.
- Reinés, M; Rodríguez, A; Carillo, O; Loza, L; Contreras, R. 2005. Nuevos avances en la biotecnología de la lombricultura. Universidad de Guadalajara. Ciudad de La Habana, Cuba, Editorial Universitaria. 38 p.
- Rivas, V. 2008. Manual de compostaje y vermicompostaje doméstico (en línea). Asociación de compostadores de España. Consultado 09 mar. 2018. Disponible en http://www.rivasciudad.es/portal/RecursosWeb/DOCUMENTOS/1/0_13173_1.pdf
- Rodríguez, F. 2005. Lombricultura para pequeños emprendedores. Manual teórico practico para el manejo comercial de la lombriz roja californiana. Argentina, El Quimerista.
- Rodríguez, M; Córdova, A. 2006. Manual de compostaje Municipal: Tratamiento de residuos sólidos urbanos. 1 ed. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, Instituto Nacional de Ecología. 102 p.
- Romero, J. 2005. Lagunas de estabilización de aguas residuales. 01 ed. Colombia, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 150 p.
- Romero, J. 2008. Tratamiento de Aguas Residuales. 3 ed. Bogotá, Colombia, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 1248 p.

- Romana, J. 2012. Estadística experimental: Herramientas para investigación. Tacna, Perú, Universidad Privada de Tacna. 336 p.
- Saavedra, M. 2007. Biodegradación de alperujo utilizando hongos del género *Pleurotus* y anélidos de la especie *Eisenia foetida*. Tesis doc. Granada, España, Universidad de Granada. 245 p.
- Sales, B. 2006. Caracterización de la materia orgánica de suelos representativos de ecosistemas amazónicos del Perú, departamento de Ucayali, e influencia de su uso y manejo en el secuestro del carbono. Tesis Doc. Sevilla, España, Universidad de Sevilla. 162 p.
- Sánchez, J. 2018. Evaluación del proceso de elaboración de vermicompost con dos especies de lombriz, *Eisenia foetida* y *Lumbricus sp.*, en la provincia de Arequipa. Tesis Ing. Agr. Arequipa, Perú, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. 97 p.
- Sánchez, V. 2012. Crianza de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) para la producción de carne usando cuatro tipos de sustratos en la EEAS Satipo. Tesis Ing. Ciencias Agrarias. Huancayo, Perú, Universidad Nacional del Centro del Perú. 59 p.
- SERMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final (en línea). NOM-004-SEMARNAT-2002. Ciudad de México, México, Diario Oficial de la Federación. 18 feb. 44 p. Consultado el 10 jun 2018. Disponible en http://www.cofes.org.ar/descargas/relas/4_jornada/Norma_Mexicana_2003.pdf
- Serpa, M. 2017. Remoción de metales pesados Cd y Hg en lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria el Espinar – Puno, utilizando vermicomposteo. Tesis Ing. Puno, Perú, Universidad Nacional Del Altiplano. 105 p.
- Tenecela, X. 2012. Producción de humus de lombriz mediante el aprovechamiento y manejo de los residuos orgánicos (en línea). Tesis Ing. Agr. Cuenca, Ecuador, Universidad de Cuenca. 113 p. Consultado 05 jul 2018. Disponible en <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3252/1/TESIS.pdf>
- Toro, F. 2005. Áreas potenciales para la aplicación de biosólidos en plantaciones forestales de la VI región de Chile. Tesis Ing. Forestal. Santiago, Chile, Universidad de Chile. 74 p. Consultado 06 set 2018. Disponible en http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/105070/toro_f.pdf?sequence=3&isAlloved=y
- UN- HABITAT (United Nations Human Settlements Program); Greater Moncton Sewerage Commission.. 2008. Global Atlas of Excreta, Wastewater Sludge, and Biosolids Management: Moving Forward the Sustainable and Welcome Uses of a Global Resource. Alabaster, G; LeBlanc, R. United Nations, UN- HABITAT. 602 p.
- Uribe, L. 2003. Inocuidad de abonos orgánicos (en línea). In Taller de abonos orgánicos (1, 2003, Costa Rica). Meléndez, G; Soto, G. Costa Rica. Memoria. Sabanilla, Costa Rica. 16 p. Consultado 16 jul 2018. Disponible en <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Taller%20Abonos%20Org%C3%A1nicos.pdf>.
- Valderrama, M. 2013. Factibilidad de los lodos de la PTAR del municipio de Chinavita (en línea). Tesis M. Sc. Manizales, Colombia, Universidad de Manizales. 74 p. Consultado 25 may 2018. Disponible en

http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/944/Martha_noviembre2013.pdf?sequence=1.

- Vargas, R; Romero, E; Fernández, M. 2014. Vermicompostaje: Procesos, productos y aplicaciones. Moreno, J; Moral, R; García, J; Pascual J y Bernal, M. Madrid, España, Ediciones Mundi prensa. 170 p.
- Villar, I. 2017. Estudio de la dinámica microbiana durante la fase de maduración del compostaje de residuos orgánicos. Vermicompostaje como alternativa de tratamiento (en línea). Tesis Doc. Galicia, España, Universidad de Vigo. 194 p. Consultado 15 dic 2019. Disponible en http://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/824/Estudio_de_la_dinamica_microbiana.pdf?sequence=1.
- Zambrano, O. 2015. Costos de producción de crianza artesanal y tecnológica del cuy (*Cavia porcellus*) en Cajamarca (en línea). Tesis M Sc. Cajamarca, Perú, Universidad Nacional Agraria la Molina. 89 p. Consultado 04 dic 2019. Disponible en <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1611/E16.Z35T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Zhofre, A. 1996. Manual de prácticas agroecológicas de los andes ecuatorianos. Editorial Abya Yala. Quito, Ecuador. 302 p.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

7.1 Autorización para trabajo de investigación en la PTAR de Celendín



GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
PROGRAMAS REGIONALES
Oficina de Administración / Unidad de Personal



"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

Cajamarca, 12 de diciembre de 2018

CARTA N° 022 -2018-GR.CAJ/PROREGIÓN/OA/UP

Señorita:

EMILI MILAGROS CASTRO CRUZADO

Bachiller – Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental
Universidad Nacional de Cajamarca – Sede Celendín

Presente.-

ASUNTO : Autorización para Ejecución de Tesis

REFERENCIA : Oficio N° 1048-2018-GR.CAJ/PROREGION/UI



Me dirijo a usted para saludarlo cordialmente y a la vez, en relación al documento de la referencia, concernientes al Proyecto de Tesis “Determinación de la Efectividad del Lombricompostaje en la estabilización de lodos de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Celendín”; esta Unidad Ejecutora **AUTORIZA EL PERMISO** para el ingreso a la planta de tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), según cronograma que deberá presentar para el inicio de su trabajo de investigación; así mismo se precisa que deberá hacer llegar un informe con sus resultados y conclusiones.

Sin más sobre el particular, aprovecho la oportunidad para expresarles mi consideración.

Atentamente,


GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
U.E. DE PROGRAMAS REGIONALES PROREGION
Eco. José C. Alcántara Espino
RESPONSABLE DE UNIDAD DE PERSONAL

C.c.
-U. Ingeniería
-Archivo

7.2 Resultados del análisis de laboratorio para el lodo residual



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL MA1828286

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					ML-01	ML-01	ML-01
PROFUNDIDAD (m)							
FECHA DE MUESTREO					27/12/2018	27/12/2018	27/12/2018
HORA DE MUESTREO					13:00:00	13:05:00	13:10:00
MATRIZ					LODOS	LODOS	LODOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					LODOS	LODOS	LODOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
Análisis Generales							
Materia orgánica	ES_NOM21_AS07_MO_T OC	%	0.1	0.3			40.7
Análisis Microbiológicos							
Numeración Coliformes fecales	ES_APHA9221E_CX	NMP/g	--	--	24,000,000.0 *		
Ascaris Lumbricoides	ES_NOM004_HH_CX	Huevos/2gST	--	--		0 *	
Cestodes	ES_NOM004_HH_CX	Huevos/2gST	--	--		0 *	
Huevos de Helminto	ES_NOM004_HH_CX	Huevos/2gST	--	--		0 *	

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					ML-01	ML-01
PROFUNDIDAD (m)						
FECHA DE MUESTREO					27/12/2018	27/12/2018
HORA DE MUESTREO					13:15:00	13:20:00
MATRIZ					LODOS	LODOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					LODOS	LODOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado
Análisis Generales						
Nitrógeno Total	ES_SGS_ME45	mg/kg	0.3	0.8		9.8 *
Metales						
Cobre	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.357	1.136	52.034	
Aluminio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	2.701	8.602	4,540.725	
Antimonio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.041	0.131	0.465	
Arsénico	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.897	2.857	5.158	
Bario	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.138	0.440	68.542	
Berilio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.054	0.173	0.305	
Bismuto	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	5.762	
Boro	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.399	17.195	<17.195	
Cadmio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.045	0.144	0.551	
Calcio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	65.382	208.223	30,025.107	
Circonio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.046	0.147	2.241	
Cobalto	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.040	0.128	2.431	
Cromo	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.314	1.001	9.887	
Escandio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.099	0.317	0.693	
Estaño	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.295	0.940	2.929	



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1828286**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					ML-01	ML-01
PROFUNDIDAD (m)						
FECHA DE MUESTREO					27/12/2018	27/12/2018
HORA DE MUESTREO					13:15:00	13:20:00
MATRIZ					LODOS	LODOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					LODOS	LODOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado
Metales						
Estroncio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.258	0.822	86.906	
Fosforo	ES_EPA3051_6020	mg/kg	4.759	15.157	2,900.673	
Hierro	ES_EPA3051_6020	mg/kg	9.201	29.302	6,867.130	
Lantano	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	3.291	
Litio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.0	3.0	<3.0	
Magnesio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.509	17.545	1,073.102	
Manganeso	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.202	0.643	76.329	
Mercurio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.082	0.262	<0.262	
Molibdeno	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.057	0.182	3.182	
Niquel	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.156	0.498	5.359	
Plata	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.084	0.268	0.951	
Plomo	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.109	0.346	13.571	
Potasio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	13.500	42.993	1,059.452	
Selenio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.132	3.605	<3.605	
Sodio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	7.579	24.136	241.925	
Talio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.029	0.093	0.098	
Thorio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.035	0.112	2.019	
Titanio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.079	0.251	14.887	
Uranio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.102	1.039	
Vanadio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.488	4.737	13.512	
Wolframio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.072	0.231	<0.231	
Ytrio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.030	0.096	4.037	
Zinc	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.607	1.934	458.646	

7.3 Mediciones del pH durante el proceso de lombricompostaje

Fecha	T1r1	T1r2	T1r3	T2r1	T2r2	T2r3	T3r1	T3r2	T3r3	T4r1	T4r2	T4r3
17/01/2019	6.5	6.5	6.5	6	6.5	6.5	6.5	6	6.5	6	6.5	5.5
	6.5	6.5	6.5	5.5	6.5	6.5	6.5	6.5	7	5.5	6.5	6
21/01/2019	7	7	7	6.5	6.5	6.5	7	7	7	7	7	6.5
	7	7	7	6.5	6.5	6	6.5	7	7	6.5	6.5	6.5
24/01/2019	7	7	6	7	6.5	7	7	7	7	7	7	6.5
	7	7	6.5	7	6.5	7	7	7	7	6.5	7	5.5
28/01/2019	6.5	7	6.5	7	7	5.5	7	7	7	7	7	6
	7	7	7	7	7	5	7	7	7	7	7	5.5
31/01/2019	7	6.5	6.5	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	7	6.5	6.5	7	7	7	6.5	7	7	7	7.5	6.5
6/02/2019	7	7	7	7	6.5	7	6.5	7	6.5	7	7	7
	7	7	7	7	7	7	6.5	6.5	6	7	7	6.5
9/02/2019	7	7	7	7	7	6.5	7	7	6.5	7	7	7
	7	7	5.5	6.5	6.5	6	7	6.5	6.5	7	7	6.5
12/02/2019	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	7	7	7	7	7	6	7	7	7	7	7	7
16/02/2019	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
19/02/2019	7	7	7	7	6.5	7	7	6.5	6.5	7	7	6.5
	7	7	7	7	6.5	6.5	7	7	7	7	7	7
24/02/2019	6.5	7	7	7	6.5	7	7	7	7	7	6.5	7
	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
27/02/2019	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
2/03/2019	7	7	7	7.5	7	7	7	7	7	7	7	7
	7	7	7	7	7	7	7	6.5	6.5	7	7	6.5
9/03/2019	6.5	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	7	7	7	7	6.5	7	7	7	7	7	7	7
23/03/2019	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
30/03/2019	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	7	7	7	7	7	7	7	6.5	7	7	7	7
6/04/2019	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	7	7	7	7	7	7	7	7	6.5	7	7	7
13/04/2019	7	7	7	7	7	7	7	7	6.5	7	7	7
	7	7	7	7	7	7	7	7	6.5	7	7	7
18/04/2019	7	7	7	7	6.5	7	7	7	7	7	7	7
	7	7	7	7	7	7	7	7	6.5	7	7	6.5
28/04/2019	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	7	7	7	7	7	7	7	7	6.5	7	7	7
4/05/2019	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
11/05/2019	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7

7.4 Determinación del pH del proceso de lombricompostaje en el laboratorio de la EAPIAC



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental Celendín
LABORATORIO DE QUÍMICA

DETERMINACIÓN DE pH DEL HUMUS DE LOMBRIZ "*Eisenia foetida*"

SOLICITADO POR:

FECHA DE MEDICIÓN:

NÚMERO DE ATENCIÓN:

RESULTADOS

NUMERO DE MUESTRA	CODIGO DE MUESTRA	pH (unidades)
01	T1R1	6.61
02	T1R2	6.66
03	T1R3	6.72
04	T2R1	6.54
05	T2R2	6.77
06	T2R3	7.55
07	T3R1	7.38
08	T3R2	8.25
09	T3R3	7.64
10	T4R1	6.86
11	T4R2	7.06
12	T4R3	7.43

Celendín, 23 de mayo de 2019.


Ing. Manuel Roncal Rabanal
DIRECTOR DE LA EAPIAC-
UNC


Ing. Jorge Lezama Bueno
JEFE LAB. QUÍMICA


Segundo Guevara Camacho
TEC.LAB.QUÍMICA

7.5 Mediciones de la temperatura durante el proceso de lombricompostaje

Fecha	T1r1	T1r2	T1r3	T2r1	T2r2	T2r3	T3r1	T3r2	T3r3	T4r1	T4r2	T4r3
17/01/2019	18°C	20°C	18°C	20°C	21°C	17°C	18°C	18°C	17°C	19°C	20°C	18°C
	18°C	21	17°C	20°C	21°C	17°C	18°C	18°C	17°C	19°C	20°C	18°C
21/01/2019	18°C	17°C	18°C	19°C	19°C	17°C	20°C	18°C	17°C	20°C	19°C	18°C
	18°C	17°C	18°C	20°C	20°C	17°C	20°C	18°C	17°C	20°C	19°C	19°C
24/01/2019	18°C	17°C	17°C	17°C	20°C	18°C	19°C	18°C	17°C	19°C	19°C	18°C
	18°C	17°C	18°C	18°C	20°C	18°C	19°C	17°C	17°C	20°C	19°C	19°C
28/01/2019	19°C	18°C	19°C	20°C	20°C	19°C	20°C	18°C	18°C	20°C	20°C	20°C
	19°C	18°C	19°C	20°C	20°C	19°C	20°C	18°C	18°C	20°C	20°C	20°C
31/01/2019	17°C	17°C	17°C	17°C	18°C	17°C	17°C	16°C	16°C	17°C	18°C	17°C
	17°C	17°C	18°C	18°C	18°C	17°C	18°C	16°C	16°C	18°C	18°C	17°C
6/02/2019	17°C	17°C	18°C	18°C	19°C	19°C	19°C	18°C	17°C	18°C	19°C	18°C
	17°C	17°C	18°C	18°C	19°C	19°C	19°C	18°C	17°C	18°C	19°C	18°C
9/02/2019	17°C	17°C	18°C	18°C	19°C	20°C	18°C	18°C	17°C	18°C	18°C	18°C
	17°C	17°C	18°C	18°C	19°C	20°C	18°C	18°C	17°C	18°C	18°C	18°C
12/02/2019	17°C	18°C	19°C	19°C	20°C	20°C	20°C	18°C	18°C	19°C	20°C	18°C
	17°C	18°C	19°C	19°C	20°C	20°C	20°C	18°C	18°C	19°C	20°C	18°C
16/02/2019	17°C	17°C	18°C	18°C	18°C	18°C	19°C	18°C	17°C	18°C	19°C	18°C
	17°C	17°C	18°C	18°C	18°C	18°C	19°C	18°C	18°C	18°C	18°C	18°C
19/02/2019	17°C	17°C	18°C	18°C	18°C	18°C	19°C	18°C	18°C	19°C	20°C	19°C
	17°C	17°C	18°C	18°C	18°C	18°C	19°C	18°C	18°C	19°C	19°C	18°C
24/02/2019	18°C	18°C	18°C	18°C	19°C	19°C	20°C	19°C	19°C	19°C	20°C	19°C
	18°C	18°C	18°C	18°C	19°C	19°C	20°C	19°C	19°C	19°C	20°C	18°C
27/02/2019	17°C	17°C	17°C	18°C	18°C	18°C	18°C	18°C	17°C	18°C	18°C	18°C
	17°C	17°C	17°C	18°C	18°C	18°C	18°C	18°C	17°C	18°C	18°C	18°C
2/03/2019	17°C	17°C	17°C	18°C	18°C	18°C	17°C	18°C	17°C	17°C	18°C	17°C
	17°C	17°C	17°C	18°C	18°C	18°C	17°C	18°C	17°C	17°C	18°C	17°C
9/03/2019	17°C	20°C	17°C	20°C	18°C	20°C	19°C	19°C	18°C	19°C	18°C	18°C
	17°C	18°C	17°C	19°C	18°C	19°C	19°C	19°C	18°C	19°C	18°C	18°C
23/03/2019	15°C	16°C	15°C	16°C	16°C	16°C	16°C	17°C	16°C	16°C	15°C	16°C
	15°C	16°C	15°C	16°C	16°C	16°C	16°C	16°C	15°C	16°C	15°C	15°C
30/03/2019	16°C	17°C	17°C	18°C	17°C	18°C	17°C	18°C	17°C	17°C	17°C	18°C
	16°C	17°C	17°C	17°C	18°C	18°C	17°C	17°C	16°C	17°C	17°C	17°C
6/04/2019	16°C	17°C	16°C	17°C								
	16°C	16°C	17°C									
13/04/2019	16°C	16°C	16°C	16°C	17°C							
	16°C	16°C	16°C	17°C								
18/04/2019	16°C	17°C	17°C	18°C	17°C	18°C	18°C	18°C	17°C	18°C	17°C	18°C
	16°C	17°C	17°C	18°C	17°C	18°C	18°C	18°C	17°C	18°C	18°C	18°C
28/04/2019	17°C	17°C	17°C	17°C	18°C	17°C	18°C	18°C	17°C	17°C	18°C	17°C
	17°C	17°C	17°C	17°C	18°C	17°C	18°C	17°C	17°C	18°C	18°C	17°C
4/05/2019	16°C	16°C	16°C	17°C	17°C	16°C	17°C	17°C	16°C	17°C	17°C	17°C
	16°C	16°C	16°C	17°C	17°C	16°C	17°C	17°C	16°C	17°C	17°C	17°C
11/05/2019	16°C	16°C	17°C	17°C	17°C	16°C	18°C	17°C	18°C	17°C	17°C	17°C
	16°C	16°C	16°C	17°C	17°C	16°C	17°C	17°C	17°C	17°C	17°C	17°C
22/05/2019	18°C	16°C	16°C	16°C	16°C	16°C	16°C	17°C	16°C	16°C	17°C	16°C
	17°C	16°C	16°C	16°C	16°C	16°C	17°C	16°C	16°C	16°C	17°C	16°C

7.6 Mediciones de la humedad durante el proceso de lombricompostaje

Fecha	T1r1	T1r2	T1r3	T2r1	T2r2	T2r3	T3r1	T3r2	T3r3	T4r1	T4r2	T4r3
17/01/2019	muy húmedo	muy húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	normal	normal	normal	muy húmedo	muy húmedo
	muy húmedo	muy húmedo	muy húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	normal	normal	normal	muy húmedo	húmedo
21/01/2019	normal	muy húmedo	normal	normal	húmedo	húmedo	normal	muy húmedo				
	normal	muy húmedo	normal	seco	húmedo	normal	normal	muy húmedo				
24/01/2019	normal	húmedo	muy húmedo	muy húmedo	normal	normal	normal	normal	húmedo	normal	húmedo	húmedo
	húmedo	muy húmedo	muy húmedo	muy húmedo	Seco	normal	seco	seco	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo
28/01/2019	húmedo	muy húmedo	muy húmedo	normal	Seco	normal	normal	húmedo	muy húmedo	normal	normal	muy húmedo
	húmedo	muy húmedo	muy húmedo	normal	Seco	normal	normal	húmedo	muy húmedo	normal	normal	muy húmedo
31/01/2019	normal	muy húmedo	muy húmedo	húmedo	Seco	normal	seco	normal	muy húmedo	normal	normal	húmedo
	normal	muy húmedo	muy húmedo	húmedo	Seco	normal	seco	húmedo	muy húmedo	normal	normal	húmedo
6/02/2019	normal	muy húmedo	muy húmedo	húmedo	normal	muy húmedo	húmedo	muy húmedo	húmedo	húmedo	muy húmedo	muy húmedo
	normal	muy húmedo	muy húmedo	normal	normal	muy húmedo	húmedo	muy húmedo	húmedo	húmedo	muy húmedo	muy húmedo
9/02/2019	húmedo	muy húmedo	muy húmedo	normal	húmedo	normal	normal	normal	húmedo	normal	normal	húmedo
	húmedo	muy húmedo	muy húmedo	normal	húmedo	normal	normal	normal	húmedo	normal	normal	húmedo
12/02/2019	muy húmedo	muy húmedo	húmedo	normal	muy húmedo	normal	normal	húmedo	normal	normal	húmedo	muy húmedo
	muy húmedo	muy húmedo	húmedo	normal	muy húmedo	normal	normal	húmedo	normal	normal	húmedo	muy húmedo
16/02/2019	normal	húmedo	húmedo	normal	normal	húmedo	húmedo	normal	húmedo	normal	húmedo	muy húmedo
	normal	húmedo	muy húmedo	normal	normal	muy húmedo	húmedo	normal	húmedo	húmedo	húmedo	muy húmedo
19/02/2019	normal	húmedo	muy húmedo	normal	normal	húmedo	normal	húmedo	húmedo	normal	húmedo	muy húmedo
	muy húmedo	muy húmedo	muy húmedo	normal	muy húmedo	húmedo	normal	húmedo	húmedo	normal	muy húmedo	muy húmedo
24/02/2019	normal	muy húmedo	muy húmedo	muy húmedo	húmedo	muy húmedo	húmedo	húmedo	normal	húmedo	muy húmedo	muy húmedo
	normal	muy húmedo	muy húmedo	muy húmedo	muy húmedo	normal	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	muy húmedo	muy húmedo
27/02/2019	normal	húmedo	húmedo	normal	normal	normal	normal	normal	húmedo	normal	normal	húmedo
	normal	húmedo	húmedo	normal	normal	normal	normal	normal	húmedo	normal	normal	húmedo
2/03/2019	húmedo	muy húmedo	normal	normal	normal	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	muy húmedo
	húmedo	muy húmedo	normal	normal	normal	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	muy húmedo
9/03/2019	húmedo	húmedo	muy húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	normal	muy húmedo
	húmedo	húmedo	muy húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	normal	muy húmedo
23/03/2019	normal	húmedo	húmedo	normal	normal	húmedo	húmedo	normal	normal	muy húmedo	normal	muy húmedo
	húmedo	muy húmedo	húmedo	normal	normal	húmedo	húmedo	húmedo	normal	muy húmedo	normal	muy húmedo
30/03/2019	normal	húmedo	húmedo	normal	normal	normal	húmedo	normal	normal	normal	normal	húmedo
	húmedo	húmedo	húmedo	normal	húmedo	normal	normal	normal	húmedo	normal	normal	húmedo
6/04/2019	húmedo	muy húmedo	húmedo	húmedo	normal	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	normal	húmedo	húmedo
	húmedo	muy húmedo	muy húmedo	húmedo	muy húmedo	muy húmedo	húmedo	húmedo	normal	húmedo	húmedo	húmedo
13/04/2019	normal	muy húmedo	muy húmedo	húmedo	normal	muy húmedo	muy húmedo	húmedo	húmedo	normal	muy húmedo	muy húmedo

Fecha	T1r1	T1r2	T1r3	T2r1	T2r2	T2r3	T3r1	T3r2	T3r3	T4r1	T4r2	T4r3
	muy húmedo	muy húmedo	muy húmedo	húmedo	húmedo	muy húmedo	muy húmedo	húmedo	muy húmedo	húmedo	húmedo	muy húmedo
18/04/2019	húmedo	muy húmedo	muy húmedo	húmedo	húmedo	muy húmedo	húmedo	muy húmedo	húmedo	normal	húmedo	muy húmedo
	muy húmedo	muy húmedo	muy húmedo	normal	húmedo	muy húmedo	muy húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	muy húmedo	muy húmedo
28/04/2019	normal	húmedo	húmedo	húmedo	normal	muy húmedo	húmedo	muy húmedo	muy húmedo	normal	normal	muy húmedo
	húmedo	húmedo	húmedo	normal	normal	muy húmedo	húmedo	muy húmedo	húmedo	húmedo	normal	muy húmedo
4/05/2019	normal	muy húmedo	húmedo	húmedo	normal	muy húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	normal	húmedo	muy húmedo
	húmedo	muy húmedo	húmedo	húmedo	normal	muy húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	muy húmedo
11/05/2019	muy húmedo	húmedo	húmedo	normal	normal	muy húmedo	húmedo	muy húmedo	normal	normal	normal	muy húmedo
	muy húmedo	muy húmedo	muy húmedo	normal	normal	húmedo	húmedo	muy húmedo	normal	normal	normal	muy húmedo
22/05/2019	normal	húmedo	húmedo	húmedo	muy húmedo	muy húmedo	húmedo	muy húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	muy húmedo
	seco	húmedo	muy húmedo	húmedo	normal	muy húmedo	húmedo	muy húmedo	muy húmedo	normal	húmedo	muy húmedo

7.7 Resultados del análisis de laboratorio para materia orgánica y nitrógeno



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : EMELI MILAGROS CASTRO CRUZADO
PROCEDENCIA : CAJAMARCA/ CELENDIN/ CELENDIN
MUESTRA : HUMUS DE LOMBRIZ CALIFORNIANA
REFERENCIA : H.R. 69244
BOLETA : 3300
FECHA : 01/08/19

Nº LAB	CLAVES	pH	M.O %	N %
707	T1R1	6.84	31.19	1.60
708	T1R2	6.50	30.31	1.68
709	T1R3	6.75	30.06	1.62
710	T2R1	7.61	22.05	0.99
711	T2R2	7.42	27.78	1.34
712	T2R3	7.64	23.38	1.02
713	T3R1	7.11	35.70	1.68
714	T3R2	8.18	41.21	1.64
715	T3R3	7.36	29.47	1.85
716	T4R1	7.61	21.52	1.00
717	T4R2	7.40	21.64	1.01
718	T4R3	8.06	21.84	1.34



Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

7.8 Resultados del análisis de laboratorio para metales pesados

		INFORME DE ENSAYO					Página 2 de 3
		SA1901276 Rev. 0					
Elemento	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	
Esquema	SA_ICM12B	SA_ICM12B	SA_ICM12B	SA_ICM12B	SA_ICM12B	SA_ICM12B	
Unidad	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
Límite de Detección	1	0.01	1	0.5	0.01	0.5	
FERTILIZANTES T1R1 / HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL	7	0.91	19	77.7	1.10	11.6	
FERTILIZANTES T1R2 / HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL	9	1.05	20	86.9	1.07	13.1	
FERTILIZANTES T1R3 / HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL	9	1.04	21	86.5	1.39	12.5	
FERTILIZANTES T2R1 / HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL Y COMPOST	8	0.63	16	54.2	0.62	8.6	
FERTILIZANTES T2R2 / HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL Y COMPOST	8	0.80	18	82.0	0.85	10.2	
FERTILIZANTES T2R3 / HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL Y COMPOST	7	0.61	17	61.7	0.91	8.6	
FERTILIZANTES T3R1 / HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL Y GUANO DE CUY	8	0.88	18	78.9	2.49	11.1	
FERTILIZANTES T3R2 / HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL Y GUANO DE CUY	6	0.67	13	61.1	0.59	8.2	
FERTILIZANTES T3R3 / HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL Y GUANO DE CUY	7	0.73	16	64.8	0.71	9.6	
FERTILIZANTES T4R1 / HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL, COMPOST Y GUANO DE CUY	6	0.57	14	38.7	0.22	8.1	
FERTILIZANTES T4R2 / HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL, COMPOST Y GUANO DE CUY	5	0.39	14	40.6	0.22	7.7	
FERTILIZANTES T4R3 / HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL, COMPOST Y GUANO DE CUY	6	0.53	15	43.0	0.40	8.4	
FERTILIZANTES *DUP T1R2 / HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL	9	0.98	20	81.4	1.08	12.2	

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Ultima Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 - Callao 1 t (51-1) 517 1900 | www.sgs.pe

Miembro del Grupo SGS

COD. 310 P 18738



INFORME DE ENSAYO SA1901276 Rev. 0

Página 3 de 3

Elemento Esquema Unidad Limite de Detección	Pb SA_ICM12B ppm 0.2	Zn SA_ICM12B ppm 1	Peso Muestra PMI_CHGR g
FERTILIZANTES T1R1 / HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL	23.9	737	870.0
FERTILIZANTES T1R2 / HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL	26.5	839	950.0
FERTILIZANTES T1R3 / HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL	26.8	853	870.0
FERTILIZANTES T2R1 / HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL Y COMPOST	20.0	443	1000
FERTILIZANTES T2R2 / HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL Y COMPOST	26.2	672	960.0
FERTILIZANTES T2R3 / HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL Y COMPOST	21.7	477	1010
FERTILIZANTES T3R1 / HUMUS DE LOMBRIZ RESIDUAL Y GUANO DE CUY	22.9	743	970.0
FERTILIZANTES T3R2 / HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL Y GUANO DE CUY	17.7	530	870.0
FERTILIZANTES T3R3 / HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL Y GUANO DE CUY	20.4	589	940.0
FERTILIZANTES T4R1 / HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL , COMPOST Y GUANO DE CUY	19.0	240	1040
FERTILIZANTES T4R2 / HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL , COMPOST Y GUANO DE CUY	16.3	238	1060
FERTILIZANTES T4R3 / HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL , COMPOST Y GUANO DE CUY	23.8	321	1160
FERTILIZANTES *DUP T1R2 / HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL	28.8	801	--

Emitido en Callao-Perú el , 09/09/2019


Edgar Zárate Aguilar
Supervisor de Laboratorio
C.I.P. 22151

COD. 310 P. 18738

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Ultima Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348 - Callao 1 t (51-1) 517.1900

www.sgs.pe

Miembro del Grupo SGS

7.9 Resultados del análisis de laboratorio para coliformes termotolerantes y huevos de helmintos



INFORME DE ENSAYO N° 1-06839/19

Pág. 1/2

Solicitante : CASTRO CRUZADO, EMELI MILAGROS
 Domicilio legal : Dos de Mayo N°1179 - Celendín - Cajamarca
 Producto declarado : HUMUS
 Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 2 kg
 Muestra proporcionada por el solicitante
 Identificación de la muestra : CÓDIGO: T1R1 HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL
 PROCEDENCIA: CELENDIN-CAJAMARCA
 COORDENADAS UTM: 9240134 N 815567 S 17M; ALTITUD: 2625 MSNM
 FECHA DE MUESTREO : 12/07/2019
 RESPONSABLE DE MUESTREO: EMELI CASTRO
 Forma de Presentación : En bolsa ziplock, cerrada y conservada a temperatura ambiente
 Fecha de recepción : 2019 - 07 - 19
 Fecha de inicio del ensayo : 2019 - 07 - 19
 Fecha de término del ensayo : 2019 - 07 - 24
 Ensayo realizado en : Laboratorio de Microbiología (Callao) / Toxinas e Hidrobiología (Callao)
 Identificado con : H/S 19008137 (EXAG-11608-2019)
 Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita

Análisis Microbiológico:

Ensayo	Unidad	Resultado
Coliformes termotolerantes	NMP/100 g	45

Análisis Hidrobiológico:

Huevos de Helmintos:

GRUPO	CLASE	ESPECIE	RESULTADOS
			(Huevos/4g)
H E L M I N T O S	Trematoda	<i>Fasciola hepatica</i>	< 1
		<i>Paragonimus</i> sp.	< 1
		<i>Schistosoma</i> sp.	< 1
		<i>Clonorchis</i> sp.	< 1
		<i>Echinostoma</i> sp.	< 1
	Cestoda	<i>Taenia</i> sp.	< 1
		<i>Dipylidium</i> sp.	< 1
		<i>Hymenolepis</i> sp.	< 1
		<i>Diphyllobothrium</i> sp.	< 1
		<i>Ascaris</i> sp.	< 1
	Nematoda	<i>Ancylostoma</i> sp / <i>Necator</i> sp.	< 1
		<i>Trichuris</i> sp.	40
		<i>Capillaria</i> sp.	< 1
		<i>Trichostrongylus</i> sp.	< 1
		<i>Strongyloides</i> sp.	< 1
		<i>Enterobius</i> sp.	< 1
		<i>Macracanthorhynchus</i> sp.	< 1
		Acanthocephala	

Nota: <1 es equivalente a la no detección de huevos de helmintos



AREQUIPA
 Calle Teniente Rodríguez N° 1415
 Miraflores - Arequipa
 T. (054) 265572

CALLAO
 Oficina Principal
 Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
 T. (511) 319 9000

PIURA
 Urb. Angamos A - 2 - Piura
 T. (073) 322 908 / 9975 63161

info@cerper.com - www.cerper.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 1-06840/19

Pág. 1/2

Solicitante : **CASTRO CRUZADO, EMELI MILAGROS**
 Domicilio legal : **Dos de Mayo N°1179 - Celendín - Cajamarca**
 Producto declarado : **HUMUS**
 Cantidad de Muestras para el Ensayo : **1 muestra x 2 kg**
Muestra proporcionada por el solicitante
 Identificación de la muestra : **CÓDIGO: T1R2 HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL**
PROCEDECENCIA: CELENDIN-CAJAMARCA
COORDENADAS UTM: 9240134 N 815567 S 17M; ALTITUD: 2625 MSNM
FECHA DE MUESTREO : 12/07/2019
RESPONSABLE DE MUESTREO: EMELI CASTRO
 Forma de Presentación : **En bolsa ziplock, cerrada y conservada a temperatura ambiente**
 Fecha de recepción : **2019 - 07 - 19**
 Fecha de inicio del ensayo : **2019 - 07 - 19**
 Fecha de término del ensayo : **2019 - 07 - 24**
 Ensayo realizado en : **Laboratorio de Microbiología (Callao) / Toxinas e Hidrobiología (Callao)**
 Identificado con : **H/S 19008137 (EXAG-11608-2019)**
 Validez del documento : **Este documento es válido solo para la muestra descrita**

Análisis Microbiológico:

Ensayo	Unidad	Resultado
Coliformes termotolerantes	NMP/100 g	20

Análisis Hidrobiológico:

Huevos de Helmintos:

GRUPO	CLASE	ESPECIE	RESULTADOS (Huevos/4g)
HELMINTOS	Trematoda	<i>Fasciola hepatica</i>	< 1
		<i>Paragonimus sp.</i>	< 1
		<i>Schistosoma sp.</i>	< 1
		<i>Clonorchis sp.</i>	< 1
		<i>Echinostoma sp.</i>	< 1
	Cestoda	<i>Taenia sp.</i>	< 1
		<i>Dipylidium sp.</i>	< 1
		<i>Hymenolepis sp.</i>	< 1
		<i>Diphyllobothrium sp.</i>	< 1
		<i>Ascaris sp.</i>	< 1
Nematoda	<i>Ancylostoma sp / Necator sp.</i>	< 1	
	<i>Trichuris sp.</i>	60	
	<i>Capillaria sp.</i>	< 1	
	<i>Trichostrongylus sp.</i>	< 1	
	<i>Strongyloides sp.</i>	< 1	
	<i>Enterobius sp.</i>	< 1	
	Acanthocephala	<i>Macracanthorhynchus sp.</i>	< 1

Nota: <1 es equivalente a la no detección de huevos de helmintos



AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

PIURA
Urb. Angamos A - 2 - Piura
T. (073) 322 908 / 9975 63161

info@cerper.com - www.cerper.com



INFORME DE ENSAYO N° 1-06841/19

Pág. 1/2

Solicitante : CASTRO CRUZADO, EMELI MILAGROS
 Domicilio legal : Dos de Mayo N°1179 - Celendin - Cajamarca
 Producto declarado : HUMUS
 Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 2 kg
 Muestra proporcionada por el solicitante
 Identificación de la muestra : CÓDIGO: T1R3 HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL
 PROCEDENCIA: CELENDIN-CAJAMARCA
 COORDENADAS UTM: 9240134 N 815567 S 17M; ALTITUD: 2625 MSNM
 FECHA DE MUESTREO : 12/07/2019
 RESPONSABLE DE MUESTREO: EMELI CASTRO
 Forma de Presentación : En bolsa ziplock, cerrada y conservada a temperatura ambiente
 Fecha de recepción : 2019 - 07 - 19
 Fecha de inicio del ensayo : 2019 - 07 - 19
 Fecha de término del ensayo : 2019 - 07 - 24
 Ensayo realizado en : Laboratorio de Microbiología (Callao) / Toxinas e Hidrobiología (Callao)
 Identificado con : H/S 19008137 (EXAG-11608-2019)
 Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita

Análisis Microbiológico:

Ensayo	Unidad	Resultado
Coliformes termotolerantes	NMP/100 g	45

Análisis Hidrobiológico:

Huevos de Helmitos:

GRUPO	CLASE	ESPECIE	RESULTADOS (Huevos/4g)
H E L M I N T O S	Trematoda	<i>Fasciola hepatica</i>	< 1
		<i>Paragonimus sp.</i>	< 1
		<i>Schistosoma sp.</i>	< 1
		<i>Clonorchis sp.</i>	< 1
		<i>Echinostoma sp.</i>	< 1
H E L M I N T O S	Cestoda	<i>Taenia sp.</i>	< 1
		<i>Dipylidium sp.</i>	< 1
		<i>Hymenolepis sp.</i>	< 1
		<i>Diphyllobothrium sp.</i>	< 1
		<i>Ascaris sp.</i>	< 1
H E L M I N T O S	Nematoda	<i>Ancylostoma sp / Necator sp.</i>	< 1
		<i>Trichuris sp.</i>	< 1
		<i>Capillaria sp.</i>	< 1
		<i>Trichostrongylus sp.</i>	< 1
		<i>Strongyloides sp.</i>	< 1
H E L M I N T O S	Acanthocephala	<i>Enterobius sp.</i>	< 1
		<i>Macracanthorhynchus sp.</i>	< 1

Nota: <1 es equivalente a la no detección de huevos de helmitos



AREQUIPA
 Calle Teniente Rodríguez N° 1415
 Miraflores - Arequipa
 T. (054) 265572

CALLAO
 Oficina Principal
 Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
 T. (511) 319 9000

PIURA
 Urb. Angamos A - 2 - Piura
 T. (073) 322 908 / 9975 63161

info@cerper.com - www.cerper.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY. POR LA AUTORIDAD COMPETENTE



INFORME DE ENSAYO N° 1-06842/19

Pág. 1/2

Solicitante : CASTRO CRUZADO, EMELI MILAGROS
Domicilio legal : Dos de Mayo N°1179 - Celendín - Cajamarca
Producto declarado : HUMUS
Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 2 kg
Muestra proporcionada por el solicitante
CÓDIGO: T2R1 HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL
PROCEDENCIA: CELENDIN-CAJAMARCA
Identificación de la muestra : COORDENADAS UTM: 9240134 N 815567 S 17M; ALTITUD: 2625 MSNM
FECHA DE MUESTREO : 12/07/2019
RESPONSABLE DE MUESTREO: EMELI CASTRO
Forma de Presentación : En bolsa ziplock, cerrada y conservada a temperatura ambiente
Fecha de recepción : 2019 - 07 - 19
Fecha de inicio del ensayo : 2019 - 07 - 19
Fecha de término del ensayo : 2019 - 07 - 24
Ensayo realizado en : Laboratorio de Microbiología (Callao) / Toxinas e Hidrobiología (Callao)
Identificado con : H/S 19008137 (EXAG-11608-2019)
Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita

Análisis Microbiológico:

Ensayo	Unidad	Resultado
Coliformes termotolerantes	NMP/100 g	2 000

Análisis Hidrobiológico:

Huevos de Helmintos:

GRUPO	CLASE	ESPECIE	RESULTADOS (Huevos/4g)
H E L M I N T O S	Trematoda	<i>Fasciola hepatica</i>	< 1
		<i>Paragonimus sp.</i>	< 1
		<i>Schistosoma sp.</i>	< 1
		<i>Clonorchis sp.</i>	< 1
		<i>Echinostoma sp.</i>	< 1
	Cestoda	<i>Taenia sp.</i>	< 1
		<i>Dipylidium sp.</i>	< 1
		<i>Hymenolepis sp.</i>	< 1
		<i>Diphyllobothrium sp.</i>	< 1
		<i>Ascaris sp.</i>	< 1
Nematoda	<i>Ancylostoma sp / Necator sp.</i>	< 1	
	<i>Trichuris sp.</i>	60	
	<i>Capillaria sp.</i>	< 1	
	<i>Trichostrongylus sp.</i>	< 1	
	<i>Strongyloides sp.</i>	< 1	
		<i>Enterobius sp.</i>	< 1
	Acanthocephala	<i>Macracanthorhynchus sp.</i>	< 1

Nota: <1 es equivalente a la no detección de huevos de helmintos



AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

PIURA
Urb. Angamos A - 2 - Piura
T. (073) 322 908 / 9975 63161

Info@cerper.com - www.cerper.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY. POR LA AUTORIDAD COMPETENTE



INFORME DE ENSAYO N° 1-06843/19

Pág. 1/2

Solicitante : CASTRO CRUZADO, EMELI MILAGROS
 Domicilio legal : Dos de Mayo N°1179 - Celendin - Cajamarca
 Producto declarado : HUMUS
 Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 2 kg
 Muestra proporcionada por el solicitante
 Identificación de la muestra : CÓDIGO: T2R2 HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL
 PROCEDENCIA: CELENDIN-CAJAMARCA
 COORDENADAS UTM: 9240134 N 815567 S 17M; ALTITUD: 2625 MSNM
 FECHA DE MUESTREO : 12/07/2019
 RESPONSABLE DE MUESTREO: EMELI CASTRO
 Forma de Presentación : En bolsa ziplock, cerrada y conservada a temperatura ambiente
 Fecha de recepción : 2019 - 07 - 19
 Fecha de inicio del ensayo : 2019 - 07 - 19
 Fecha de término del ensayo : 2019 - 07 - 24
 Ensayo realizado en : Laboratorio de Microbiología (Callao) / Toxinas e Hidrobiología (Callao)
 Identificado con : H/S 19008137 (EXAG-11608-2019)
 Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita

Análisis Microbiológico:

Ensayo	Unidad	Resultado
Coliformes termotolerantes	NMP/100 g	140

Análisis Hidrobiológico:

Huevos de Helmitos:

GRUPO	CLASE	ESPECIE	RESULTADOS (Huevos/4g)
H E L M I T O S	Trematoda	<i>Fasciola hepatica</i>	< 1
		<i>Paragonimus sp.</i>	< 1
		<i>Schistosoma sp.</i>	< 1
		<i>Clonorchis sp.</i>	< 1
		<i>Echinostoma sp.</i>	< 1
	Cestoda	<i>Taenia sp.</i>	< 1
		<i>Dipylidium sp.</i>	< 1
		<i>Hymenolepis sp.</i>	< 1
		<i>Diphyllobothrium sp.</i>	< 1
		<i>Ascaris sp.</i>	< 1
Nematoda	<i>Ancylostoma sp / Necator sp.</i>	< 1	
	<i>Trichuris sp.</i>	120,0	
	<i>Capillaria sp.</i>	< 1	
	<i>Trichostrongylus sp.</i>	< 1	
	<i>Strongyloides sp.</i>	< 1	
Acanthocephala	<i>Enterobius sp.</i>	< 1	
	<i>Macracanthorhynchus sp.</i>	< 1	

Nota: <1 es equivalente a la no detección de huevos de helmitos



AREQUIPA
 Calle Teniente Rodríguez N° 1415
 Miraflores - Arequipa
 T. (054) 265572

CALLAO
 Oficina Principal
 Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
 T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

PIURA
 Urb. Angamos A - 2 - Piura
 T. (073) 322 908 / 9975 63161

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"



INFORME DE ENSAYO N° 1-06844/19

Pág. 1/2

Solicitante : CASTRO CRUZADO, EMELI MILAGROS
 Domicilio legal : Dos de Mayo N° 1179 - Celendín - Cajamarca
 Producto declarado : HUMUS
 Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 2 kg
 Muestra proporcionada por el solicitante
 CÓDIGO: T2R3 HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL
 PROCEDENCIA: CELENDIN-CAJAMARCA
 Identificación de la muestra : COORDENADAS UTM: 9240134 N 815567 S 17M; ALTITUD: 2625 MSNM
 FECHA DE MUESTREO : 12/07/2019
 RESPONSABLE DE MUESTREO: EMELI CASTRO
 Forma de Presentación : En bolsa ziplock, cerrada y conservada a temperatura ambiente
 Fecha de recepción : 2019 - 07 - 19
 Fecha de inicio del ensayo : 2019 - 07 - 19
 Fecha de término del ensayo : 2019 - 07 - 24
 Ensayo realizado en : Laboratorio de Microbiología (Callao) / Toxinas e Hidrobiología (Callao)
 Identificado con : H/S 19008137 (EXAG-11608-2019)
 Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita

Análisis Microbiológico:

Ensayo	Unidad	Resultado
Coliformes termotolerantes	NMP/100 g	680

Análisis Hidrobiológico:

Huevos de Helmintos:

GRUPO	CLASE	ESPECIE	RESULTADOS (Huevos/4g)
H E L M I N T O S	Trematoda	<i>Fasciola hepatica</i>	< 1
		<i>Paragonimus sp.</i>	< 1
		<i>Schistosoma sp.</i>	< 1
		<i>Clonorchis sp.</i>	< 1
		<i>Echinostoma sp.</i>	< 1
	Cestoda	<i>Taenia sp.</i>	< 1
		<i>Dipylidium sp.</i>	< 1
		<i>Hymenolepis sp.</i>	< 1
		<i>Diphyllobothrium sp.</i>	< 1
		<i>Ascaris sp.</i>	< 1
Nematoda	<i>Ancylostoma sp / Necator sp.</i>	< 1	
	<i>Trichuris sp.</i>	< 1	
	<i>Capillaria sp.</i>	< 1	
	<i>Trichostrongylus sp.</i>	< 1	
	<i>Strongyloides sp.</i>	< 1	
		<i>Enterobius sp.</i>	< 1
	Acanthocephala	<i>Macracanthorhynchus sp.</i>	< 1

Nota: <1 es equivalente a la no detección de huevos de helmintos



AREQUIPA
 Calle Teniente Rodríguez N° 1415
 Miraflores - Arequipa
 T. (054) 265572

CALLAO
 Oficina Principal
 Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
 T. (511) 319 9000
 info@cerper.com - www.cerper.com

PIURA
 Urb. Angamos A - 2 - Piura
 T. (073) 322 908 / 9975 63161

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUTE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE



INFORME DE ENSAYO N° 1-06845/19

Solicitante : CASTRO CRUZADO, EMELI MILAGROS
 Domicilio legal : Dos de Mayo N°1179 - Celendin - Cajamarca
 Producto declarado : HUMUS
 Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 2 kg
 Muestra proporcionada por el solicitante
 Identificación de la muestra : CÓDIGO: T3R1 HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL
 PROCEDENCIA: CELENDIN-CAJAMARCA
 COORDENADAS UTM: 9240134 N 815567 S 17M; ALTITUD: 2625 MSNM
 FECHA DE MUESTREO : 12/07/2019
 RESPONSABLE DE MUESTREO: EMELI CASTRO
 Forma de Presentación : En bolsa ziplock, cerrada y conservada a temperatura ambiente
 Fecha de recepción : 2019 - 07 - 19
 Fecha de inicio del ensayo : 2019 - 07 - 19
 Fecha de término del ensayo : 2019 - 07 - 24
 Ensayo realizado en : Laboratorio de Microbiología (Callao) / Toxinas e Hidrobiología (Callao)
 Identificado con : H/S 19008137 (EXAG-11608-2019)
 Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita

Análisis Microbiológico:

Ensayo	Unidad	Resultado
Coliformes termotolerantes	NMP/100 g	110

Análisis Hidrobiológico:

Huevos de Helmintos:

GRUPO	CLASE	ESPECIE	RESULTADOS (Huevos/4g)
HELMINTOS	Trematoda	<i>Fasciola hepatica</i>	< 1
		<i>Paragonimus sp.</i>	< 1
		<i>Schistosoma sp.</i>	< 1
		<i>Clonorchis sp.</i>	< 1
		<i>Echinostoma sp.</i>	< 1
	Cestoda	<i>Taenia sp.</i>	< 1
		<i>Dipylidium sp.</i>	< 1
		<i>Hymenolepis sp.</i>	< 1
		<i>Diphyllobothrium sp.</i>	< 1
		<i>Ascaris sp.</i>	< 1
Nematoda	<i>Ancylostoma sp / Necator sp.</i>	< 1	
	<i>Trichuris sp.</i>	< 1	
	<i>Capillaria sp.</i>	< 1	
	<i>Trichostrongylus sp.</i>	< 1	
	<i>Strongyloides sp.</i>	< 1	
Acanthocephala	<i>Enterobius sp.</i>	< 1	
	<i>Macracanthorhynchus sp.</i>	< 1	

Nota: <1 es equivalente a la no detección de huevos de helmintos



AREQUIPA
 Calle Teniente Rodríguez N° 1415
 Miraflores - Arequipa
 T. (054) 265572

CALLAO
 Oficina Principal
 Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
 T. (511) 319 9000
 info@cerper.com - www.cerper.com

PIURA
 Urb. Angamos A - 2 - Piura
 T. (073) 322 908 / 9975 63161

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE



INFORME DE ENSAYO N° 1-06846/19

Pág. 1/2

Solicitante : CASTRO CRUZADO, EMELI MILAGROS
Domicilio legal : Dos de Mayo N°1179 - Celendin - Cajamarca
Producto declarado : HUMUS
Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 2 kg
Muestra proporcionada por el solicitante
CÓDIGO: T3R2 HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL
PROCEDENCIA: CELENDIN-CAJAMARCA
Identificación de la muestra : COORDENADAS UTM: 9240134 N 815567 S 17M; ALTITUD: 2625 MSNM
FECHA DE MUESTREO : 12/07/2019
RESPONSABLE DE MUESTREO: EMELI CASTRO
Forma de Presentación : En bolsa ziplock, cerrada y conservada a temperatura ambiente
Fecha de recepción : 2019 - 07 - 19
Fecha de inicio del ensayo : 2019 - 07 - 19
Fecha de término del ensayo : 2019 - 07 - 24
Ensayo realizado en : Laboratorio de Microbiología (Callao) / Toxinas e Hidrobiología (Callao)
Identificado con : H/S 19008137 (EXAG-11608-2019)
Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita

Análisis Microbiológico:

Ensayo	Unidad	Resultado
Coliformes termotolerantes	NMP/100 g	1 700

Análisis Hidrobiológico:

Huevos de Helmintos:

GRUPO	CLASE	ESPECIE	RESULTADOS (Huevos/4g)
HELMINTOS	Trematoda	<i>Fasciola hepatica</i>	< 1
		<i>Paragonimus sp.</i>	< 1
		<i>Schistosoma sp.</i>	< 1
		<i>Clonorchis sp.</i>	< 1
	Cestoda	<i>Echinostoma sp.</i>	< 1
		<i>Taenia sp.</i>	< 1
		<i>Dipylidium sp.</i>	< 1
		<i>Hymenolepis sp.</i>	< 1
	Nematoda	<i>Diphyllobothrium sp.</i>	< 1
		<i>Ascaris sp.</i>	< 1
		<i>Ancylostoma sp / Necator sp.</i>	< 1
		<i>Trichuris sp.</i>	< 1
		<i>Capillaria sp.</i>	< 1
		<i>Trichostrongylus sp.</i>	< 1
Acanthocephala	<i>Strongyloides sp.</i>	< 1	
	<i>Enterobius sp.</i>	< 1	
	<i>Macracanthorhynchus sp.</i>	< 1	

Nota: <1 es equivalente a la no detección de huevos de helmintos



AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

PIURA
Urb. Angamos A - 2 - Piura
T. (073) 322 908 / 9975 63161

info@cerper.com - www.cerper.com

INFORME DE ENSAYO N° 1-06847/19

Solicitante : CASTRO CRUZADO, EMELI MILAGROS
 Domicilio legal : Dos de Mayo N°1179 - Celendin - Cajamarca
 Producto declarado : HUMUS
 Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 2 kg
 Muestra proporcionada por el solicitante
 Identificación de la muestra : CÓDIGO: T3R3 HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL
 PROCEDENCIA: CELENDIN-CAJAMARCA
 COORDENADAS UTM: 9240134 N 815567 S 17M; ALTITUD: 2625 MSNM
 FECHA DE MUESTREO : 12/07/2019
 RESPONSABLE DE MUESTREO: EMELI CASTRO
 Forma de Presentación : En bolsa ziplock, cerrada y conservada a temperatura ambiente
 Fecha de recepción : 2019 - 07 - 19
 Fecha de inicio del ensayo : 2019 - 07 - 19
 Fecha de término del ensayo : 2019 - 07 - 24
 Ensayo realizado en : Laboratorio de Microbiología (Callao) / Toxinas e Hidrobiología (Callao)
 Identificado con : H/S 19008137 (EXAG-11608-2019)
 Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita

Análisis Microbiológico:

Ensayo	Unidad	Resultado
Coliformes termotolerantes	NMP/100 g	4 500

Análisis Hidrobiológico:

Huevos de Helmintos:

GRUPO	CLASE	ESPECIE	RESULTADOS (Huevos/4g)
H E L M I N T O S	Trematoda	<i>Fasciola hepatica</i>	< 1
		<i>Paragonimus sp.</i>	< 1
		<i>Schistosoma sp.</i>	< 1
		<i>Clonorchis sp.</i>	< 1
H E L M I N T O S	Cestoda	<i>Echinostoma sp.</i>	< 1
		<i>Taenia sp.</i>	< 1
		<i>Dipylidium sp.</i>	< 1
		<i>Hymenolepis sp.</i>	< 1
		<i>Diphyllobothrium sp.</i>	< 1
H E L M I N T O S	Nematoda	<i>Ascaris sp.</i>	< 1
		<i>Ancylostoma sp / Necator sp.</i>	< 1
		<i>Trichostrongylus sp.</i>	< 1
		<i>Capillaria sp.</i>	< 1
		<i>Trichostrongylus sp.</i>	< 1
		<i>Strongyloides sp.</i>	< 1
		<i>Enterobius sp.</i>	< 1
Acanthocephala		<i>Macracanthorhynchus sp.</i>	< 1

Nota: <1 es equivalente a la no detección de huevos de helmintos



AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

PIURA
Urb. Angamos A - 2 - Piura
T. (073) 322 908 / 9975 63161

info@cerper.com - www.cerper.com



INFORME DE ENSAYO N° 1-06848/19

Solicitante : CASTRO CRUZADO, EMELI MILAGROS
 Domicilio legal : Dos de Mayo N°1179 - Celendin - Cajamarca
 Producto declarado : HUMUS
 Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 2 kg
 Muestra proporcionada por el solicitante
 Identificación de la muestra : CÓDIGO: T4R1 HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL
 PROCEDENCIA: CELENDIN-CAJAMARCA
 COORDENADAS UTM: 9240134 N 815567 S 17M; ALTITUD: 2625 MSNM
 FECHA DE MUESTREO : 12/07/2019
 RESPONSABLE DE MUESTREO: EMELI CASTRO
 Forma de Presentación : En bolsa ziplock, cerrada y conservada a temperatura ambiente
 Fecha de recepción : 2019 - 07 - 19
 Fecha de inicio del ensayo : 2019 - 07 - 19
 Fecha de término del ensayo : 2019 - 07 - 24
 Ensayo realizado en : Laboratorio de Microbiología (Callao) / Toxinas e Hidrobiología (Callao)
 Identificado con : H/S 19008137 (EXAG-11608-2019)
 Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita

Análisis Microbiológico:

Ensayo	Unidad	Resultado
Coliformes termotolerantes	NMP/100 g	20

Análisis Hidrobiológico:

Huevos de Helmitos:

GRUPO	CLASE	ESPECIE	RESULTADOS (Huevos/4g)
HELMINTOS	Trematoda	<i>Fasciola hepatica</i>	< 1
		<i>Paragonimus sp.</i>	< 1
		<i>Schistosoma sp.</i>	< 1
		<i>Clonorchis sp.</i>	< 1
		<i>Echinostoma sp.</i>	< 1
	Cestoda	<i>Taenia sp.</i>	< 1
		<i>Dipylidium sp.</i>	< 1
		<i>Hymenolepis sp.</i>	< 1
		<i>Diphyllobothrium sp.</i>	< 1
		<i>Ascaris sp.</i>	< 1
Nematoda	<i>Ancylostoma sp / Necator sp.</i>	< 1	
	<i>Trichuris sp.</i>	40,0	
	<i>Capillaria sp.</i>	< 1	
	<i>Trichostrongylus sp.</i>	< 1	
	<i>Strongyloides sp.</i>	< 1	
Acanthocephala	<i>Enterobius sp.</i>	< 1	
	<i>Macracanthorhynchus sp.</i>	< 1	

Nota: <1 es equivalente a la no detección de huevos de helmitos



AREQUIPA
 Calle Teniente Rodríguez N° 1415
 Miraflores - Arequipa
 T. (054) 265572

CALLAO
 Oficina Principal
 Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
 T. (511) 319 9000

PIURA
 Urb. Angamos A - 2 - Piura
 T. (073) 322 908 / 9975 63161

info@cerper.com - www.cerper.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE



INFORME DE ENSAYO N° 1-06849/19

Pág. 1/2

Solicitante : CASTRO CRUZADO, EMELI MILAGROS
Domicilio legal : Dos de Mayo N°1179 - Celendin - Cajamarca
Producto declarado : HUMUS
Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 2 kg
Muestra proporcionada por el solicitante
CÓDIGO: T4R2 HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL
PROCEDENCIA: CELENDIN-CAJAMARCA
COORDENADAS UTM: 9240134 N 815567 S 17M; ALTITUD: 2625 MSNM
FECHA DE MUESTREO : 12/07/2019
RESPONSABLE DE MUESTREO: EMELI CASTRO
Forma de Presentación : En bolsa ziplock, cerrada y conservada a temperatura ambiente
Fecha de recepción : 2019 - 07 - 19
Fecha de inicio del ensayo : 2019 - 07 - 19
Fecha de término del ensayo : 2019 - 07 - 24
Ensayo realizado en : Laboratorio de Microbiología (Callao) / Toxinas e Hidrobiología (Callao)
Identificado con : H/S 19008137 (EXAG-11608-2019)
Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita

Análisis Microbiológico:

Ensayo	Unidad	Resultado
Coliformes termotolerantes	NMP/100 g	78

Análisis Hidrobiológico:

Huevos de Helmintos:

GRUPO	CLASE	ESPECIE	RESULTADOS (Huevos/4g)
HELMINTOS	Trematoda	<i>Fasciola hepatica</i>	< 1
		<i>Paragonimus</i> sp.	< 1
		<i>Schistosoma</i> sp.	< 1
		<i>Clonorchis</i> sp.	< 1
	Nematoda	<i>Echinostoma</i> sp.	< 1
		<i>Taenia</i> sp.	< 1
		<i>Dipylidium</i> sp.	< 1
		<i>Hymenolepis</i> sp.	< 1
		<i>Diphyllobothrium</i> sp.	< 1
		<i>Ascaris</i> sp.	< 1
Acanthocephala	<i>Ancylostoma</i> sp / <i>Necator</i> sp.	< 1	
	<i>Trichuris</i> sp.	80,0	
	<i>Capillaria</i> sp.	< 1	
	<i>Trichostrongylus</i> sp.	< 1	
		<i>Strongyloides</i> sp.	< 1
		<i>Enterobius</i> sp.	< 1
		<i>Macracanthorhynchus</i> sp.	< 1

Nota: <1 es equivalente a la no detección de huevos de helmintos



AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

PIURA
Urb. Angamos A - 2 - Piura
T. (073) 322 908 / 9975 63161

info@cerper.com - www.cerper.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE.



INFORME DE ENSAYO N° 1-06850/19

Solicitante : CASTRO CRUZADO, EMELI MILAGROS
 Domicilio legal : Dos de Mayo N°1179 - Celendin - Cajamarca
 Producto declarado : HUMUS
 Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 2 kg
 Muestra proporcionada por el solicitante
 Identificación de la muestra : CODIGO: T4R3 HUMUS DE LOMBRIZ A PARTIR DE LODO RESIDUAL
 PROCEDENCIA: CELENDIN-CAJAMARCA
 COORDENADAS UTM: 9240134 N 815567 S 17M; ALTITUD: 2625 MSNM
 FECHA DE MUESTREO : 12/07/2019
 RESPONSABLE DE MUESTREO: EMELI CASTRO
 Forma de Presentación : En bolsa ziplock, cerrada y conservada a temperatura ambiente
 Fecha de recepción : 2019 - 07 - 19
 Fecha de inicio del ensayo : 2019 - 07 - 19
 Fecha de término del ensayo : 2019 - 07 - 24
 Ensayo realizado en : Laboratorio de Microbiología (Callao) / Toxinas e Hidrobiología (Callao)
 Identificado con : H/S 19008137 (EXAG-11608-2019)
 Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita

Análisis Microbiológico:

Ensayo	Unidad	Resultado
Coliformes termotolerantes	NMP/100 g	780

Análisis Hidrobiológico:

Huevos de Helmintos:

GRUPO	CLASE	ESPECIE	RESULTADOS (Huevos/4g)
H E L M I N T O S	Trematoda	<i>Fasciola hepatica</i>	< 1
		<i>Paragonimus sp.</i>	< 1
		<i>Schistosoma sp.</i>	< 1
		<i>Clonorchis sp.</i>	< 1
		<i>Echinostoma sp.</i>	< 1
	Cestoda	<i>Taenia sp.</i>	< 1
		<i>Dipylidium sp.</i>	< 1
		<i>Hymenolepis sp.</i>	< 1
		<i>Diphyllobothrium sp.</i>	< 1
		<i>Ascaris sp.</i>	< 1
Nematoda	<i>Ancylostoma sp / Necator sp.</i>	< 1	
	<i>Trichuris sp.</i>	60,0	
	<i>Capillaria sp.</i>	< 1	
	<i>Trichostrongylus sp.</i>	< 1	
	<i>Strongyloides sp.</i>	< 1	
	<i>Enterobius sp.</i>	< 1	
Acanthocephala	<i>Macracanthorhynchus sp.</i>	< 1	

Nota: <1 es equivalente a la no detección de huevos de helmintos



AREQUIPA
 Calle Teniente Rodríguez N° 1415
 Miraflores - Arequipa
 T. (054) 265572

CALLAO
 Oficina Principal
 Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
 T. (51) 319 9000

PIURA
 Urb. Angamos A - 2 - Piura
 T. (073) 322 908 / 9975 63161

info@cerper.com - www.cerper.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

7.10 Panel fotográfico



Figura 37. Lodo residual en los lechos de secado



Figura 38. Caseta experimental



Figura 39. Muestras de lodo residual fresco para la Preprueba



Figura 40. Muestras de lodo residual listos para su análisis respectivo en laboratorio



Figura 41. Extracción del material experimental (lodo residual) de los lechos de secado



Figura 42. Disposición y pesado del lodo residual en las cajas



Figura 43. Colocación de las fuentes orgánicas (estiércol de cuy y compost) en cada tratamiento.



Figura 44. Disposición de la lombriz "*Eisenia foetida*" en cada unidad experimental



Figura 45. Se regó con un litro de agua cada unidad experimental, el riego se hizo una vez a la semana.

Figura 46. Medición del pH, temperatura y humedad de cada unidad experimental

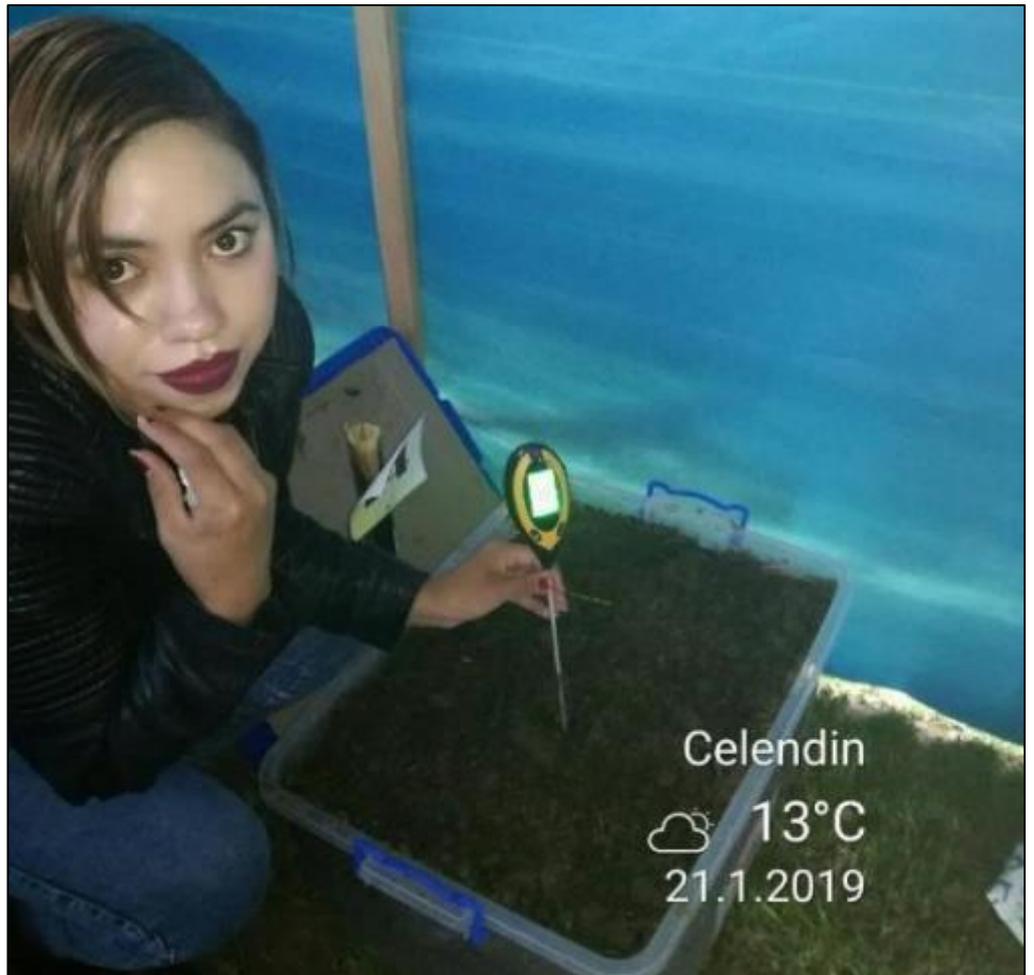




Figura 47. Primera visita de los asesores al lugar del experimento



Figura 48. Segunda visita del asesor al lugar del experimento



Figura 49. Se encontraron lombrices en la superficie de los tratamientos en casi todo el proceso.



Figura 50. Gusanos blancos encontrados en el tratamiento T1R1



Figura 51. El material experimental se observa granuloso, indicando que ya ha sido degradado a lombricompost.



Figura 52. Preparación de muestras para la medición del pH en el laboratorio de la EAPIAC



Figura 53. Lombrices extraídas para su pesado final



Figura 54. Lombrices extraídas de cada unidad experimental



Figura 55. Comparación del tamaño de una lombriz adulta y una recién eclosionada



Figura 56. Comparación de una lombriz adulta y una recién eclosionada (detalle).



Figura 57. Tamizado de muestras de cada unidad experimental para su envío a laboratorio



Figura 58. Muestras del humus obtenido en bolsas Ziploc para su envío a laboratorio.