

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Aprovechamiento de residuos orgánicos sólidos para la
obtención de abono orgánico mediante la técnica de
compostaje a pozo y vermicompostaje en la 3.^a Brigada de
Servicios de la Región Militar Sur-Ministerio de Defensa-
Arequipa, 2021**

Kimberly Estefany Vasquez Ybarcena

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Arequipa, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Jose Vladimir Cornejo Tueros
Asesor de tesis
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 11 de febrero de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Aprovechamiento de Residuos Orgánicos Sólidos para la Obtención de Abono Orgánico Mediante la Técnica de Compostaje a Pozo y Vermicompostaje en la 3ra Brigada de Servicios de la Región Militar Sur – Ministerio de Defensa - Arequipa 2021

Autores:

1. Kimberly Estefany Vasquez Ybarcena – EAP. Ingeniería Ambiental

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 4 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**): SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

ASESOR

Dr. José Vladimir Cornejo Tueros

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Continental, a la Facultad de Ingeniería y a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental.

A la Tercera Brigada de Servicios III División del Ejército de Arequipa, por permitirme realizar la presente investigación en sus instalaciones, así como brindarme su apoyo durante el proceso.

Al Dr. José Vladimir Cornejo Tueros, por su asesoría y mentoría.

DEDICATORIA

A mis padres, por todo el amor incondicional que me brindan.

A mi hermana, fuente de inspiración para ser mejor cada día.

A mis amigos, por estar siempre ofreciéndome su apoyo.

A mi novio.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Agradecimientos.....	vi
Dedicatoria	vii
Índice de contenidos.....	viii
Lista de figuras.....	xii
Lista de tablas.....	xv
Resumen	xvi
Abstract	xvii
Introducción	xviii
Capítulo I.....	19
Planteamiento del estudio.....	19
1.1. Planteamiento y formulación del problema.	19
1.1.1. Planteamiento del problema.	19
1.2. Formulación del problema.....	20
1.2.1. Problema general.....	20
1.2.2. Problema específico.	20
1.3. Objetivos	21
1.3.1. Objetivo General	21
1.3.2. Objetivos específicos.....	21
1.4. Justificación e importancia del proyecto	21
1.4.1. Justificación teórico – practica	21
1.4.2. Justificación ambiental	21
1.4.3. Justificación social y económica	22
1.5. Hipótesis	22
1.5.1. Hipótesis general	22
1.5.2. Hipótesis específicas	22
1.6. Variables	23
1.6.1. Variable independiente (Y)	23
1.6.2. Variable dependiente (Y)	23
Capítulo II	25
Marco teórico	25
2.1. Antecedentes de la investigación.....	25
2.1.1. Antecedentes internacionales	25
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	28
2.2. Bases teóricas	29
2.2.1. El compost	29

2.2.2. Compostaje.....	30
2.2.3. El sistema de compostaje	30
2.2.4. Materias primas del compostaje	31
2.2.5. Tipos de sistema de compostaje	31
2.2.6. Compostaje a pozo	32
2.2.7. Proceso de compostaje	32
2.2.8. Fases que atraviesa el proceso de compostaje	33
2.2.9. Factores que condicionan el proceso y la generación del compost	35
2.2.10. Calidad del compost	38
2.3. La lombriz roja californiana	39
2.3.1. Características de la lombriz roja	40
2.3.2. Factores que condicionan el desarrollo de la lombriz	41
2.4. Vermicompostaje	42
2.5. Humus	42
2.5.1. Características del humus	43
2.6. Norma de calidad del humus	43
2.7. Definición de términos básicos.....	44
Capítulo III.....	46
Metodología	46
3.1. Método y alcance de la investigación	46
3.1.1. Método de investigación	46
3.1.2. Tipo de investigación	46
3.1.3. Nivel de investigación.	46
3.1.4. Alcance de la investigación	47
3.2. Diseño de la investigación.....	47
3.2.1. Diseño experimental.....	47
3.2.2. Procesamiento de compost y vermicompostaje	47
3.3. Área de estudio.....	48
3.3.1. Ubicación geográfica.....	48
3.3.2. Ubicación del área de estudio	49
3.3.3. Tratamientos del estudio	49
3.4. Población y muestra	50
3.4.1. Población.....	50
3.4.2. Muestra	50
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	50
3.5.1. Técnica de la investigación	50
3.5.2. Instrumentos de la investigación	50

3.6. Inspección del manejo de residuos sólidos	51
3.6.1. Acondicionamiento	51
3.6.2. Segregación y almacenamiento primario.....	52
3.6.3. Almacenamiento intermedio	52
3.6.4. Recolección y transporte interno	52
3.6.5. Almacenamiento central o final.....	53
3.6.6. Tratamiento de residuos sólidos	53
3.6.7. Recolección y transporte externo	53
3.7. Identificación de un estado de obligación legal.....	53
3.8. Proceso de la instalación y operación	54
3.8.1. Tratamiento de compost a pozo.....	54
3.8.2. Tratamiento del vermicompostaje	56
3.9. Recolección de residuos orgánicos sólidos.....	57
3.9.1. Recojo y manejo de residuos orgánicos sólidos.....	57
Capítulo IV	59
Resultados y discusión	59
4.1. Caracterización de los residuos orgánicos sólidos	59
4.1.1. Características de fuente y peso de los residuos orgánicos generados	59
4.1.2. Descripción de la fuente y peso de los residuos orgánicos para el vermicompostaje	62
4.1.3. Características de la temperatura en el proceso de compostaje.....	63
4.1.4. Características del pH en el proceso de compostaje	67
4.2. Parámetros fisicoquímicos del abono orgánico producido.....	71
4.2.1. pH	71
4.2.2. Conductividad eléctrica.....	72
4.2.3. Porcentaje de humedad.....	72
4.2.4. Contenido de materia orgánica	73
4.2.5. Contenido de nitrógeno total	73
4.2.6. Relación carbono/nitrógeno, C/N	74
4.2.7. Porcentaje de fósforo.....	75
4.2.8. Porcentaje de potasio.....	75
4.2.9. Porcentaje de calcio.....	76
4.2.10. Porcentaje de magnesio	76
4.2.11. Porcentaje de azufre total	77
4.2.12. Contenido de boro	77
4.2.13. Contenido de hierro	78
4.2.14. Contenido de cobre.....	78

4.2.15. Contenido de manganeso.....	79
4.2.16. Contenido de zinc.....	79
4.2.17. Discusión de características fisicoquímicas del abono producido.....	80
Conclusiones.....	82
Recomendaciones.....	83
Referencias.....	84
Anexos.....	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Descripción de un sistema de compostaje	30
Figura 2. Fases del desarrollo de compostaje	35
Figura 3. Sucesión microbiana y ambiental durante el compostaje	37
Figura 5. Diagrama del proceso de vermicompostaje y compost a pozo	48
Figura 4. Ubicación del área de estudio	49
Figura 6. Situación actual del manejo de residuos orgánicos	51
Figura 7. Norma NTP 900.058 2019.....	52
Figura 8. Diagrama representativo de las pozas	55
Figura 9. Representación de la vermicompostera.....	56
Figura 10. Residuos orgánicos generados en las áreas verdes	60
Figura 11. Residuos orgánicos generados en la cocina	61
Figura 12. Residuos orgánicos generados en la bodega	61
Figura 13. Comparación de residuos orgánicos generados en diversas zonas	62
Figura 14. Registro de pesos de residuos orgánicos par la vermicompostera	62
Figura 15. Variación de la temperatura en el proceso, poza 1	63
Figura 16. Variación de la temperatura en el proceso, poza 2	64
Figura 17. Variación de la temperatura en el proceso, poza 3	65
Figura 18. Variación de la temperatura en el proceso, vermicompostaje	66
Figura 19. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje y vermicompostaje	67
Figura 20. Características del pH en el proceso de compostaje, poza 1.....	68
Figura 21. Características del pH en el proceso de compostaje, poza 2.....	68
Figura 22. Características del pH en el proceso de compostaje, poza 3.....	69
Figura 23. Características del pH en el proceso de vermicompostaje.....	70
Figura 24. Características del pH en el proceso de compostaje y vermicompostaje	70
Figura 25. Análisis comparativo del pH.....	72
Figura 26. Análisis comparativo de la conductividad eléctrica	72
Figura 27. Análisis comparativo del porcentaje de humedad	73
Figura 28. Análisis comparativo del porcentaje de materia orgánica	73
Figura 29. Análisis comparativo del porcentaje de nitrógeno total.....	74
Figura 30. Análisis comparativo de la relación C/N.....	74
Figura 31. Análisis comparativo del porcentaje de fósforo	75
Figura 32. Análisis comparativo del porcentaje de potasio	75
Figura 33. Análisis comparativo del porcentaje de calcio	76
Figura 34. Análisis comparativo del porcentaje de magnesio	76
Figura 35. Análisis comparativo del porcentaje de azufre total.....	77

Figura 36. Análisis comparativo de la cantidad de boro.....	77
Figura 37. Análisis comparativo de la cantidad de hierro.....	78
Figura 38. Análisis comparativo de la cantidad de cobre	78
Figura 39. Análisis comparativo de la cantidad de manganeso	79
Figura 40. Análisis comparativo de la cantidad de zinc	79
Figura 41. Diagnóstico de la situación actual del majeo de residuos mezclados en canastas para almacenar reciclaje.....	93
Figura 42. Diagnóstico de la situación actual de residuos orgánicos mezclados en barril de plástico para almacenarlo	93
Figura 43. Diagnóstico de la situación actual de disposición final de residuos sólidos en contenedores.....	94
Figura 44. Diagnóstico de la situación actual de disposición final de residuos sólidos en contenedores.....	94
Figura 45. Delimitación del área experimental.....	95
Figura 46. Cavado de las pozas experimentales	95
Figura 47. Delimitación del área experimental.....	96
Figura 48. Capacitación al personal de tropa en manejo de residuos orgánicos	96
Figura 49. Recolección de residuos orgánicos generados por las bodegas	97
Figura 50. Recolección de residuos orgánicos generados por poda.....	97
Figura 51. Alimentación de las pozas con diferentes residuos orgánicos generados en la cocina	98
Figura 52. Alimentación de las pozas con diferentes residuos orgánicos generados en la cocina	98
Figura 53. Alimentación de las pozas con residuos orgánicos generados por la poda de áreas verdes	99
Figura 54. Alimentación de las pozas con residuos orgánicos generados por la poda de áreas verdes con apoyo del personal de la tropa	99
Figura 55. Medición de temperatura en las pozas	100
Figura 56. Preparación del medio para medir pH.....	100
Figura 57. Medición de potencial de hidrogeno	101
Figura 58. Volteo manual de pozas de compost a pozo.....	101
Figura 59. Volteo manual de pozas de compost a pozo.....	102
Figura 60. Embolsado y Pesaje de abono orgánico	102
Figura 61. Embolsado y sellado de abono orgánico	103
Figura 62. Alimentación de vermicompostera con residuos orgánicos generados en la preparación de alimentos.....	103
Figura 63. Monitoreo de temperatura y potencial de hidrogeno de vermicompostera.....	104

Figura 64. Humus y compost producidos.....	104
Figura 65. Informe de los ensayos realizados en Certificadores del Perú.....	105
Figura 35. Certificados de calibración de los equipos utilizados en el análisis de temperatura y pH	109

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Variables del proceso de compostaje.....	23
Tabla 2. Principales sistemas de compostaje	32
Tabla 3. Fases del compostaje	36
Tabla 4. Valores de oxígeno adecuados	36
Tabla 5. Valores de temperatura en las fases de compostaje	36
Tabla 6. Parámetros de calidad exigidos para compost final.	39
Tabla 9. Clasificación taxonómica de la lombriz	40
Tabla 10. Especificaciones fisicoquímicas del humus de lombriz.....	43
Tabla 11. Ficha de parámetros fisicoquímicos analizados en laboratorio para muestras de compost.....	90
Tabla 12. Matriz de consistencia del trabajo de investigación.....	91
Tabla 13. Control de temperatura y potencial de hidrogeno	112
Tabla 14. Registro de peso y origen de la fuente generadora de residuos orgánicos	113

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, titulado «Aprovechamiento de residuos orgánicos sólidos para la obtención de abono orgánico mediante la técnica de compostaje a pozo y vermicompostaje en la 3.^a Brigada de Servicios de la Región Militar Sur, ante la falta de implementación y desarrollo de procesos e infraestructura de valorización, abordó la creación de sistemas para el reaprovechamiento de desechos orgánicos, destacando la importancia de métodos como el compostaje y el vermicompostaje. El estudio se centró en evaluar las prácticas actuales de gestión y eliminación de estos residuos. Se emplearon técnicas de compostaje en fosas con aireación manual y vermicompostaje en contenedores específicos durante un periodo de 92 días, en un diseño cuasiexperimental, que incluyó dos tratamientos con tres repeticiones cada uno. El primer tratamiento (T1) combinó residuos de cocina, desechos de poda y estiércol equino, mientras que el segundo (T2) incorporó restos alimenticios, precompost y lombrices. Los resultados indican que la temperatura media alcanzada en T1 estuvo entre 44.75 °C, 40.09 °C y 38.17 °C, y en T2, fue de 23.41 °C. El pH medio en T1 varió de 8.05, 8.16 y 8.68 y en T2 se mantuvo en 8.00, indicando que ambos tratamientos lograron las condiciones térmicas para la desactivación de patógenos. La comparación de micronutrientes en el compost producido mostró valores dentro de los estándares del IIAP, salvo en contenido de calcio. Este compost resulta adecuado como enmienda de suelo y fertilizante para áreas verdes o aplicación foliar, si se combina con otros nutrientes.

Palabras claves: abonos orgánicos, compostaje, residuos orgánicos, vermicompostaje

ABSTRACT

The present research work, entitled «Use of solid organic waste to obtain organic fertilizer through the pit composting and vermicomposting technique in the 3rd Services Brigade of the Southern Military Region, due to the lack of implementation and development of processes and recovery infrastructure, addressed the creation of systems for the reuse of organic waste, highlighting the importance of methods such as composting and vermicomposting. The study focused on evaluating the current management and disposal practices of this waste. Composting techniques were used in pits with manual aeration and vermicomposting in specific containers for a period of 92 days, in a quasi-experimental design, which included two treatments with three repetitions each. The first treatment (T1) combined kitchen waste, pruning waste and horse manure, while the second (T2) incorporated food scraps, precompost and worms. The results indicate that the average temperature reached in T1 was between 44.75°C, 40.09°C and 38.17°C, and in T2, it was 23.41°C. The average pH in T1 varied from 8.05, 8.16 and 8.68 and in T2 it remained at 8.00, indicating that both treatments achieved the thermal conditions for pathogen inactivation. The comparison of micronutrients in the compost produced showed values within the IIAP standards, except for calcium content. This compost is suitable as a soil amendment and fertilizer for green areas or foliar application, if combined with other nutrients.

Keywords: composting, organic fertilizers, organic waste, vermicomposting

INTRODUCCIÓN

La gestión adecuada de los residuos sólidos orgánicos se ha convertido en una prioridad fundamental en el contexto actual de creciente preocupación por el medio ambiente y la sostenibilidad. La acumulación de estos desechos no solo causa contaminación en el medio ambiente, sino que también ofrece una oportunidad desperdiciada para producir abonos orgánicos de calidad. La evaluación y optimización de las técnicas de compostaje y vermicompostaje utilizadas en los desechos orgánicos producidos en la Tercera Brigada de Servicios de la Región Militar Sur del Ministerio de Defensa en Arequipa es el objetivo de esta investigación. El objetivo principal de esta investigación es obtener abono orgánico utilizando técnicas de compostaje a pozo y vermicompostaje a partir de desechos sólidos orgánicos producidos por la Tercera Brigada de Servicios. Identificar las características de los desechos, analizar las variaciones de temperatura y pH durante el proceso y determinar las características fisicoquímicas del abono producido son objetivos específicos. Según la hipótesis general, el compostaje y el vermicompostaje pueden aprovechar y valorar la acumulación de desechos orgánicos sólidos para producir abonos orgánicos. Las hipótesis específicas indican que los desechos producidos tienen características apropiadas para la fabricación de compost y vermicompost, que la temperatura y el pH tienen un impacto significativo en la calidad del abono y que los abonos obtenidos cumplen parcialmente con los estándares de calidad. El diseño de este estudio es cuasiexperimental y su enfoque es cuantitativo y descriptivo. La población de estudio incluye todos los desechos orgánicos producidos por la Tercera Brigada de Servicios, mientras que la muestra incluye desechos recolectados en el comedor principal, las concesionarias y las áreas verdes de la institución. La metodología incluye la recolección, separación, caracterización y monitoreo *in situ* de parámetros fisicoquímicos como la temperatura y el pH, entre otros, relacionados con el compostaje a pozo y el vermicompostaje.

En resumen, esta investigación no solo tiene como objetivo reducir el impacto ambiental de los desechos orgánicos, sino también fomentar prácticas sostenibles que ayuden a mejorar la gestión de desechos y la producción de abonos orgánicos de calidad en instituciones militares y otras organizaciones similares.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema.

1.1.1. Planteamiento del problema.

Los residuos sólidos son sustancias o productos que ya no sirven o dejaron de tener utilidad y que comúnmente es llamada basura. Los residuos sólidos pueden clasificarse según su origen, gestión, peligrosidad y composición química. Sin embargo, dentro de los residuos sólidos se encuentran algunos que pueden ser útiles; son los denominados residuos orgánicos sólidos (1).

Los residuos orgánicos presentan un problema ambiental de gran magnitud, al ser dispuestos directamente en contenedores, rellenos sanitarios que no cuentan con la capacidad suficiente para contener el volumen de residuos orgánicos generados en una institución con una alta población sea esta estatal o privada. Es por lo que en el reglamento del D. L. 1278, Ley de gestión integral de residuos sólidos, se agrega como alternativa de gestión y manejo: la valorización de los residuos orgánicos sólidos, la cual debe priorizarse frente a la disposición final, siendo considerada el proceso de compostaje y de vermicompostaje una operación de valorización de importancia (Decreto Supremo N.º 014-2017) (1).

Uno de los aspectos significativos para la Tercera Brigada de Servicios de la Región Militar Sur, es la generación de residuos orgánicos proveniente de los comedores, teniendo una generación mensual promedio de 332 kg, representando hasta en un 60 % del total de residuos generados mensualmente.

El manejo de residuos orgánicos durante el 2021 en la Tercera Brigada de Servicios de la Región Militar Sur contemplaba las operaciones de segregación, almacenamiento, transporte y disposición final, sin considerar la valorización, debido principalmente al desconocimiento de opciones para su tratamiento, ya que la Tercera Brigada de Servicios de la Región Militar Sur se encuentra localizada sobre los 2400 m s. n. m. teniendo una temperatura promedio anual de 13.5 °C, estas condiciones geográficas y climáticas favorecen la degradación de la materia orgánica en técnicas convencionales de reaprovechamiento de residuos orgánicos, ya que las velocidades microbianas de reacción son notablemente eficientes, es así que son transportados fuera de la Tercera Brigada de Servicios de la Región Militar Sur por un camión recolector, que pasa con una frecuencia de dos veces por semana, llevando los residuos hacia un relleno sanitario autorizado, lo que conlleva un acortamiento de la vida útil del relleno sanitario, contribución a la generación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), generación de lixiviados, y costos operacionales altos de disposición final.

En este sentido, se plantea el proceso de compostaje y vermicompostaje como alternativa de valorización a los residuos orgánicos generados en la Tercera Brigada de Servicios de la Región Militar Sur.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuáles son las características de los residuos sólidos orgánicos generados para la elaboración de compost y vermicompost en la 3.^a brigada de servicios de la Región Militar Sur - Ministerio de Defensa - Arequipa?

1.2.2. Problema específico.

- ❖ ¿Cuáles son las características de los residuos sólidos orgánicos generados en la 3.^a brigada de servicios de la Región Militar Sur - Ministerio de Defensa - Arequipa?
- ❖ ¿Cuáles son las variaciones de la temperatura y pH en el proceso de compostaje y vermicompostaje?
- ❖ ¿Cuáles son las características fisicoquímicas al final del experimento del compost y vermicompost?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Obtener abono orgánico mediante la técnica del compostaje a pozo y vermicompostaje a partir de residuos orgánicos sólidos en la Tercera Brigada de Servicios de la Región Militar Sur – Ministerio de defensa - Arequipa 2021.

1.3.2. Objetivos específicos

- ❖ Identificar las características de los residuos sólidos orgánicos generados en la Tercera Brigada de Servicios de la Región Militar Sur – Ministerio de defensa.
- ❖ Analizar las variaciones de la temperatura y pH en el proceso de compostaje y vermicompostaje.
- ❖ Determinar las características fisicoquímicas al final del experimento del compost y vermicompost

1.4. Justificación e importancia del proyecto

1.4.1. Justificación teórico – practica

La presente investigación tiene como justificación teórico – practica establecer un nuevo aporte a la información existente. Actualmente, no existe investigación alguna en el lugar de estudio, la 3.^a Brigada de servicios de la región militar sur, Ministerio de Defensa perteneciente al distrito de Mariano Melgar. Pretende ser un apoyo al conocimiento básico sobre la aplicación de técnicas de aprovechamiento y valorización de residuos orgánicos; compostaje y vermicompostaje. Para su réplica en instituciones del Ministerio de Defensa y formulación de proyectos investigativos.

1.4.2. Justificación ambiental

En la provincia de Arequipa el 54.12 % de residuos generados son residuos orgánicos reaprovechables, según Sigersol Minam (3). La gestión municipal valoriza el 0.39 % de residuos orgánicos respecto al total valorizable. La situación continúa en el distrito de estudio Mariano Melgar, que según el Reporte de Sigersol, Minam 2021, logró valorizar 14,53 toneladas de residuos orgánicos al año, cerca del 0,22 % del total de residuos orgánicos. Existe una brecha de revalorización, por lo que es necesario el desarrollo e implementación de procesos e infraestructura de reaprovechamiento de residuos orgánicos (3).

La valorización mediante técnicas de compostaje, vermicompostaje u otras permite la disminución en volumen de residuos que tienen como disposición final el botadero en Quebrada

Onda, infraestructura de disposición final controlada que aún no cumple ciertos requisitos para tener la categoría de relleno sanitario. La descomposición controlada de los residuos orgánicos evita generar contaminación atmosférica, contaminación de suelos y contaminación de cuerpos de agua.

1.4.3. Justificación social y económica

Frente a la problemática sobre manejo y disposición final de residuos orgánicos, así como, la escasa revalorización descrita en el planteamiento del problema, se propone ejecutar el proyecto «Implementación y ejecución de la planta piloto de abono orgánico». El proceso de compostaje tiene proyecciones positivas en cuanto a rentabilidad, ya que la materia prima es un recurso gratuito que busca su reaprovechamiento para la producción de un abono, ya sea compost o humus. El cual puede ser utilizado para la mejora de las áreas verdes o como un producto que genere ingresos. Beneficiaría a un total de 275 habitantes del servicio militar voluntario, oficiales, suboficiales, técnicos y personal civil. Por primera vez, se iniciará la creación de esta planta piloto en las instalaciones del cuartel Salaverry dando el primer paso para la mejora de la guía de buenas prácticas ambientales del Ejército del Perú – Ministerio de Defensa.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La acumulación de residuos orgánicos sólidos en contenedores y recipientes de basura incrementa la contaminación, es posible el aprovechamiento y valorización, para obtener abonos orgánicos mediante el compostaje y el vermicompostaje en las instalaciones de la Tercera Brigada de Servicios de la Región Militar Sur.

Hipótesis nula

La acumulación de residuos orgánicos sólidos en contenedores y recipientes de basura no incrementa la contaminación, y no es posible el aprovechamiento y valorización para obtener abonos orgánicos mediante el compostaje y el vermicompostaje en las instalaciones de la Tercera Brigada de Servicios de la Región Militar Sur.

1.5.2. Hipótesis específicas

Hipótesis específica 1

Los residuos sólidos orgánicos generados en la Tercera Brigada de Servicios de la Región Militar Sur – Ministerio de Defensa tienen características adecuadas para la producción de compost y vermicompost.

Hipótesis nula

Los residuos sólidos orgánicos generados en la Tercera Brigada de Servicios de la Región Militar Sur – Ministerio de Defensa no tienen características adecuadas para la producción de compost y vermicompost.

Hipótesis específica 2

La temperatura y el potencial de hidrógeno del proceso de compostaje y vermicompostaje varían de manera significativa a lo largo del tiempo, afectando la calidad del abono orgánico producido.

Hipótesis nula

La temperatura y el potencial de hidrógeno del proceso de compostaje y vermicompostaje no varían de manera significativa a lo largo del tiempo, y no afectan la calidad del abono orgánico producido.

Hipótesis específica 3

El compost y vermicompostaje obtenidos presentan características fisicoquímicas óptimas que cumplen parcialmente con los estándares de calidad para su uso como abono orgánico.

Hipótesis nula

El compost y vermicompostaje obtenidos no presentan características fisicoquímicas óptimas que cumplan con los estándares de calidad para su uso como abono orgánico.

1.6. Variables

1.6.1. Variable independiente (Y)

Residuos orgánicos sólidos

1.6.2. Variable dependiente (Y)

Abono orgánico (compost y humus)

Tabla 1. Variables del proceso de compostaje

Variables	Conceptualización	Dimensiones	Indicador	Unidad
Residuos orgánicos (X)	Diagnóstico del manejo y disposición final de residuos orgánicos	Inspección observacional	Composición, peso y porcentaje de cada zona de recolección.	Peso, porcentaje.
			Peso	kg

Compost y Humus (Y)	Recolección de residuos orgánicos como materia prima	Análisis de parámetros fisicoquímicos	Temperatura	°C
			Tiempo de descomposición	número de días
			Humedad	g/100 g
	Análisis y evaluación del abono orgánico producido	Parámetros fisicoquímicos	Conductividad eléctrica	dS/m
			Potencial de hidrogeno	Escala
			Materia orgánica	g/100 g
		Contenido de nutrientes	Nitrógeno total	g/100 g
			Relación C/N	C/N
			Fósforo	g/100 g
			Potasio	g/100 g
			Zinc	mg/kg
			Manganeso	mg/kg
			Azufre total	g/100 g
			Boro	mg/kg
			Hierro	mg/kg
			Cobre	mg/kg
			Calcio	g/100 g
			Magnesio	g/100 g
Sodio total	g/100 g			

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Infante (4), en su investigación, tiene como objetivo obtener un humus de calidad a partir de residuos generados de restaurantes en Chapinero, Bogotá, Colombia. Utilizó el proceso de vermicompostaje semicontinuo con una alimentación de cada 15 días y el proceso terminó en 90 días. Los resultados del análisis de suelos se compararon con la NTC 5167, donde la humedad presentó un valor de 28.89 %, carbono orgánico con 25,26 % cumpliendo la norma. El potencial de nitrógeno se cumple, el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio no lo cumplieron, por lo que el autor recomienda agregar residuos que puedan aumentar estos valores.

Santibáñez (5), tuvo como objetivo principal diseñar una planta de compostaje que permita generar un producto capaz de mejorar la propiedades químicas y físicas del suelo. El diseño experimental tuvo seis tratamientos utilizando el método de pilas de compostaje con uno como testigo. Una de las pilas presentó un sistema de aireación forzada. Los tratamientos fueron inoculados con un cultivo de microorganismos, como análisis estadístico usaron la transformada de BLISS para convertir los porcentajes discretos en valores continuos. Se realizó el análisis de varianza Andeva con un porcentaje de confiabilidad del 95 %. Los resultados muestran que cumplen con la Norma de compost Conama y sus estándares de calidad clasificándolo en compost de clase A. Presenta un alto contenido de micronutrientes y destrucción de microorganismos patógenos. El inóculo tuvo como concentración óptima para acelerar el proceso de compostaje 6 g/m^3 que reduce el tiempo de estabilización del compost.

En la investigación «Calidad de la materia orgánica y pérdida de fitotoxicidad en etapas progresivas de compostaje de bagazo de oliva» (6), el objetivo principal fue evaluar durante el proceso de compostaje el orujo de oliva a partir de tres características reconocidas como factores limitantes de la actividad microbiana; C/N, densidad, contenido de humedad y fitotoxicidad. Contó con cuatro tratamientos en una escala industrial de 27 m³ con diferentes dosis de orujo de oliva y otras materias como cáscara de almendra y estiércol. Se registró la temperatura interior y exterior diariamente, también la evapotranspiración potencial utilizando una estación meteorológica cercana, y el contenido de humedad con constante riego. En total tuvieron 160 muestras para su posterior análisis de laboratorio.

Los resultados para el diagrama de Van Krevelen (H/C vs. O/C) muestran a los 98 días un aumento de la aromatización y degradación de carbohidratos, a los 120 días aumentó la aromatización. El análisis de componentes principales muestra que la calidad de materia orgánica fue de 83 % que explica el aumento de variabilidad. La disponibilidad de nitrógeno aumentó en relación con el contenido de carbono (alto/C/N) que disminuye y el potencial de nitrógeno aumenta. Concluyó que la alta fitotoxicidad de orujo de oliva después de los 120 días de compostaje aeróbico se reduce significativamente para los compuestos alifáticos (alto H/C) y que el compostaje forma constituyentes orgánicos que favorece la calidad de materia orgánica debido a la presencia de ácidos húmicos (6).

En la investigación «Análisis preliminar de la comunidad bacteriana en diferentes etapas del proceso de compostaje del orujo de oliva» (7), el objetivo fue estudiar la evolución de la comunidad bacteriana y aislar e identificar bacterias durante todo el proceso de compostaje. Utilizó el método de pilas trapezoidales con cuatro pilas, que tuvieron aireación por volteo manual exceptuando la pila D. El muestreo consta de cinco muestras compuestas recolectadas en cada fase del proceso, siendo tres fases en total.

El método de aislamiento de bacterias utilizó la dilución seriada para inocular placas Petri, se incubaron para imitar las condiciones de las diferentes fases de compostaje durante 48 h, contabilizando el número de colonias de cada morfotipo. La identificación de bacterias utilizó la secuenciación de una parte del gen 16S Rna, usando el kit Redextract-N.AmpTm Plamt PCR, utilización del servicio de Macrogen Inc y el *software* Bioedit. El análisis estadístico mostró como resultados las diferencias significativas con respecto a composición y diversidad microbiana entre las diferentes fases de compostaje y entre las pilas, demostrando un continuo cambio de especies bacterianas (7).

El estudio «Efectos de *Sesuvium verrucosum* Raf, abono y lombricomposta sobre los parámetros de crecimiento y producción del cultivo *Solanum Lycopersicum L.*» (8), tuvo como objetivo principal usar la especie *S. verrucosum* para la producción de compost y vermicompost como un abono orgánico estable y maduro y así determinar su calidad. También tienen como objetivo utilizar este abono orgánico para evaluar su influencia en los parámetros de producción y crecimiento para el cultivo de *Solanum Lycopersicum L.* La construcción de composta y vermicomposteras se realizó en un invernadero con condiciones controladas. Se utilizó la lombriz *Eisenia fetida* (*Savigny*). Propuso 8 tratamientos en los cuales mezcló en diferentes proporciones estiércol ovino + urea, compost, *S. verrucosum*.

El principal resultado afirma haber conseguido la estabilidad para todos los tratamientos, todos los tratamientos de compostaje produjeron un abono maduro además con alto contenido de nutrientes atravesando los 140 días del proceso. Los tratamientos elaborados con una relación de 25 % de halófitas y 75 % de estiércol de bovino (T8 y T4) lograron los mayores parámetros morfológicos en las diferentes variables evaluadas, así como, los mayores rendimientos. El estudio concluyó que la *S. verrucosum* puede usarse como una enmienda orgánica estable y con gran aporte de nutrientes para el mejor del desarrollo y crecimiento del cultivo de *S. Lycopersicum* (8).

En la investigación «Compostaje de residuos vegetales frescos y su aplicación en cultivos de lechuga» (9), su principal objetivo fue someter a un proceso de transformación los principales residuos vegetales, pasto cortado y desechos de alimentos de vegetales frescos para la producción de abono orgánico; como segundo objetivo, evaluar la factibilidad técnica de producción de lechuga utilizando la mezcla en diferentes proporciones de compost y sustrato comercial. El estudio se llevó a cabo en la Universidad Federal de Sao Carlos en el centro de Ciencias Agrarias. Utilizó la técnica de compostaje en pila de 1.0 m de alto x 1.0 m de ancho, la parte experimental utilizó un esquema factorial de 6 x 2.

El análisis estadístico utilizó el análisis de varianza, pruebas de promedio, regresiones y prueba de Tukey con el apoyo del *software* Assistat versión 7.7. Los resultados muestran la viabilidad para aplicar el compost como un fertilizante orgánico y la utilización de residuos como materia prima. Como conclusión el compost obtenido aplicado entre el 20 % y el 27 % del volumen de la mezcla con sustrato es efectivo para el cultivo de lechuga y podría sustituir los fertilizantes comerciales (9).

En la investigación «Caracterización física y química de compost de lombrices elaborados a partir de residuos orgánicos combinados y puros» (10), tuvo como principal

objetivo evaluar el rendimiento y calidad del compost, así como, sus características fisicoquímicas para determinar la proporción de mezcla de sustratos más adecuada. Su diseño experimental fue completamente al azar, tuvo cinco tratamientos con cinco repeticiones. El compost luego de 90 días fue mezclado para añadirse lombrices. Se determinó del producto obtenido los valores para nutrientes como F, N, K, materia orgánica, y potencial de hidrógeno. Como resultado, las mezclas tuvieron diferencias significativas en relación con los materiales. La mezcla de compost de lombriz y estiércol al 100 % tuvo los valores máximos de N y P. El tratamiento 1 tuvo el mayor rendimiento. Los tratamientos 2 y 5 tuvieron los valores más elevados de potasio y el potencial de hidrogeno elevado (10).

2.1.2. Antecedentes nacionales

Vera (11), tuvo como objetivo principal la obtención de compost como producto. Se llevó a cabo dentro de la instalación de la planta Copeinca. Su metodología tuvo tres tratamientos utilizando el método tradicional de compostaje, añadiendo una dosificación máxima de lodos del 93.9 %. Evaluó diferentes factores climatológicos, los cuales fueron medidos periódicamente: el porcentaje de humedad tuvo un promedio de 48.6 %. La temperatura obtuvo un promedio de 443.25 °C, el potencial de hidrógeno en promedio obtuvo valores alcalinos con 8.72. Tuvo como resultado un abono de excelente calidad con contenido de macro- y microelementos dentro del rango permitido por la norma 2880 a excepción del calcio. Utilizó la evaluación y comprobación de la efectividad en muestras de suelo y plantas.

Rodríguez (12), tuvo como fin estimar la influencia de los residuos orgánicos generados de diferentes fuentes como mercados, domicilios y jardinería en la calidad del producto y eficiencia del proceso del compostaje Takakura. El diseño experimental fue de un solo factor, de 3 x 3, es decir, 3 tratamientos con 3 repeticiones. Tuvo como muestra los valores de 12 kg, 17 kg y 23 kg de la población de residuos producidos en la ciudad Laredo. Se utilizó compost semilla para facilitar la degradación de residuos, tuvo como peso 14 kg de inóculo. Mencionan el monitoreo y análisis de los parámetros fisicoquímicos durante todo el proceso de compostaje, el porcentaje de humedad fue elevado, el pH tuvo valores ligeramente alcalinos, la relación C/N fue baja en todas las muestras. El contenido de materia orgánica fue superior al 60 % para todas las muestras resultando óptimo. Como conclusión afirmaron encontrar una influencia significativa de los residuos orgánicos en la calidad y eficiencia del compost Takakura.

Pilco (13), tuvo como objetivo evaluar el proceso de compostaje de residuos orgánicos, aplicando microorganismos eficaces La metodología utilizada se llevó a cabo en un laboratorio. El tiempo de descomposición se estimó por el método organoléptico. La granulometría separó las partículas de las muestras con un valor <1.5 mm. La temperatura fue tomada por el

termómetro Hanna modelo espiga. Los valores de pH fueron medidos por el método potenciométrico.

La calidad del compost producto fue evaluada en un laboratorio. El diseño experimental fue completamente al azar con 3 tratamientos y 3 repeticiones. Como resultado el tiempo de degradación del T1, T2, T3 fueron de 61,52 y 75 días consecuentemente. La granulometría en todas las muestras de compost tuvo el rango de 85.7 % - 90.6 % con diámetros inferiores a <1.5 mm. La T° y pH promedio del primer tratamiento fue de 25.58°C y pH 7.05. La T° y pH promedio del segundo tratamiento fue de 27.63°C y pH 7.7. La T° y pH promedio del tercer tratamiento fue de 25.78°C y pH 7.6. Según las normas de calidad consultadas el compost obtenido de los 3 tratamientos cumple los parámetros generales a excepción del contenido de nutrientes para F y K con valores inferiores a $P < 0.05$. Finalmente concluye que el uso de diferentes sustratos en el proceso de compostaje, tuvo influencia en la granulometría, el tiempo de degradación, la T°, pH y la presencia de microorganismos eficientes contribuyó en la calidad del producto (13).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. El compost

Es un abono orgánico proveniente de la materia orgánica residual, atraviesa todo el proceso de compostaje. El compost es un producto maduro e inocuo, ya que se encuentra libre de agentes patógenos y no presenta malos olores. Debido a que atraviesa la etapa termófila donde se alcanza temperaturas superiores a los 60 °C – 80 °C. El compost está compuesto por partículas finas y de color oscuro debido a la presencia de minerales y nutrientes en su composición (13).

El compost como producto maduro, inocuo y estabilizado puede utilizarse como:

- Fertilizante
- Acondicionador del suelo
- Retenedor de humedad
- Mejorador de la estructura del suelo
- Reductor de la erosión
- Mejora la infiltración

El compost como abono orgánico agrega carbono al suelo. Posee características fisicoquímicas y biológicas beneficiosas para el mismo y para la vegetación. Este fenómeno fomenta la cadena trófica del suelo (2).

2.2.2. Compostaje

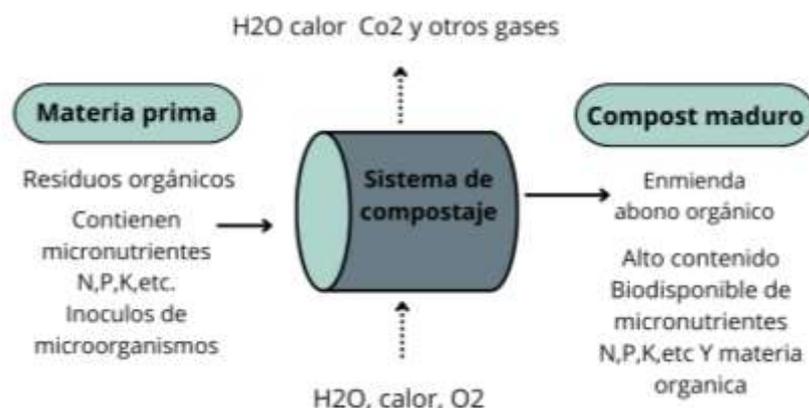
El compostaje es un proceso biológico aeróbico, es decir, se lleva a cabo en presencia de oxígeno, gracias a la acción de diversos microorganismos. Estos organismos experimentan una curva de crecimiento microbiológico, durante la cual se produce la biodegradación de la materia orgánica. Nacen, crecen y se reproducen dentro de los materiales orgánicos en descomposición, transformándolos en compost, un producto rico en nutrientes y beneficioso para el suelo (14).

Es así como la materia orgánica adopta otras composiciones y formas químicas. El compost final como producto será dependiente de los tipos de metabolismo y de los 2 grupos fisiológicos que haya tenido (14).

El compostaje es un proceso que permite ejercer cierto grado de control sobre la biodegradación de la materia orgánica. Mediante la regulación de parámetros fisicoquímicos como la humedad, temperatura, potencial de hidrógeno (pH), oxigenación (aireación), entre otros, en condiciones controladas, se facilita una degradación estable y eficiente de los residuos orgánicos. Este manejo cuidadoso asegura la transformación óptima de la materia orgánica en compost, un abono rico y beneficioso para el suelo.

2.2.3. El sistema de compostaje

El proceso de compostaje funciona como un sistema eficaz, donde las entradas consisten en la adición de materia orgánica, así como, de agua y oxígeno según sea necesario. Los microorganismos descomponen esta materia prima de acuerdo con la curva de crecimiento microbiológico. Como resultado, en la salida se obtienen productos tales como el abono orgánico, dióxido de carbono (CO_2), calor y agua evaporada. Estos productos, especialmente el abono orgánico, serán posteriormente utilizados por otros organismos, como las plantas, cerrando así el ciclo de nutrientes y contribuyendo a la sostenibilidad del medio ambiente.



*Figura 1. Descripción de un sistema de compostaje
Fuente: Sistema de compostaje (15)*

2.2.4. Materias primas del compostaje

El carbono e hidrógeno son compuestos que constituyen principalmente los materiales orgánicos y son aprovechados por los microorganismos en sus procesos metabólicos (16).

Los materiales de composta son los siguientes (16).

- **Residuos de cosechas:** Se mencionan los residuos y desechos vegetales jóvenes como son frutos, raíces, tubérculos, hojas, entre otros. Carecen de carbono y son ricos en nitrógeno. Aquellos residuos adultos como ramas, troncos, tallos, entre otros, tienen menor presencia de nitrógeno.
- **Residuos domiciliarios:** Se originan luego del preparado de alimentos como son restos de vegetales, vegetales putrefactos, restos de frutas degradadas, cáscaras, tubérculos, restos de hortalizas y residuos o desechos de animales.
- **Estiércol de animal:** El estiércol de vaca es destacado por sus propiedades y su uso común. Otro estiércol de gran interés es el estiércol de conejo, la gallinaza, estiércol de caballo, estiércol purines, estiércol de ovejas, estiércol de caballo, etc.
- **Complementos minerales:** Destacan las rocas calizas y magnésicas, los fosfatos naturales son abundantes en potasio y oligoelementos. Las rocas silíceas desintegradas en partículas pequeñas en forma de polvo se utilizan para suplir las carencias de ciertos tipos de suelos.
- **Verdes secos:** En este grupo de residuos destacan los producidos por la poda o mantenimientos de áreas verdes como son hojas y flores secas, ramas con hojas secas. Los generados también al secar diferentes tipos de hojas aromáticas o las flores decorativas secas.

2.2.5. Tipos de sistema de compostaje

Los sistemas de compostaje se clasifican en dos, sistemas cerrados y abiertos. En ellos la fase de maduración se lleva a cabo. Tienen como diferencia que el primero se realiza en contenedores o reactores.

Tabla 2. Principales sistemas de compostaje

Principales sistemas de compostaje	
Sistema abierto	Sistema Cerrado
Apilamiento estático aireado (sin volteo)	Reactor de flujo en pistón vertical
Apilamiento con volteo	Reactor de flujo en pistón horizontal
	Reactor de lecho agitado

2.2.6. Compostaje a pozo

Las composturas pueden ser de diseño abierto a cerrado; cada uno con ventajas, desventajas y condicionantes para tener en cuenta.

- Lo ideal es de dimensiones rectangulares (50 x 60 cm) y de profundidad no mayor a 50 cm para permitir volteo con horquilla (ideal para zonas secas).
- Hay que cubrirlo de la lluvia, del sol directo y de los animales. Se recomienda que tenga tapa, pero que no sea hermética para permitir la ventilación y salida de los gases del proceso.
- El compostaje a pozo es ideal para zonas secas, debido a que concentra la humedad en el interior de la poza, evitando que el agua escape por evapotranspiración o evaporación.

2.2.7. Proceso de compostaje

La materia prima, en este caso, la materia orgánica puede biodegradarse, descomponerse, podrirse o fermentarse en las siguientes condiciones:

- En condiciones no controladas. Ello sucede todos los días cuando los residuos se convierten en desechos y su disposición final no es la adecuada, como consecuencia generan una inadecuada descomposición que produce malos olores y aparición de insectos o roedores.
- En condiciones controladas, reduce considerablemente los posibles impactos que puede generar al ambiente.

Haug (17), menciona la siguiente definición de compostaje, el sistema de compostaje como tratamiento se encuentra bajo condiciones de oxigenación y condiciones en las que la materia alcanza temperaturas elevadas en un medio controlado. La materia orgánica se degrada debido a la actividad microbiológica. El producto final es el compost maduro, el cual puede

usarse como sustrato, enmienda o abono natural. Un compost maduro es aquel que no tiene presencia de agentes patógenos.

2.2.8. Fases que atraviesa el proceso de compostaje

Según la evolución de la temperatura en el proceso de compostaje:

a) Fase de latencia o mesolítica

La etapa de latencia o mesofílica representa el inicio del proceso de compostaje, comenzando desde la formación de la pila de compost y marcándose por el registro de incrementos en la temperatura. La temperatura inicial en esta fase depende tanto de la composición de la materia orgánica introducida como de la temperatura ambiente existente. Durante este periodo, los microorganismos presentes en la mezcla se encuentran en un proceso de adaptación, iniciando y ajustando sus ciclos metabólicos para comenzar la descomposición efectiva de la materia orgánica.

b) Fase mesófila y mesotérmica

Durante esta fase, los microorganismos presentes en el compost continúan su proceso de adaptación al entorno. Además, comienzan a reproducirse rápidamente, lo que resulta en un incremento significativo de su población. Este aumento en la actividad microbiana se refleja en el desarrollo de la curva de crecimiento microbiológico. Esta etapa del proceso de compostaje suele tener una duración aproximada de entre 2 a 8 días, con temperaturas que oscilan entre los 20 °C y los 50 °C. Durante este periodo, se genera un ambiente de pH ácido, en el rango de 5 a 5.5, debido a la producción de ácidos orgánicos que resultan de la descomposición de compuestos solubles, como los azúcares.

c) Fase termófila

En la fase termófila del proceso de compostaje, la duración puede variar de una a ocho semanas, dependiendo de la velocidad de degradación o fermentación de la materia orgánica. Durante esta etapa, los microorganismos mesofílicos son reemplazados por termófilos, que son capaces de sobrevivir y prosperar en un rango de temperatura más elevado, específicamente entre 50 °C y 70 °C. Esta transición permite a los microorganismos termófilos experimentar una fase de crecimiento exponencial. Los termófilos desempeñan una función crucial en la transformación del nitrógeno en amoníaco, proceso llevado a cabo por bacterias, actinobacterias, bacilos y actinomicetos. Además, esta fase se caracteriza por la biodegradación de compuestos de composición química más compleja, como la lignina, celulosa y proteínas.

A medida que avanza la fase termófila, el potencial de hidrógeno (pH) tiende a aumentar, contribuyendo a la eliminación de agentes patógenos. Por esta razón, esta etapa es conocida como la fase de higienización, ya que asegura que el compost resultante sea seguro y libre de organismos nocivos para la salud.

d) Fase mesófila o de enfriamiento

Durante la fase de enfriamiento del proceso de compostaje, los microorganismos termófilos atraviesan la fase estacionaria y posteriormente la fase de muerte en su curva de crecimiento. Este cambio se debe principalmente al descenso de la temperatura a valores inferiores a 45 °C y al agotamiento de las fuentes de carbono (C) y nitrógeno (N) como nutrientes esenciales. Como resultado, los microorganismos mesófilos, que son más adaptativos a temperaturas moderadas, vuelven a predominar y reinician su ciclo de crecimiento.

En esta etapa, los microorganismos se encargan de degradar polímeros más resistentes y complejos, como la celulosa y la lignina, que quedan en el compost. Además, comienza la aparición de pequeños invertebrados y hongos, que contribuyen a la diversidad biológica del compost y a la descomposición de la materia orgánica.

El potencial de hidrógeno (pH) experimenta una ligera disminución, situándose en un rango de 7.0 a 7.5, lo que indica un ambiente ligeramente alcalino. El periodo de enfriamiento del compost puede extenderse durante varias semanas, durante las cuales el compost se estabiliza y madura, convirtiéndose en un producto final de alta calidad, listo para ser utilizado como enmienda orgánica en el suelo.

e) Fase de maduración

Durante la fase final del proceso de compostaje, los microorganismos mesófilos experimentan una fase de crecimiento exponencial, avanzando posteriormente hacia la fase estacionaria. En esta etapa, se produce una degradación más lenta de la materia orgánica que resulta ser más difícil de descomponer. Asimismo, se observa la presencia de diversos organismos que contribuyen a la degradación de estos materiales resistentes. La temperatura del compost comienza a disminuir gradualmente, estabilizándose con la temperatura ambiente en un rango de 20 °C a 15 °C. Esta reducción de la temperatura es indicativa de que el proceso de compostaje está llegando a su etapa final. El pH del compost se mantiene en un nivel neutro, lo cual es un indicador clave de la estabilidad y madurez del compost. Esta fase de maduración puede extenderse por varios meses. Durante este periodo, se forman ácidos húmicos y ácidos fúlvicos como resultado de reacciones de condensación y polimerización de compuestos carbonados. Estos ácidos son componentes esenciales del compost maduro, ya que mejoran la

estructura del suelo, retienen nutrientes y facilitan su absorción por las plantas. La presencia de estos ácidos es un indicador de la alta calidad del compost y de su capacidad para enriquecer el suelo y promover un crecimiento saludable de las plantas (18).

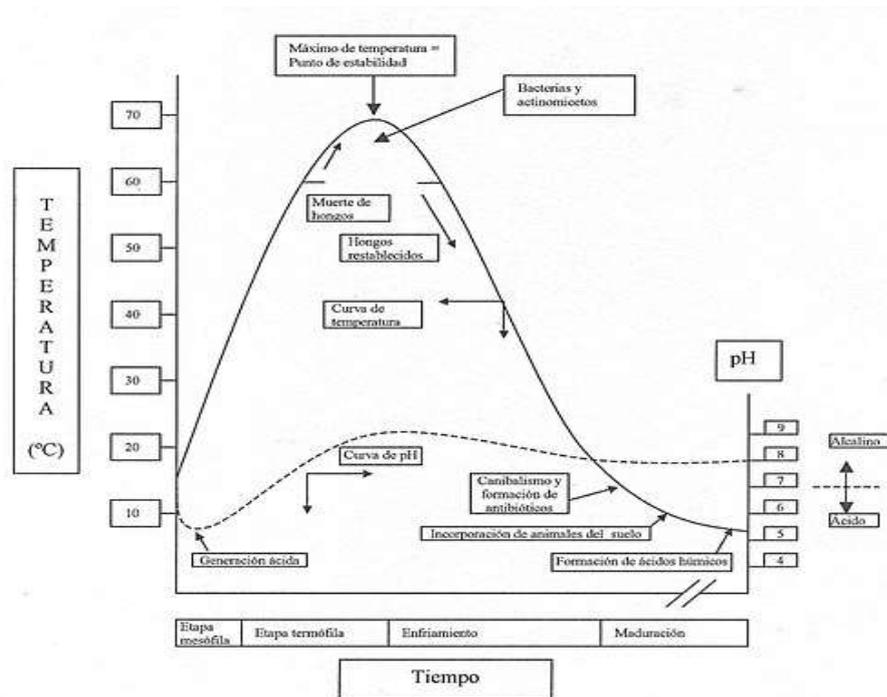


Figura 2. Fases del desarrollo de compostaje (19)

2.2.9. Factores que condicionan el proceso y la generación del compost

Para el proceso de compostaje se consideran importantes las siguientes características:

a) Estructura y tamaño de los residuos

Se recomienda trabajar con materia prima que pueda tener una mayor área de contacto con los microorganismos y así su composición física disminuya ganando granulometría. Los residuos deben tener un menor tamaño siendo triturados, cortados o manipulados para que el proceso de compostaje dure menos tiempo (20).

b) Humedad

El porcentaje óptimo de humedad durante el proceso de compostaje es del 45 % a 60 %. La humedad tiene una relación directa con la curva de crecimiento de microorganismos. El agua es el disolvente universal de sustancias y funciona como medio de transporte de nutrientes. La humedad elevada sustituirá al oxígeno y como consecuencia el proceso se volvería anaeróbico produciendo la putrefacción (20).

c) pH

El rango de valores del potencial de hidrogeno dependerá de la fase que atraviesa el proceso de compostaje. Se considera uno de los más importantes para la curva de crecimiento exponencial de microorganismos degradadores o descomponedores (21).

Tabla 3. Fases del compostaje

Fases del compostaje	Rango de pH
Fase mesófila	4,5 – 6,5
Fase termófila	7,5 – 8,5
Fase de enfriamiento	neutro

d) Aireación

El compostaje es un proceso aerobio, por lo que el oxígeno debe estar presente a lo largo del proceso. Una adecuada aireación debe superar el 5 % de aireación, evitando la posible presencia de un proceso anaeróbico. Permite controlar el calor, temperatura y reducir la humedad excesiva. Los valores adecuados son los siguientes (21):

Tabla 4. Valores de oxígeno adecuados

Niveles	Valores de oxígeno
Nivel promedio	5 % - 15 %
Nivel medio	10 %
Nivel óptimo	5 %

e) Temperatura

El parámetro de temperatura atravesará diferentes valores de acuerdo con la fase de compostaje en la que se halle. Al alcanzar elevadas temperaturas incrementa la velocidad de descomposición. Se produce la higienización. Los tipos de microorganismos, así como, su actividad dependerá de los rangos diferentes de temperatura.

Tabla 5. Valores de temperatura en las fases de compostaje

Valores de temperatura	
Fase de latencia	20 °C – 45 °C
Fase termófila	45 °C – 70 °C
Fase de maduración	40 °C – 20 °C

f) Relación carbono-nitrógeno (C/N)

La materia orgánica debe obtener un valor óptimo entre el rango de 20 – 30. La relación de cantidad de C por la cantidad de N que tendrá la materia prima (20).

g) Microorganismos

La descomposición de la materia orgánica presente en los materiales compostados es llevada a cabo por los microorganismos que habitan en la pila de compost, los cuales cambian a lo largo de las diferentes fases del proceso de compostaje. Estos microorganismos transforman la materia orgánica mediante reacciones de óxido-reducción, las cuales son catalizadas por sus enzimas. Este proceso de descomposición, conocido como mineralización, implica la transformación de macromoléculas orgánicas en compuestos inorgánicos, tales como dióxido de carbono (CO_2), amoníaco (NH_3), ácido sulfúrico (H_2SO_4) y agua (H_2O).

Además, el carbono actúa como fuente de energía para los microorganismos involucrados en el compostaje. Esto significa que, para la síntesis de nuevo material celular, los microorganismos requieren una mayor proporción de carbono en comparación con el nitrógeno. Esta relación carbono/nitrógeno (C/N) es crucial para el proceso de compostaje, ya que un equilibrio adecuado entre estos dos elementos es esencial para mantener una actividad microbiana óptima y, por ende, para la eficiencia del proceso de compostaje (22).

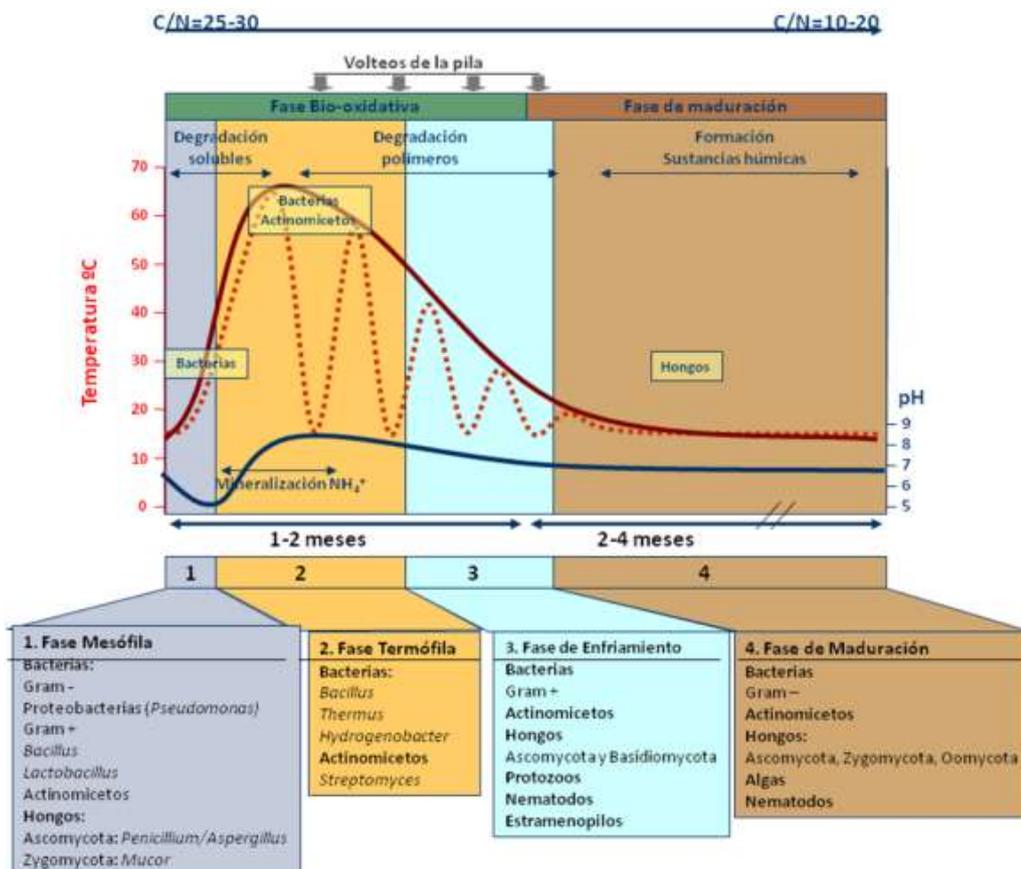


Figura 3. Sucesión microbiana y ambiental durante el compostaje (23)

2.2.10. Calidad del compost

Para que el compost sea utilizado de manera efectiva como fertilizante, enmienda orgánica o acondicionador de suelos, debe cumplir con ciertas normas de calidad específicas. La evaluación de la calidad del compost es crucial para asegurar su aplicación adecuada y eficaz. Un compost de calidad inferior puede contener agentes fitotóxicos y no alcanzar el nivel de nutrientes requerido para promover la fertilidad del suelo, lo cual tendría un impacto negativo en los sistemas agroindustriales y agrícolas (24).

La determinación de la calidad del compost implica un análisis exhaustivo de su composición, así como, de sus características fisicoquímicas. Esto incluye la evaluación de parámetros como el contenido de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, entre otros), la relación carbono/nitrógeno (C/N), el pH, la presencia de metales pesados, la salinidad, la madurez y la estabilidad del compost, y la ausencia de sustancias tóxicas o patógenos. Cumplir con estas normativas de calidad no solo garantiza la seguridad y efectividad del compost como producto, sino que también asegura que su uso contribuya de manera positiva al mejoramiento y la salud del suelo, favoreciendo así el desarrollo sostenible de la agricultura (2).

a) Normas específicas de calidad para los abonos orgánicos

Al igual que los fertilizantes convencionales, que por normativa deben someterse a un proceso de certificación de calidad, los abonos orgánicos como el compost y el humus, productos finales de procesos de compostaje, vermicompostaje o lombricultura, también deben ser evaluados conforme a las normativas técnicas vigentes en cada país. Esta evaluación es fundamental para garantizar que estos productos no contribuyan a la contaminación del suelo, ya sea por la acumulación excesiva de nutrientes en las capas superficiales del suelo o por la presencia de contaminantes que puedan afectar a los cuerpos de agua subterráneos. Además, se busca prevenir la fitotoxicidad en los cultivos, que puede surgir como consecuencia de la utilización de abonos de baja calidad.

En el caso específico de Perú, actualmente, no existe una normativa técnica nacional que regule la evaluación de la calidad del compost y del humus producido por vermicompostaje como abonos orgánicos. Por esta razón, en proyectos de investigación y en la práctica institucional dentro del país, se recurre a normativas internacionales como referencia para la evaluación de estos productos. Un ejemplo de ello es la Norma Técnica de la República de Chile NCh 2880 (2004), la cual es ampliamente utilizada en Perú para estos fines. Asimismo, la Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008 se emplea para la evaluación del humus producido por vermicompostaje.

La adopción de estas normas internacionales en el contexto peruano subraya la importancia de contar con estándares de calidad bien definidos para los abonos orgánicos, con el objetivo de asegurar su eficacia y seguridad para el uso agrícola, así como, para proteger la salud del suelo y el medio ambiente.

La norma vigente chilena divide el compost en tres categorías:

- Compost de clase A: compost de elevada calidad
- Compost de clase B: compost de calidad media
- Compost de clase C: compost en proceso de maduración (inmaduro) y de uso restringido en la agricultura.

Tabla 6. Parámetros de calidad exigidos para compost final.

Producto	Principales componentes	Indicadores
Abono orgánico	Clase A Producto de elevada calidad sin restricción de uso.	*Cenizas (contenido no específico) *Humedad - Clase A < 20 % - Clase B 25 % - 40 % - *Materia orgánica - Clase A ≥ 45 % - Clase B ≥ 20 % * N Total ≥ 0.8 % * Relación C/N - Clase A 10 – 15 - Clase B 10 – 40 - Clase C 10 – 50
	Clase B Producto de calidad media con algunas restricciones de uso.	- *CIC (no se especifica) *pH - Clase A 5 – 7.5 - Clase B <5 y >7.5
	Clase C Producto inmaduro y no apto para su uso.	* Metales pesados mg/kg (base seca) - As 15 (A) 20 (B) - Cd 2 (A) 8 (B) - Cr 120 (A) 600 (B) - Hg 1 (A) 4 (B) - Ni 20 (A) 80 (B) - Pb 100 (A) 300 (B) - Cu 100 (A) 1000 (B) - Zn 200 (A) 2000 (B)

Fuente: (15)

2.3. La lombriz roja californiana

La lombriz roja, conocida científicamente como *Eisenia fetida*, pertenece a un grupo selecto de lombrices que son aptas para ser criadas en cautiverio. Esta especie ha sido objeto de selección con el fin de obtener variedades capaces de adaptarse a condiciones diversas,

incluyendo climas templados y entornos al aire libre, sin la necesidad de un medio específico para su alojamiento. La selección de esta lombriz ha tenido como objetivos principales prolongar su ciclo de vida y aumentar su tasa de reproducción, características que la hacen especialmente valiosa para procesos de vermicompostaje y lombricultura, donde su capacidad para procesar materia orgánica y producir humus de alta calidad es altamente apreciada (24).

La lombriz roja adulta, en promedio, mide entre 5 y 6 cm de longitud y tiene un diámetro de entre 3 y 5 mm. Su peso aproximado es de 1 gramo. Esta lombriz tiene la notable capacidad de consumir diariamente una cantidad de alimento equivalente a su propio peso. Aplicando una regla de tres simple, se puede explicar que, del total de alimento ingerido, el 60 % se convierte en humus, que es un abono orgánico de alta calidad, mientras que el 40 % restante se utiliza en su metabolismo para producir energía y generar nuevos tejidos. Esta eficiencia en la conversión de materia orgánica en humus es lo que hace a la lombriz roja especialmente valiosa en procesos de vermicompostaje, contribuyendo significativamente a la gestión sostenible de residuos orgánicos y la producción de enmiendas orgánicas para el suelo (25).

Tabla 7. Clasificación taxonómica de la lombriz

Clasificación taxonómica de la lombriz	
Reino	Animal
Tipo	Anélido (cuerpo anillado)
Familia	Lumbricidae
Género	<i>Eisenia</i>
Especie	<i>Foétida</i>

2.3.1. Características de la lombriz roja

La lombriz roja se alimenta mediante un proceso de succión y es extremadamente sensible a la luz solar, la cual puede ser fatal en corto tiempo. Su respiración se lleva a cabo a través de la piel (epidermis), lo que requiere de un ambiente húmedo no solo para facilitar su desplazamiento sino también para permitir el intercambio gaseoso necesario para su supervivencia. A medida que se mueve, la lombriz deja tras de sí humus, enriqueciendo el suelo por donde pasa. Este organismo es hermafrodita, poseyendo tanto órganos reproductores masculinos (testículos) como femeninos (ovarios); sin embargo, no puede autofecundarse. La reproducción se efectúa mediante el acoplamiento entre dos lombrices, donde se intercambian espermatozoides para fecundar los óvulos. La lombriz roja alcanza la madurez sexual aproximadamente a los tres meses de edad y el proceso de apareamiento tiene una duración promedio de siete días. Bajo condiciones óptimas, dos lombrices pueden generar hasta 1500 descendientes en un año, lo que demuestra su alta capacidad de proliferación.

Además, la lombriz roja tiene la notable capacidad de regenerar segmentos de su cuerpo que hayan sido cortados, siempre y cuando el corte no afecte a órganos vitales situados en la parte anterior de su anatomía. En términos de composición, una lombriz está formada en un 80 % por agua y un 20 % por materia seca, y posee un alto valor proteico, equivalente al 65 % de su composición seca. Esta combinación de características hace a la lombriz roja un organismo extremadamente valioso tanto para la producción de compost como para la cadena alimentaria en ecosistemas naturales y sistemas de acuicultura (26).

2.3.2. Factores que condicionan el desarrollo de la lombriz

Los factores por considerar para la siembra, crianza de lombrices roja californianas, son los siguientes:

a) Iluminación

Las lombrices tienen un sistema visual poco desarrollado que cumple la función de protegerlas a la exposición de la radiación ultravioleta A emanada por el Sol. La exposición prolongada a la radiación solar les causa la muerte, por ello es necesario ubicarlas en lugares con sombra o cubrirlas.

b) Humedad

Los porcentajes de humedad en un intervalo de 75 % - 80 % favorecen el metabolismo de la lombriz y su transporte en el medio. Un porcentaje inferior al 70 % disminuye la reproducción de la lombriz. Mientras que un porcentaje del 55 % causa muerte en las lombrices. Es importante mencionar que el exceso de humedad en el medio causa efectos negativos como agua estancada sin oxigenación que afecta el suelo (27).

c) Temperatura

La temperatura corporal de las lombrices es de 19 °C por lo que la temperatura ambiente ideal tiene los siguientes valores 15 °C – 24 °C. Las lombrices pueden adaptarse a temperaturas superiores a los 30 °C comprometiendo la reducción de la producción de humus, así como, su reproducción.

d) Potencial de hidrógeno (pH)

El pH es un factor muy importante para el desarrollo de las lombrices, el pH óptimo se encuentra entre los siguientes valores 6.8 – 7.2, como valores aceptables se encuentra 6.5 – 7.5. García y Barbados mencionan una técnica para establecer un pH óptimo, que consiste en seleccionar 5 especies y depositarlas en el medio. Observando si estas se zambullen o si estas no se exponen en la superficie del medio, en el lapso de una hora se concluye que el pH es el

óptimo. Se infiere que si el comportamiento de las lombrices al exponerse en el medio el pH es incorrecto. Las lombrices pueden llegar a desarrollar enfermedades y albergar plagas como la plenaria si el pH no es óptimo.

e) Aireación

Se menciona que la lombriz como especie realiza un proceso de respiración aerobio (en presencia de oxígeno), es requerido el movimiento del medio con alguna herramienta adecuada al tamaño con un mínimo de 1 – 2 removidas cada 7 días.

2.4. Vermicompostaje

El vermicompostaje es un proceso biológico en que las lombrices, principalmente la lombriz roja (*Eisenia fetida*), son alimentadas con residuos orgánicos o materia orgánica que posee una composición química específica al inicio del proceso. A través del metabolismo de las lombrices, en conjunto con la acción de los microorganismos presentes en el medio, se produce la degradación de compuestos orgánicos complejos. Este proceso transforma dichos compuestos en sustancias más simples y solubles, facilitando su asimilación por parte de las plantas. Este bioproceso no solo reduce el volumen de los residuos orgánicos, transformándolos en un producto de alto valor agronómico conocido como vermicompost o humus de lombriz, sino que también mejora significativamente la estructura del suelo, su capacidad de retención de agua y su contenido nutricional. El vermicompost resultante es un abono orgánico rico en nutrientes, microorganismos beneficiosos y sustancias húmicas, lo que lo convierte en un excelente acondicionador del suelo y en un potente estimulante del crecimiento vegetal (18).

2.5. Humus

El humus de lombriz, resultado de la actividad vermicompostera, es un abono orgánico de alta calidad, caracterizado por su color café oscuro, textura granulada, uniformidad y ausencia de olor. Este producto ha ganado relevancia en los últimos años debido a su capacidad para mejorar significativamente las características fisicoquímicas del suelo. Su valor radica no solo en su pureza sino también en su completa y equilibrada composición nutricional, lo que lo convierte en una opción destacada para la fertilización de cultivos.

Considerado uno de los abonos orgánicos más eficientes y completos disponibles actualmente, el humus de lombriz se distingue por su fácil manejo y proceso de obtención. Su uso representa una alternativa sostenible y ecológica para la nutrición de las plantas, promoviendo prácticas agrícolas más respetuosas con el medio ambiente y contribuyendo a la salud del suelo y el incremento de la biodiversidad. Su aplicación en la agricultura no solo favorece el crecimiento y desarrollo de los cultivos, sino que también mejora la estructura del

suelo, su capacidad de retención de agua y la actividad microbiana son factores clave para un sistema agrícola productivo y sostenible.

2.5.1. Características del humus

- Porcentajes elevados de ácidos húmicos y fúlvicos.
- Posee un número elevado de microorganismos y presencia de diferentes tipos de microorganismos. Por 1 g seco se encuentran 40 000 millones.
- El humus es un biofertilizante que causa en el suelo la mejora de sus propiedades y características fisicoquímicas.
- Debido a la presencia de ácidos ya mencionados vuelve a los nutrientes sustancias capaces de asimilarse, son asimilados por las plantas, los nutrientes como calcio, magnesio, fósforo, potasio y bioelementos naturales presentes en cantidades pequeñas. Principales nutrientes para el desarrollo de las plantas.
- Debido a la gran cantidad de microorganismos presentes en el humus este sirve como un inóculo que logra restaurar la actividad microbiana del suelo (biológica).
- Produce una mejora significativa en la estructura del suelo, soltando la parte arcillosa y sumando arena.
- Aporta oxigenación al suelo mediante la porosidad.

2.6. Norma de calidad del humus

La norma NMX-FF-109-SCF1-2007 evalúa las propiedades fisicoquímicas del humus de lombriz como producto.

Tabla 8. Especificaciones fisicoquímicas del humus de lombriz

Especificaciones fisicoquímicas	
Características	Valor
Humedad	De 20 % - 40 % (sobre materia húmeda)
pH	5,5 – 8,53
Conductividad eléctrica	$4 \leq 4 \text{ dSm}^{-1}$
Capacidad de intercambio catiónico	$> 40 \text{ cmol kg}^{-1}$
Densidad aparente sobre materia seca (peso volumétrico)	0,40 a 0,90 g m L ⁻¹
Nitrógeno total	1 % - 4 % (base seca)
Materia orgánica	20 % - 50 % (base seca)
Relación C/N	$C/N \leq 20$

2.7. Definición de términos básicos

- **Abono orgánico:** Es todo aquel abono constituido por cualquier material derivado del proceso de descomposición o degradación de animales o plantas. Algunos autores mencionan al estiércol de ganado como un abono orgánico; sin embargo, cualquier estiércol obtenido de la ganadería industrial e intensiva, no puede usarse según la regulación europea. Un abono orgánico tiene valores menores del 5 % de nutrientes principales en su composición (28).
- **Humificación:** El proceso de humificación transforma la materia orgánica inicial en tres etapas; degradación de las moléculas más complejas llamadas también macromoléculas en sustancias inorgánicas de composición química sencilla, la oxidación de compuestos aromáticos, polimerización, condensación y el nitrógeno es fijado en el suelo. La mezcla resultante de la humificación es llamada humus (14).
- **Estiércol:** Es toda materia orgánica evacuada por diferentes especies de ganado, compuesto generalmente por heces y orina. El estiércol en prácticas agrícolas es utilizado como fertilizante del suelo por su alto contenido de micronutrientes en su forma orgánica como son N, F y K (3).
- **Inorgánico:** Es llamada una sustancia inorgánica debido a que el número de átomos de carbono son casi nulos en su composición química.
- **Microorganismos:** Un microorganismo es un ser, tiene la cualidad de poseer vida y de llevar a cabo un ciclo de vida compuesto por los siguientes procesos: nace, crece, dotarse de energía, alimentarse y aumenta su población con la reproducción. Tiene como cualidad la capacidad de adaptación a diferentes medios. Los microorganismos son piedra fundamental para el correcto funcionamiento de los ecosistemas, sistemas biológicos y que la vida permanezca en la Tierra.
- **Patógeno:** Es un agente infeccioso que provoca enfermedades en el reino animal y el reino vegetal (14).
- **Relación C/N:** Hace referencia a la proporción entre carbono y nitrógeno que indica el valor óptimo presente en el proceso de compostaje (14).
- **Aerobio:** Durante el metabolismo anaeróbico el oxígeno es un elemento fundamental para metabolizar azúcares, aminoácidos, ácidos grasos, etc. Es el principal proceso para

conseguir energía, cuando sucede cualquier actividad física y transformación química (14).

- Residuo sólido: Consiste en materia orgánica e inorgánica cuya vida útil ha finalizado, pero que puede ser reaprovechado en diferentes procesos.
- Parámetro fisicoquímico: Es una medida numérica de las condiciones fisicoquímicas del suelo y del agua. Estima la calidad observable.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Método de investigación

El método de investigación es deductivo-cuantitativo, tiene como característica definir el planteamiento del problema, la medición de fenómenos utilizando procesamiento de datos y finalmente el contraste entre la teoría y la hipótesis planteada. La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, es de tipo aplicado, ya que tiene como base el conocimiento teórico (investigación básica) para la resolución de un problema en específico. Con la finalidad de presentar una alternativa a la problemática, como se valorizan los residuos orgánicos sólidos generados en la Tercera Brigada de Servicios de la Región Militar Sur.

3.1.2. Tipo de investigación

La presente investigación presenta un enfoque cuantitativo, es de tipo aplicado, ya que tiene como base el conocimiento teórico (investigación básica) para la resolución de un problema en específico. El fin de la investigación aplicada es la generación de resultados para su aplicación a corto o mediano plazo (29).

3.1.3. Nivel de investigación.

El nivel de la investigación es descriptivo, porque busca describir el aprovechamiento de residuos orgánicos mediante la aplicación de dos técnicas de obtención: compost a pozo y vermicompostaje. La presente investigación plantea una hipótesis que se contrastó con las variables propuestas, es un estudio de causa-efecto. Posee un tipo de análisis descriptivo utilizando la estadística descriptiva para determinar las características de ambas técnicas de

compostaje, mencionar su comportamiento y propiedades durante el proceso y del producto final (29).

3.1.4. Alcance de la investigación

En el presente trabajo de investigación se plantea utilizar los residuos orgánicos sólidos generados en la Tercera Brigada de Servicios de la Región Militar Sur. Asimismo, el objetivo es la obtención de abono orgánico empleando las técnicas del compostaje a pozo y vermicompostaje, los resultados de esta investigación servirán para plantear la creación de una planta piloto en las instalaciones del cuartel Salaverry dando el primer paso para la aplicación de la planta.

3.2. Diseño de la investigación

3.2.1. Diseño experimental

La actual investigación tuvo un diseño cuasiexperimental debido a la manipulación de las variables con la intención de analizar su comportamiento y las reacciones de la interacción. La variable independiente fue observada durante el inicio y ejecución del proceso, afectando la reacción de las variables dependientes. Los tratamientos aplicados no son asignados al azar, son conformados antes del experimento (30).

3.2.2. Procesamiento de compost y vermicompostaje

Como se muestra en el presente diagrama: las diferentes materias primas utilizadas (residuos orgánicos sólidos), los diversos materiales empleados, el proceso de las técnicas de compostaje a pozo y el vermicompostaje, el monitoreo y análisis realizados para obtener los parámetros fisicoquímicos durante el proceso de investigación en la obtención de abonos orgánicos en la Tercera Brigada de Servicios de la Región Militar Sur.

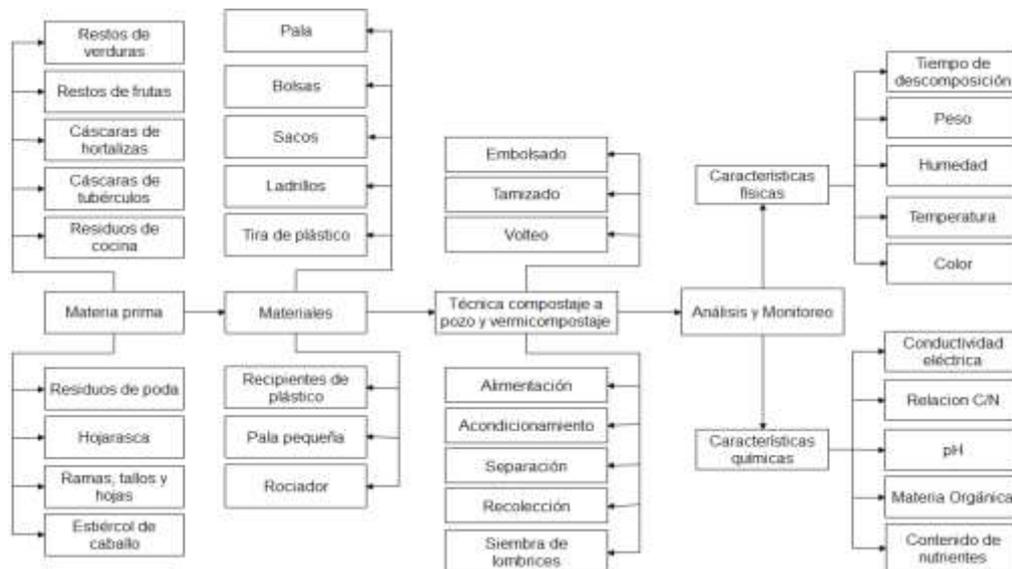


Figura 4. Diagrama del proceso de vermicompostaje y compost a pozo

3.3. Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en parte del terreno perteneciente al circuito de entrenamiento en el Área de Intendencia, de la Tercera Brigada de Servicios de la Región Militar Sur. La implementación de la planta piloto de compostaje para el reaprovechamiento de residuos orgánicos se realizó en el departamento y provincia de Arequipa, distrito de Mariano Melgar.

3.3.1. Ubicación geográfica

- Zona geográfica: 19 K
- Coordenada Este: 231635.20 m E
- Coordenada Sur: 8185450.18 m S
- Altitud: 2420 m s. n. m.

3.3.2. Ubicación del área de estudio



*Figura 5. Ubicación del área de estudio
Fuente: Google Earth, 2024*

3.3.3. Tratamientos del estudio

a) Primer tratamiento

Esquematización del tratamiento de compost a pozo y manejo de las variables.

$$T01 - 01 \rightarrow ROC + ROP + EC$$

$$T01 - 02 \rightarrow ROC + ROP$$

$$T01 - 03 \rightarrow ROC + ROP$$

Donde

T 01 = tratamiento compost a pozo

ROC = residuos orgánicos del comedor

ROP = residuos orgánicos de poda mayor

EC = estiércol de caballo

b) Segundo tratamiento

Esquematización del tratamiento de vermicompostaje y manejo de las variables.

$$T02 - 01 \rightarrow LOM + ROC + ROP$$

Donde

T 02 = tratamiento vermicompost

LOM = lombrices californianas

ROC = residuos orgánicos del comedor

R0P = residuos orgánicos de poda

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

El diseño experimental de la presente investigación tiene como población todos los residuos orgánicos producidos en la Tercera Brigada de Servicios de la Región Militar Sur – Ministerio de Defensa en Arequipa.

3.4.2. Muestra

La investigación tuvo como muestra 332.9 kg de residuos orgánicos recolectados del comedor principal, concesionarias (bodegas) y podas de áreas verdes en la Tercera Brigada de Servicios de la Región Militar Sur – Ministerio de Defensa en Arequipa.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnica de la investigación

Mencionan varios autores que, el conjunto de procedimientos por los cuales se recopila información y datos componen las técnicas de investigación. Cabe mencionar algunas técnicas como son análisis documental, observación no estructurada, observación de campo, entrevistas, encuestas, etc. (30). La presente investigación utilizó técnicas como análisis documental, observación directa en campo y experimentación.

3.5.2. Instrumentos de la investigación

El conjunto de instrumentos son la vía por la cual la información y datos van a ser conseguidos para luego ser procesados, analizados y tendrán una interpretación según el investigador, estarán orientados al cumplimiento de la hipótesis planteada o a su rechazo. Algunos instrumentos por mencionar son los siguientes: guía de entrevista, guía de observación, documentos, cuestionarios, etc. (30). Como se mencionaron las técnicas utilizadas los instrumentos consecuentes con ellas son los siguientes para esta investigación:

- **Técnica de observación directa en campo:** los instrumentos correspondientes son libreta de campo, para registrar información y la cámara fotográfica con fecha y hora.
- **Técnica de análisis documental:** Para un adecuado manejo de información de fuentes primarias y secundarias se tiene como instrumentos una computadora portátil.
- **Técnica de experimentación:** Se consideran equipos que faciliten la recolección de datos *in situ* como son los siguientes: termómetro *Multi Thermometer*, pH Metro digital

Hanna checker plus, balanza digital *AC Fertow Peru*, materiales e instrumentos utilizados, análisis realizados en laboratorio para determinar el contenido de nutrientes y características fisicoquímicas. Los resultados de laboratorio han sido procesados en el programa de Microsoft Excel. Los resultados generados se analizaron de forma descriptiva con el apoyo de gráficos y figura.

- **Técnica específica:** Las muestras de abono orgánico y humus de cada tratamiento fueron analizadas en un laboratorio para evaluar las siguientes propiedades fisicoquímicas: materia orgánica, nitrógeno, humedad, nitrógeno total, potencial de hidrógeno, magnesio, calcio, fósforo y potasio.

3.6. Inspección del manejo de residuos sólidos

La inspección se realizó con el apoyo de la oficina de servicios de apoyo al estado SAE en las instalaciones de las Tercera Brigada de servicios en compañía del comandante encargado de la gestión ambiental.

3.6.1. Acondicionamiento

La Tercera Brigada de servicios cuenta con 3 tachos verdes destinados a almacenar todo tipo de residuos reciclables, cuenta con 2 contenedores destinados a almacenar todo tipo de residuos mezclado comúnmente llamado basura, con 1 canastilla de metal destinada a almacenar todo tipo de residuo reciclable. La cantidad de contenedores no es suficiente para abastecer los residuos reciclables generados.



Figura 6. Situación actual del manejo de residuos orgánicos

La norma técnica peruana que indica los colores de almacenamiento de residuos sólidos NTP 900.058.2019 no es aplicada para la identificación de los contenedores presentes.



*Figura 7. Norma NTP 900.058 2019.
Fuente: Ministerio del Ambiente – Minam*

Se observó que la capacidad de almacenamiento de los diferentes contenedores es sobrepasada por la gran cantidad de residuos generados. Se observó que la canastilla de reciclaje no cuenta con una tapa para la protección de reciclaje.

Se observó la ausencia de contenedores especiales para residuos peligrosos, la ausencia de contenedores para residuos orgánicos reaprovecharles y algunos contenedores no contaban con bolsas en su interior.

3.6.2. Segregación y almacenamiento primario

Los residuos reciclables no se encuentran debidamente segregados, lo cual compromete el estado de los materiales reciclables y su aprovechamiento posterior, caso del cartón, tetra pack, botellas, etc. El almacenamiento primario es llevado a cabo por los contenedores mencionados.

3.6.3. Almacenamiento intermedio

La Tercera Brigada de servicios genera una cantidad de residuos inferior a la necesaria para requerir un centro de almacenamiento intermedio, por lo cual los residuos son enviados directamente al almacenamiento final.

3.6.4. Recolección y transporte interno

Las labores de limpieza, recolección y transporte de residuos sólidos las lleva a cabo la propia tropa (soldados). No se observó que el personal de tropa y soldados tengan equipos de protección personal para realizar las labores correspondientes. El transporte de residuos se

realiza cargando en baldes, recogedores, cajas de cartón hasta la parte posterior del cuartel donde se encuentran los contenedores.

Se evidencio la recolección de residuos orgánicos generados por la preparación de alimento en la cocina y en su mayoría por los restos de comida, estos fueron almacenados en cilindros de plástico.

3.6.5. Almacenamiento central o final

El almacenamiento final tiene como lugar la parte trasera de la Tercera Brigada de Servicios en 2 contenedores proporcionados por la Municipalidad de Mariano Melgar.

3.6.6. Tratamiento de residuos sólidos

La Tercera Brigada de servicios dispone los residuos reciclables para las siguientes municipalidades; Municipalidad de Mariano Melgar y la Municipalidad de Paucarpata. Se observó que el residuo general no tiene un tratamiento, los residuos orgánicos almacenados en cilindros fueron dispuestos a terceros para la alimentación de ganado. El restante de residuos orgánicos generados no tiene un tratamiento o reaprovechamiento.

3.6.7. Recolección y transporte externo

La Municipalidad de Mariano Melgar es la entidad que se encarga de la recolección de residuos sólidos comunes (incluidos residuos peligrosos), utilizando una compactadora, que cumple un horario de recolección preestablecido.

3.7. Identificación de un estado de obligación legal

- Decreto Legislativo N.º 1137: Ley del Ejército del Perú
- Decreto Legislativo N.º 1278: Ley de gestión integral de residuos sólidos
- Decreto Supremo N.º 009-2009-Minam: Medidas de ecoeficiencia para el sector público, modificado por el Decreto Supremo N.º 011-2010-Minam
- Decreto Supremo N.º 017-2012-ED: Política Nacional de Educación Ambiental
- Decreto Supremo N.º 013 – 2018- Minam- Aprueba la reducción del plástico de un solo uso y promueve el consumo responsable del plástico en las entidades del Poder Ejecutivo
- Resolución Ministerial N.º 009-2015 Indef/VPD/DGEPE/DPD: Participación del Sector defensa en la Preservación y Protección del Ambiente, la biodiversidad y el uso Sostenible de los Recursos Naturales
- RCGE N.º 512 CGE/DIPLANE: Roles y capacidades del ejército del Perú

3.8. Proceso de la instalación y operación

3.8.1. Tratamiento de compost a pozo

Para cumplir el objetivo de establecer las condiciones óptimas de instalación de las unidades experimentales se tomaron los siguientes criterios y sus resultados.

a) Selección del área de instalación

La selección del área de instalación tuvo lugar en el interior del circuito de entrenamiento de Intendencia y se consideraron los siguientes criterios:

- Las unidades experimentales deben estar lo suficientemente alejadas de los dormitorios del personal militar para no afectarlos ante la posibilidad de emisión de gases y por orden del comandante.
- El área destinada tuvo la sombra parcial de dos árboles de molle de mediano tamaño evitando la construcción de un techo.
- La disponibilidad de una fuente de agua a través de un grifo fue conveniente.
- Se definió el área para la instalación de las unidades experimentales por criterio de conveniencia.
- Se descartó que el área destinada estuviera cerca de cuerpos de agua o subterráneas de acuerdo con el mapa de tipos de suelo, su uso y según el Gobierno Regional de Arequipa SIAR y la Autoridad Nacional de Agua.

b) Delimitación y construcción de las unidades experimentales

La construcción de las pozas de compostaje se llevó a cabo de la siguiente forma:

- Primero, se realizó la limpieza área (terreno), retiro de rocas, escombros y almacenamiento de hojas secas y semillas.
- Segundo, se realizó la delimitación y toma de medidas de la poza para ser cavadas.
- Se procedió a cavar las dos primeras pozas de 1 m x 1 m y de 60 cm de profundidad. El retiro de la tierra sobrante, con una separación por cada poza de 0.70 m.

- Se procedió a cavar la tercera poza de 2 m de largo x 1 de ancho con una profundidad de 60 cm. Con una separación de 1 m del resto de pozas. Cada una de las pozas fueron cubiertas con plásticos como manta.

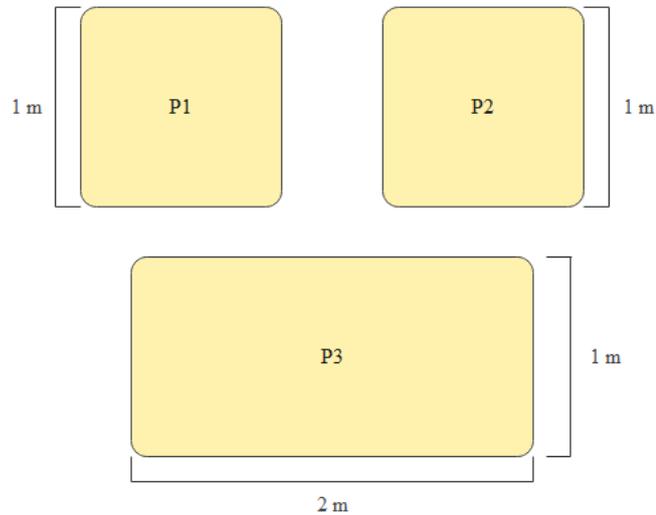


Figura 8. Diagrama representativo de las pozas

c) Materiales empleados para la instalación

En el terreno dentro del circuito de entrenamiento de intendencia se realizó la construcción de las tres pozas de compostaje con los siguientes materiales:

- 6 paquetes de bolsas azules
- 2 palas
- 2 metros lineales de plástico PEL
- 5 kg de cal
- 1 rollo de cinta de seguridad
- 3 cajones de plástico
- 2 kg de lombrices californianas
- 1 pala pequeña
- 1 atomizador
- 2 pares de guantes de vinilo
- 1 manguera de 15 m
- 1 banner
- 3 metros de malla
- 1 lente

3.8.2. Tratamiento del vermicompostaje

a) Selección del área de instalación

La selección del área de instalación tuvo lugar en el interior de la oficina de Servicios de Apoyo al Estado, se tuvieron los siguientes criterios:

- Las unidades experimentales deben estar lo suficientemente alejadas de los dormitorios del personal militar para no afectarlos ante la posibilidad de emisión de gases y por orden del comandante.
- La instalación de la vermicompostera es en el interior de la oficina, aprovechando la sombra para el desarrollo de lombrices.
- El criterio de conveniencia de disponibilidad de personal que monitorea por seguridad las lombrices en el interior de Servicios de Apoyo al Estado.

b) Unidad experimental de vermicompostaje y adecuación

El proceso de vermicompostaje se llevó a cabo en un contenedor de plástico transparente con una tapa transparente con las siguientes medidas; 38 cm de largo por 28 cm de ancho con una profundidad de 30 cm. Se realizaron cuatro perforaciones en la parte inferior del contenedor para facilitar el filtrado de líquidos generados por las lombrices y la oxigenación. El lixiviado se depositó en la bandeja.

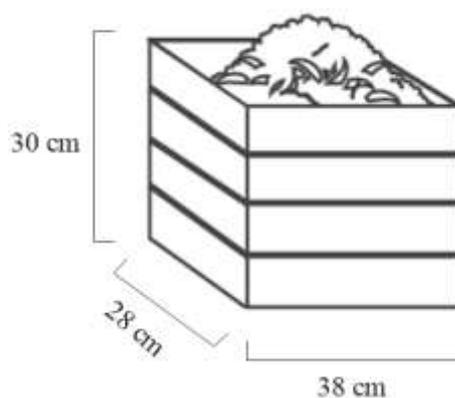


Figura 9. Representación de la vermicompostera

c) Materiales empleados

- Una pala pequeña
- Un rociador
- Una tira de plástico

- Clavos
- Encendedor
- Contenedor de plástico
- Una bandeja

d) Siembra de lombrices en la vermicompostera

Según lo mencionan varios autores por cada metro cuadrado es conveniente la siembra de 10 kilogramos de lombrices. Realizando un adecuado manejo, ello favoreció la adaptación espontánea y posterior reproducción. Se utilizaron 2 kilogramos de lombrices californianas y se sembraron en un sustrato de precompost de la unidad experimental anterior.

3.9. Recolección de residuos orgánicos sólidos

La materia prima para la formación de 3 pozas de compost provino de las diferentes áreas existentes dentro de la 3.^a Brigada de Servicios, los cuales son:

- Residuos orgánicos provenientes del mantenimiento de áreas verdes
- Residuos orgánicos provenientes de dos de las bodegas de la 3.^a Brigada de Servicios.
- Residuos orgánicos generados por el preparado de alimentos en el comedor general.

Consistió en el traslado de los residuos generados en las diferentes fuentes, los cuales fueron llevados previamente seleccionados al área donde se procedió a la formación de las pozas.

3.9.1. Recojo y manejo de residuos orgánicos sólidos

El recojo de los residuos orgánicos se realizó de forma interdiaria: lunes, miércoles y viernes, respectivamente, a las 11:30 a. m.

La selección y adecuación de los residuos se realizó a las 12:30 p. m – 1:00 p. m.

a) Frecuencia de volteo de las pozas

El volteo de cada poza se realizó posterior a completar su capacidad total. La frecuencia de volteo se realizó cada 3 días en la semana respectivamente en cada poza alimentada. Se llevó a cabo con el apoyo de personal voluntario de la tropa. Se realizaron 25 volteos en total durante todo el proceso de compostaje.

b) Alimentación de lombrices californianas

La vermicompostera adecuada con la siembra de lombrices y precompost (1 kg) fue alimentada con 5 kilogramos de residuos orgánicos provenientes de la preparación de alimentos, se alimentaron 3 veces por semana con la misma cantidad, siendo un total de 21 kilogramos.

c) Frecuencia de oxigenación y retiro de lixiviado

La vermicompostera con cuatro orificios en la parte inferior permitió que los excedentes de líquidos fueran drenados a la bandeja para luego ser retirados. Se observó que las lombrices requerían mayor oxigenación, por lo cual se decidió voltearlas con una pala pequeña 2 veces por semana, así como, el retiro parcial de la tapa que las cubría por completo esto para mejorar el acceso de aire por la parte superior.

d) Frecuencia de riego de pozas de compost

Para facilitar la proliferación de microorganismo en toda la superficie de las pozas y contrarrestar las áreas con una humedad regular-baja, se procedió a regar las pozas con una manguera durante el proceso de descomposición sin que esta humedad fuera excesiva. Se presionaban los residuos y de este no chorreaba agua, pero si producía la humedad que requería.

e) Cosecha y tamizado de compost y humus

Las pozas mencionadas atravesaron las etapas de compostaje correctamente y necesitaron un tiempo de maduración para poder ser cosechadas. Posterior a ello se realizó el tamizado de las pozas respectivamente con una malla tamiz número 3 ½ (5.56 mm), para luego ser pesado y embolsados como abono orgánico y llevado a laboratorio. Tras el tamizaje se logró obtener un total de 183.21 kg de compost.

Para la cosecha del humus, se procedió a retirar el excedente del líquido y posteriormente se procedió al tamizaje, Se realizó el retiro del excedente en humedad para así poder ser llevado a laboratorio donde se analizaron las características fisicoquímicas y contenido de nutrientes.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de los residuos orgánicos sólidos

4.1.1. Características de fuente y peso de los residuos orgánicos generados

a) Residuos generados en las áreas verdes

En la figura 10, se observa una cantidad significativa de residuos orgánicos generados por el mantenimiento de las áreas verdes, que conlleva actividades como la poda y la limpieza. Cabe destacar que la Tercera Brigada de Servicios es una de las instancias con mayor extensión de áreas verdes en la ciudad de Arequipa. Durante el estudio, se registraron las fechas y el peso de la recolección de estos residuos, obteniéndose un peso máximo de 42,8 kg. Este valor elevado se debió a que la Tercera Brigada de Servicios se sometió a un proceso de inspección, lo cual motivó el mantenimiento general de todas sus áreas verdes. Es importante señalar que, posteriormente, las actividades de mantenimiento se redujeron, lo que se refleja en el peso mínimo recolectado de 0,5 kg.

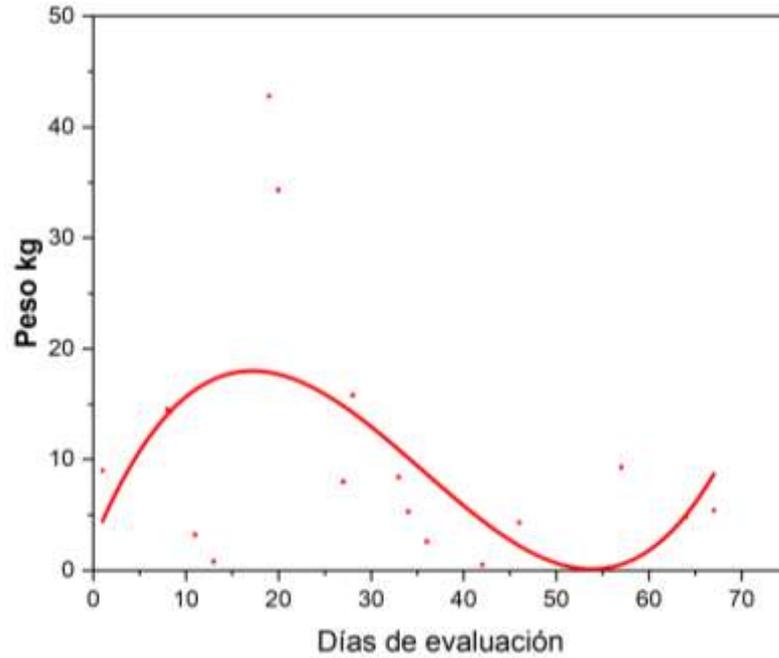


Figura 10. Residuos orgánicos generados en las áreas verdes

b) Residuos generados por la cocina

En la figura 11, se puede observar la cantidad de residuos orgánicos generados por la preparación de alimentos en la cocina principal de la Tercera Brigada de Servicios. Los residuos orgánicos recolectados comprenden desperdicios de alimentos y alimentos que han iniciado un proceso de descomposición. Durante el estudio, se registraron las fechas y los pesos de recolección. Se puede apreciar una tendencia al incremento de la cantidad de peso recolectado a lo largo del tiempo, con un peso máximo de 16,4 kg y un peso mínimo de 4 kg. La causa principal de este aumento está directamente relacionada con la capacitación constante (charlas) y la disponibilidad del personal. Es importante mencionar que los residuos orgánicos mezclados después de ser servidos no fueron considerados para la muestra.

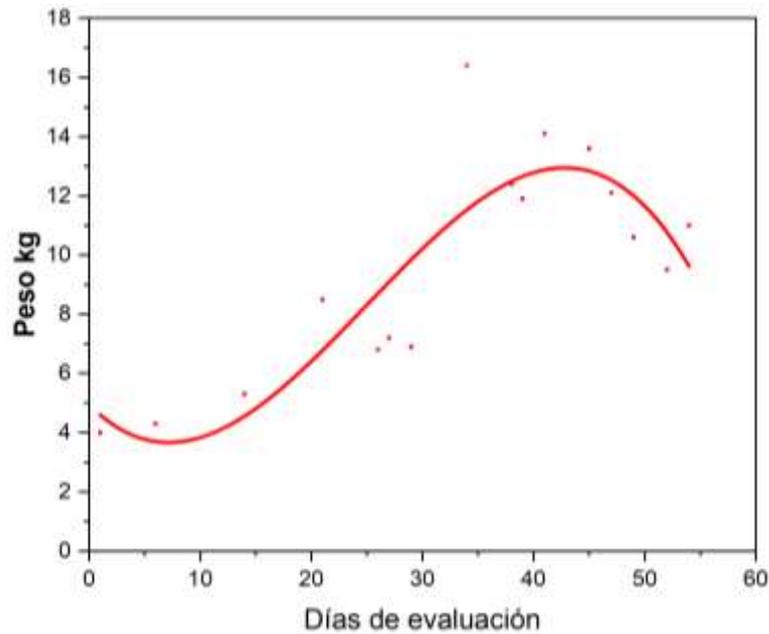


Figura 11. Residuos orgánicos generados en la cocina

c) Residuos generados en bodega

En la figura 12, se puede observar la cantidad de residuos orgánicos generados por la preparación de alimentos en las bodegas (concesionarias) de la Tercera Brigada de Servicios. La recolección de residuos orgánicos se realizó en tres ocasiones, obteniéndose un peso máximo de 5,10 kg y un peso mínimo de 2 kg. Esta variación en los pesos se debe a la ausencia de un espacio temporal constante para la recolección de residuos orgánicos.

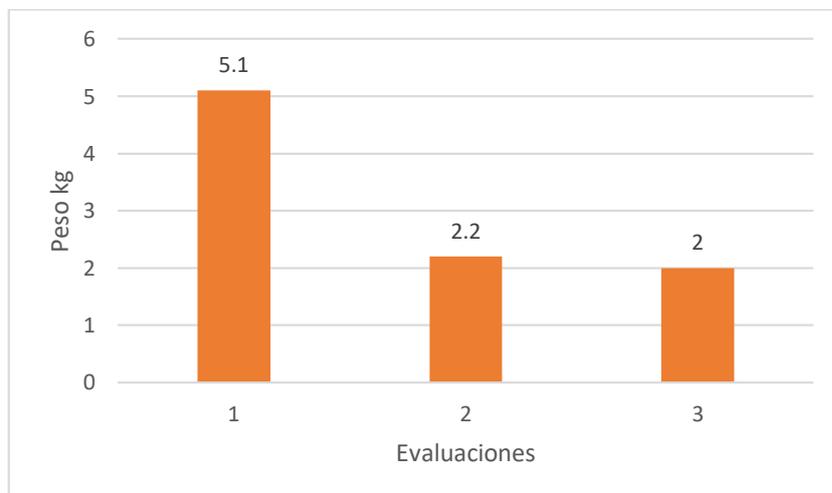


Figura 12. Residuos orgánicos generados en la bodega

d) Comparativo de residuos generados en las diversas zonas

En la figura 13, se pueden observar las fuentes generadoras de residuos y el peso total de residuos orgánicos sólidos recolectados. La zona de las áreas verdes es la principal fuente, con un máximo de 169 kg, lo que representa un 46,8 % del total. La segunda fuente de residuos

orgánicos sólidos es la zona de la cocina principal, con un máximo de 154,6 kg, equivalente al 42,8 %. En tercer lugar, se encuentra la zona de bodegas, con un valor de 9,3 kg recolectados, lo que representa un 2,6 %. Estos datos indican que las principales fuentes de materia prima se encuentran en las áreas verdes y la cocina. Es importante mencionar que, durante todo el proceso experimental, se recolectó un total de 360,9 kg como muestra.

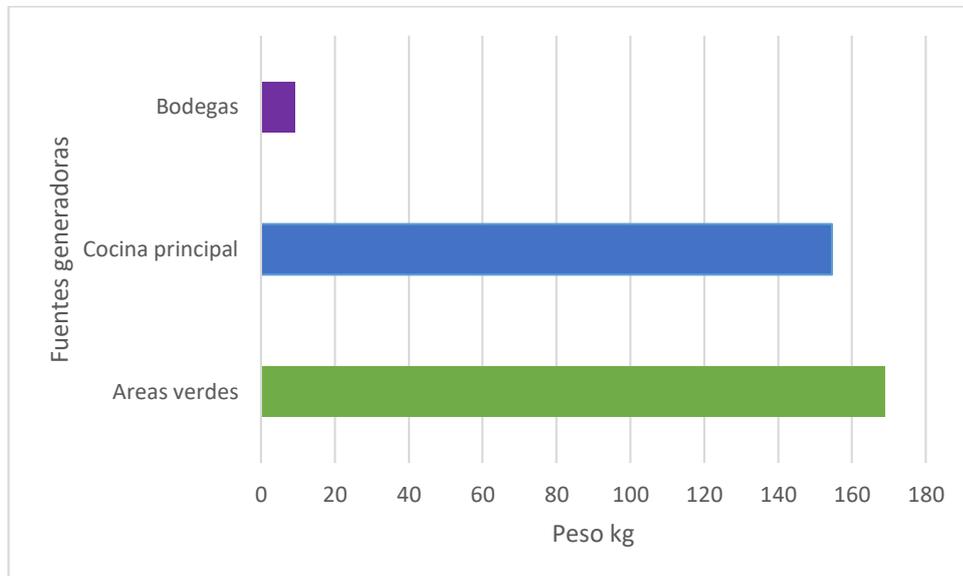


Figura 13. Comparación de residuos orgánicos generados en diversas zonas

4.1.2. Descripción de la fuente y peso de los residuos orgánicos para el vermicompostaje

La principal fuente de residuos orgánicos utilizados para el proceso de vermicompostaje fueron los generados por la preparación de alimentos en la zona de la cocina. Las lombrices fueron alimentadas con un total de 49 kg de residuos orgánicos. El tiempo necesario para el proceso de vermicompostaje y la generación de humus de lombriz es de tres semanas, con una alimentación realizada semanalmente, como se muestra en la figura 14.



Figura 14. Registro de pesos de residuos orgánicos par la vermicompostera

4.1.3. Características de la temperatura en el proceso de compostaje

a) Interpretación en la poza 1

En la figura 15, se puede observar la variación de la temperatura ambiente durante los días de monitoreo de la poza número 1 y la variación de temperatura durante el proceso. Se agregó a la poza un saco con un peso de 28 kg de estiércol de caballo. El lugar donde se realizó esta medición es en la provincia de Arequipa, distrito de Mariano Melgar, que tuvo un clima predominantemente templado y con deficiencia de humedad, según el mapa de clasificación climática nacional del Senamhi. Durante los 75 días de experimentación, se registró una temperatura máxima de 22 °C y una mínima de 17 °C. Los valores de temperatura registrados durante el proceso de compostaje en la poza tuvieron un rango entre 23,7 °C como mínima y 65,8 °C como máxima, con un promedio de temperaturas de 44,75 °C.

Durante la primera semana, el proceso de compostaje inició la fase de latencia con una temperatura ambiente hasta alcanzar los 45,2 °C, finalizando esta fase y comenzando la fase termófila en la segunda semana. Durante las 3 semanas siguientes, el proceso atravesó los siguientes incrementos de temperatura: 59 °C, 60,3 °C y 62,6 °C. La poza alcanzó el pico de temperatura con 65,8 °C en la quinta semana. Es importante mencionar que se logró eliminar agentes patógenos y el proceso estuvo higienizado. La fase mesófila inició con un descenso de temperatura de 45,7 °C a 42,3 °C en la sexta y séptima semana. Durante este periodo, los termófilos son reemplazados por los mesófilos, los cuales reinician su curva de crecimiento, lo que se reflejó en un incremento de temperatura de 48,2 °C en la octava semana. Finalmente, hasta la semana 11, ocurre el enfriamiento y maduración de la poza, con temperaturas de 37,9 °C, 24,6 °C y 22,4 °C.

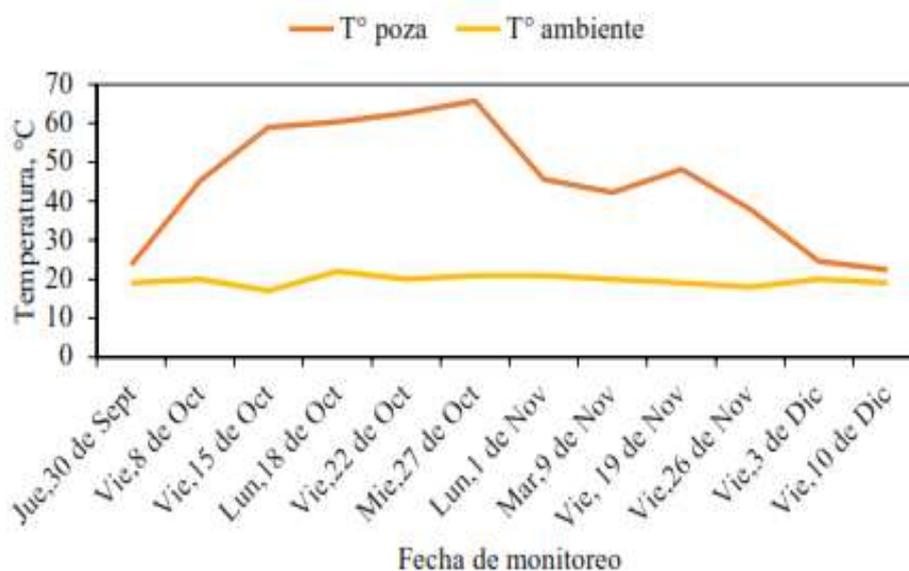


Figura 15. Variación de la temperatura en el proceso, poza 1

b) Interpretación de la poza 2

En la figura 16, se puede observar la variación de la temperatura ambiente durante los días de monitoreo de la poza número 2 y la variación de temperatura durante el proceso. El lugar y el clima donde se realizó esta medición son iguales a los ya mencionados anteriormente, con una temperatura ambiente máxima de 22 °C y una mínima de 17 °C durante los 69 días de experimentación. Los valores de temperatura registrados durante el proceso de compostaje en la poza tuvieron un rango entre 22,25 °C como mínima y 59,64 °C como máxima, con un promedio de temperaturas de 40,9 °C.

Durante la primera semana, el proceso de compostaje inició la fase de latencia con una temperatura ambiente de 22,25 °C. En las siguientes tres semanas, continuó en esta fase con un crecimiento moderado de temperatura: 26,4 °C, 28,23 °C y 28,81 °C. En la cuarta semana, alcanzó una temperatura de 36,12 °C y se agregaron 1,50 kg de precompost con presencia de microorganismos, finalizando la fase en la quinta semana y comenzando la fase termófila con 42,75 °C. Esta fase incrementó su temperatura a 54,2 °C en la sexta semana y finalmente logró el pico de 59,64 °C en la octava semana del proceso. La fase mesófila inició con un descenso de temperatura a 42,12 °C en la novena semana. Se pudo observar un descenso drástico de la temperatura, lo cual causó la poca proliferación de microorganismos mesófilos en las siguientes tres semanas, adelantando la fase de enfriamiento o de maduración con una temperatura de 21,32 °C, similar a la temperatura del medio.

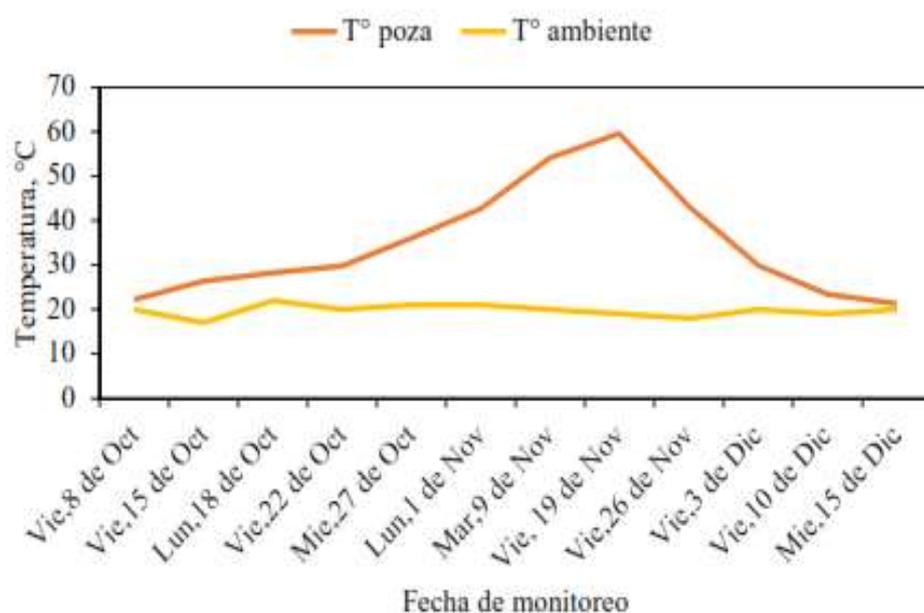


Figura 16. Variación de la temperatura en el proceso, poza 2

c) Interpretación de la poza 3

En la figura 17, se puede observar la variación de la temperatura ambiente durante los días de monitoreo de la poza número 3 y la variación de temperatura durante el proceso. Los valores de temperatura registrados durante el proceso de compostaje en la poza tuvieron un rango entre 20,0 °C como mínima y 56,32 °C como máxima, con un promedio de temperaturas de 38,17 °C.

Durante la primera semana, el proceso de compostaje inició la fase de latencia con una temperatura igual a la temperatura ambiente, elevándose a 24,3 °C en la misma semana. En la segunda semana, la temperatura alcanzó los 27,12 °C, manteniéndose aún en la fase de latencia. La tercera y cuarta semana presentaron un rango de valores entre 31,42° C y 36,56 °C. En la quinta semana, la temperatura alcanzó los 42,74 °C. En la sexta semana, la poza logró alcanzar la fase termófila con una temperatura de 48,71 °C, continuando en esta fase durante las dos semanas siguientes, con un pico de 56,32 °C y finalizando la fase con 47,12 °C. La fase de maduración comenzó con una temperatura entre 41,93 °C y 37,81 °C, hasta descender a 22 °C en la décima semana.

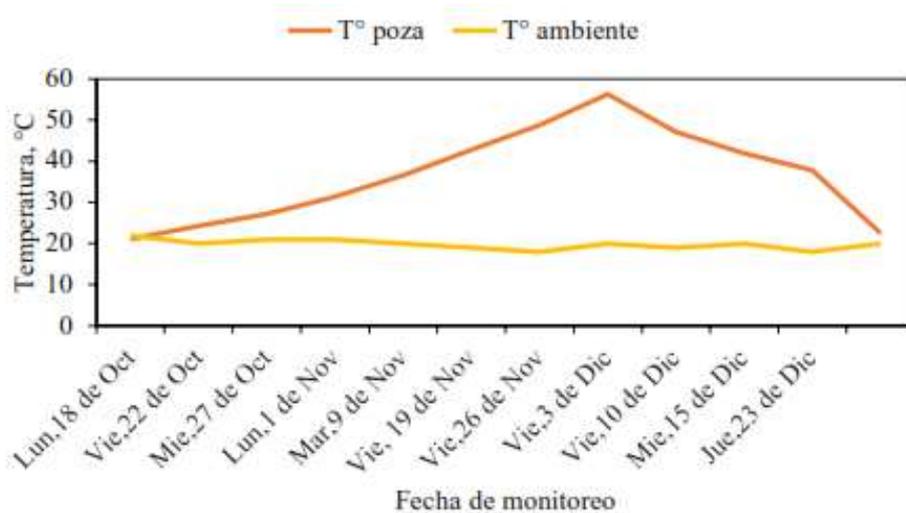


Figura 17. Variación de la temperatura en el proceso, poza 3

d) Interpretación en el vermicompostaje

Como se aprecia en la figura 18, el proceso de vermicompostaje tuvo una duración de cuatro semanas, inició con una temperatura ambiente de 20 °C el primer día de siembra de lombrices, luego de tres días la temperatura se elevó a 23.4 °C. Diversos autores estiman que la temperatura óptima para su adaptación y reproducción debe mantenerse en un rango de 15 °C – 25.5 °C. En la segunda semana la vermicompostera sobrepasa el rango con 26.52 °C, debido a la falta de oxígeno en la vermicompostera, por lo cual se realizó un volteo manual para agregar oxígeno y evitar la presencia de microorganismos anaerobios metanogénicos. En la tercera

semana la vermicompostera alcanza una temperatura superior a la anterior 28,12 °C, debido nuevamente a la falta de oxígeno, lo que causa la muerte parcial de las lombrices, se observaron crías de lombrices que continuaban su crecimiento. Como medida correctora del proceso se volteó manualmente 3 veces la vermicompostera en la cuarta y última semana. Se observó que la temperatura bajaba hasta los rangos óptimos de 25 °C a 22 °C por encima de la temperatura ambiente.

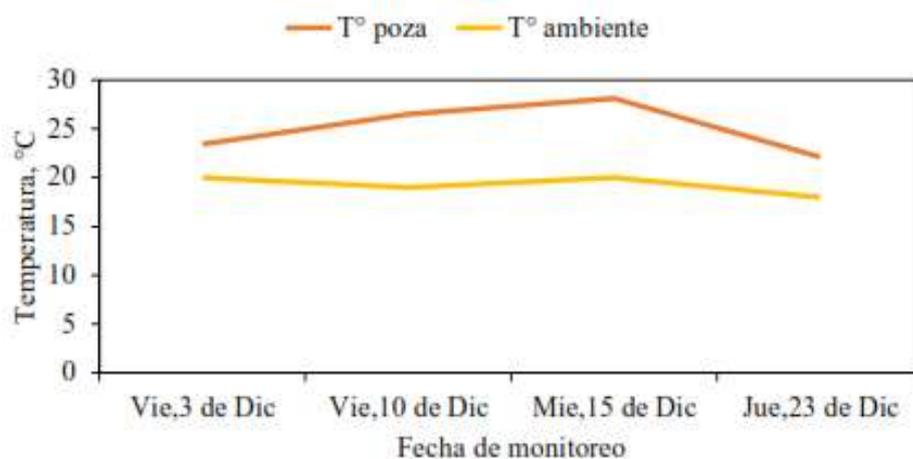


Figura 18. Variación de la temperatura en el proceso, vermicompostaje

e) Análisis descriptivo de la temperatura

Durante el proceso realizado aplicando la técnica de compostaje a pozo y vermicompostaje, se puede observar el comportamiento de la temperatura y el potencial de hidrogeniones. En la figura 19, se muestra la variación de la temperatura durante la realización de los 3 tratamientos de compostaje a pozo y 1 tratamiento de vermicompostaje.

El tratamiento 1 (P01) tuvo un pico de temperatura de 65,8 °C al comienzo de la cuarta semana, en comparación con el resto de los tratamientos. Los tratamientos T1, T2 y T3 atravesaron la fase termófila con altas temperaturas de 65,8 °C, 59,64 °C y 56,32 °C, respectivamente. De acuerdo con Guzmán (31) en su investigación sobre compostaje a base de estiércol de caballo, las temperaturas alcanzadas produjeron una higienización de agentes patógenos en los tratamientos. Según Meléndez y Soto (32) el rango óptimo de valores es de 45 °C a 80 °C, mientras que Uicab-Brito y Sandoval (33) presentan un rango óptimo superior, de 65 °C a 75 °C. Se puede afirmar que todos los tratamientos lograron atravesar las diferentes fases de compostaje.

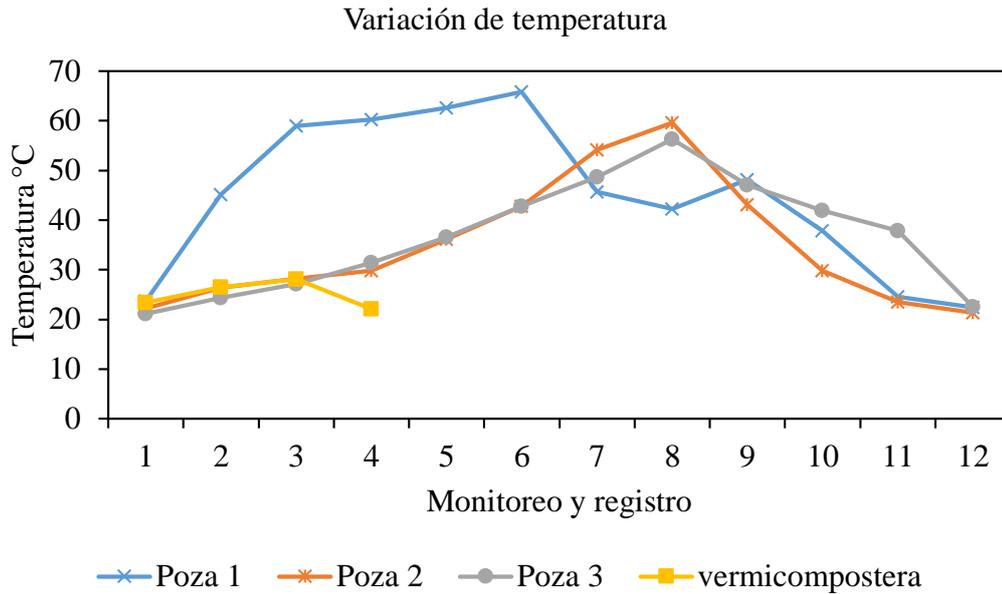


Figura 19. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje y vermicompostaje

El tratamiento número 1 experimentó un incremento de temperatura hasta los 48,2 °C para luego descender. En cuanto al tratamiento 4 de vermicompostaje, según Somarriba y Guzmán (27), la temperatura óptima es aquella más cercana a la temperatura corporal de la lombriz 19 °C y menciona un rango de 15 °C – 20 °C, mientras que Fajardo (34) menciona un rango entre 19 °C y 20 °C. En el estudio, la temperatura promedio fue superior a la óptima, alcanzando una máxima de 28,12 °C, lo que podría afectar el desarrollo de las lombrices y su producción. Un factor que explicaría el alza de temperatura es la presencia de actividad de microorganismos termófilos, así como, las condiciones de calor que presenta el área en la que se desarrollaban.

4.1.4. Características del pH en el proceso de compostaje

a) Interpretación en la poza 1

Como se observa en la figura 20, la poza 1 presenta un pH cercano al neutro al inicio del proceso, que varía con tendencia a lo alcalino, llegando a un valor de 8,31. Sin embargo, se nota una caída considerable del pH en la cuarta semana, alcanzando un valor de 6,96. Esto puede deberse a la formación de ácidos orgánicos producto de la mala oxigenación que tuvo el proceso en esa semana. Posteriormente a la caída, se puede observar que el pH retoma su tendencia a lo alcalino, ya que se recuperó la buena oxigenación y entró en la fase termófila, estabilizándose con variaciones mínimas alrededor de 8 hasta el final del proceso.



Figura 20. Características del pH en el proceso de compostaje, poza 1

a) Interpretación en la poza 2

En la figura 21, correspondiente a la poza 2 de compostaje, se observa que durante el proceso el pH se mantiene con valores entre 6 y 9. Esto puede deberse a la poca humedad que tuvo el proceso en la mencionada poza, lo cual hizo que el compostaje fuera más lento y provocó que la liberación de compuestos ácidos sea lenta. Como resultado, no se observó una variación ácida significativa en el proceso de la poza, y por lo tanto, se aprecia muy poca variación en los valores del pH.



Figura 21. Características del pH en el proceso de compostaje, poza 2

b) Interpretación en la poza 3

En la figura 22, correspondiente a la poza 3 de compostaje, se observa una tendencia a lo alcalino de los residuos orgánicos durante la fase fría, donde no hay descomposición. Luego, se observa un proceso de acidificación en la cuarta semana, producto de la fase mesófila donde comienza la degradación. Posteriormente, comienza la fase termófila entre la sexta y la séptima semana, donde el pH empieza a estabilizarse y luego a alcalinizarse, subiendo hasta un valor cercano a 9, lo que demuestra que se está estabilizando. La tendencia a que haya bajado drásticamente el pH hasta un 8,6 puede deberse a la gran presencia de materia orgánica rica en celulosa y azúcares, provocando la formación de compuestos ácidos y haciendo que este compost sea ligeramente más ácido, pero manteniendo su pH en el rango alcalino.



Figura 22. Características del pH en el proceso de compostaje, poza 3

c) Interpretación en el vermicompostaje

Como se aprecia en la figura 23, la vermicompostera mostró un potencial de hidrógeno ligeramente alcalino durante la primera semana de alimentación, manteniéndose en el rango permitido. En las siguientes dos semanas, el potencial de hidrogeniones se mantuvo ligeramente alcalino. Esto podría deberse a la falta de oxigenación en la vermicompostera o a la naturaleza interna de las lombrices. La literatura menciona la existencia de las glándulas de Morren, las cuales secretan carbonato cálcico, produciendo una digestión alcalina, según mencionan Durán y Henríquez. En la cuarta semana, el pH se volvió ligeramente ácido, lo que podría deberse a la muerte de algunos ejemplares por la ausencia de oxigenación en el medio.

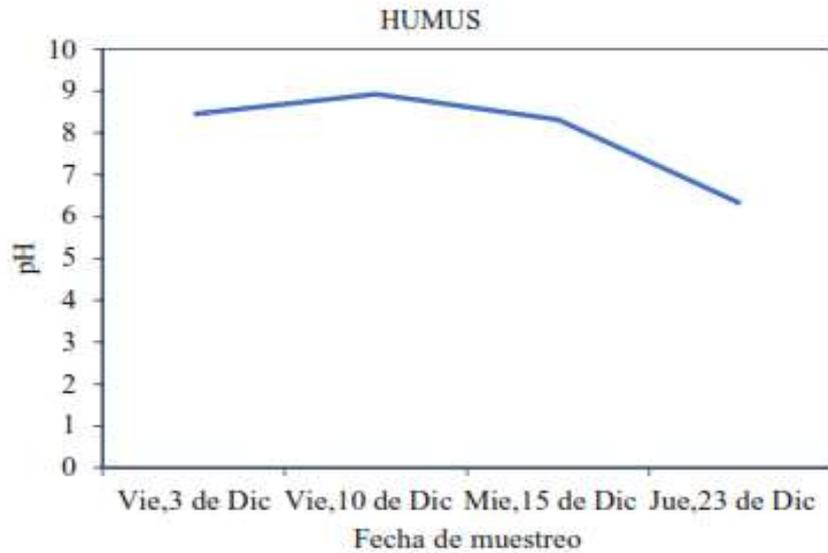


Figura 23. Características del pH en el proceso de vermicompostaje

d) Análisis descriptivo del pH

En la figura 24, se observa la variación del pH durante la realización de los 3 tratamientos de compostaje a pozo y 1 tratamiento de vermicompostaje. Los tratamientos 1 y 2 comienzan la fase inicial de compostaje con un pH que tiende a ser ácido, esto pudo deberse a la actividad de hongos, los cuales liberan ácidos orgánicos al medio con un valor de 5 y 6 como menciona Castillo (35). Mientras que Pilco (13) menciona que los hongos toleran valores de pH 5 – 8. Cajahuanca (36) en su investigación de compostaje desarrolló un rango de pH 3.0 – 11.00 para todo el proceso.

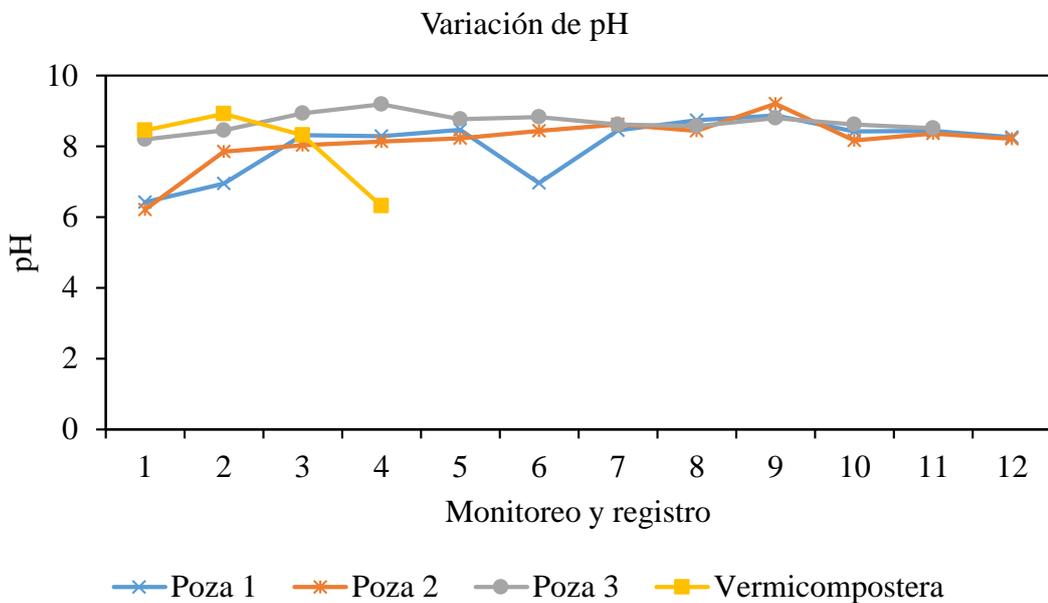


Figura 24. Características del pH en el proceso de compostaje y vermicompostaje

El tratamiento 3 inicia con un pH con tendencia a lo alcalino pudiendo deberse a que fue alimentada con materia orgánica rica en celulosa (poda). Los tres tratamientos que atraviesan la fase termófila alcanzan valores de pH con tendencia a lo alcalino en un rango 8.45 mínimo a 9.2 como máximo pudiendo deberse a la disminución en la presencia de ácidos orgánicos producto de la descomposición realizada por microorganismos termófilos, muchas bacterias en la mayoría tienen un mejor desarrollo en medios ligeramente alcalinos o neutros según mencionan Cajahuanca (36) y Avendaño (37).

Todos los tratamientos parecen alcanzar una estabilización en el pH al finalizar la fase termófila y comenzar la fase de maduración, de acuerdo con Sánchez (38), la degradación de proteínas causa un descenso en la presencia de ácidos orgánicos y de amoníaco. Según Guzmán (31) la formación de compuestos húmicos influye en la tendencia a lo alcalino acercándose a la neutralidad del pH en la fase de maduración.

Para el tratamiento de lombricompostaje, según Castillo (39), el pH durante su investigación tuvo valores fluctuantes de 7,1 a 9.95; coincidiendo con Rolando et al. (40), quienes presentaron valores superiores a 8,6. Los resultados de la presente investigación en su mayoría tienden a ser ligeramente alcalinos coincidiendo parcialmente con los resultados de los autores mencionados; sin embargo, el pH final para la cosecha de humus fue ligeramente ácido contrastándose con Somarraba y Guzmán (24), quienes consideran el rango de valores óptimos de 6,5 a 7,5 en su investigación. La caída del pH pudo deberse al incremento de temperatura, la falta de oxigenación y la muerte parcial de algunos ejemplares. Ello pudo causar la proliferación de diferentes bacterias y hongos.

4.2. Parámetros fisicoquímicos del abono orgánico producido

Se asignó un número a cada tratamiento de la siguiente manera: compost del tratamiento 1 (C1), compost del tratamiento 2 (C2), compost del tratamiento 3 (C3) y compost del tratamiento 4 (H01).

4.2.1. pH

En la figura 25, el pH en los 3 tratamientos de compost a pozo se mantiene en un rango de 8.1 y 8.4, con un promedio de 8,25, los valores se encuentran en el rango de calidad aceptados por la FAO, la Norma Técnica Chilena y el IIAP- Iquitos. El pH del cuarto tratamiento (vermicompostaje) con un valor de 8.67 excede el rango de valores aceptados por las normas de calidad internacionales y los del IIAP. Se muestran valores máximos y mínimos, así como, los límites establecidos por las normas de calidad y valores referenciales.

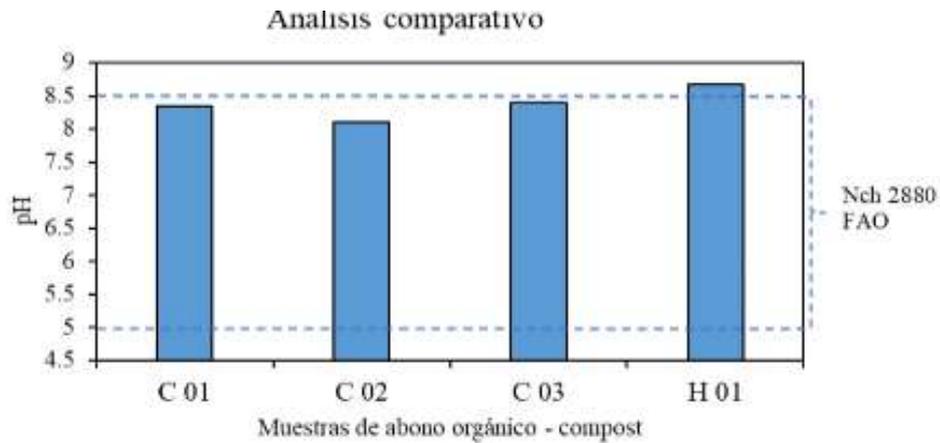


Figura 25. Análisis comparativo del pH

4.2.2. Conductividad eléctrica

En la figura 26, la conductividad eléctrica en los 4 tratamientos de compost a pozo y vermicompostaje se mantiene en un rango de 2.39 mín. y 7.55 máx., con un promedio de 4,97, los valores se encuentran en el rango de calidad aceptados por la Norma Técnica Chilena. La muestra H01 se clasificará como calidad de Tipo A por tener una CE < 3 dS/m, mientras que las muestras C 01, C 02 Y C02 se clasificarían como calidad de Tipo B por tener una CE menor a 8 dS/ y superior 3 dS/m. Los valores referenciales de CE del IIAP están entre el rango de 2.0 dS/m a 4.0 dS/m todas las muestras superan estos valores.

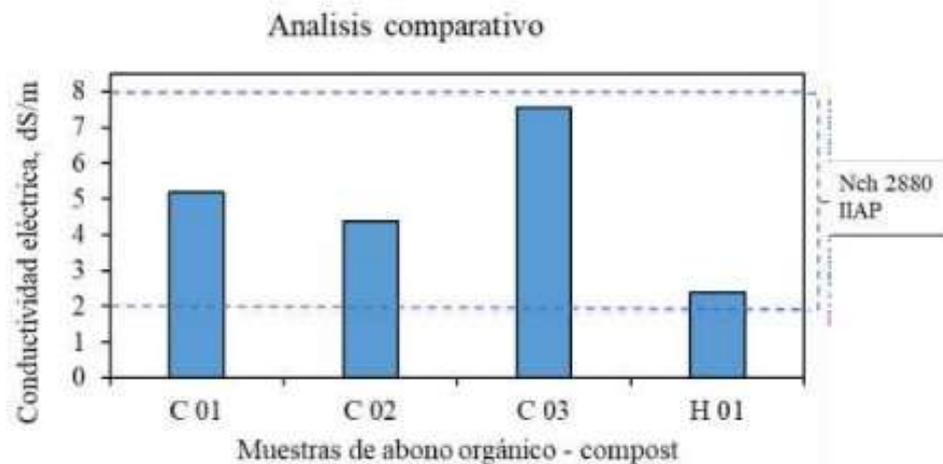


Figura 26. Análisis comparativo de la conductividad eléctrica

4.2.3. Porcentaje de humedad

En la figura 27 el porcentaje de humedad en los 4 tratamientos de compost a pozo y vermicompostaje se mantiene en un rango de 13.09 % mín. y 32.11 % máx., con un promedio de 22,6 %, los valores se encuentran por debajo del rango de calidad aceptados por la Norma Técnica Chilena y la FAO para la muestra C 01, C0 2 y H 01. La muestra C 03 podría clasificarse como abono de Tipo A o Tipo B por tener un valor de 32.11 % de humedad

superando el rango 30 % mín. y 45 % máx. Así como los valores de humedad de la FAO están entre el rango 30 % mín. y 40 % máx.

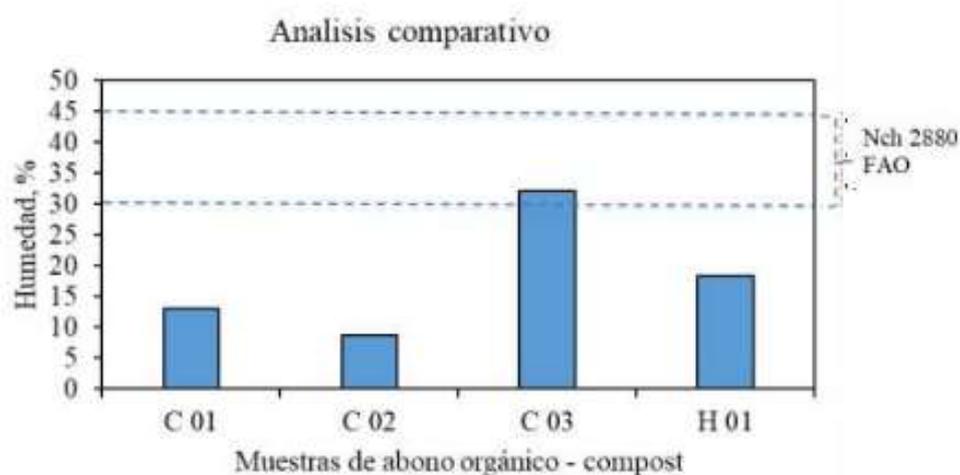


Figura 27. Análisis comparativo del porcentaje de humedad

4.2.4. Contenido de materia orgánica

En la figura 28, el porcentaje de materia orgánica en los 4 tratamientos de compost a pozo y vermicompostaje se mantiene en un rango de 8.55 % mín. y 22.87 % máx., con un promedio de 15.71 %, los valores se encuentran por debajo del rango de calidad aceptados por la Norma Técnica Chilena y la FAO para la muestra C 01, C 02 y H 01. La muestra C 03 podría clasificarse como abono de Tipo A o Tipo B por tener un valor de 22.87 % de materia orgánica superando el valor de 20 % mín. Así como, el valor >20 % de materia orgánica que menciona la FAO.

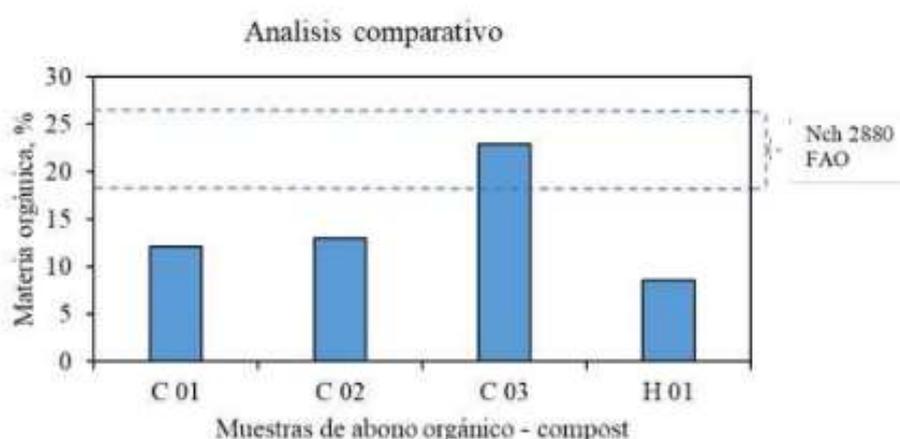


Figura 28. Análisis comparativo del porcentaje de materia orgánica

4.2.5. Contenido de nitrógeno total

En la figura 29, el porcentaje de nitrógeno total en los 4 tratamientos de compost a pozo y vermicompostaje se mantiene en un rango de 0.52 % mín. y 1.32 % máx., con un promedio

de 0.92 %, los valores se encuentran por encima del rango de calidad aceptados por la Norma Técnica Chilena ≥ 0.5 %, podrían clasificarse como abono Tipo A o Tipo B, la FAO con un rango de 0.3 % - 1.5 % y por último los valores del IIAP 0.8 % - 1.5 % para las muestras C 01, C0 2, C03 y H 01. La muestra C 03 podría clasificarse como abono de Tipo A o Tipo B por tener un valor de 1.32 % de nitrógeno total superior al de todas las muestras.

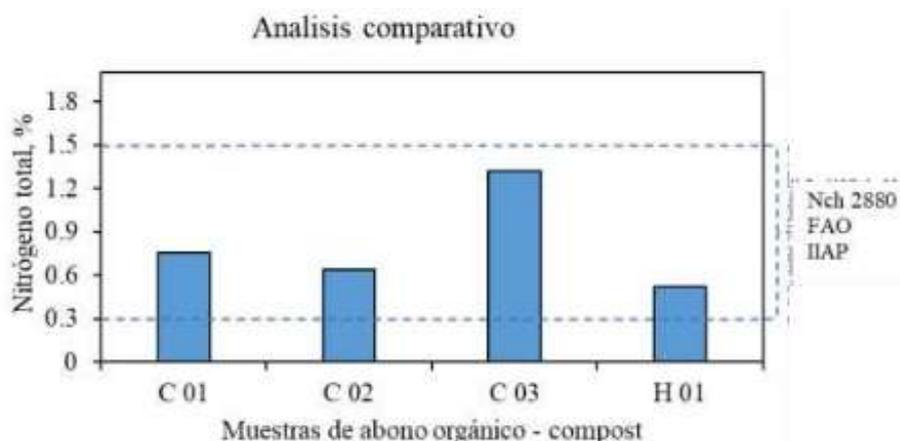


Figura 29. Análisis comparativo del porcentaje de nitrógeno total

4.2.6. Relación carbono/nitrógeno, C/N

En la figura 30, los valores de relación carbono/nitrógeno en los 4 tratamientos de compost a pozo y vermicompostaje se mantiene en un rango de 9.27 mín. y 11.8 máx., con un promedio de 10.54, los valores se encuentran por encima del rango de calidad aceptados por la Norma Técnica Chilena, podrían clasificarse como abono Tipo A ≤ 25 o Tipo B ≤ 30 , sin embargo la FAO menciona un rango de 10:1 - 15:1 cumpliéndolo solo la muestra C 02, por último los valores de las muestras restantes se acercan, pero no logran cumplir con el rango mencionado.

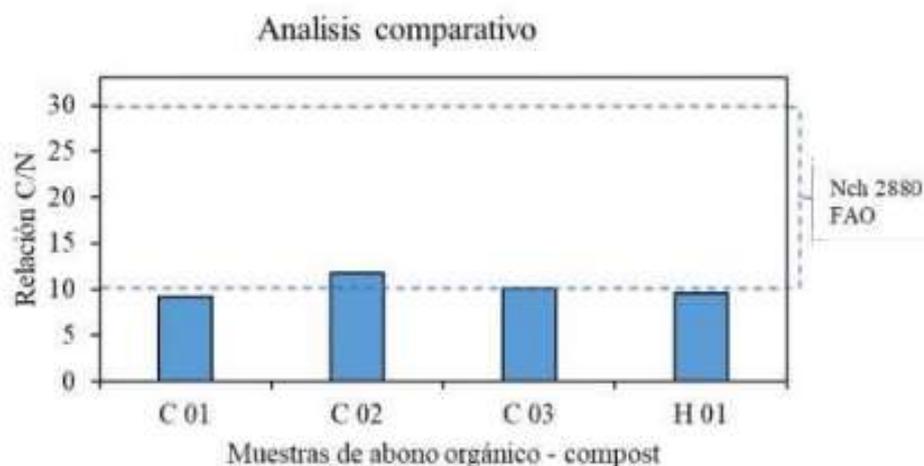


Figura 30. Análisis comparativo de la relación C/N.

4.2.7. Porcentaje de fósforo

En la figura 31, el porcentaje de fosforo en los 4 tratamientos de compost a pozo y vermicompostaje se mantiene en un rango de 0.13 % mín. y 0.27 % máx., con un promedio de 0.2 %. Los valores de todas las muestras; C 01, C 02, C 03 y H 01 se encuentran por encima del rango valores aceptados por la FAO siendo su rango 0.1 % - 1.0 %, sin embargo, el IIAP menciona un rango de 0.4 % - 1.0 % ninguna de las muestras cumpliría con llegar al 0.4 % como mínimo.

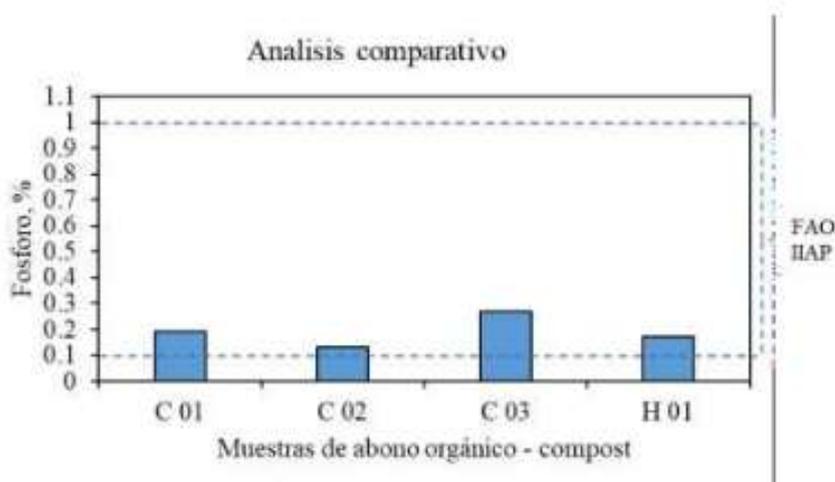


Figura 31. Análisis comparativo del porcentaje de fósforo

4.2.8. Porcentaje de potasio

En la figura 32, el porcentaje de potasio en los 4 tratamientos de compost a pozo y vermicompostaje se mantiene en un rango de 0.5 % mín. y 1.19 % máx., con un promedio de 0.85 %. Los valores de todas las muestras; C 01, C 02, C 03 y H 01 se encuentran por encima del rango valores aceptados por la FAO siendo su rango 0.3 % - 1.0 %, sin embargo, el IIAP menciona un rango de 0.6 % - 1.5 %, la muestra C 03 y C 01 cumplen satisfactoriamente el rango.

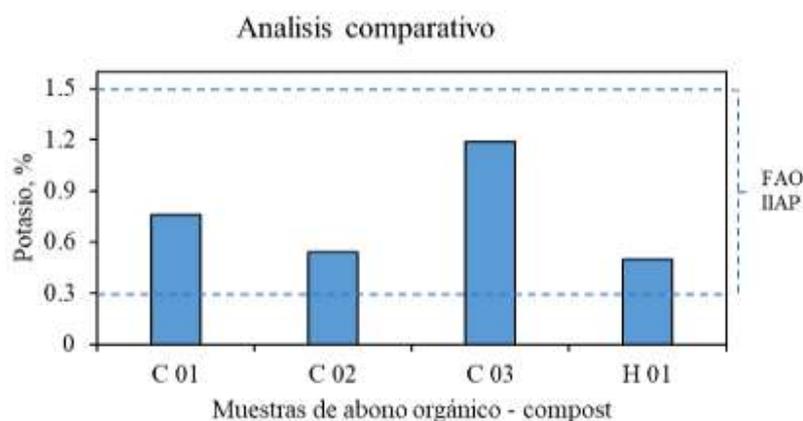


Figura 32. Análisis comparativo del porcentaje de potasio

4.2.9. Porcentaje de calcio

En la figura 33, el porcentaje de calcio en los 4 tratamientos de compost a pozo y vermicompostaje se mantiene en un rango de 0.96 % mín. y 1.52 % máx., con un promedio de 1.24 %, los valores se encuentran por debajo del rango de valores emitidos por el IIAP para la muestra C 01, C0 2 C 03 y H 01. Ello podría deberse a que no se incluyó materia prima con contenido de calcio como cáscaras de huevo y los residuos orgánicos son pobres en calcio.

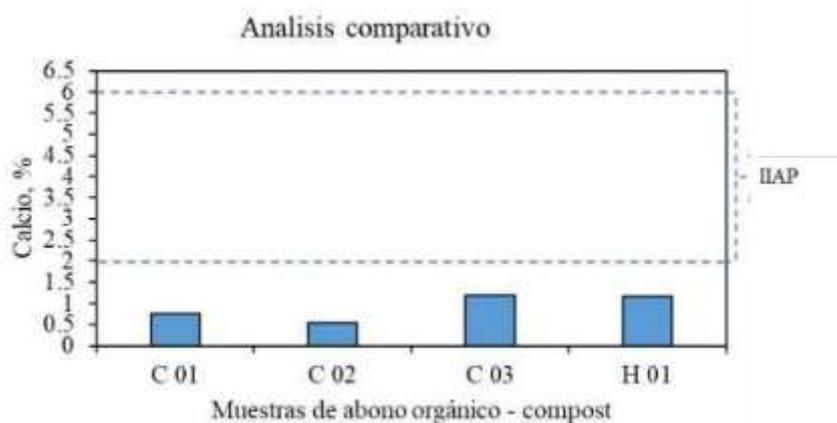


Figura 33. Análisis comparativo del porcentaje de calcio

4.2.10. Porcentaje de magnesio

En la figura 34, el porcentaje de magnesio en los 4 tratamientos de compost a pozo y vermicompostaje se mantiene en un rango de 0.2 % mín. y 0.27 % máx., con un promedio de 0.235 %. Los valores de todas las muestras; C 01, C 02, C 03 y H 01 logran superar ligeramente el valor mínimo propuesto por la investigación del IIAP que menciona un rango de 0.2 % - 0.7 %.

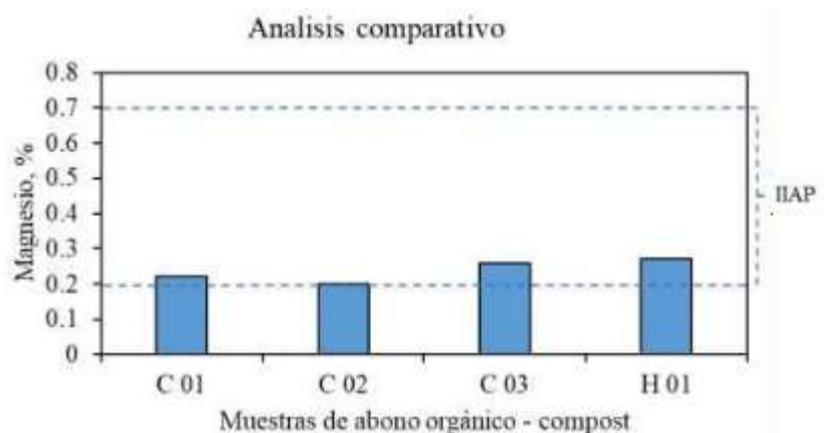


Figura 34. Análisis comparativo del porcentaje de magnesio

4.2.11. Porcentaje de azufre total

En la figura 26, el porcentaje de azufre total en los 4 tratamientos de compost a pozo y vermicompostaje se mantiene en un rango de 0.14 % mín. y 0.32 % máx., con un promedio de 0.23 %. Los valores de todas las muestras; C 01, C 02, C 03 y H 01 superar notablemente el valor propuesto por la investigación del IIAP menciona un valor de 0.00442 % de azufre total.

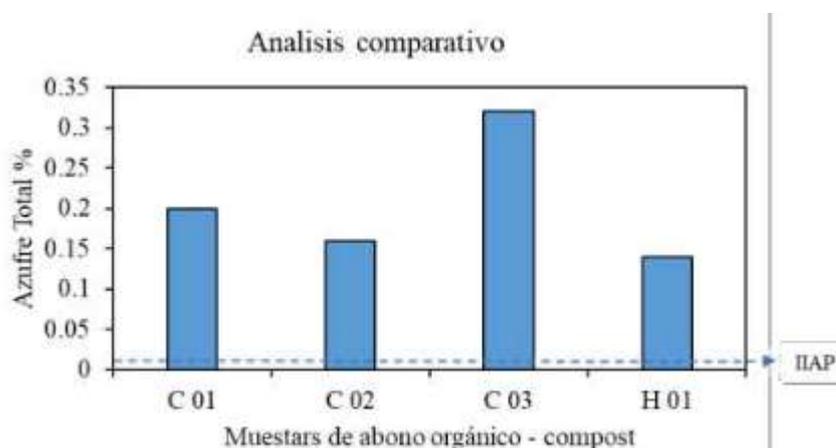


Figura 35. Análisis comparativo del porcentaje de azufre total

4.2.12. Contenido de boro

En la figura 36, el contenido de boro mg/kg en los 4 tratamientos de compost a pozo y vermicompostaje se mantiene en un rango de 97.6 mg/kg valor mín. y 106.45 mg/kg máx., con un promedio de 102.03 mg/kg. Los valores de todas las muestras; C 01, C 02, C 03 y H 01 superan notablemente el valor propuesto por la investigación del IIAP menciona un valor de 0.8 mg/kg de boro.

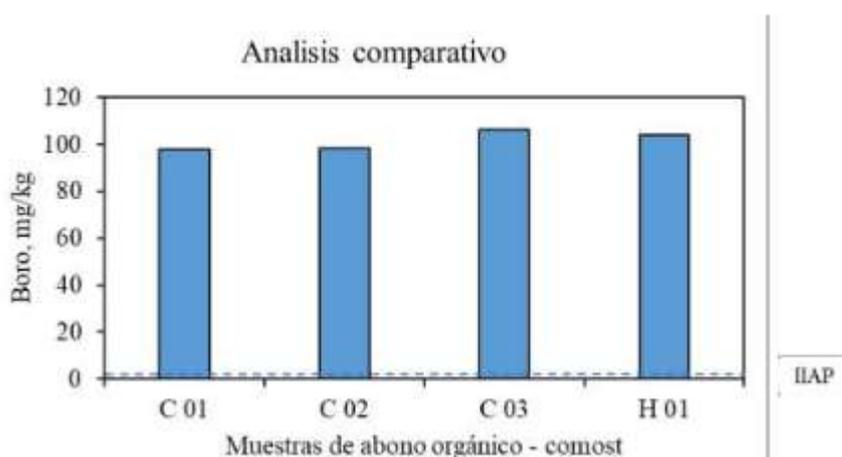


Figura 36. Análisis comparativo de la cantidad de boro

4.2.13. Contenido de hierro

En la figura 37, el contenido de hierro mg/kg en los 4 tratamientos de compost a pozo y vermicompostaje se mantiene en un rango de 1251 mg/kg mín. y 14823 mg/kg máx., con un promedio de 8.037 mg/kg. Los valores de todas las muestras; C 01, C 02, C 03 y H 01 superar notablemente el valor propuesto por la investigación del IIAP menciona un valor de 80.02mg/kg de hierro.

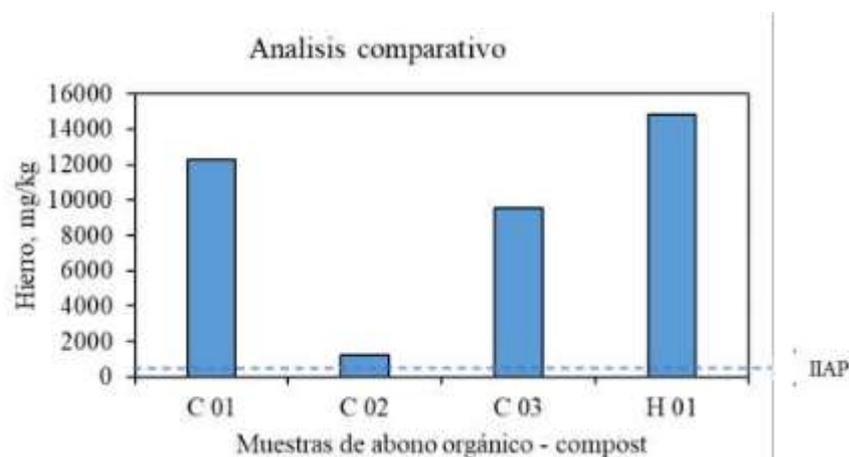


Figura 37. Análisis comparativo de la cantidad de hierro.

4.2.14. Contenido de cobre

En la figura 38, el contenido de cobre mg/kg en los 4 tratamientos de compost a pozo y vermicompostaje se mantiene en un rango de 40.57 mg/kg mín. y 47.68 mg/kg máx., con un promedio de 44.125 mg/kg. Los valores de todas las muestras; C 01, C 02, C 03 y H 01 se encuentran por debajo del valor máximo admisible mencionado en la Norma Técnica Chilena siendo ≤ 100 mg/kg para la Clase A y ≤ 1000 mg/kg para la Clase B, las muestras podrían clasificarse en ambos tipos.

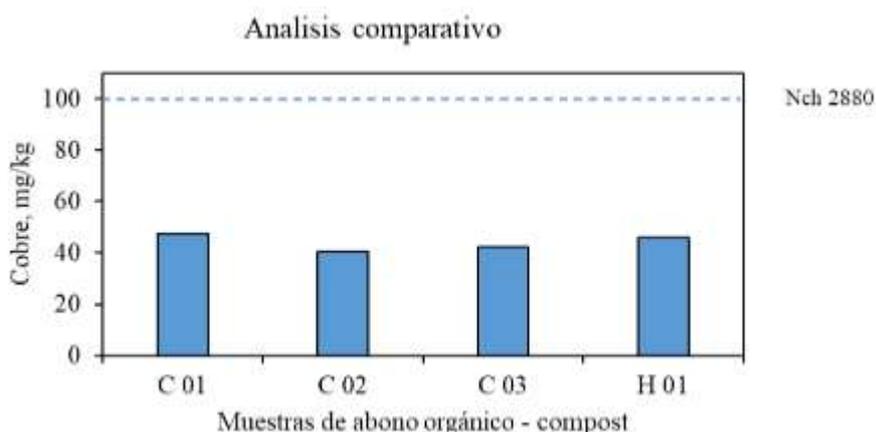


Figura 38. Análisis comparativo de la cantidad de cobre

4.2.15. Contenido de manganeso

En la figura 39, el contenido de manganeso mg/kg en los 4 tratamientos de compost a pozo y vermicompostaje se mantiene en un rango de 133.9 mg/kg mín. y 221 mg/kg máx., con un promedio de 177.45 mg/kg. Los valores de todas las muestras; C 01, C 02, C 03 y H 01 superar notablemente el valor propuesto por la investigación del IIAP menciona un valor de 55.1 mg/kg de manganeso.

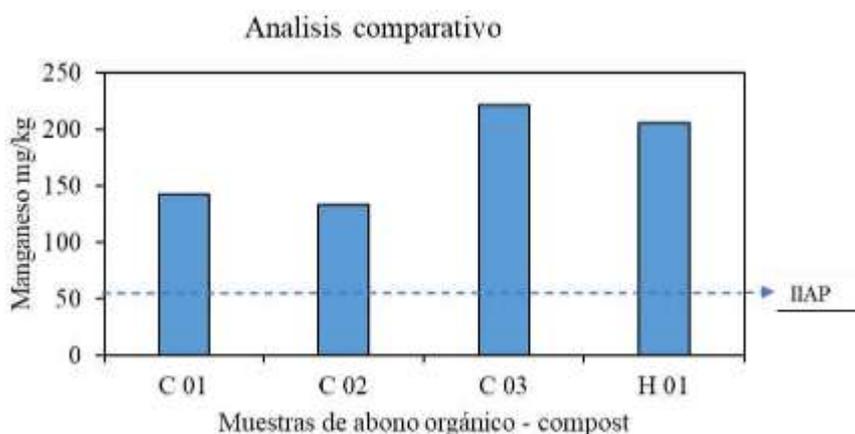


Figura 39. Análisis comparativo de la cantidad de manganeso

4.2.16. Contenido de zinc

En la figura 40, el contenido de zinc mg/kg en los 4 tratamientos de compost a pozo y vermicompostaje se mantiene en un rango de 99.75 mg/kg mín. y 109.97 mg/kg máx., con un promedio de 104.86 mg/kg. Los valores de todas las muestras; C 01, C 02, C 03 y H 01 se encuentran por debajo del valor máximo admisible mencionado en la Norma Técnica Chilena siendo ≤ 200 mg/kg para la Clase A y ≤ 2000 mg/kg para la Clase B, las muestras podrían clasificarse en ambos tipos.

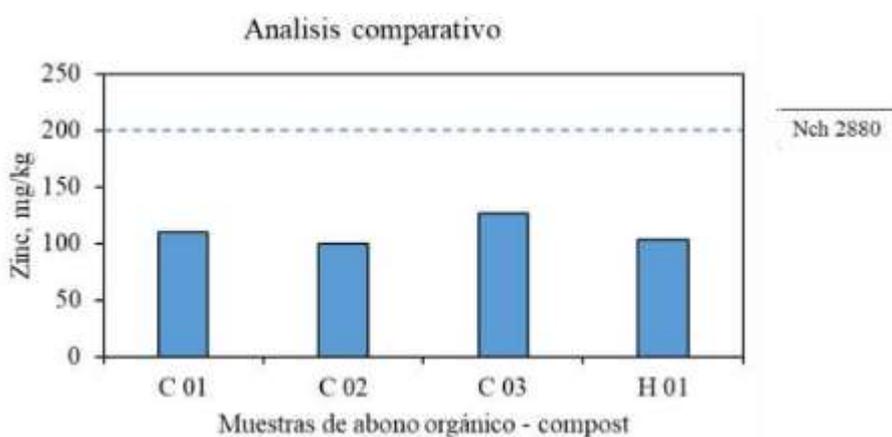


Figura 40. Análisis comparativo de la cantidad de zinc

4.2.17. Discusión de características fisicoquímicas del abono producido

En Perú no existe norma técnica para evaluar la calidad del compost como abono orgánico; por ello, se tomó como referencia legal la norma técnica chilena NoCh2880 2004 también se tomó como referencia los valores mencionados en el manual de compostaje del agricultor por la FAO (41) y los resultados evaluados en una investigación realizada por el Instituto de Innovación Agraria del Perú (42).

La investigación evaluó los siguientes parámetros fisicoquímicos e indicadores de calidad: pH, CE, humedad, materia orgánica, nitrógeno total, relación C/N, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre total, boro, hierro, cobre, manganeso y zinc. La mayoría de estos parámetros permiten determinar la calidad del compost producido, así como, su madurez, y estimar posibles aplicaciones del abono orgánico obtenido.

La tabla 12 muestra que todas las muestras cumplen parcialmente con los requisitos de la norma técnica chilena para compost de clase B, debido a la falta de análisis de concentraciones máximas de metales en compost (mg/kg base seca) para cadmio, cromo, mercurio, níquel y plomo.

La muestra C03 cumple con el porcentaje de humedad adecuado (menor al 30 %) para compost de clase A y clase B, así como, con el contenido de materia orgánica, en comparación con el resto de las muestras cuya humedad es inferior para ambas clases. Todas las muestras presentaron valores de pH inferiores al máximo de 8,5. Con respecto al tamaño de partículas, todas las muestras tuvieron un valor de 5,56 mm, cumpliendo con el valor ≤ 16 mm. Sin embargo, la norma técnica menciona que son necesarios análisis complementarios de absorción de oxígeno y evolución de dióxido de carbono para determinar la madurez. El análisis de requisitos microbiológicos para coliformes fecales, *Salmonella* sp. y huevos de helmintos viables es vital para confirmar la higienización del compost. Se menciona, además, como requisito realizar una prueba de olor; el análisis organoléptico del compost final resultó agradable, con olor a petricor y molle (debido a la presencia de semillas de molle). La norma técnica clasificaría el abono orgánico como un compost de Clase B y compost subestándar, presentando algunas restricciones de uso y necesitando ser mezclado con otros elementos para ser aplicado en macetas.

La tabla 12 muestra que todas las muestras cumplen parcialmente con los requisitos de la FAO. La muestra H01 excede el máximo de pH establecido, siendo ligeramente alcalina. La humedad es un parámetro que en la mayoría de las muestras (C01, C02 y H01) se encuentra por debajo del 30 %, así como, el contenido de materia orgánica es inferior al 20 % requerido.

La relación C/N es inferior a 10:1 para las muestras C01, C03 y H01. La muestra C03 cumple con la mayoría de los parámetros establecidos, exceptuando la relación C/N, que se encuentra cercana al valor mínimo. Con respecto al tamaño de partículas, todas las muestras tuvieron un valor de 5,56 mm, cumpliendo con el valor < 1,6 cm. La FAO menciona que es necesario evaluar la concentración de oxígeno y la densidad para determinar la madurez del compost. Para que el compost sea aplicado como fertilizante orgánico, se mencionan criterios como las necesidades del cultivo (análisis del suelo y foliares) y la necesidad de materia orgánica del suelo. Todos los tratamientos alcanzaron la temperatura necesaria para la eliminación de algunos patógenos mencionados por la FAO.

Los micronutrientes presentes en las cuatro muestras de abono orgánico presentaron diferencias comparables con los valores de referencia del IIAP para la mayoría de los parámetros, a excepción del azufre total, boro, hierro y manganeso, los cuales tienen valores superiores. El manual del IIAP menciona la importancia de determinar la calidad del abono, ya que el uso de un abono de baja calidad podría causar efectos negativos en el desarrollo de los cultivos. El abono obtenido requiere ajustar sus parámetros siendo mezclado con otros fertilizantes orgánicos.

CONCLUSIONES

1. Se debe procurar el mantenimiento de las áreas verdes como la mayor fuente de residuos orgánicos con 69 kg como peso máximo acumulado, la preparación de alimentos en la segunda fuente con 154.6 kg de peso máximo acumulados, en tercer lugar, las bodegas con 9.3 kg. En total se recolectaron 360.9 kilogramos de residuos orgánicos durante todo el estudio.
2. Se obtuvo 150 kilogramos de abono orgánico empleando 360,9 kilogramos de residuos orgánicos sólidos, utilizando las técnicas de compostaje a pozo y vermicompostaje. La relación obtenida es de 2,4/1, lo que indica una buena calidad de los residuos orgánicos empleados. Además, los resultados se encuentran dentro de los parámetros aceptados por la norma técnica chilena NCh 2880 y la FAO.
3. Las características fisicoquímicas analizadas en laboratorio estiman una buena calidad del abono orgánico, al encontrarse entre los parámetros de aceptación. El abono producido puede servir como enmienda para suelos, de uso foliar en las plantas en caso se mezcle con otros fertilizantes y como abono orgánico para las áreas verdes de la institución.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda monitorear los siguientes parámetros durante el proceso de compostaje: humedad, horas de luz, evapotranspiración y tiempo de biodegradación, para estimar con mayor certeza el proceso de descomposición.
2. Se recomienda evaluar y analizar en laboratorio la materia prima antes de que atraviese el proceso. Para el abono orgánico final, se sugiere analizar el contenido de microorganismos para determinar con certeza la inocuidad del abono. Además, se recomienda realizar análisis complementarios para determinar la madurez del compost (CO₂ y O₂).
3. Se recomienda como tema de investigación crear una guía de compostaje e introducirla en el manual de buenas prácticas ambientales del Ministerio de Defensa a nivel nacional. Asimismo, se sugiere diseñar un sistema de vermicompostaje en que las variables de control para humedad y aireación tengan un sistema de manejo sencillo.
4. Se recomienda realizar un Plan de Manejo de Residuos Sólidos, ya que existe la necesidad de cumplir con las normas pertinentes de manejo de residuos sólidos.

REFERENCIAS

1. **Ministerio del Ambiente.** *El Perú y el Cambio Climático.* Lima : Ministerio del Ambiente, 2020.
2. **FAO.** *Manual de compostaje del Agricultor. Experiencia en América Latina.* Santiago de Chile : s.n., 2013. E-ISBN 978-92-5-307845-5 .
3. **Ministerio del Ambiente.** *Guía para la Caracterización de residuos sólidos municipales.* Lima : MINAM, 2019.
4. **ROJAS INFANTE, Jhonatan Leonardo.** *Aprovechamiento de los desechos orgánicos sólidos generados por los restaurantes ubicados en Chapinero, Bogotá, Colombia. mediante el método de vermicompostaje.* Bogotá DC : Fundación Universidad de América Facultad de Ingenierías, 2020.
5. **SANTIBÁÑEZ VARNERO, Claudia Chantal.** *Diseño y evaluación de una planta piloto de compostaje para tratamiento de residuos de origen vegetal.* Santiago : Universidad de Chile, 2002. pág. 28.
6. **HERNÁNDEZ, Zulimar y otros.** *Qualidade da matéria orgânica e perda de fitotoxicidade em estágios progressivos da compostagem de bagaço de azeitona.* Oeiras - Lisboa : Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo, 2022.
7. **ROYER, Ana Caroline y otros.** *Análise preliminar da comunidade bacteriana em diferentes fases do processo de compostagem de bagaço de azeitona.* N.º 4 (2022), Portugal : SCAP - Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal, 2023, Revista de Ciências Agrárias, Vol. Vol. 45 .
8. **LASTIRI HERNÁNDEZ, Marcos Alfonso y otros.** *Effects of Sesuvium verrucosum Raf. Compost and production parameters of the Solanum lycopersicum L. crop.* 82, e20220162, 2023, s.l. : : Aline Renée Coscione, 2023.
9. **PORTO, Lis Natali; DAL'AVA MARIANO, Eduardo; CARDOSO, Jean Carlos.** *Composting of fresh vegetable residues and its application in lettuce cultivation.* eLocation e2545, Brasil : Universidade Federal de São Carlos, 2023, Vol. 41.
10. **CASTILLO, Alicia E.; QUARIN, Silvio H.; IGLESIAS, María C.** *Caracterización química y física de compost de lombrices elaborados a partir de residuos orgánicos puros y combinados.* 01, Corrientes - Argentina : s.n., 2000, Vol. 60. 0365-2807.
11. **ROJAS VERA, Sheyla Pamela.** *Elaboración de compost a partir de los residuos orgánicos generados en la limpieza de planta de la empresa Copeinca SAC.* Piura : Universidad Nacional de Piura Facultad de Ingeniería de Minas Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental y Seguridad Industrial, 2018.
12. **NUÑEZ RODRIGUEZ, Irina Yesabel.** *Influencia del uso de residuos orgánicos de domicilios, mercados y jardinería, en la calidad y eficiencia del compost Takakura, Laredo –*

2017. Trujillo : Universidad César Vallejo Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, 2017.

13. **MAMANI PILLCO, Katia.** *Evaluación del proceso de compostaje de residuos orgánicos, aplicando microorganismos eficaces.* Puno : Universidad Nacional del Altiplano Facultad de Ciencias Biológicas Escuela Profesional de Biología, 2020.

14. **ROJAS VERA, Sheyla Pamela.** *Elaboracion de compost a partir de los residuos organicos generados en la limpieza de planta de la empresa Copeinca SAC.* [ed.] Universidad Nacional de Piura Facultad de Ingeniería de minas Escuela profesional de Ingeniería Ambiental y Seguridad Industrial. Piura : 2018, 2018.

15. **MAMANI PILLCO, Katia.** *Evaluación del proceso de compostaje de residuos orgánicos, aplicando microorganismos eficaces.* Puno : Universidad Nacional del Altiplano Facultad de Ciencias Biológicas Escuela Profesional de Biología, 2020.

16. **PALENCIA, E.; Gildardo.** *Abono orgánico manejo y uso en el cultivo de cacao.* Corpoica - Turiman - Colombia : s.n., 2002.

17. **HAUG, R. T.** *The practical handbook of compost engineering.* Florida : Lewis Publishers Boca Raton, 1993.

18. **ROJAS INFANTE, Jhonatan Leonardo.** *Aprovechamiento de los desechos orgánicos sólidos generados por los restaurantes ubicados en Chapinero, Bogotá, Colombia mediante el método de vermicompostaje.* Bogota : Fundación Universidad de América Facultad de Ingenierías, 2020.

19. **OTALDEA, Abarra.** Vermicompost. 2024.

20. **SZTERN, D.; PRAVIA, M.** *Manual para elaboración de compost - bases conceptuales y procedimientos.* s.l. : Organizacion Panamericana de la Salud y Organizacion Mundial de la Salud., 1999.

21. **OROSCO, V.; SORIA, M.** *Biorremediación de Vegetación contaminada con petroleo por derrames en el campamento Guarumo - Petroproduccion.* Riobamba - Ecuador. Ecuador : Escuela Superior Politecnica de Chimborazo., 2008.

22. **BEJARANO, E.; DELGADILLO, S.** *Evaluación de un tratamiento para la producción de compost a partir de residuos orgánicos provenientes del rancho de comidas del establecimiento carcelario de Bogota «La Modelo» por medio de la utilización de Microorgan.* Bogota : s.n., 2007.

23. **MORENO CASCO, Joaquín; MORAL HERRERO, Raúl.** *Compostaje: Microbiología y bioquímica del proceso de compostaje.* España : Ediciones Mundi-Empresa., 2008.

24. **SOMARRIBA REYES, Ricardo José; GUILLÉN GUZMÁN.** *Guía de Lombricultura. Guía Técnica No. 4.* Nicaragua : Dr. Freddy Alemán, 2004.

25. **ENRÍQUEZ ESPINOZA, Lucio; SOTO HUANCA, Rafael.** *Evaluación de la producción y composición química de humus de lombriz roja californiana (Eisenia foétida) con*

el contenido ruminal en el camal municipal de Huancavelica. Huancavelica : Universidad Nacional de Huancavelica, 2017.

26. **TERÁN TORRES, Adrián Octavio**. *Producción de humus de lombriz roja californiana (Eisenia foetida) mediante el aprovechamiento y manejo de los residuos orgánicos*. Babahoyo- Los Ríos- Ecuador : Universidad Técnica de Babahoyo, 2017.

27. **SOMARRIBA REYES, Ricardo José**. *Guía de Lombricultura*. Managua : Universidad Nacional Agraria., 2004.

28. **Universidad Técnica de Babahoyo**. *El suelo y los abonos orgánicos*. Costa Rica : Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, 2016. N 978-9968-586-26-9.

29. **CABALLERO ROMERO, Alejandro**. *Metodología integral innovadora para planes y tesis : la metodología del cómo formularios*. México : Cengage Learning., 2014. 978-607-519-182-9.

30. **HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto; FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos; BAPTISTA LUCIO, Maria del Pilar**. *Metodología de la investigación*. España : McGraw-Hill Interamericana de España., 2014. 1-4562-2396-0..

31. **GUZMÁN, José**. «*Evaluación del compostaje de estiércol de caballo de un centro ecuestre en la región Lima*». Lima – Perú : Universidad Nacional Agraria , 2021.

32. **melendez, G.; SOTO, G**. *Taller de abonos orgánicos proyecto NOS del Catie/GTZ, el centro de investigaciones Agronómicas*. Costa Rica : Universidad de Costa Rica, 2003.

33. **UICAB-BRITO, L. A.; SANDOVAL CASTRO, C. A**. *Uso del contenido ruminal y algunos residuos de la industria cárnica en la elaboración de composta*. 2, Mérida, Yucatán, México : Universidad Autónoma de Yucatán, 2003, Vol. 2. 1870-0462.

34. **FAJARDO, V**. *Manual Agropecuario*. 1a ed. Bogotá, Colombia. : Edit Limerín. pp., 2002. págs. 481- 502.

35. **CASTILLO, C**. *Elaboración de compost a partir de residuos orgánicos urbanos*. Bogota : Acodal: Asociacion Regional de Recicladores., 1996.

36. **CAJAHUANCA, Sara**. *Optimización del manejo de residuos orgánicos por medio de la utilización de microorganismos eficientes (Saccharomyces cerevisiae, Aspergillus sp., Lactobacillus sp.) en el proceso de compostaje en la central hidroeléctrica Chaglla*». Huánuco : Universidad de Huánuco, 2016.

37. **AVENDAÑO, Daniella**. *El Proceso de Compostaje*. Santiago : Pontificia Universidad Católica., 2003.

38. **MONEDERO SÁNCHEZ M.; ROIG, A.; PAREDES, C.; BERNAL, M. P**. *Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures*. s.l. : Biores. Technol., 2001.

39. **CASTILLO TACO, Juan.** *Análisis de lombricompostos a partir de diferentes sustratos.* Colombia : Universidad Nacional de Colombia Universidad Popular del César , 2010.
40. **ROLANDO RIASCOS, A.; GUERRERO GUERRERO, M.; DAZA ARBOLEDA, L.** *Evaluación de vermicompost con diferentes sustratos en la producción de biomasa con la lombriz roja californiana.* (1), España : Revista Gipama, 2020, Vol. 1, págs. 28–35.
41. **ROMÁN, Pilar; MARTÍNEZ, María M.; PANTOJA, Alberto.** *Manual de Compostaje del agricultor Experiencias en América Latina.* Santiago de Chile : Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013. 978-92-5-307844-8.
42. **RÍOS Del AGUILA, Olga Zarela; SALAS DOMÍNGUEZ, Sonia; SÁNCHEZ, Miguel.** *Manual de lombricultura en trópico húmedo.* Iquitos, Perú : Instituto de investigación de la Amazonía Peruana, 1993.
43. **ROJAS INFANTE, Jhonatan Leonardo.** *Aprovechamiento de los desechos orgánicos sólidos generados por los restaurantes ubicados en Chapinero, Bogotá, Colombia mediante el método de vermicompostaje.* Bogota : Fundación Universidad de América Facultad de Ingenierías, 2020.
44. **SANTIBÁÑEZ VARNERO, Claudia CHantal.** *Diseño y evaluación de una planta piloto de compostaje para tratamiento de residuos de origen vegetal.* Santiago de Chile : s.n., 2002.
45. **NUÑEZ RODRIGUEZ, Irina Yesabel.** *Influencia del uso de residuos orgánicos de domicilios, mercados y jardinería, en la calidad y eficiencia del compost takakura, Laredo – 2017.* Trujillo : Universidad César Vallejo Facultad de Ingeniería Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, 2017.

ANEXOS



PERÚ

Ministerio
de Defensa

Ejército
del Perú

3ª Brigada
de Servicios - AREQUIPA

"AÑO DEL BICENTENARIO DEL PERÚ 200 AÑOS DE INDEPENDENCIA"

Arequipa, 06 de Setiembre del 2021

Oficio N° 049 /III DE/3A BRIG SERV/SEBIEN/30.01

Señorita : BACH. KIMBERLY ESTEFANY VASQUEZ YBARCENA

Asunto : Autorización para el ingreso y el uso de instalaciones para ejecución del proyecto de investigación de tesis de Ingeniería Ambiental.

Ref. : Su Solicitud de 01 SET 2021

Tengo el agrado de dirigirme a usted, para saludarla cordialmente y a la vez manifestarle que, en atención al documento de la referencia, este comando le autoriza el ingreso y el USO DE LAS INSTALACIONES PARA LA EJECUCIÓN DE SU PROYECTO DE INVESTIGACIÓN " APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS SÓLIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE ABONO ORGÁNICO MEDIANTE LA TÉCNICA DE COMPOSTAJE A POZO Y VERMICOMPOSTAJE en LA 3RA BRIGADA DE SERVICIOS DE LA III DIVISIÓN DEL EJERCITO - MINISTERIO DE DEFENSA - AREQUIPA 2021 , el cual contribuirá con el medio ambiente y en la concientización del personal en la clasificación de residuos.

Dios guarde a Ud.



0 - 3000 172 / 0 -
JORGE LUCIANO PAGO
CPL ME
COMTE GRAL DE LA 3ª BRIGADA DE SERVICIOS

REGISTRACIÓN
- INSCRIPCIÓN 01
- ARCHIVO 01/22

Tabla 9. Ficha de parámetros fisicoquímicos analizados en laboratorio para muestras de compost.

Parámetros	Resultados de muestras				Normas internacionales - valores referenciales de calidad			
					FAO		IIAP	
	C 01	C 02	C 03	H 01			Clase A	Clase B
pH	8.35	8.1	8.4	8.67	6.5 - 8.5	7.0 - 8.3	5,0 - 8,5	5,0 - 8,5
C.E	5.2	4.37	7.55	2.39		2.0 dS/m - 4.0 dS/m	< 3dS/m	< 8dS/m - >3dS/m
Humedad	13.09	8.74	32.11	18.43	30 % - 40 %		30 % - 45 %	30 % - 45 %
Materia orgánica	12.14	13.02	22.87	8.55	> 20 %		≥ 20 %	≥ 20 %
Nitrógeno total	0.76	0.64	1.32	0.52	0.3 % - 1.5 %	0.8 % - 1.5 %	≥ 0.5 %	≥ 0.5 %
Relación C/N	9.27	11.8	10.05	9.54	10:1 - 15:1		≤ 25	≤ 30
Fósforo	0.19	0.13	0.27	0.17	0.1 % - 1.0 %	0.4 % - 1.0 %		
Potasio	0.76	0.54	1.19	0.5	0.3 % - 1.0 %	0.6 % - 1.5 %		
Calcio	1.06	0.96	1.52	1.17		2.0 % - 6.0 %		
Magnesio	0.22	0.2	0.26	0.27		0.2 % - 0.7 %		
Azufre Total	0.2	0.16	0.32	0.14		0.00442 g/100g		
Boro	97.6	98.44	106.46	104.23		0.8 mg/kg		
Hierro	12259	1251	9516	14823		80.02 mg/kg		
Cobre	47.68	40.57	42.38	45.74			≤100 mg/kg	≤1000 mg/kg
Manganeso	143.01	133.85	220.99	205.24		55.1 mg/kg		
Zinc	109.97	99.75	126.46	103.87			≤200 mg/kg	≤2000 mg/kg

Tabla 10. Matriz de consistencia del trabajo de investigación.

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>Problema general ¿Cuáles son las características de los residuos sólidos orgánicos generados para la elaboración de compost y vermicompost en la 3.ª brigada de servicios de la Región Militar Sur - Ministerio de Defensa - Arequipa?</p> <p>Problemas específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - ¿Cuáles son las características de los residuos sólidos orgánicos generados en la 3.ª brigada de servicios de la Región Militar Sur - Ministerio de Defensa - Arequipa? - ¿Cuáles son las variaciones de la temperatura y pH en el proceso de compostaje y vermicompostaje? - ¿Cuáles son las características físico-químicas al final del experimento del compost y vermicompost? 	<p>Objetivo general Obtener abono orgánico mediante la técnica del compostaje a pozo y vermicompostaje a partir de residuos orgánicos sólidos en la Tercera Brigada de Servicios de la Región Militar Sur – Ministerio de defensa - Arequipa 2021.</p> <p>Objetivos específicos Identificar las características de los residuos sólidos orgánicos generados en la en la Tercera Brigada de Servicios de la Región Militar Sur – Ministerio de defensa. Analizar las variaciones de la temperatura y pH en el proceso de compostaje y vermicompostaje. Determinar las características físicoquímicas al final del experimento del compost y vermicompost</p>	<p>Hipótesis general H: La acumulación de residuos orgánicos sólidos en contenedores y recipientes de basura incrementa la contaminación, es posible el aprovechamiento y valorización, para obtener abonos orgánicos mediante el compostaje y el vermicompostaje en las instalaciones de la Tercera Brigada de Servicios de la Región Militar Sur.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Los residuos sólidos orgánicos generados en la Tercera Brigada de Servicios de la Región Militar Sur – Ministerio de Defensa tienen características adecuadas para la producción de compost y vermicompost. ➤ La temperatura y el potencial de hidrogeno del proceso de 	<p>Variable independiente (X) X: Residuos orgánicos generados por la Tercera Brigada de Servicios III División del Ejército - Arequipa. Indicador ➤ Composición, peso y porcentaje de cada zona de recolección.</p> <p>Variable dependiente (Y) Y: Producción de compost y humus (abono orgánico) mediante la aplicación del método compost a pozo y vermicompostaje. Indicadores Análisis de Parámetros físicoquímicos in situ. - Peso. - Temperatura. - Humedad</p> <p>Análisis en laboratorio del abono orgánico - Conductividad eléctrica.</p>	<p>Tipo de investigación La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo es de tipo aplicada ya que tiene como base el conocimiento teórico (investigación básica) para la resolución de un problema en específico.</p> <p>Nivel de investigación El nivel de la investigación es descriptivo, porque busca describir el aprovechamiento de residuos orgánicos mediante la aplicación de dos técnicas de obtención; compost a pozo y vermicompostaje. La presente investigación plantea una hipótesis que se contrastara con las variables propuestas, es un estudio de causa-efecto. Posee un tipo de análisis descriptivo utilizando la estadística descriptiva para determinar las características de ambas técnicas de compostaje, mencionar su comportamiento y propiedades durante el proceso y del producto final.</p> <p>Diseño de investigación La actual investigación tiene un diseño de nivel cuasi experimental debido a la manipulación de las</p>

compostaje y vermicompostaje varían de manera significativa a lo largo del tiempo, afectando la calidad del abono orgánico producido.

➤ El compost y vermicompostaje obtenidos presentan características fisicoquímicas óptimas que cumplen parcialmente con los estándares de calidad para su uso como abono orgánico.

- Potencial de hidrogeno.
- Materia orgánica
- Nitrógeno Total.
- Relación C/N
- Fosforo
- Potasio
- Zinc
- Manganeso
- Azufre Total
- Boro
- Hierro
- Cobre
- Calcio
- Magnesio
- Sodio Total

variables con la intención de analizar su comportamiento y las reacciones de la interacción. La variable independiente es observada durante el inicio, ejecución del proceso, afectando la reacción de la variable dependiente. Los tratamientos aplicados no son asignados al azar, son conformados antes del experimento.

Método de investigación

La metodología de la investigación consta de las siguientes etapas; Acondicionamiento, recolección, separación y caracterización, alimentación de las pozas, volteo, riego, tamizado, embolsado, monitoreo in situ de T°, pH y análisis de propiedades fisicoquímicas del abono producido.

Población

Tiene como población todos los residuos orgánicos producidos en la Tercera Brigada de Servicios de la Región Militar Sur – Ministerio de Defensa en Arequipa.

Muestra

Tiene como muestra los residuos orgánicos recolectados del comedor principal, concesionarias (bodegas) y podas de áreas verdes en la Tercera Brigada de Servicios de la Región Militar Sur – Ministerio de Defensa en Arequipa.



Figura 41. Diagnóstico de la situación actual del majo de residuos mezclados en canastas para almacenar reciclaje



Figura 42. Diagnóstico de la situación actual de residuos orgánicos mezclados en barril de plástico para almacenarlo



Figura 43. Diagnóstico de la situación actual de disposición final de residuos sólidos en contenedores



Figura 44. Diagnóstico de la situación actual de disposición final de residuos sólidos en contenedores



Figura 45. Delimitación del área experimental



Figura 46. Cavado de las pozas experimentales



Figura 47. Delimitación del área experimental



Figura 48. Capacitación al personal de tropa en manejo de residuos orgánicos



Figura 49. Recolección de residuos orgánicos generados por las bodegas



Figura 50. Recolección de residuos orgánicos generados por poda



Figura 51. Alimentación de las pozas con diferentes residuos orgánicos generados en la cocina



Figura 52. Alimentación de las pozas con diferentes residuos orgánicos generados en la cocina



Figura 53. Alimentación de las pozas con residuos orgánicos generados por la poda de áreas verdes



Figura 54. Alimentación de las pozas con residuos orgánicos generados por la poda de áreas verdes con apoyo del personal de la tropa



Figura 55. Medición de temperatura en las pozas



Figura 56. Preparación del medio para medir pH



Figura 57. Medición de potencial de hidrogeno



Figura 58. Volteo manual de pozas de compost a pozo



Figura 59. Volteo manual de pozas de compost a pozo



Figura 60. Embolsado y Pesaje de abono orgánico



Figura 61. Embolsado y sellado de abono orgánico



Figura 62. Alimentación de vermicompostera con residuos orgánicos generados en la preparación de alimentos



Figura 63. Monitoreo de temperatura y potencial de hidrogeno de vermicompostera



Figura 64. Humus y compost producidos



INFORME DE ENSAYO N° 1-00762/22

Solicitante	VASQUEZ YBANCENA, KIMBERLY ESTEFANY	Producto	COMPOST
Domicilio Legal	Calle Puerto Anao 1409 - Miraflores - Arequipa - Arequipa	Identificación	Código: C - 01, Procedencia: Provincia de Arequipa, Ciudad de Arequipa y Distrito de Mariano Melgar M1
Fecha de recepción	2022-01-13	Fecha de muestreo	2022-01-01
Fecha de inicio	2022-01-14	Fecha de término	2022-01-24
Identificado con N°S	22000211 (EXAO-00012-2022)	Ensayo realizado en	Laboratorio estándar

MUESTRA	%H	N.E. (dB/m)	Humedad (g/100g)	**Materia orgánica (g/100g)	Nitrogeno total (g/100g)	Relacion CN	Fósforo (g/100g)	Potasio (g/100g)	Calcio (g/100g)	Magnesio (g/100g)	Sodio Total (g/100g)	Acidez Total (g/100g)	Boro (mg/kg)	Hierro (mg/kg)	Cobre (mg/kg)	Manganeso (mg/kg)	Zinc (mg/kg)
Código: C - 01, Procedencia: Provincia de Arequipa, Ciudad de Arequipa y Distrito de Mariano Melgar M1	0.00	0.00	13.04	10.14	0.76	9.27	0.16	0.76	1.90	0.02	0.14	0.01	97.60	10296.00	47.64	143.97	109.97

*Humedad Máxima Agua: 1.5

**Materia seca

Métodos:

gH: Procedimiento Método de Análisis para Suelo y Lodos, Método 1.1, gH (Suspensión y determinación potenciométrica (Lodos y Suelos) (Válidado)
 Materia Orgánica: NCM 01 - SEMINPAT 2010,2002 (Segunda Sección). Que establece los procedimientos de Fijación, Saturación y Oxidación de suelos, Estudios, Muestras y Análisis. A0-07. Materia Orgánica. 7.1.7
 Humedad: NTC 1167. Pruebas Industriales Agrícolas-Pruebas Orgánicas (Lodos y Suelos) - Fertilizantes y Derivados de Suelo. 6.1 Preparación de la muestra y determinación de la humedad.
 Conductividad Eléctrica: Procedimiento Método de Análisis para Suelos y Lodos Método 5.1. Conductividad Eléctrica. Enchufe 1.5 y determinación por conductometría (Lodos y Suelos) (Válidado)
 Relación CN: CEN 040
 Nitrogeno total: NEM 01-REGAT 2000 sección 7.3.17 Espectrofotometría de Fertilidad, Saturación y Clasificación de Suelos. Estudios, Muestras y Análisis. Determinación de nitrógeno total
 Fósforo, Azufre, Potasio, Sodio, Calcio, Boro, Hierro, Cobre, Zinc, Manganeso, Magnesio: ISO 11885, 2007. Water Quality. Determination of selected elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry. (ISO 2007)

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.
 ING. SONIA MARCELA CANALES
 ASIST. GESTIÓN LABORATORIOS

"Este documento sin firma digital carece de validez"

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



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

Figura 65. Informe de los ensayos realizados en Certificadores del Perú

INFORME DE ENSAYO N° 1-00761/22

Solicitante	VASQUEZ YBARCENA, KIMBERLY ESTEFANY	Producto	COMPOST HUMUS
Domicilio Legal	Calle Puente Arco 1409 - Miraflores - Arequipa - Arequipa	Identificación	Código: C - 02, Procedencia: Provincia de Arequipa, Ciudad de Arequipa y Distrito de Mariano Melgar
Fecha de recepción	2022-01-13	Fecha de muestreo	2022-01-01
Fecha de inicio	2022-01-14	Fecha de término	2022-01-24
Identificado con H/S	22000211 (EXAG-00512-2022)	Ensayo realizado en	Laboratorio ambiental

MUESTRA	pH	°C.E (dSm)	Humedad (g/100g)	**Materia orgánica (g/100g)	Nitrógeno total (g/100g)	Relación C/N	Fósforo (g/100g)	Potasio (g/100g)	Calcio (g/100g)	Magnesio (g/100g)	Sodio Total (g/100g)	Azúfre Total (g/100g)	Boro (mg/kg)	Hierro (mg/kg)	Cobre (mg/kg)	Manganeso (mg/kg)	Zinc (mg/kg)
Código: C - 02, Procedencia: Provincia de Arequipa, Ciudad de Arequipa y Distrito de Mariano Melgar	8.10	4.37	8.74	13.02	0.64	11.80	3.19	0.54	0.98	0.20	0.14	3.16	88.44	12519.00	40.67	133.65	94.75

*Resion Muestra Agua 1:1

**Sólido seco

Metodos:

pH: Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos, Método 4.1, pH Suspensión y determinación potenciométrica (Lodos y Suelos) (Validado)

Materia Orgánica: NOM 021- SEMARNAT-2000-2002 (Segunda Sección). Que establece las especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de suelos. Estudios, Muestreo y Análisis, AS-07, Materia Orgánica, 7.1.7

Humedad: NTC 5167- Producción, Industria Agrícola-Productos Orgánicos Usados Como Abonos o Fertilizantes y Drenajes de Suelo, 6.1 Preparación de la muestra y determinación de la humedad.

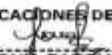
Conductividad Eléctrica: Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos Método 5.1, Conductividad Eléctrica, Extracto 1:5 y determinación por conductimetría (Lodos y Suelos) (Validado)

Relación C/N: Cálculo

Nitrógeno total: NCM 021, IECNAT 2000 sección 7.3.17 Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos, Estudios, Muestreo y Análisis, Determinación de nitrógeno total

Fósforo, Azúfre, Potasio, Sodio, Calcio, Boro, Hierro, Cobre, Zinc, Manganeso, Magnesio: ISO 11885:2007, Water Quality - Determination of selected elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry, (ICP-OES)

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.


ING. SONIA GARCÍA CANALES
E. I. P. 93422
ASIST. GESTION LABORATORIOS

"Este documento sin firma digital carece de validez"

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



INFORME DE ENSAYO N° 1-00759/22

Solicitante	VASQUEZ YBARCENA, KIMBERLY ESTEFANY	Producto	COMPOST
Domicilio Legal	Calle Puente Arco 1409 - Miraflores - Arequipa - Arequipa	Identificación	Código: C - 03, Procedencia: Provincia de Arequipa, Ciudad de Arequipa y Distrito de Mariano Melgar M3
Fecha de recepción	2022-01-13	Fecha de muestreo	2022-01-01
Fecha de inico	2022-01-14	Fecha de término	2022-01-24
Identificado con H/S	22000211 (EXAG-00512-2022)	Ensayo realizado en	Laboratorio ambiental

MUESTRA	pH	*C.E (dSm)	Humedad (g/100g)	**Materia orgánica (g/100g)	Nitrógeno total (g/100g)	Relación C/N	Fosforo (g/100g)	Potasio (g/100g)	Calcio (g/100g)	Magnesio (g/100g)	Sodio Total (g/100g)	Azufre Total (g/100g)	Boro (mg/kg)	Hierro (mg/kg)	Cobre (mg/kg)	Manganeso (mg/kg)	Zinc (mg/kg)
Código: C - 03, Procedencia: Provincia de Arequipa, Ciudad de Arequipa y Distrito de Mariano Melgar M3	8.40	7.35	33.11	23.87	1.33	10.05	0.27	1.19	1.52	0.26	0.19	0.22	196.46	9515.70	42.38	230.99	126.46

*Relación Muestra Agua: 1:5

**Base seca

Metodos:

pH: Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos. Método 4.1. pH Suspensión y determinación potenciométrica (Lodos y Suelos) (Válido)

Materia Orgánica: NOM 021- SEMAGRIAT-2009/2002 (Segunda Sección). Que establece los especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de suelos. Estudios, Muestreo y Análisis. AS-07, Materia Orgánica. 7.1.7

Humedad: NTC 5167- Productos Industriales Agrícolas-Productos Orgánicos Usados Como Abonos o Fertilizantes y Entierros de Suelo. 6.1 Preparación de la muestra y determinación de la humedad.

Conductividad Eléctrica: Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos Método 5.1. Conductividad Eléctrica. Extracto 1:5 y determinación por conductimetría (Lodos y Suelos) (Válidos)

Relación C/N: Cálculo

Nitrógeno total: NOM 021 REQUAT 2000 sección 7.3.17 Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos. Estudios, Muestreo y Análisis. Determinación de nitrógeno total

Fosforo, Azufre, Potasio, Sodio, Calcio, Boro, Hierro, Cobre, Zinc, Manganeso, Magnesio: ISO 11885: 2007. Water Quality - Determination of selected elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry. (ICP OES)

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

ING. SONIA SANCIA CANALES
C.I.P. 83422
ASIST. GESTION LABORATORIOS

"Este documento sin firma digital carece de validez"

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



INFORME DE ENSAYO N° 1-00760/22

Solicitante	VASQUEZ YBARCENA, KIMBERLY ESTEFANY	Producto	COMPOST HUMUS
Domicilio Legal	Calle Puente Anao 1409 - Miraflores - Arequipa - Arequipa	Identificación	Codigo: H - 01 Procedencia: Provincia de Arequipa, Ciudad de Arequipa y Distrito de Miraflores
Fecha de recepción	2022-01-13	Fecha de muestreo	2022-01-03
Fecha de inicio	2022-01-14	Fecha de término	2022-01-24
Identificado con H/S	22000211 (EXAG-00512-2022)	Ensayo realizado en	Laboratorio ambiental

MUESTRA	pH	C.E (dS/m)	Humedad (g/100g)	Materia orgánica (g/100g)	Nitrógeno total (g/100g)	Relación C/N	Fósforo (g/100g)	Potasio (g/100g)	Calcio (g/100g)	Magnesio (g/100g)	Sodio Total (g/100g)	Azúfre Total (g/100g)	Hierro (mg/kg)	Cobre (mg/kg)	Manganeso (mg/kg)	Zinc (mg/kg)	
Codigo: H - 01 Procedencia: Provincia de Arequipa, Ciudad de Arequipa y Distrito de Miraflores	8.67	2.30	18.63	8.55	0.52	9.54	0.17	0.58	1.17	0.27	0.06	0.14	104.23	14833.00	45.74	205.24	103.87

*Relación Muestra Agua: 1:5

**Base seca

Métodos:

pH: Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos. Método 4.1. pH (Suspensión) y determinación potenciométrica (Lodos y Suelos) (Válidate)

Materia Orgánica: NCM 501- SEMAFRAT, 2000.2002 (Segunda Sección). Que establece las especificaciones de Fertilidad, Salud y Clasificación de suelos. Estudios, Muestreo y Análisis. AS-07. Materia Orgánica. 7.1.7

Humedad: RTC 5167. Productos Industria Agrícola-Productos Orgánicos (Lodos Como Abonos o Fertilizantes y Extrados de Suelo). 6.1 Preparación de la muestra y determinación de la humedad.

Conductividad Eléctrica: Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos Método 5.1. Conductividad Eléctrica. Estrato 1.5 y determinación por conductometría (Lodos y Suelos) (Válidate)

Relación C/N: Cálculo

Nitrógeno total: NCM 021 RECIAT 2050 sección 7.3.17 Especificaciones de Fertilidad, Salud y Clasificación de Suelos. Estudios, Muestreo y Análisis. Determinación de nitrógeno total

Fósforo, Azufre, Potasio, Sodio, Calcio, Boro, Hierro, Cobre, Zinc, Manganeso, Magnesio: ISO 11893, 2007. Water Quality - Determination of selected elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry. (EP-OES)

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

 ING. SONIA GARCIA CANALES
 S. R. L. P. 034-22
 ASIST. GESTION LABORATORIOS

"Este documento sin firma digital carece de validez"

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





Instrument:	HI98100
S/N:	H00312084
Software version:	v1.00
Description:	Checker Plus - pH tester
Made in:	ROMANIA

Hanna Instruments certifies that this instrument has been produced, calibrated and tested to meet all applicable Hanna procedures, using standards and reference instruments, the accuracy of which is traceable to the National Institute of Standards (NIST) in the USA or to internationally acceptable national physical standards. The standards and reference instruments used in calibration and testing are supported by a calibration system which meets requirements of ISO9001.

The results are listed below: *

Calibration Points	Results
pH 7.01	Passed
pH 4.01	Passed

Testing Points	Reading Values (pH)
pH 4.01	4.01
pH 7.01	7.01
pH 10.01	9.95

* All the above measurements were done at 25°C with the current configuration.

Calibration, functionality test, aesthetic control and packing have been met.

Date: 2015-08-31 Inspector: Corina Pop
Title: Engineer
Signature: 



Figura 66. Certificados de calibración de los equipos utilizados en el análisis de temperatura y pH



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

062-CT-T-2017

Área de Metrología

Página 1 de 2

Expediente	: 472-12-2017	<p>La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95%.</p> <p>Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del equipo o a reglamentaciones vigentes.</p> <p>Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del Sistema de Calidad</p> <p>CORPORACIÓN 2M & N S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar al uso inadecuado de este equipo, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados. El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.</p>
Solicitante	: OHL INGENIEROS S.A.C.	
Dirección	: Mza. C Lote.4 Urb. Mi Casa - Comas - Lima	
Equipo/ Instrumento	: TERMÓMETRO DE INDICACIÓN DIGITAL	
Marca	: Multi-Thermometer	
Modelo	: No indica	
Serie	: No indica	
Identificación	: 030-TT-2017 (*)	
Ubicación	: Área de Corte Directo	
Procedencia	: No indica	
Alcance de indicación	: -30 °C a 500 °C (**)	
División/ Resolución	: 0,1 °C / 1 °C (***)	
Elemento Sensor	: Un termistor	
Fecha de calibración	: 2017-12-28	
Lugar:	: Laboratorio 01 - CORPORACIÓN 2M & N S.A.C. Jr. Chiclayo Nro. 489, Int'l A - Rimac - Lima.	
Método utilizado:	: Por comparación directa siguiendo el procedimiento INDECOPI-SNM PC-017 "Procedimiento para la Calibración de Termómetros Digitales" (2da Edición Diciembre 2012).	



2018-01-03
Fecha de emisión

Ing. Luis A. Simo Pérez
Jefe de Metrología
CIP:41346

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE CORPORACIÓN 2M & N S.A.C.

Jr. Chiclayo N° 489 Int. A Rimac - Lima - Perú - Telf.: (01) 381-6230
• Claro RPC: 989 645 623 • RPC: 961 505 209
• E-mail: ventas@2myn.com | metrologia@2myn.com | www.2myn.com



Condiciones ambientales:

	Inicial	Final
Temperatura °C	22,7	23,9
Humedad Relativa %hr	48	42

Patrones de referencia:

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrones de Referencia del INACAL-DM	Dos termómetros Digitales con sensores de platino con incertidumbres del orden desde 0,026 °C hasta 0,07 °C.	LT-607-2017

Observaciones:

- Se colocó una etiqueta de color amarillo, indicando el número de certificado y la fecha de calibración.
- Las temperaturas convencionalmente verdaderas mostradas en los resultados de medición son las de la Escala Internacional de Temperatura de 1990 International Temperature Scale ITS-90
- (*) Código de identificación asignada por CORPORACIÓN 2M & N S.A.C.
- (**) Dato tomado de su manual.
- (***) La resolución de pantalla es 0,1 °C entre -19,9 °C a 199,9 °C . Fuera de este alcance la resolución es de 1 °C

Resultados de medición:

Indicación Termómetro (°C)	Corrección (°C)	TCV (°C)	Incertidumbre (°C)
20,2	-0,21	19,99	0,12
25,2	-0,21	24,99	0,12
30,8	-0,89	29,91	0,12

La Temperatura Convencionalmente Verdadera (TCV) resulta de la relación:
 $TCV = \text{Indicación del termómetro} + \text{Corrección}$

Nota

- La profundidad de inmersión del sensor fue de aproximadamente 6 cm
- El tiempo de estabilización fue de aproximadamente 15 min

Fin del documento



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE CORPORACIÓN 2M & N.S.A.C.

Jr. Chiclayo N° 489 Int. A Rimac - Lima - Perú - Telf.: (01) 381-6230
• Claro RPC: 989 645 623 - RPC: 961 505 209
• E-mail: ventas@2myn.com | metrologia@2myn.com | www.2myn.com

Tabla 11. Control de temperatura y potencial de hidrogeno

Fecha de muestreo	Poza 1		Poza 2		Poza 3		Humus	
	PH	T °C	PH	T °C	PH	T °C	PH	T °C
Jue,30 de Sept	6.42	23.7	-	-	-	-	-	-
Vie,8 de Oct	6.94	45.2	6.21	22.25	-	-	-	-
Vie,15 de Oct	8.31	59	7.84	26.4	-	-	-	-
Lun,18 de Oct	8.29	60.3	8.03	28.23	8.19	21.11	-	-
Vie,22 de Oct	8.46	62.6	8.14	29.81	8.45	24.3	-	-
Mie,27 de Oct	6.96	65.8	8.23	36.12	8.93	27.12	-	-
Lun,1 de Nov	8.45	45.7	8.43	42.75	9.19	31.42	-	-
Mar,9 de Nov	8.73	42.3	8.62	54.2	8.76	36.56	-	-
Vie, 19 de Nov	8.87	48.2	8.44	59.64	8.83	42.74	-	-
Vie,26 de Nov	8.42	37.9	9.2	43.12	8.61	48.71	-	-
Vie,3 de Dic	8.44	24.6	8.17	29.87	8.57	56.32	8.45	23.4
Vie,10 de Dic	8.26	22.4	8.36	23.45	8.79	47.12	8.92	26.52
Mie,15 de Dic	-	-	8.21	21.32	8.62	41.93	8.31	28.12
Jue,23 de Dic	-	-	-	-	8.51	37.81	6.31	22.1
Vier,31 de Dic	-	-	-	-	-	22.5	-	-

Tabla 12. Registro de peso y origen de la fuente generadora de residuos orgánicos

Fecha de recolección	Lugar de recolección	Cantidad kg	Observaciones
30/09/2021	Áreas verdes	9	Ninguna
	Comedor	4	Ninguna
01/10/2021	Bodegas	5.1	Presencia de residuos inorgánicos
	Áreas verdes	14.5	Ninguna
04/10/2021	Áreas verdes	3.2	Presencia de residuos inorgánicos
	Comedor	4.3	Ninguna
06/10/2021	Bodegas	2.2	Ninguna
	Áreas verdes	0.8	Ninguna
12/10/2021	Áreas verdes	42.8	Presencia de metales y plásticos
13/10/2021	Áreas verdes	34.3	Presencia de metales y plásticos
14/10/2021	Comedor	5.3	Ninguna
20/10/2021	Áreas verdes	8	Ninguna
	Áreas verdes	15.8	Ninguna
21/10/2021	Comedor	8.5	Presencia de plásticos
	Bodegas	2	Ninguna
26/10/2021	Áreas verdes	8.4	Ninguna
	Comedor	6.8	Ninguna
27/10/2021	Áreas verdes	5.3	Presencia de plásticos
	Comedor	7.2	Ninguna
29/10/2021	Áreas verdes	2.6	Ninguna
	Comedor	6.9	Ninguna
04/11/2021	Áreas verdes	0.5	Ninguna
	Comedor	16.4	Ninguna
08/11/2021	Áreas verdes	4.3	Presencia de metales y plásticos
	Comedor	12.4	Ninguna
09/11/2021	Comedor	11.9	Ninguna
11/11/2021	Comedor	14.1	Ninguna
15/11/2021	Comedor	13.6	Ninguna
17/11/2021	Comedor	12.1	Ninguna
19/11/2021	Áreas verdes	9.3	Ninguna
	Comedor	10.6	Ninguna
22/11/2021	Comedor	9.5	Ninguna
24/11/2021	Comedor	11	Ninguna
26/11/2021	Áreas verdes	4.8	Presencia de plásticos
29/11/2021	Áreas verdes	5.4	Presencia de plásticos
		332.9	TOTAL