

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“DINÁMICA DEL COMPOSTAJE EN UN CONTEXTO URBANO:
EVALUACIÓN DE TRATAMIENTOS CON MICROORGANISMOS
EFICIENTES, ESTIÉRCOL DE CUY Y LEVADURA EN SAN
ISIDRO, LIMA, PERÚ 2023”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor:

David Montalvan Romani

Asesor:

Mg. Ing. Margeo Javier Chumán López

<https://orcid.org/0000-0002-4038-7591>

Lima - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Denisse Milagros Alva Mendoza
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	Marieta Eliana Cervantes Peralta
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	Margeo Javier Chuman López
	Nombre y Apellidos

INFORME DE SIMILITUD

Tesis David Montalvam

ORIGINALITY REPORT

17 %
SIMILARITY INDEX

16 %
INTERNET SOURCES

4 %
PUBLICATIONS

4 %
STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	hdl.handle.net Internet Source	3%
2	repositorio.ucv.edu.pe Internet Source	2%
3	Submitted to Universidad Privada del Norte Student Paper	1%
4	repositorio.unu.edu.pe Internet Source	1%
5	tesis.ucsm.edu.pe Internet Source	1%
6	m.repositorio.unj.edu.pe Internet Source	1%
7	repositorio.udh.edu.pe Internet Source	1%
8	www.slideshare.net Internet Source	<1%
9	portal.amelica.org Internet Source	<1%

DEDICATORIA

A mi madre, Rocio, a quien amo con todo mi ser y adoro sin reservas. Ella es la fuente de dulces palabras que traen calma al corazón en los momentos de tormenta, y su mirada sencilla tiene el poder de disipar cualquier ira que pueda surgir a causa de los problemas. Su inmensa inteligencia emocional le permite abordar y resolver cada desafío que se presente en nuestra vida. A pesar de sus múltiples profesiones y responsabilidades, nunca escatima en tiempo ni amor cuando se trata de su familia. Querida madre, te debo más que una vida, porque has sacrificado tanto por tus hijos, y tu amor es un regalo invaluable que atesoro profundamente

A mi padre, Juan Carlos, quien siempre corre en auxilio de sus hijos, incluso en medio de las tempestades de la vida, le agradezco de todo corazón por ser nuestra roca inquebrantable. Él es aquel que, con mano firme, corrige nuestros errores, calma nuestras preocupaciones y tranquiliza los desvaríos propios de la juventud. Compartir contigo el logro de vivir una vida profesional plena es un honor y un privilegio que valoro profundamente.

A mi querida hermanita Grishell, que a pesar de ser la menor, ha sido la que ha dirigido y sostenido la casa en momentos difíciles, velando por cada uno de nosotros en tiempos de crisis. A ti, querida hermana, te debo la vida. Tus palabras y acciones, siempre cargadas de risas y afecto, han sido un pilar fundamental para el bienestar de todos.

Y a la más pequeña, mi Chaly, quien, a pesar de su corta edad, con un simple abrazo ha sido un bálsamo en los días grises. Con gestos y palabras sabias, ha resuelto problemas de adultos en cuestión de segundos. Cada uno de ustedes ha sido una bendición en mi vida, y les estoy eternamente agradecido por todo lo que han hecho por mí.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi querida familia Montalvan y Romani. A pesar de la distancia que a veces nos separa, han sido el faro que ha iluminado cada uno de mis pasos. Sus palabras de aliento y el hombro que siempre me han ofrecido han sido las alas que me mantienen superando obstáculos.

No puedo dejar de mencionar a los miembros del equipo de gestión ambiental de la Municipalidad de San Isidro. Para mí, son más que colegas; son una extensión de mi familia. Especialmente quiero agradecer a Rodrigo Castañeda y Esther Rosso, quienes no solo han sido compañeros laborales, sino amigos cercanos a quienes valoro profundamente. Siempre han estado ahí en cada tropiezo y logro de mi vida, y deseo poder corresponder su apoyo en la misma medida.

Asimismo, dedico mi gratitud a dos grandes maestros, el Ingeniero Miguel Ángel Álvarez Rojas y José Luis Manrique Silva. Más allá de impartirme conocimientos teóricos y prácticos en mi carrera, me brindaron valiosos principios y lecciones que han sido fundamentales en mis primeros años como profesional.

ÍNDICE

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE FIGURAS	10
RESUMEN	11
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	12
1.1. Realidad problemática	12
1.2. Formulación del problema	28
1.3. Objetivos	28
1.4.1 Objetivo general	28
1.4.2 Objetivos específicos	29
1.4. Hipótesis	29
1.5.1 Hipótesis General:	29
1.5.2 Hipótesis Específicas:	29
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	31
2.1. Área de estudio	31
2.2. Método y alcance de investigación	31
2.2.1. Enfoque	31
2.2.2. Nivel	32
2.2.3. Alcance	33
2.2.4. Diseño	33

2.3. Población y muestra	34
2.3.1. Población	34
2.3.2. Muestra	34
2.4. Procedimiento de campo	35
2.4.1. Normas	35
2.4.2. Materiales	35
2.4.3. Elección del sistema para tres tratamientos de obtención de compost	37
2.4.4. Ubicación de área de trabajo	38
2.4.5. Acopio y traslado de materia prima	39
2.4.6. Pretratamiento	40
2.4.7. Armado de unidades experimentales de compostaje	41
2.4.8. Monitoreo de parámetros físicos	44
2.4.9. Obtención de madurez	46
2.4.10. Muestreo	47
2.4.11. Recolección de datos	47
2.4.12. pH	48
2.4.13. Conductividad eléctrica	48
2.4.14. Nitrógeno (N)	49
2.4.15. Pentóxido de Fósforo (P ₂ O ₅)	49
2.4.16. Óxido de Potasio (K ₂ O)	50
2.4.17. Óxido de Calcio (CaO)	50
2.5. Metodología estadística	51
2.6. Aspectos éticos	51
2.6.1. Ética de la investigación	51
2.6.2. Confidencialidad y respeto	52
2.6.3. Consentimiento informado y otros cuidados	52
CAPÍTULO III: RESULTADOS	53

3.1. Resultados de tratamientos y análisis de información	53
3.1.1. Cálculo de relación C/N	54
3.1.2. pH	56
3.1.3. Temperatura	59
3.1.4. Humedad	62
3.1.5. Conductividad eléctrica	64
3.1.6. Nitrógeno	65
3.1.7. Fósforo en forma de Pentóxido de Fósforo - P_2O_5 (%)	66
3.1.8. Potasio en forma de óxido de potasio (K_2O)	67
3.1.9. Calcio en forma de Óxido de Calcio – CaO (%)	68
3.1.10. Magnesio	69
3.1.11. Rendimiento de tratamientos	70
3.1.12. Tratamiento de datos	72
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	77
4.1. Discusión	77
4.2. Conclusiones	84
REFERENCIAS	87
ANEXOS	94

Índice de Tablas

Tabla 1	Parámetros de calidad para el compost según IIAP y FAO	53
Tabla 2	Cumplimiento de parámetros según tratamiento	53
Tabla 3	<i>Cálculo del balance C/N Testigo</i>	55
Tabla 4	Valor de relación Carbono – Nitrógeno por tratamiento.....	56
Tabla 5	<i>Monitoreo de pH de los tratamientos</i>	56
Tabla 6	<i>Estadísticos descriptivos pH</i>	59
Tabla 7	Monitoreo de Temperatura (T°)en °C de los tratamientos	60
Tabla 8	Estadísticos descriptivos en Temperatura	62
Tabla 9	<i>Monitoreo de Humedad (%) de los tratamientos</i>	62
Tabla 10	<i>Estadísticos descriptivos de Humedad</i>	64
Tabla 11	<i>Cantidad de días para maduración de compost por tratamiento</i>	70
Tabla 12	Cantidad de días para maduración de Compost por tratamiento.....	71
Tabla 13	Comparativa de resultados frente a parámetros normados mínimos y máximos	73
Tabla 14	Matriz Comparativa de Eficiencia de Tratamientos: Parámetros, Rendimiento y Tiempo de Compostaje.....	76

Índice de Figuras

Figura 1 Mapa de Ubicación de Planta piloto de valorización de residuos sólidos orgánicos de la municipalidad de San Isidro	31
Figura 2 Medidor portátil de pH para medición directa en suelo HI99121	36
Figura 3 Medidor de pH suelo 4 en 1 genérico	37
Figura 4 Planta piloto de valorización de residuos sólidos orgánicos en el circuito de playas	38
Figura 5 Recolección de residuos sólidos orgánicos	40
Figura 6 Cronograma de aplicación de EM Compost activado por semanas	42
Figura 7 Aplicación de EM Compost activado	42
Figura 8 Volteo manual de contenedores de compostaje	46
Figura 9 Partición de muestras	47
Figura 10 Evolución de niveles de pH por tratamiento	58
Figura 11 Evolución de Temperatura (T°) en °C por tratamiento	61
Figura 12 Evolución de Humedad (%) por tratamiento	63
Figura 13 Niveles de Conductividad (dS.m ⁻¹) según tratamiento	64
Figura 14 Niveles de Nitrógeno (%) según tratamiento	65
Figura 15 Niveles de P ₂ O ₅ (%) según tratamiento	66
Figura 16 Niveles de F ₂ O ₅ (%) según tratamiento	67
Figura 17 Niveles de CaO (%) según tratamiento	68
Figura 18 Niveles de MgO (%) según tratamiento	69
Figura 19 Comparación de Tratamientos con valores mínimos y máximos de parámetros medidos en porcentaje	74
Figura 20 Niveles de Conductividad (dS.m ⁻¹) según tratamiento	75

RESUMEN

En la actualidad, la generación de residuos sólidos orgánicos representa el 57.2% del total de residuos sólidos generados en Perú. Ante esta problemática, surge la necesidad de implementar un tratamiento eficaz que permita la transformación de dichos residuos en materiales aprovechables, preservando su calidad en un plazo mínimo. Por lo tanto, el propósito de la presente investigación consiste en determinar el procedimiento de compostaje más eficiente, haciendo uso de microorganismos altamente efectivos, estiércol de cuy o levadura en un entorno urbano en San Isidro, Lima, Perú, durante el año 2023.

En este contexto, se llevó a cabo una caracterización inicial para establecer la relación C/N de los tratamientos, resultando en una relación C/N de 50.4:1. Los hallazgos más significativos se relacionan con los porcentajes de NPK (nitrógeno, fósforo y potasio) de los microorganismos eficientes, utilizando una dosis de 1 litro de EM Compost por cada 10 litros de agua (N 1%, P 0.8%, K 0.55%).

Como resultado, se puede concluir que el tratamiento con microorganismos eficientes se muestra como una opción óptima, cumpliendo con los parámetros estipulados por la FAO y el IIAP, a excepción del parámetro de humedad, el cual podría haberse mejorado mediante la implementación de riego tecnificado.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La generación de residuos sólidos se plantea como un desafío ambiental de alcance global. A medida que las áreas urbanas experimentan un crecimiento demográfico y los patrones de consumo asumen una tendencia insostenible, se registra un marcado aumento en la producción de residuos de naturaleza municipal.

Los residuos sólidos municipales, provenientes del consumo y uso de bienes y servicios, abarcan una amplia gama de fuentes de generación. Estas incluyen, pero no se limitan a, viviendas, comercios, restaurantes, hoteles, mercados, instituciones públicas y privadas, escuelas, así como el servicio de limpieza de áreas públicas. El manejo inadecuado de estos desechos puede tener consecuencias significativas y perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana (Digital, 2023).

La contaminación del agua, del suelo y del aire es una de las principales preocupaciones asociadas al inadecuado manejo de los residuos sólidos municipales. Cuando estos desechos no se gestionan de manera adecuada, pueden liberar sustancias químicas y contaminantes principalmente en forma de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) que afectan negativamente la calidad del agua subterránea, el suelo circundante y el aire respirable. Esta contaminación representa un riesgo significativo para la salud pública, ya que las personas se ven expuestas a niveles elevados de este ambiente insalubre (Herrera y otros, 2023).

La mayoría de estos residuos son biodegradables de origen orgánico o más conocido como fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FORSU) con un porcentaje entre el 34-53 %, presentan una composición distribuida de la siguiente manera: residuos de la

fabricación de alimentos 39 %, desechos domésticos de la preparación de alimentos, sobrantes y comida caducada 42 % y por último residuos de restaurantes y establecimientos de comida 19 % (Triviño y otros, 2021).

En la actualidad, la composición de los residuos sólidos municipales generados en Perú se encuentra encabezada por un 57.2% de componentes orgánicos, seguido de un 21.2% de inorgánicos, un 14.1% de no aprovechables y un 7.5% de desechos peligrosos. Por lo tanto, en el contexto del Programa de Incentivos orientado a la mejora de la gestión municipal, se estima que, de las 6,625,363.4 toneladas que representan el 78.4% de los residuos con potencial de valorización, es factible valorizar un 57.2% correspondiente a residuos orgánicos, equivalente a 4,833,162.6 toneladas. Sin embargo, en el transcurso del año 2022, con la participación de 644 municipalidades a nivel nacional, únicamente se logró valorizar 69,754.55 toneladas de residuos sólidos orgánicos (MINAM, Indicador 3.2: Porcentaje de residuos sólidos orgánicos municipales valorizados , 2023).

El análisis de caracterización de los residuos sólidos municipales en el distrito de San Isidro para el año 2023 revela, en sus conclusiones, que la producción per cápita de residuos domésticos en dicho distrito asciende a 0,72 kilogramos por habitante al día. Además, se ha determinado la composición física de los residuos sólidos municipales tanto en domicilios como en propiedades destinadas a otros fines. En este contexto, se destaca que los residuos predominantemente encontrados son de naturaleza orgánica, representando el 41,50% del total (incluir referencia).

En relación con esta cuestión, la empresa IPR Ambiental, la cual está a cargo de la realización del estudio, establece que, a la luz del valor obtenido en la fracción de materia orgánica tanto a nivel domiciliario como no domiciliario, se emite una recomendación

significativa en favor de la consideración del método de compostaje, empleando microorganismos eficientes. Este método se respalda por su notoria ventaja en términos de costos, tanto en lo que respecta a su implementación como a su operatividad. La propia consultora ambiental sugiere la incorporación de un inoculante que acelere el proceso de descomposición de los residuos sólidos orgánicos en el distrito. Este consejo se justifica por la existencia actual de una planta piloto destinada a la valorización de los residuos sólidos orgánicos municipales en la localidad de estudio.

Para abordar esta preocupante situación, en el marco del presente proyecto se propone la evaluación de tres modalidades de tratamiento asistido de compostaje, con el objetivo de agilizar el proceso de obtención de compost. Considerando la información previamente expuesta, se presenta el proyecto titulado “Dinámica del compostaje en un contexto urbano: Evaluación de tratamientos con microorganismos eficientes, estiércol de cuy y levadura en San Isidro, Lima, Perú 2023.”

Los antecedentes de este trabajo de investigación se centran en la creciente preocupación por la gestión de los residuos sólidos municipales en contextos urbanos, particularmente en el distrito de San Isidro, Lima, Perú. Se parte de la premisa de que la generación de residuos orgánicos es una parte significativa de esta problemática, y se busca evaluar la eficacia de diferentes tratamientos de compostaje utilizando microorganismos eficientes, estiércol de cuy y levadura. La investigación se basa en la necesidad de encontrar soluciones sostenibles y efectivas para la gestión de residuos orgánicos en entornos urbanos, con el objetivo de reducir su impacto ambiental y promover prácticas más responsables en la disposición de estos materiales.

A nivel internacional, se ha observado un creciente interés en la gestión sostenible de residuos sólidos municipales. En distintos países, se han implementado estrategias y tecnologías innovadoras para abordar la problemática de los residuos orgánicos, incluyendo el compostaje asistido con microorganismos eficientes principalmente.

En el año 2019, Quevedo & Chavarro, 2020 llevaron a cabo un estudio titulado "Viabilidad técnica y económica del proceso de compostaje empleando microorganismos eficientes para el Jardín Botánico de Bogotá" con el objetivo de evaluar la viabilidad técnica y económica del proceso de compostaje mediante la utilización de microorganismos eficientes (EMs). La aplicación de EMs en el compostaje acelera significativamente el proceso en comparación con el compostaje tradicional sin la adición de estos microorganismos. Sin embargo, es importante señalar que la continuidad de este diseño experimental y la combinación de diferentes variables pueden resultar en una reducción del tiempo de producción, pero también pueden aumentar los costos al requerir una mayor cantidad de insumos. Esta decisión debe evaluarse en función de la demanda de compost y ser gestionada por los operadores del área de aprovechamiento. El monitoreo constante de los parámetros en las pilas experimentales es fundamental para tomar medidas correctivas a tiempo durante el proceso de producción de compost, lo que garantiza la obtención de un compost enriquecido con nutrientes y de alta calidad.

En el año 2020, Chaparro y otros, llevaron a cabo un estudio titulado "Utilización de microorganismos eficientes para la elaboración de compost a partir de residuos orgánicos". El propósito de esta investigación fue emplear microorganismos eficientes en el proceso de compostaje de residuos orgánicos. Se implementó un diseño experimental con dos tratamientos y dos repeticiones. Los resultados revelaron que la temperatura máxima de

fermentación en la elaboración de compost con la adición de microorganismos eficientes alcanzó los 53 °C a los 20 días, en comparación con los 45 °C a los 45 días en ausencia de esta adición. Además, la incorporación de Mende Activo al 10 % en el proceso de compostaje redujo el tiempo necesario a 40 días, en contraposición a los 80 días requeridos sin su adición. Estos hallazgos destacan la eficacia de la utilización de microorganismos eficientes para acelerar y mejorar el proceso de compostaje de residuos orgánicos.

En el trabajo de Coyachamín (2021), titulado "Diseño de un biorreactor para la obtención de compost a partir de hojas de mora y estiércol de cuy para el grupo de investigación ENAMPROD de la Facultad de Mecánica", se planteó el objetivo de diseñar un biorreactor para la obtención de compost orgánico a partir de residuos de estiércol de cuy y hojas de mora. Realizaron un análisis físico-químico de las muestras para determinar la relación C/N adecuada y luego monitorearon variables como temperatura, pH, humedad y aireación durante el proceso de compostaje. El dimensionamiento del equipo se basó en los resultados obtenidos. El análisis fisicoquímico del producto final demostró que el compost obtenido cumplía con las normas de calidad, siendo apto para el enriquecimiento de cultivos.

El Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Investigación (2022) a través del trabajo publicado "El compostaje a partir de microorganismos eficientes" tiene como objetivos principales la producción de abonos a partir de excretas animales utilizando microorganismos eficientes comerciales, la aplicación de la tecnología de Microorganismos Eficientes (EM) para facilitar la descomposición del estiércol de animales de granja y la capacitación de la comunidad de aprendizaje SENA del Centro de Desarrollo Rural y Minero (CEDRUM). La inoculación de la pila de compost con EM tiene como finalidad reducir el tiempo necesario para la elaboración del abono, eliminar olores indeseados y obtener un

material microbiológico mejorado desde el punto de vista nutricional. La tecnología EM consiste en un cultivo mixto de microorganismos seleccionados que se encuentran de forma natural en el entorno. Los microorganismos eficientes EM comprenden una mezcla de bacterias ácido lácticas, bacterias fotosintéticas y levaduras en concentraciones superiores a 100,000 UFC/mm de solución, y se encuentran en estado de latencia en lo que se conoce como EM activado.

Coronel Sarmiento y Ramón Poma (2022) en su estudio "Planta de compostaje y reciclaje para la gestión de residuos sólidos en Río Blanco, Ecuador" se centra en la problemática de la gestión de residuos sólidos en áreas rurales de Latinoamérica, específicamente en la parroquia Río Blanco en Ecuador. El objetivo principal es proponer una alternativa sustentable para mejorar la gestión de estos residuos mediante la implementación de una planta de compostaje y reciclaje. La investigación incluye un estudio de campo que combina métodos cuantitativos y cualitativos, como encuestas a la población local. Los resultados de este estudio respaldan la necesidad de una mejor gestión de los desechos sólidos en la parroquia y sugieren que la implementación de la planta de compostaje y reciclaje podría contribuir significativamente a abordar este problema, reducir impactos ambientales y generar beneficios socioeconómicos.

En el ámbito nacional, Perú enfrenta desafíos significativos en la gestión de residuos sólidos municipales, incluyendo una alta proporción de residuos orgánicos en su composición. Aunque existen esfuerzos para promover la valorización de estos materiales, se ha identificado una brecha entre las toneladas de residuos orgánicos con potencial de valorización y la cantidad efectivamente valorizada. La existencia de una planta piloto de valorización de residuos orgánicos en San Isidro es un paso positivo, pero se requiere una

evaluación más detallada de los métodos de compostaje utilizados y la incorporación de estiércol de cuy y levadura como posibles mejoras.

En 2018, el investigador Inga llevó a cabo un estudio titulado "Eficiencia del tratamiento de residuos orgánicos pecuarios en composteras, mediante microorganismos eficientes presentes en la col china, julio 2017 – julio 2018". El propósito de esta investigación fue evaluar una alternativa innovadora para la producción de compost a partir de los residuos orgánicos pecuarios procedentes del establo de la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan. Este enfoque implicó la aplicación de microorganismos eficientes (EM) y microorganismos eficientes presentes en la col china en el proceso de compostaje. Tras un período de 42 días, se consideró finalizado el proceso de compostaje, y los resultados indicaron que los tres tratamientos desarrollados presentaron similitudes estadísticas en relación con los 11 parámetros evaluados, sugiriendo la viabilidad de utilizar microorganismos eficientes presentes en la col china como una alternativa efectiva en la producción de compost a partir de residuos orgánicos pecuarios, sin comprometer la calidad del producto final.

En la tesis desarrollada por Coyla (2018) “Optimización del proceso de compostaje de residuos sólidos orgánicos de los mercados de la ciudad de Juliaca mediante la impermeabilización con geomembrana y la Aplicación de activadores biológicos (suero de leche y Levadura) – 2018” se planteó como objetivo principal mejorar el proceso de compostaje de residuos sólidos orgánicos procedentes de los mercados de Juliaca, aplicando técnicas de impermeabilización con geomembrana y la utilización de activadores biológicos, en concreto, suero de leche y levadura. La metodología empleada en esta investigación fue de carácter experimental. En relación con el período de compostaje y su relación con la

evolución de la temperatura, se establecieron los siguientes tiempos de producción de compost: 43 días para el tratamiento que incluyó ambos activadores, 50 días para el compost con levadura, 55 días con suero de leche y 60 días para el grupo de control sin ningún activador. En este contexto, la adición de activadores biológicos y el diseño adecuado de los módulos de tratamiento contribuyeron a crear las condiciones óptimas para el desarrollo adecuado de la población microbiana en el proceso de compostaje.

En 2019, Zarate complementó la idea de Coyla al centrarse en el uso de estiércol de cuy y vacuno para la mejora del compost en su estudio titulado "Mejoramiento del compost mediante la adición de estiércol de vacuno y de cuy para la disminución de la concentración de metales pesados en el CEPASC-Concepción, 2018" se propuso el objetivo de emplear estiércol de vacuno y de cuy con el fin de optimizar la calidad del compost en el CEPASC y reducir la presencia de metales pesados. La metodología adoptada fue de enfoque hipotético-deductivo, de naturaleza descriptiva, con la finalidad de aumentar los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio en las plantas, acelerar el proceso de compostaje y garantizar la idoneidad del compost resultante. Se llevaron a cabo dos tratamientos, uno con estiércol de cuy (tratamiento 2) y otro con estiércol de vacuno (tratamiento 3), a lo largo de un período de 66 días, seguido de la evaluación de parámetros ambientales y la producción del compost. Los resultados se contrastaron con los obtenidos en un grupo de control para analizar el impacto de la variable independiente sobre la variable dependiente. Se observaron diferencias mínimas entre el uso de estiércol de vacuno y de cuy; sin embargo, se constató que la reducción en la concentración de diversos metales pesados fue sistemáticamente menor cuando se empleó estiércol de cuy. En síntesis, los resultados corroboran que tanto el estiércol de vacuno como el de cuy contribuyen a la disminución de metales pesados en el compost.

Por otro lado, Chasquero (2019) aunque no usó directamente el estiércol de cuy como componente principal, su estudio "Análisis de la reactividad del compost de pulpa de café y estiércol de cuy, en la provincia de Jaén" subraya la importancia de la diversificación de insumos en la producción de compost. Siendo que, tuvo como objetivo de analizar la reactividad de dicho compost de pulpa de café y estiércol de cuy. Se implementó un diseño completamente aleatorizado (DCA) con dos tratamientos: T1, que contenía pulpa de café, y T2, que incluía pulpa de café con estiércol de cuy, cada uno replicado tres veces. Se llevó a cabo una prueba de comparación de medias Fisher, con un nivel de significancia del 95%, utilizando el software Minitab 19. En la caracterización del compost, se determinó que ambos tratamientos presentaban una calidad satisfactoria, destacándose el compost de pulpa de café con estiércol de cuy por sus valores superiores, incluyendo un 0.46% de nitrógeno, 106.72 ppm de fósforo, 12,437.28 ppm de potasio, 5.33% de carbono, 9.19% de materia orgánica, y una capacidad de intercambio catiónico de 60.07.

Arevalo & Barrera (2022) en conjunto con antecedentes previos destacan la importancia de considerar diferentes variables y enfoques para optimizar el proceso de compostaje y la producción de abono orgánico. Es así que, llevaron a cabo una investigación titulada "Comportamiento de los Microorganismos de Montaña (MM) y Microorganismos Eficientes (EM) en la Producción de Compost Orgánico Urbano, Cacatachi, 2022," con el objetivo de analizar los comportamientos individuales de los microorganismos de montaña (MM) y microorganismos eficientes (ME) en la producción de compost orgánico urbano. Esto amplía el panorama al considerar la influencia de diferentes tipos de inoculantes en la calidad y eficiencia del compost. La metodología aplicada fue un estudio de diseño cuasiexperimental. La variable independiente se dividió en microorganismos de montaña y microorganismos eficientes, mientras que la variable dependiente se relacionó con la calidad

de la producción del compost. Los resultados indicaron que la calidad del compost fue óptima cuando se utilizaron inoculantes, clasificándolo como un compost de tipo A, y se logró obtener el compost en un período más corto con propiedades fisicoquímicas mejoradas. Los microorganismos eficientes compostaron el 49.37% de los residuos sólidos domésticos de Cacatachi, mientras que los microorganismos de montaña compostaron el 39.38% de los mismos residuos sólidos. Estos hallazgos respaldaron la hipótesis de investigación que afirmaba que "la inoculación de microorganismos de montaña y microorganismos eficientes tendría efectos positivos en su comportamiento durante la producción de compost."

Mego & Rios (2022) se sumaron a la discusión al investigar la producción de compost mediante la adición de estiércol de cuy y microorganismos eficientes, utilizando la cáscara de sachá inchi como material orgánico a través de su investigación titulada "Aprovechamiento de cáscara de sachá inchi incorporando estiércol de cuy y microorganismos eficientes en la producción de compost, Banda de Shilcayo 2022" con el propósito de aprovechar la cáscara de sachá inchi mediante la adición de estiércol de cuy y microorganismos eficientes en la producción de compost. Esta investigación se enmarca en una metodología de carácter aplicado, con un enfoque cuantitativo y un alcance descriptivo, y utiliza un diseño experimental. El estudio evaluó la efectividad de diferentes dosis de microorganismos eficientes en la producción de compost y encontró que la cantidad adecuada de estos microorganismos resultó en una eficiencia satisfactoria. Sin embargo, dosis mínimas o excesivas no cumplieron con los estándares de materia orgánica establecidos en la normativa chilena. Este subproducto de cáscara de sachá inchi presenta oportunidades de aprovechamiento a través de métodos adecuados, no solo como suplemento alimenticio para rumiantes o en forma de cenizas como fertilizante, sino también como componente en la producción de compost, lo que incrementaría su valor agregado.

Asimismo, Mejía & Melendez (2022) a fin de reforzar la importancia de los inoculantes en el proceso de compostaje, desarrollaron en su investigación "Elaboración de compost con materia orgánica generada en el mercado Central Ambo, mediante el uso de aceleradores biológicos, Ambo, 2022", el objetivo de evaluar el impacto de los aceleradores biológicos en el proceso de elaboración de compost utilizando materia orgánica proveniente del Mercado Central Ambo. El enfoque de esta investigación se clasificó como aplicada y adoptó un diseño cuasiexperimental. Se implementaron cuatro tratamientos, cada uno empleando distintos aceleradores biológicos: T1 (control sin acelerador), T2 (levadura + melaza), T3 (suero de leche + levadura) y T4 (suero de leche + melaza). La utilización de estos aceleradores biológicos permitió examinar su influencia en la descomposición de la materia orgánica, lo que, a su vez, permitió identificar las variaciones en el tiempo y el rendimiento del proceso de compostaje según el tipo de acelerador biológico empleado. Los resultados revelaron que el tratamiento T4 (suero de leche y melaza) se destacó como el más eficiente, completando el proceso en 60 días con un rendimiento del 95.33%. Le siguió el tratamiento T2 (levadura y melaza) con 67 días y un rendimiento del 93.33%. A continuación, se situó el T3 (suero de leche y levadura) con 74 días y un rendimiento del 90%, y finalmente, el T1 (control) demandó un tiempo más prolongado, 81 días, con un rendimiento del 66.66%.

Finalmente, Benavente & Quispe (2022) llevaron a cabo un estudio titulado "Evaluación de la efectividad de tres tecnologías de compost, vermicompost y pre-compostaje a partir del acopio de residuos sólidos orgánicos para su aprovechamiento como abono en cultivos agrícolas en el distrito de Cerro Colorado - Arequipa 2022". Su investigación se centró en comparar la efectividad de tres tecnologías de compostaje, vermicompostaje y pre-compostaje utilizando residuos sólidos orgánicos de la

Municipalidad de Cerro Colorado. Se monitorearon diversos parámetros durante el proceso de compostaje y se evaluó su impacto en el crecimiento de cultivos de trigo. Los resultados revelaron cambios significativos en los parámetros químicos del suelo y mostraron que la tecnología de pre-compostaje con dosis de 250 gramos y abono comercial a 250 gramos resultó ser la más efectiva en el crecimiento del cultivo de trigo.

En el inicio del campo de bases teóricas en esta investigación, se establece su importancia para comprender y contextualizar el estudio sobre la dinámica del compostaje en San Isidro, Lima, Perú en 2023. Se explorarán conceptos fundamentales relacionados con residuos sólidos, compostaje, relación C/N, fases del proceso y la relevancia de los microorganismos eficientes y los insumos utilizados en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. Estas bases teóricas serán la base sólida para el desarrollo y análisis de los resultados de la investigación.

Residuos Sólidos: Se entiende como residuos sólidos a los materiales o sustancias que carecen de un "valor de uso directo" para los generadores y que necesitan ser eliminados. Estos son sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido que, si no se gestionan adecuadamente, pueden representar riesgos para la salud y el medio ambiente. Estos residuos se originan principalmente a partir de la producción de bienes y servicios, así como de las actividades de consumo. (INEI, 2019).

Los residuos sólidos son aquellos materiales, productos o subproductos en estado sólido o semisólido que el generador debe gestionar de acuerdo con la legislación nacional o debido a los peligros que representan para la salud y el medio ambiente. Estos deben ser tratados mediante un sistema que involucre, según corresponda, diversas operaciones o procesos (MINAM, 2013).

Relación C/N: La materia orgánica estabilizada en un suelo se caracteriza por su relación carbono-nitrógeno (C/N), que se calcula dividiendo el porcentaje de carbono total (C% total) entre el contenido total de nitrógeno orgánico (N% total) de los materiales destinados al proceso de compostaje. Es esencial conocer esta relación C/N desde el inicio, ya que proporciona información clave sobre la velocidad del proceso de compostaje y las posibles pérdidas de nitrógeno (Becerra, 2022).

Residuos Sólidos Orgánicos: Los residuos sólidos orgánicos son todo desecho de origen biológico, material que proviene de seres vivos o que alguna vez estuvo vivo. Esto incluye, por ejemplo, carnes, lácteos, frutas, verduras y todas las preparaciones alimenticias elaboradas en el hogar (MINCIT, 2019).

Compostaje: El compostaje es un proceso biológico en el cual los microorganismos descomponen de manera eficiente materiales biodegradables, como restos de alimentos, vegetales y residuos de poda. Este proceso genera un insumo que contribuye a la mejora de la calidad del suelo (SINIA, 2019)

Tratamientos Asistidos de Compostaje: Se refieren a operaciones de tratamiento que involucran la biodegradación de materia orgánica. Estos tratamientos pueden aplicarse tanto a la fracción de materia orgánica recogida de forma separada (FORS) como a la presente en la fracción de residuos restantes, en la cual no se realiza una separación previa. En este último caso, se combinan con tratamientos mecánicos complementarios (MITECO, Sistemas de tratamiento, 2001).

Fases del Compostaje: Las cuatro fases del proceso de compostaje son fundamentales para la adecuada descomposición de la materia orgánica, y el equilibrio entre nitrógeno y carbono es solo uno de los aspectos clave en este proceso. Además de estos elementos

químicos presentes en la materia orgánica, el compostaje se lleva a cabo en presencia de oxígeno y agua, siguiendo cuatro fases bien diferenciadas (BBVA, 2022)

- Fase Mesófila: El proceso de compostaje comienza a temperatura ambiente y, con el paso de horas o días, la temperatura aumenta gradualmente debido a la actividad de microorganismos. Es esencial mantener condiciones óptimas de oxígeno y humedad para que los microorganismos funcionen correctamente. El objetivo es alcanzar una temperatura entre 50 y 70 grados centígrados.
- Fase Termófila o de Higienización: Una vez que la temperatura supera los 45 grados centígrados, los organismos mesófilos desaparecen y son reemplazados por microorganismos termófilos que pueden soportar temperaturas de hasta 100 grados. Esta fase, que puede durar meses, contribuye a la higienización de la mezcla, eliminando posibles contaminantes biológicos debido a las altas temperaturas.
- Fase de Enfriamiento: Después de la fase termófila, la temperatura disminuye. En este punto, se debe decidir si se voltea la mezcla para homogeneizarla y elevar nuevamente la temperatura o si se permite que disminuya de manera natural. Durante esta fase, que se desarrolla a temperaturas más cercanas al ambiente, continúa la descomposición y se reactivan los organismos mesófilos.
- Fase de Maduración: Una vez completada la producción del compost y después de un periodo de enfriamiento, comienza la fase de maduración. Durante varios meses, el compost madura a temperatura ambiente, consolidando nuevas moléculas y poblaciones microbianas. Además, en esta etapa, se suman nuevos grupos de organismos, como anélidos, ácaros e insectos, que completan el proceso de transformación.

Microorganismos Eficientes: Los microorganismos eficientes son microorganismos beneficiosos, como bacterias y hongos, que se utilizan en el compostaje para acelerar la descomposición de los materiales orgánicos. Estos microorganismos se componen de cinco grupos microbianos generales: bacterias ácido-lácticas, bacterias fotosintéticas, levaduras, actinomicetos, hongos filamentosos con capacidad fermentativa. Los cuales descomponen la materia orgánica de manera eficiente y ayudan a mantener condiciones óptimas en el proceso de compostaje (Tanya & Leiva, 2019).

- **Bacterias ácido lácticas:** Son microorganismos que tienen diversas aplicaciones, siendo una de las principales la fermentación de alimentos como la leche, carne y vegetales para obtener productos como el yogur, quesos, encurtidos, embutidos, ensilados, bebidas y cervezas, entre otros.
- **Bacterias Fotosintéticas:** Este grupo de microorganismos está principalmente representado por las especies *Rhodopseudomonas palustris* y *Rhodobacter sphaeroides*, los cuales son microorganismos autótrofos facultativos. Utilizan moléculas orgánicas producidas por los exudados de las raíces de las plantas como fuente de carbono y aprovechan la luz solar y la energía calórica del suelo como fuente de energía.
- **Levaduras:** Es un tipo de microorganismo utilizado en algunos sistemas de compostaje para acelerar la fermentación y descomposición de los residuos orgánicos. Puede contribuir a la descomposición eficiente de materiales orgánicos y al proceso de fermentación en el compostaje. Las levaduras son un componente microbiano que cuentan con la capacidad de utilizar diversas fuentes de carbono, como glucosa, sacarosa, fructosa, galactosa, maltosa, suero hidrolizado y alcohol, para obtener energía. Entre las especies presentes en esta

comunidad microbiana se encuentran *Saccharomyces cerevisiae* y *Candida utilis*.

Para su nutrición, requieren amoníaco, urea o sales de amonio como fuente de nitrógeno, junto con una mezcla de aminoácidos. No tienen la capacidad de asimilar nitratos ni nitritos.

- Actinomicetos: Los actinomicetos son bacterias filamentosas que comparten ciertas similitudes con los hongos. Su crecimiento se caracteriza por la formación de micelio ramificado que tiende a fragmentarse en elementos bacterianos individuales. Muchos actinomicetos son de vida libre, especialmente en el suelo, y desempeñan un papel fundamental en la solubilización de la pared celular y otros componentes de plantas, hongos e insectos.
- Hongos Fermentadores: Los hongos desempeñan un papel importante en los procesos de mineralización del carbono orgánico presente en el suelo. Además, una gran cantidad de hongos actúan como antagonistas de especies fitopatógenas. Los hongos tienen la capacidad de reproducirse tanto sexualmente como asexualmente. La reproducción asexual les permite multiplicarse rápidamente en condiciones favorables, como sustratos ricos en carbono y ácidos, mientras que la reproducción sexual, a través de esporas, es más común en condiciones desfavorables.

Estiércol de Cuy: El estiércol de cuy es una valiosa fuente de materia orgánica con alto contenido de nutrientes que se emplea en el proceso de compostaje. Posee una relación C/N favorable y contribuye a enriquecer la calidad del compost al proporcionar nutrientes esenciales para el desarrollo de microorganismos y plantas. En comparación con el estiércol de otros animales como vaca, cerdo o caballo, el estiércol de cuy contiene una mayor

concentración de los principales nutrientes para los cultivos, incluyendo nitrógeno, potasio y fósforo (Llenque, 2023).

1.2. Formulación del problema

Considerando la información previamente expuesta, surge la siguiente interrogante de investigación "¿Cuál de los procedimientos de compostaje, que involucran microorganismos eficaces, estiércol de cuy y levadura, posibilita la obtención de compost de mayor calidad en el menor lapso de tiempo en un entorno urbano en San Isidro, Lima, Perú 2023?

De esta pregunta general se formulan los siguientes problemas específicos:

- (i) ¿Cómo varía la velocidad de degradación de los residuos sólidos orgánicos en tratamientos asistidos con microorganismos eficientes, estiércol de cuy y levadura en el contexto urbano de San Isidro, en función de su composición y relación carbono-nitrógeno (C:N)?
- (ii) ¿Determinar eficacia de los tratamientos de compostaje asistido a través del monitoreo de parámetros con microorganismos eficientes, estiércol de cuy y levadura en el contexto urbano de San Isidro, Lima, Perú en el año 2023?
- (iii) ¿Cuál es la calidad del compost generado en términos de contenido de materia orgánica, concentración de nutrientes y la presencia de patógenos en cada uno de los tratamientos asistidos en el marco de la investigación?

1.3. Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar el procedimiento de compostaje más eficaz, empleando microorganismos eficientes, estiércol de cuy o levadura, para lograr la obtención de compost de la más alta

calidad en el menor lapso en un entorno urbano específico en San Isidro, Lima, Perú, durante el año 2023.

1.4.2 Objetivos específicos

- (i) Evaluar y comparar la velocidad de degradación de los residuos sólidos orgánicos según su composición y relación C:N en tratamientos asistidos con microorganismos eficientes, estiércol de cuy y levadura en el contexto urbano de San Isidro.
- (ii) Realizar un monitoreo de los parámetros pH, temperatura y humedad que determinan la eficacia de los tratamientos de compostaje asistido con Microorganismos eficientes, estiércol de cuy y levadura en el distrito de San Isidro.
- (iii) Determinar la calidad del compost generado en términos de contenido de concentración de Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio en cada uno de los tratamientos asistidos en el marco de la investigación.

1.4. Hipótesis

1.5.1 Hipótesis General:

Existe un procedimiento de compostaje más eficaz que involucra microorganismos eficientes, estiércol de cuy o levadura, el cual permitirá obtener compost de mayor calidad en un período de tiempo reducido en un entorno urbano específico en San Isidro, Lima, Perú, durante el año 2023.

1.5.2 Hipótesis Específicas:

(i) Existirán diferencias significativas en la velocidad de degradación de los residuos sólidos orgánicos entre los diferentes tratamientos asistidos con microorganismos eficientes,

estiércol de cuy y levadura en el contexto urbano de San Isidro, en función de su composición y relación carbono-nitrógeno (C:N).

(ii) Existirán diferencias significativas en los parámetros clave que determinan la eficacia de los tratamientos de compostaje asistido con microorganismos eficientes, estiércol de cuy y levadura en el contexto urbano de San Isidro durante el período de investigación.

(iii) Existirán diferencias significativas en la calidad del compost generado en términos de concentración de nutrientes entre los diferentes tratamientos asistidos en el contexto urbano de San Isidro.

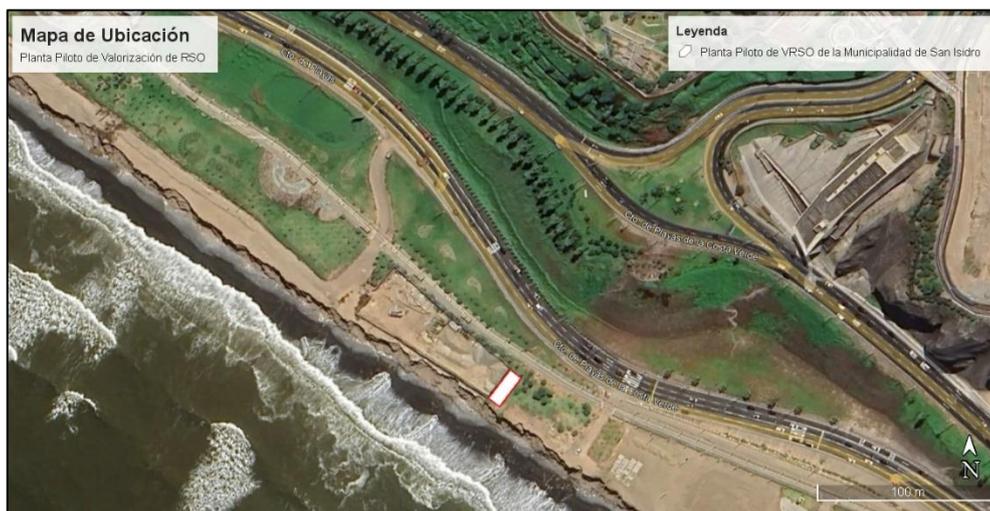
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Área de estudio

El estudio de investigación se realizó en las instalaciones de la planta piloto para la valorización de residuos sólidos orgánicos, perteneciente a la municipalidad de San Isidro. Esta planta se encuentra ubicada en el circuito de playas de la Costa Verde, en el límite entre el distrito de San Isidro y el distrito de Miraflores, en el departamento de Lima.

Figura 1

Mapa de Ubicación de Planta piloto de valorización de residuos sólidos orgánicos de la municipalidad de San Isidro



Nota. Google Earth Pro, 2023.

2.2. Método y alcance de investigación

2.2.1. Enfoque

La investigación actual adopta un enfoque cuantitativo, tal como describen Vizcaíno et al. (2023), destacando que este se caracteriza por la recopilación sistemática de información susceptible de cuantificación, que culmina en un análisis estadístico. Se sustenta en la experimentación y persigue el objetivo de establecer relaciones causa-efecto, interpretando los resultados a la luz de hipótesis y teorías previamente formuladas.

El proceso de investigación se inicia con la formulación precisa de objetivos y preguntas de investigación a partir de una idea inicial. Esta etapa facilita la revisión exhaustiva de la literatura relevante en el ámbito ambiental y la construcción de un sólido marco teórico. Posteriormente, el investigador sigue un plan meticulosamente diseñado para poner a prueba las hipótesis, utilizando una muestra representativa (Otero, 2018).

Dada la naturaleza de la presente investigación, se requiere una revisión bibliográfica que permita identificar las dosis óptimas para cada uno de los tratamientos abordados. Estas dosis se determinarán a través de experimentos con el propósito de obtener nuevos hallazgos y demostrar la hipótesis planteada, que sostiene que uno de los tratamientos conduce a la obtención de compost de calidad en un período de tiempo significativamente inferior en comparación con los tratamientos restantes.

2.2.2. Nivel

Se ha optado por seguir un enfoque exploratorio en esta investigación, siguiendo la definición de Morales (2012) que lo describe como aquel que se enfoca en un tema u objeto de estudio que es poco conocido o ha sido escasamente investigado. Esto implica que los resultados obtenidos proporcionarán una visión inicial y superficial de dicho objeto, en lugar de un conocimiento profundo.

El principal objetivo del enfoque exploratorio es generar hipótesis que permitan una comprensión más profunda de situaciones específicas. Este método representa una primera aproximación a un problema y se basa en diversas fuentes, como la revisión de referencias bibliográficas, la consulta de expertos en la materia, la observación participante e incluso la investigación de experiencias individuales. En este proceso, el investigador debe mantener

un alto grado de objetividad y apertura, dejando de lado sus creencias y puntos de vista personales.

A pesar de que la información recopilada puede ser aproximada, se consideró valiosa como punto de partida para investigaciones posteriores, especialmente en el ámbito ambiental (Morales, 2015).

En este contexto, se ha decidido continuar con un enfoque exploratorio en esta investigación, ya que en el Perú aún no se han realizado exploraciones profundas en el tratamiento de residuos orgánicos en comparación con otros países, a pesar de que el país tiene una fuerte tradición agrícola. Por lo tanto, se han consultado diversas fuentes con el objetivo de enriquecer el material disponible a nivel nacional y avanzar en el conocimiento de esta temática.

2.2.3. Alcance

El enfoque exploratorio, como lo describe Ramos (2020), se caracteriza por ser utilizado en investigaciones que abordan fenómenos que no han sido previamente investigados y que generan interés en el examen de sus características.

Con el propósito de enriquecer la presente investigación, la cual se enfoca en la evaluación de diversos tratamientos de compostaje, que incluyen la aplicación de Microorganismos Eficientes, estiércol de cuy y levadura, es fundamental destacar la pertinencia de la selección de estos elementos como variables de estudio. Esta elección refleja una mejora en la gestión de residuos orgánicos, tomando en consideración aspectos medioambientales y culturales específicos de la región.

2.2.4. Diseño

Diseño experimental

Agudelo, Aigner y Ruiz (2008) han señalado que el diseño experimental implica que el investigador manipula y controla una o más variables independientes, observando las variables dependientes para medir las variaciones concomitantes.

En el contexto de la presente investigación, se han considerado los tratamientos como variables de estudio. Estos tratamientos se manipularon a diferentes concentraciones, basándose en información proveniente de autores que previamente habían realizado experimentos similares. Este enfoque de diseño experimental permitió la medición de las variaciones que se generaron a lo largo del proceso de investigación y los resultados obtenidos contribuyen significativamente a la mejora de la gestión y tratamiento de residuos orgánicos en un período de tiempo más reducido.

2.3. Población y muestra

2.3.1. Población

La población de interés para la obtención de abono a través de las tres tecnologías específicas mencionadas en el presente estudio está compuesta por aproximadamente 1500 kg de residuos orgánicos generados en las rutas de recolección del programa de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos de la Municipalidad de San Isidro durante un período de tres días.

2.3.2. Muestra

La selección de la muestra de residuos orgánicos se llevó a cabo mediante el uso de contenedores de compostaje con una capacidad de 80 litros, caracterizados por dimensiones específicas de 94 cm de altura, 44.5 cm de ancho y 52 cm de profundidad total. En cuanto al enfoque de muestreo, se emplea un método no probabilístico, en particular la técnica de muestreo por conveniencia. De acuerdo con este método, se obtiene una muestra que incluye

los cuatro tipos de compost generados. Posteriormente, estas muestras se trasladan al laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina para llevar a cabo un análisis detallado.

2.4. Procedimiento de campo

2.4.1. Normas

El Decreto Supremo N°001-2022-MINAM (MINAM, 2022) en su Artículo 36-A establece que la recolección de los residuos sólidos se lleva a cabo a través de las municipalidades de manera directa y/o mediante la participación de organizaciones de recicladores. En el contexto actual, este proceso es ejecutado por los propios trabajadores de la municipalidad, que forman parte del Programa de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos.

El INACAL (2022) aprobó la *NTP 201.208:2021. FERTILIZANTES. Compost a partir de residuos sólidos orgánicos municipales. Requisitos, 1ª Edición*. En dicha normativa se especifican los requisitos físicos y químicos para el contenido de nutrientes presentes en el compost. Además, se establece que el compost no debe manifestar malos olores y además deberá considerar criterios como mantener un contenido de humedad oscilante entre el 35 – 50% del peso del producto en base húmeda, densidad en el rango de 550 a 850 kg/m³, pH mayor a 6.5 y menor a 8.5 y contenido de materia orgánica igual o superior al 20 %.

2.4.2. Materiales

A continuación, se enumeran los dispositivos y suministros que se utilizarán en la realización del estudio de investigación en el ámbito ambiental.

2.4.2.1. Acopio y transporte de materia prima

- Contenedores de 80 L para la acumulación de residuos orgánicos.

- Camión destinado al traslado de los residuos orgánicos.
- Bolsas compostables, utilizadas por los residentes para el almacenamiento de los residuos orgánicos en sus viviendas.

2.4.2.2. Armado de contenedores de compostaje

- Balanza de mano, empleada en el pesaje de las bolsas compostables recolectadas.
- Pala para remover y airear el material compostable.
- Sacos de rafia para el almacenamiento del compost resultante.

2.4.2.3. Materiales para elaboración de tratamientos

- Residuos orgánicos (Césped fresco, Restos de hortalizas, Pulpa de café, Restos de lechugas, Restos de frutas, Mosto, Papel periódico, Paja de arroz, Hierba fresca, Hierba fresca leguminosa, Hojarasca seca y Hojarasca fresca)
- EM Compost.
- Estiércol de cuy.
- Levadura.
- Agua.

2.4.2.4. Instrumentos para el monitoreo de parámetros de calidad

- Medidor portátil de pH directo en suelos HI 99121 para la medición de pH y temperatura del suelo.
- Medidor de pH suelo 4 en 1 que incluye la medición de humedad, intensidad solar y temperatura.
- Malla de tamizaje para el compost maduro y la separación de los residuos de mayor tamaño.
- Bolsas Ziploc herméticas utilizadas para el muestreo de compost y su envío al laboratorio para análisis.

Figura 2

Medidor portátil de pH para medición directa en suelo HI99121



Nota. Medidor portátil de pH HI99121 - HANNA incluidas soluciones buffer.

Figura 3
Medidor de pH suelo 4 en 1 genérico



Nota. Medidor genérico empleado para medir el porcentaje de humedad.

2.4.3. Elección del sistema para tres tratamientos de obtención de compost

Bajo las circunstancias del caso, se implementó una estrategia combinada que integra sistemas tanto cerrados como abiertos, capitalizando los beneficios de cada uno mientras se mitigan sus desventajas, con el propósito de optimizar el proceso de obtención de compost.

Principalmente, se ha favorecido el uso del sistema cerrado, haciendo uso de contenedores de 80 litros equipados con ruedas y tapas para facilitar su movilidad. Estos contenedores se erigen como una barrera eficaz contra la acumulación de agua por lluvia, resguardan el material de posibles embates por vientos intensos, simplifican las tareas de volteo, posibilitan la extracción de lixiviados, controlan la intrusión de vectores como roedores y aves, y evitan el acceso de individuos no autorizados y animales al material en descomposición.

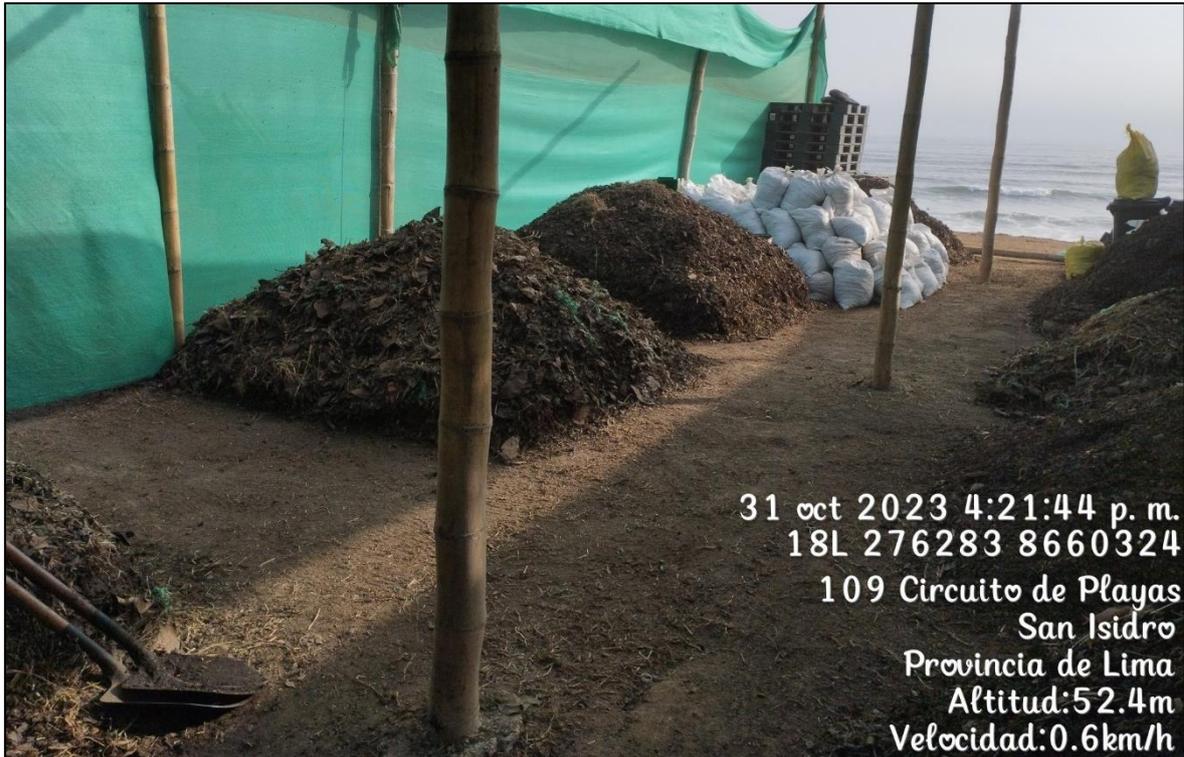
A lo largo del desarrollo del proyecto, se ha adoptado el método manual de volteo siguiendo disposiciones en pilas, además de emplear la técnica de chimenea al redistribuir la materia orgánica tras el volteo.

2.4.4. Ubicación de área de trabajo

Dada la necesidad de un manejo directo de los residuos sólidos en el estudio, se llevó a cabo la operación en la planta piloto de valorización de residuos orgánicos de la Municipalidad de San Isidro. En virtud de la amplitud del espacio disponible, se optó por el uso de contenedores fácilmente transportables, equipados con ruedas de un diámetro de 20 centímetros. Esta elección se realizó con el propósito de no interferir con las actividades de volteo programadas en la planta piloto. Siempre se otorgó prioridad a la ubicación de estos contenedores en áreas sombreadas, en consideración de las variaciones de temperatura.

Figura 4

Planta piloto de valorización de residuos sólidos orgánicos en el circuito de playas



Nota. Debido a los frecuentes cambios en la ubicación de las camas de compostaje, la zona designada para los contenedores se ha ido reubicando en los espacios disponibles en ese momento, asegurando siempre la preservación de un área sombreada.

2.4.5. Acopio y traslado de materia prima

La obtención de la materia prima se llevó a cabo mediante la recolección de residuos orgánicos en las rutas de recogida del Programa de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos, siguiendo las directrices del Manual de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Román y otros, 2013). En este proceso, se priorizaron los materiales orgánicos compostables, tales como restos de cosecha, plantas de huerto o jardín, ramas trituradas de podas, hojas de árboles y arbustos, heno, césped (preferiblemente en capas finas y desecado), estiércol de cuy y su cama de corral, restos orgánicos de cocina (como frutas y hortalizas), alimentos caducados, cáscaras de huevo (preferentemente trituradas), restos de café, té, infusiones, cáscaras de frutos secos, y cáscaras de naranja,

cítricos o piña (en cantidades limitadas y previamente troceadas), así como papas en mal estado, podridas o germinadas. Esta selección se realizó con el propósito de mejorar el proceso de compostaje y, en última instancia, contribuir a la valorización de los residuos orgánicos.

Figura 5
Recolección de residuos sólidos orgánicos



Nota: La recolección se llevó a cabo de manera puerta a puerta, siguiendo el plan de trabajo del programa de valorización de residuos orgánicos de la Municipalidad de San Isidro.

2.4.6. Pretratamiento

Dentro del proceso de pretratamiento, se toma en consideración que los residuos orgánicos recogidos de diversas fuentes presentan un notable contenido de humedad, materia orgánica fermentable y nitrógeno. Para abordar este desafío, se torna imprescindible la combinación de estos componentes con restos vegetales, mayormente originados en podas, con el propósito de optimizar la porosidad, mantener un equilibrio entre los niveles de aire

y agua, y ajustar la proporción de biopolímeros, así como la relación C/N. En términos generales, las mezclas se conforman mediante una proporción volumétrica de restos vegetales que oscila entre el 25% y el 60%, dependiendo de la naturaleza y el sistema de compostaje (MITECO, Sistemas de tratamiento, 2023). Reconociendo esta necesidad, se procedió a realizar un tratamiento preliminar de los residuos orgánicos recolectados en las fuentes de origen. Este proceso de pretratamiento implicó un corte manual con el objetivo de reducir el tamaño y el volumen de los residuos, teniendo en cuenta que el tamaño de las partículas debe mantenerse por debajo de los 30 cm para evitar la excesiva aireación y por encima de los 5 cm para prevenir la compactación. De esta manera, se asegura un vertido uniforme en los contenedores donde posteriormente se aplicarán tratamientos específicos para cada uno de ellos.

2.4.7. Armado de unidades experimentales de compostaje

El material destinado al proceso de compostaje se ha fragmentado manualmente a una longitud de 10-15 cm. Se ha establecido la semana como la unidad estándar para la acumulación de material en los contenedores. Un aspecto crítico es la composición adecuada de la mezcla de materiales para lograr una relación óptima entre Carbono y Nitrógeno (C:N).

Para implementar la técnica de la Chimenea, se ha integrado un tronco de bambú con un diámetro de 10 cm y una altura de 1 metro en el centro de la pila durante su formación en el contenedor. Una vez que los desechos alcanzan la altura deseada en el recipiente, se retira el tronco de bambú. El espacio que queda actúa como una chimenea, mejorando así la circulación del aire dentro del contenedor. Este enfoque permite optimizar las condiciones de aeración durante el proceso de compostaje (Román y otros, 2013).

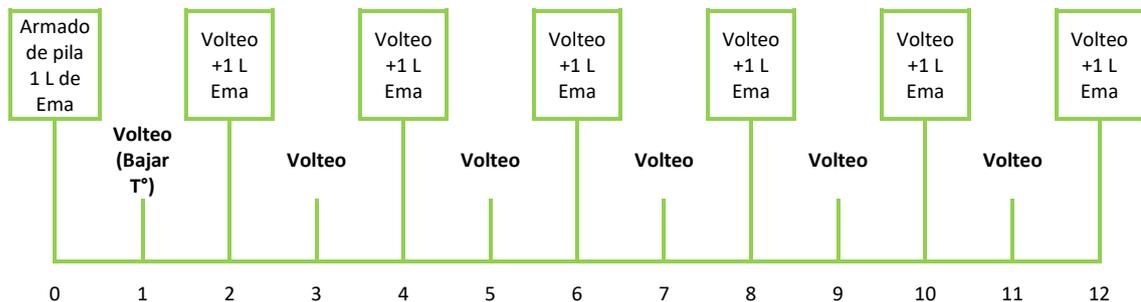
2.4.7.1. Armado de Tratamiento con EM Compost

Considerando que el EM Compost se presenta en forma líquida, se sugiere aplicar entre 6 y 10 litros por metro cúbico de material cuando se disponga de un lecho con dimensiones recomendadas de entre 0.8 a 1.50 metros de ancho, 1.00 a 1.20 metros de altura y una longitud variable dependiendo de la superficie disponible en el terreno (BioPunto, 2019).

Dado que el volumen experimental cuenta con 1 metro cúbico, se optó por aplicar un litro de EM compost activado (1 litro de EM Compost por 10 litros de agua) al inicio al formar la pila. Además, se realizaron adiciones de 6 litros cada quince días, coincidiendo con los volteos, a lo largo de un período de 12 semanas.

Figura 6

Cronograma de aplicación de EM Compost activado por semanas



Nota. Elaboración propia

Figura 7

Aplicación de EM Compost activado



Nota. Aplicación de EM Compost en la semana 0.

2.4.7.2. Armado de Tratamiento con Estiércol de cuy

Mientras que los tratamientos de EM Compost y levadura consisten en componentes líquidos, el estiércol de cuy pertenece a la categoría de abono orgánico sólido. Para este propósito, se utilizó 1 kg de estiércol de cuy, el cual resulta de la combinación de las deposiciones animales con materia vegetal proveniente de la cama de las cuadras, priorizando el uso de ganaderías no intensivas.

Al posicionar el estiércol más seco en el centro de la pila, se buscó su hidratación al entrar en contacto con los demás residuos orgánicos involucrados. Esta disposición permite alcanzar un equilibrio de humedad en todo el material orgánico, manteniendo los residuos más secos en el núcleo para mejorar la aireación (Mager y otros, 2012).

2.4.7.3. Armado de Tratamiento con Levadura

Considerando las indicaciones de varios estudios sobre el óptimo desempeño de la levadura como acelerador del compostaje, se sugiere una dosis específica. Estos estudios recomiendan la utilización de 300 gramos de levadura disueltos en agua por cada 1.5 kilogramos de material orgánico (Rivera y otros, 2020). Por lo tanto, en el marco del presente tratamiento, se realizaron adiciones de 6 litros cada quince días, sincronizadas con los volteos, durante un lapso de 12 semanas.

2.4.8. Monitoreo de parámetros físicos

Una vez que se prepararon los contenedores designados para contener los residuos orgánicos destinados a su descomposición, se llevó a cabo un monitoreo de los parámetros físicos para cada tipo de tratamiento (que incluyó microorganismos eficientes, estiércol de cuy y levadura) en conjunto con un grupo testigo para su comparación. Este seguimiento se extendió a lo largo de un período de 90 días hasta alcanzar la maduración completa del compost. Durante este procedimiento, se mantuvo un control continuo de los siguientes parámetros: pH, temperatura y humedad.

2.4.8.1. pH

Para obtener datos sobre el parámetro de pH, se utilizó el medidor portátil de pH HI99121 de la marca HANNA. Este dispositivo está provisto de una sonda especializada con una punta cónica, una configuración de unión abierta y un cuerpo de vidrio, lo que lo hace idóneo para medir directamente el pH en suelos. Asimismo, el equipo dispone de sobres con solución estándar de pH 4 y 7, esenciales para la calibración precisa. Estos sobres son de un solo uso, sellados individualmente para garantizar la frescura del estándar en cada calibración.

El procedimiento incluyó la inserción de la sonda a una profundidad cercana a los 20 cm, en las proximidades del núcleo del material orgánico. Tras esta fase, se permitió que el electrodo se estabilizara y se mantuvo en reposo. Se realizaron mediciones tres veces por semana para cada repetición de los tres tratamientos, permitiendo un seguimiento detallado de las variaciones en el pH a lo largo del proceso de compostaje.

2.4.8.2. Temperatura

Para registrar los datos de temperatura, se utilizó el medidor portátil de pH HI99121 de la marca HANNA, diseñado para realizar mediciones directas en el suelo. El procedimiento incluyó el uso de una barrena de plástico para aflojar el suelo antes de la medición. Posteriormente, se introdujo la sonda a una profundidad cercana a los 20 cm, cerca del núcleo de la materia orgánica. Una vez completada esta etapa, se permitió que el electrodo se estabilizara y se mantuvo en reposo. Las mediciones se llevaron a cabo tres veces por semana para cada repetición de los tres tratamientos.

2.4.8.3. Humedad

Para registrar los niveles de humedad, se empleó un termómetro de suelo genérico que cuenta con la funcionalidad de medir la humedad. Además, se utilizó la prueba del puño como un método complementario. Esta prueba se llevó a cabo cada vez que se aplicaba riego durante el proceso de volteo manual de los tratamientos. En esta evaluación, se tomaba un puñado del material después del riego. Se buscaba que el material no se deformara ni liberara agua al ser apretado en la mano. Si este efecto ocurría, indicaba que era necesario iniciar el volteo. Por otro lado, si el material se deshacía al apretarlo, se requería agregar más agua al proceso.

2.4.9. Obtención de madurez

Volteo: La aireación manual se llevó a cabo cada 7 días durante el primer mes para todos los tratamientos realizados. De acuerdo con Oviedo y otros (2013) mencionan que, incrementar la frecuencia de volteo resulta efectivo para reducir la humedad inicial de los sustratos, lo que conlleva a una mayor tasa de degradación de la materia orgánica.

Figura 8
Volteo manual de contenedores de compostaje



Nota: El compost contenido se dirige hacia una plataforma destinada a facilitar el volteo manual.

Riego del compost: El riego del compost se ajustó en frecuencia de acuerdo con la evaluación realizada mediante la prueba del puño y el equipo genérico para medir la humedad. Se consideró fundamental mantener un nivel de humedad entre el 30% y el 40%. Para lograr este objetivo, se utilizó una mochila de aspersion con el fin de aplicar un riego uniforme en cada tipo de tratamiento. Este enfoque permitió adaptar el suministro de agua de manera precisa y controlada, garantizando condiciones óptimas de humedad para el desarrollo efectivo del tratamiento de compostaje.

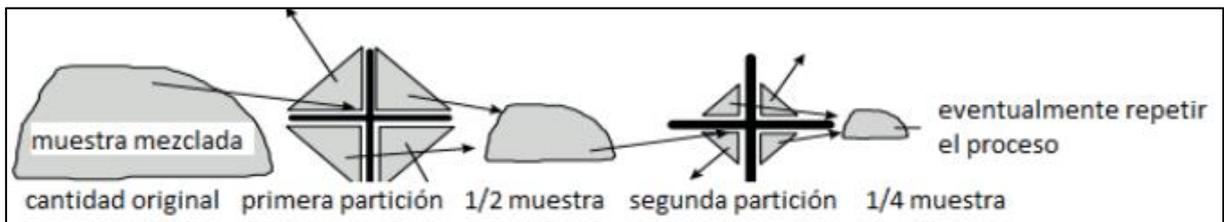
Cernido o cosecha de compost: Para determinar la madurez del compost, se emplearon técnicas organolépticas que se basan principalmente en la evaluación del color y

el olor. Según referencias previas, se establece que el color adecuado es un tono negruzco, y se espera que el compost emane un aroma similar al de un bosque o tierra mojada. Una vez concluida esta fase de evaluación, se procede a la etapa de tamizado para obtener una textura granular y separar los sólidos de mayor tamaño mediante el uso de una malla doméstica. Este proceso de cribado finaliza el proceso de refinamiento del compost, preparándolo para su uso final.

2.4.10. Muestreo

Según la guía para el muestreo de suelos del MINAM, el procedimiento para la toma de muestras superficiales se utiliza cuando se dispone de una cantidad limitada de suelo. En este caso, se extraen muestras compuestas mediante la combinación de varios sondeos. Se recomienda dividir la muestra mezclada en partes más pequeñas, repitiendo este proceso hasta alcanzar la cantidad necesaria de material para el análisis (MINAM, 2014).

Figura 9
Partición de muestras



Nota. Procedimiento de cuarteo para obtención de muestra.

2.4.11. Recolección de datos

El trabajo de Sánchez (2022) enfatiza que la recolección de datos constituye un conjunto de procedimientos y actividades cruciales para abordar la pregunta de investigación. Dentro de este marco, destaca la técnica de observación, reconocida por su

capacidad para obtener una cantidad significativa de datos, lo cual exige que esta actividad sea ejecutada con claridad, definición y precisión.

En este contexto, la presente investigación emplea la técnica de observación, haciendo uso del instrumento de ficha de campo para organizar y sistematizar los datos obtenidos a través de la observación directa. Este enfoque se implementa a lo largo de las 12 semanas de desarrollo en los 4 tratamientos, permitiendo el registro de parámetros observados (pH, Temperatura y Humedad).

2.4.12. pH

Se tomó una muestra de 20 mL de suelo y se colocó en un recipiente de 100 mL. Se adicionaron 20 mL de agua destilada junto con 1 N de solución de cloruro de potasio (KCl) o 0.01 M de cloruro de calcio (CaCl₂). La mezcla se agitó intermitentemente durante 30 minutos y se dejó reposar durante 15 minutos (Bazán, 2017). Luego, la suspensión se agitó nuevamente y se introdujeron los electrodos para medir el pH. Los electrodos se sumergieron en el líquido sobrenadante, garantizando una medición uniforme del pH. La lectura del pH se llevó a cabo a través de un potenciómetro.

2.4.13. Conductividad eléctrica

Se tomaron 20 gramos de suelo y se trasladaron a un vaso de 100 o 200 mililitros. A esta muestra se le añadieron 40 mililitros de agua destilada, manteniendo una relación de 1:2. Se procedió a agitar intermitentemente la mezcla durante 30 minutos utilizando un agitador rotativo. Luego, se filtró la solución empleando papel de filtro y embudos, recolectando el filtrado en recipientes adecuados.

La medición de la Conductividad Eléctrica (CE) se llevó a cabo directamente utilizando una celda de conductividad y un conductímetro (Bazán, 2017). Este

procedimiento permitió evaluar la conductividad del suelo, brindando datos relevantes para el análisis de sus propiedades físicas y químicas.

2.4.14. Nitrógeno (N)

El proceso llevado a cabo para determinar el nitrógeno total en muestras de suelo, siguiendo el método de Kjeldahl, consta de emplear un balón de 100 mL donde se introduce una muestra de suelo (TFSA) de 1.0 gramo y se le añadió una muestra catalizadora de igual peso. Luego, se incorporaron 3 mL de ácido sulfúrico concentrado (Bazán, 2017). La mezcla se calentó en la unidad de digestión hasta que la solución adquirió una tonalidad clara.

Una vez enfriada, se ajustó el volumen con agua destilada, aproximadamente 15 mL. La solución se transfirió a la unidad de destilación, donde se añadió una solución de NaOH con fenolftaleína a través de un tubo de seguridad hasta que el líquido alcanzó un color rojo claro, indicando la neutralización de la acidez. Comenzó entonces la destilación, recolectando el destilado en 10 mL de ácido bórico (H_3BO_3) durante un lapso de 3 a 5 minutos (Bazán, 2017). Finalmente, se procedió a titular el destilado utilizando HCl o H_2SO_4 estandarizado para determinar la concentración de nitrógeno en la muestra. Este proceso es fundamental en el análisis ambiental de suelos, ya que permite evaluar la cantidad de nitrógeno presente, un factor relevante en la evaluación de la calidad y fertilidad del suelo.

2.4.15. Pentóxido de Fósforo (P_2O_5)

El proceso de extracción ácida (Bray I, Bray II) inicia con la colocación de 2 gramos de suelo en un frasco de 50 mL, seguido por la adición de 20 mL del extractante correspondiente. Luego, se agita durante 1 minuto y se filtra a través de papel Whatman No. 2. En caso de un filtrado turbio, se repite el proceso de filtración. Posteriormente, se emplea un dilutor dispensador para simultáneamente agregar 2 mL de la muestra filtrada y 18 mL

de la solución de trabajo. Tras 10 minutos, se lee el % de transmitancia a 660 nm, manteniendo el color estable por dos horas.

En paralelo, se prepara una serie de patrones con concentraciones específicas de fosfato, siguiendo una tabla predefinida que relaciona la concentración de fosfato con la transmitancia a 660 nm (Bazán, 2017). Los cálculos se realizan para determinar la concentración de fosfato en la muestra a partir de los valores de la curva de calibración y el factor de dilución (FD).

2.4.16. Óxido de Potasio (K₂O)

El procedimiento detallado involucra la transferencia de 5 gramos de suelo a un frasco de 250 mL, seguido por la adición de 100 mL de agua destilada para la preparación de la muestra (Bazán, 2017). Luego, se agita la solución con un agitador mecánico durante 1 hora. Posteriormente, se filtra la muestra y se lleva a cabo la medición del contenido de potasio (K) utilizando un espectrofotómetro. Cabe destacar que este procedimiento se llevó a cabo siguiendo las directrices establecidas en el Manual de Procedimientos de los Análisis de Suelos y Agua con Fines de Riego del Instituto Nacional de Innovación Agraria.

2.4.17. Óxido de Calcio (CaO)

Se ha empleado el método de determinación del óxido de calcio mediante titulación complejométrica con EGTA. En esta técnica, se comienza disolviendo el óxido de calcio en ácido clorhídrico, lo que produce cloruro de calcio y agua. Posteriormente, se neutraliza esta solución utilizando hidróxido de sodio hasta alcanzar un pH estable. Una vez logrado esto, se prepara una solución de EGTA de concentración conocida, que actúa como agente titulante para determinar la concentración de calcio presente en la muestra.

Durante el proceso de titulación, se añade progresivamente la solución de EGTA a la muestra de calcio. El EGTA forma un complejo estable con el calcio, y al acercarse al punto de equilibrio de la reacción, se produce un cambio de color en la solución, indicando que todo el calcio ha reaccionado con el EGTA.

La cantidad precisa de EGTA utilizada se registra cuidadosamente y se utiliza para calcular la concentración de calcio en la muestra, ya que la relación estequiométrica entre el calcio y el EGTA es conocida. Esta metodología, al utilizar un agente complejante como el EGTA, permite una determinación precisa y confiable de la concentración de calcio en la muestra analizada.

2.5. Metodología estadística

Se utilizó el programa estadístico SPSS para analizar la evolución en los valores de pH, Temperatura y Humedad en el contexto de cuatro distintos tratamientos destinados a la obtención de compost. El estudio abarcó desde la semana 0 hasta la semana 12, considerando y evaluando los datos recopilados durante este período.

Durante el análisis, se aplicaron medidas estadísticas descriptivas para cada tratamiento, entre las cuales se incluyen la media, desviación estándar, varianza, así como los valores mínimo y máximo. Dichas medidas proporcionan una visión detallada de la variabilidad y tendencias centrales presentes en las Características Termodinámicas y de Estabilización Térmica bajo la influencia de los diferentes tratamientos.

2.6. Aspectos éticos

2.6.1. Ética de la investigación

Conforme al Artículo N°5 del Código de Ética del Investigador Científico de la UPN (2016), se establece que el investigador de la UPN está obligado a salvaguardar la

confidencialidad de los datos de los participantes, así como a preservar la reserva en el análisis y la difusión del tratamiento de la información correspondiente a los resultados y datos obtenidos en el proyecto de investigación.

2.6.2. Confidencialidad y respeto

Se dio prioridad a la confidencialidad en el manejo de datos, garantizando el respeto a la privacidad de la Municipalidad de San Isidro al mantener en reserva los resultados de los análisis proporcionados por el laboratorio. Además, se implementaron formatos de seguimiento meticulosos para abordar cada uno de los aspectos considerados en la presente investigación.

2.6.3. Consentimiento informado y otros cuidados

Antes de iniciar el presente proyecto, se proporcionó a la Municipalidad de San Isidro una descripción detallada del alcance, donde se abordaron los pormenores de la investigación y el manejo de materiales en el área de estudio. Este proceso se llevó a cabo bajo supervisión y evaluación interna, con el objetivo de asegurar la transparencia y la eficiencia en todas las fases del proyecto.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Resultados de tratamientos y análisis de información

Con el fin de evaluar la eficacia de los tratamientos aplicados a los residuos orgánicos, se han empleado dos conjuntos normativos para comparar los parámetros de calidad. Estos parámetros se definen por la normativa establecida por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y los parámetros establecidos por el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) en Iquitos.

Tabla 1
Parámetros de calidad para el compost según IIAP y FAO

Parámetro	FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación	IIAP - Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana
CE (ds.m-1)	-	2 - 4
pH	6.5 - 8.6	7.0 - 8.3
Humedad (%)	30 - 40	-
Nitrógeno total (%)	0.3 - 1.5	0.8 - 1.5
P2O5 (%)	0.1 - 1.0	0.4 - 1.0
K2O (%)	0.3 - 1.0	0.6 - 1.5
CaO (%)	0.3 - 1.0	0.6 - 1.5
MgO (%)	-	0.2 - 0.7

Fuente: adaptado de Rosales & Taipe (2021).

Tabla 2
Cumplimiento de parámetros según tratamiento

Parámetro	Em Compost	Estiércol De Cuy	Levadura	Testigo
pH	o	o	o	o
Temperatura	o	o	o	o
Humedad	x	o	x	o
Conductividad	o	o	o	o
Nitrógeno	o	x	o	o
Fósforo	o	x	o	o
Potasio	o	o	o	o
Calcio	o	o	o	o
Magnesio	o	x	o	x

Nota. Elaboración propia

3.1.1. Cálculo de relación C/N

La relación entre el carbono (C) y el nitrógeno (N) es esencial en el proceso de compostaje. Acelera la descomposición de los residuos, previene olores desagradables y mejora la calidad del producto final. El carbono y el nitrógeno son nutrientes clave para los microorganismos involucrados en el compostaje, y en general, se requiere aproximadamente 25 veces más carbono que nitrógeno.

A lo largo del proceso de compostaje, la relación entre carbono (C) y nitrógeno (N) disminuye debido al uso de microorganismos y la pérdida de carbono y nitrógeno por volatilización, lo que sugiere que es preferible comenzar con relaciones C/N ligeramente más altas que bajas en el rango recomendado, e incluso se sugiere iniciar con relaciones de 50/1 para asegurar un abono de calidad. En general, los niveles de C/N pueden disminuir al final del proceso de compostaje, siendo aproximadamente de una tercera parte (compostaje frío) hasta dos terceras partes (compostaje caliente). Por ejemplo, si se inicia con una relación de 40/1 en una composta con fase termogénica, es probable que se termine con aproximadamente 13 a 15/1. En el caso de una composta de fase mesotérmica, puede concluir en 20 a 25/1, y un proceso a temperatura ambiente (isotérmico), sin fase caliente, podría finalizar con 28 a 30/1 (Barreros, 2017). Es importante notar que estos valores son aproximados, ya que dependen de los materiales utilizados, que pueden variar ampliamente en su contenido de C/N. Por lo tanto, antes de comenzar el compostaje, es crucial conocer el equilibrio C/N de los materiales disponibles, que pueden incluir estiércoles animales, restos

de cultivos, restos de alimentación vegetal, podas, restos de jardinería, subproductos de la industria alimentaria y otros elementos.

Por consiguiente, a partir de la recopilación y clasificación de los desechos recolectados a lo largo de una semana, que sumaron aproximadamente 1500 kg, se optó por seleccionar una muestra de 505 kg procedentes del día miércoles debido a su representatividad, con el fin de obtener una muestra que refleje de manera fiel la composición de los residuos orgánicos. Posteriormente, basándose en la caracterización de esta muestra, se llevó a cabo el cálculo del equilibrio C/N de referencia. Este cálculo se dividió entre los tres tratamientos y un grupo de control, con el propósito de establecer el valor inicial.

Tabla 3

Cálculo del balance C/N Testigo

	Relación C/N (N:1)	Cantidad (Kg)	Porcentaje	División	Multipliación
Restos de podas	44	10	1,98%	0,02	0,87
Hierba fresca	17	30	5,94%	0,06	1,01
Hierba fresca leguminosa	12	10	1,98%	0,02	0,24
Césped fresco	14	50	9,90%	0,10	1,39
Restos de hortalizas	37	20	3,96%	0,04	1,47
Pulpa de café	29	20	3,96%	0,04	1,15
Restos de lechugas	14	60	11,88%	0,12	1,66
Restos de frutas	50	100	19,80%	0,20	9,90
Paja de arroz	77	40	7,92%	0,08	6,10
Mosto	16	25	4,95%	0,05	0,79
Papel periódico	400	20	3,96%	0,04	15,84
Hojarasca seca	47	100	19,80%	0,20	9,31
Hojarasca fresca	17	20	3,96%	0,04	0,67

TOTAL	505	RELACIÓN C:N	50,40
--------------	------------	---------------------	--------------

Nota. Elaboración propia

La configuración inicial de las pilas de compostaje requirió la incorporación gradual de diversos materiales que influyen en la relación carbono/nitrógeno (C/N) de cada tratamiento. Para el EM compost activado, se empleó una cantidad inicial de 1 litro, lo que se alinea con una relación C/N de 30:1 (BioPunto, 2019). En el caso del estiércol de cuy Chasquero (2019) menciona que, en cantidades de 1 kilogramo, se otorga un valor de 22.7 en términos de relación C/N. Por otra parte, la inclusión de levadura, con una concentración de 1 galón, aporta una relación C/N de 8 (Hernández y otros, 2008).

Tabla 4
Valor de relación Carbono – Nitrógeno por tratamiento

Tratamiento	Concentración	C/N
EM Compost	1 litro	30
Estiércol de cuy	1 kg	22.7
Levadura	1 galón	8

Nota. elaboración propia

Esta mezcla inicial se basa en la complementariedad de estos insumos, cada uno con su respectiva relación C/N, con el propósito de equilibrar la descomposición y transformación de la materia orgánica en el proceso de compostaje. La combinación de estos materiales busca garantizar una composición adecuada que favorezca la degradación controlada y eficiente de la materia orgánica, promoviendo así la producción de compost de calidad.

3.1.2. pH

Tabla 5

Monitoreo de pH de los tratamientos

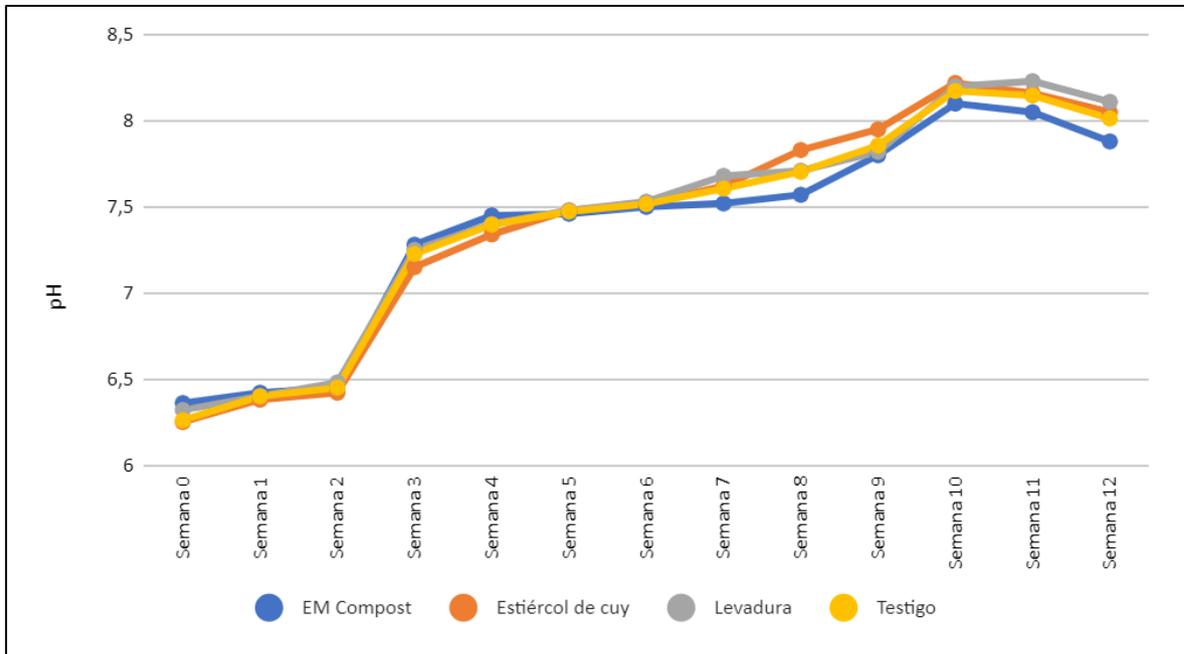
Semana	pH			
	EM Compost	Estiércol de cuy	Levadura	Testigo
Semana 0	6,36	6,25	6,32	6,26
Semana 1	6,42	6,38	6,40	6,40
Semana 2	6,45	6,42	6,48	6,45
Semana 3	7,28	7,15	7,25	7,23
Semana 4	7,45	7,34	7,40	7,40
Semana 5	7,46	7,48	7,48	7,47
Semana 6	7,50	7,52	7,53	7,52
Semana 7	7,52	7,62	7,68	7,61
Semana 8	7,57	7,83	7,71	7,70
Semana 9	7,80	7,95	7,82	7,86
Semana 10	8,10	8,22	8,20	8,17
Semana 11	8,05	8,16	8,23	8,15
Semana 12	7,88	8,05	8,11	8,01

Nota. Elaboración propia.

En la tabla 5 se analiza la variación del pH a lo largo de 12 semanas en los tratamientos efectuados, observando su influencia en la calidad del compostaje. Durante las dos primeras semanas, se identificó un pH máximo de 6.48 en el tratamiento con levadura, mientras que el tratamiento con estiércol registró un valor de 6.42. Sin embargo, las semanas 10 y 11 revelaron los valores más elevados de pH, particularmente en el tratamiento con levadura.

Hacia la semana 12, se observaron valores de pH de 7.88 para el tratamiento con EM Compost, 8.05 para el tratamiento con estiércol de cuy, 8.11 para la levadura y 8.01 para el testigo que rige su fase de compostaje sin aditivos para acelerar el proceso.

Figura 10
Evolución de niveles de pH por tratamiento



Nota. Elaboración propia

En la Figura 10 se evidencia el incremento de los niveles de pH en cada tratamiento, resultado de la actividad microbiana implicada en la conversión del nitrógeno en amoníaco. Estos niveles registrados se encuentran alineados con los rangos recomendados por la FAO y el IIAP, lo que facilita la creación de ambientes propicios para el florecimiento de bacterias beneficiosas, las cuales prosperan en un pH comprendido entre 6 y 7.5. Además, esta condición también permite el crecimiento de hongos, los cuales prefieren entornos ligeramente ácidos, aunque tienen una mayor tolerancia a un rango de pH más amplio, entre 5 y 8. El seguimiento y mantenimiento de estos niveles resulta crucial para fomentar un ambiente óptimo que promueva el desarrollo de microorganismos benéficos en el suelo.

En la Tabla 6 se examinan las medidas estadísticas descriptivas, incluyendo la media, desviación estándar, varianza, así como los valores mínimo y máximo, de los niveles de pH a lo largo de un período de 12 semanas para cada uno de los tratamientos implementados. Este análisis tiene como objetivo evaluar de manera individual la influencia de dichos tratamientos en la calidad del compostaje.

Tabla 6

Estadísticos descriptivos pH

		EM Compost	Testigo	Levadura	Estiércol de cuy
N	Válido	13	13	13	13
	Perdidos	0	0	0	0
Media		7.3723	7.4023	7.4315	7.4131
Desv. Desviación		.59939	.65342	.66015	.68412
Varianza		.359	.427	.436	.468
Mínimo		6.36	6.26	6.32	6.25
Máximo		8.10	8.17	8.23	8.22

Fuente: Elaboración propia

3.1.3. Temperatura

En la presente investigación, se analizaron las variaciones de temperatura (°C) y los patrones de estabilización térmica en cuatro modalidades de tratamiento para la obtención de compost: microorganismos eficientes, estiércol de cuy, levadura y un grupo de control. La fase de maduración, delineada por la estabilización de la temperatura ambiente, tiene como objetivo realizar una comparativa en las últimas etapas del tratamiento para identificar posibles instancias de estabilización temprana. Estos indicadores son cruciales para determinar la eficacia relativa de cada tratamiento en el proceso de compostaje.

En particular, los tratamientos con microorganismos eficientes y levadura revelaron una estabilización temprana de la temperatura en la semana 11, registrando 22.1 °C y 23.7 °C, respectivamente. En contraste, el tratamiento con estiércol de cuy alcanzó una temperatura ambiente de 23.5 °C en la semana 12, mientras que el tratamiento testigo llegó a 24.1 °C. Estos datos indican variaciones notables en los patrones térmicos, destacando la eficacia diferencial de los tratamientos en el proceso de compostaje.

Tabla 7
Monitoreo de Temperatura (T°) en °C de los tratamientos

Semana	Temperatura (T°) en °C			
	EM Compost	Estiércol de cuy	Levadura	Testigo
Semana 0	22,5	23,5	22,6	22
Semana 1	47,8	43,7	43,6	40,3
Semana 2	48,6	43,8	45,5	46,6
Semana 3	62,8	61,5	59,6	58,8
Semana 4	60,5	58,5	60,3	59,6
Semana 5	55,6	57,3	58,6	56,3
Semana 6	53,2	55,7	54,3	55,5
Semana 7	47,5	48,2	46,5	48,3
Semana 8	42,3	43,1	43,8	44,1
Semana 9	32,7	36,4	35,2	40,5
Semana 10	25,2	28,6	28,3	32,6
Semana 11	22,1	25,4	23,7	26,7
Semana 12	20,8	23,5	21,5	24,1

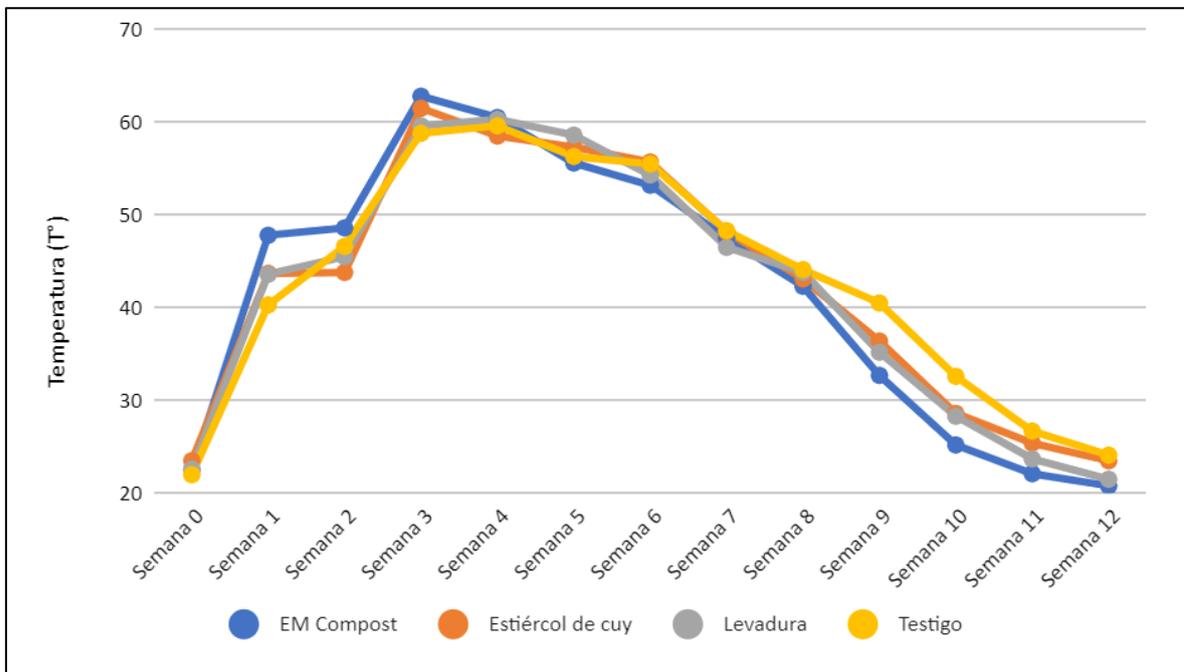
Nota. Elaboración propia.

En la tabla 7 se detalla el registro de la temperatura durante las 12 semanas de monitoreo. Se destaca que el valor más alto, alcanzando los 62.8 °C, corresponde al tratamiento de EM COMPOST, atribuido a la actividad de microorganismos eficientes presentes como inoculación. Esta elevada temperatura en la fase termofílica cumple una función significativa al acelerar la degradación de los residuos orgánicos, y contribuye a la eliminación de organismos dañinos como *Escherichia coli*. Por otro lado, el registro más

bajo de temperatura, de 20.8 °C, se observó en la última semana del tratamiento de EM Compost.

Además, en la figura 11 se muestra la evolución de la temperatura, destacando la diferenciación entre las fases mesófila, termófila, enfriamiento y maduración, ilustrando claramente la variación a lo largo del proceso de compostaje.

Figura 11
Evolución de Temperatura (T°) en °C por tratamiento



Nota. Elaboración propia

En la Tabla 8 se examinan las medidas estadísticas descriptivas, incluyendo la media, desviación estándar, varianza, así como los valores mínimo y máximo, de los registros de temperatura (°C) a lo largo de un período de 12 semanas para cada uno de los tratamientos implementados. Este análisis tiene como objetivo evaluar de manera individual la influencia de dichos tratamientos en la calidad del compostaje.

Tabla 8
Estadísticos descriptivos en Temperatura

		EM Compost	Testigo	Levadura	estiércol de cuy
N	Válido	13	13	13	13
	Perdido	0	0	0	0
s					
Media		41.6615	42.7231	41.8077	42.2462
Desv. Desviación		15.2363	13.1820	14.3606	13.8150
		9	7	8	0
Varianza		232.148	173.767	206.229	190.854
Mínimo		20.80	22.00	21.50	23.50
Máximo		62.80	59.60	60.30	61.50

Fuente: Elaboración propia

3.1.4. Humedad

Tabla 9

Monitoreo de Humedad (%) de los tratamientos

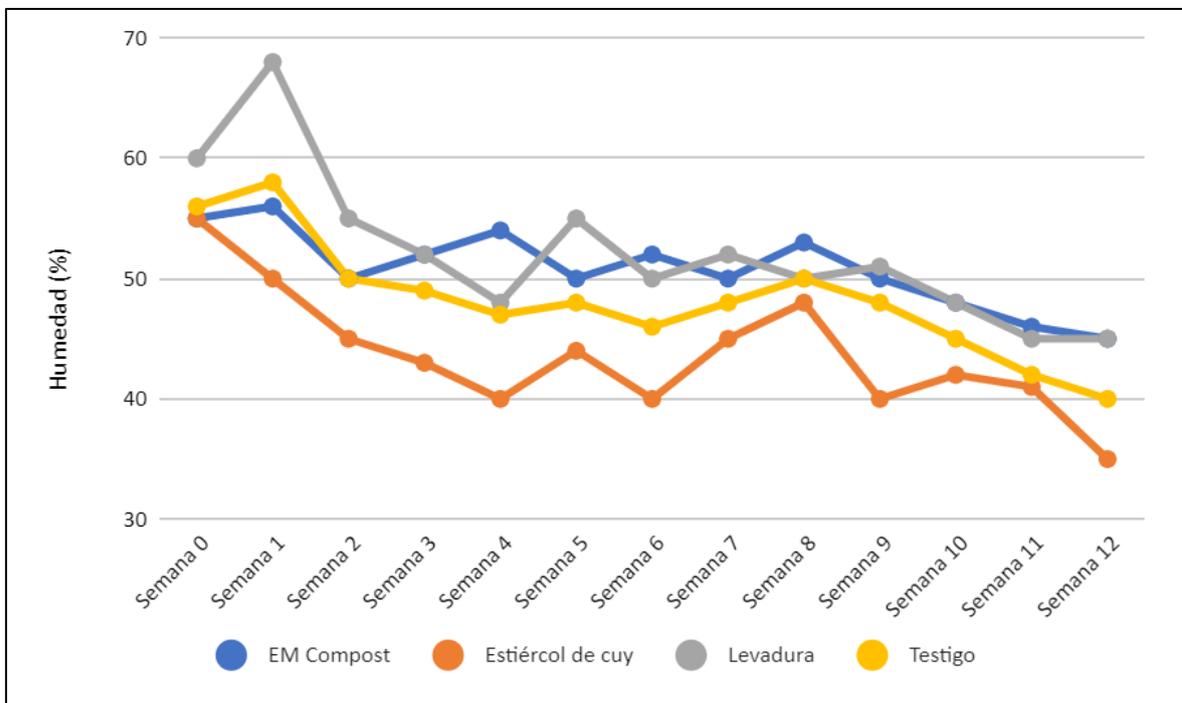
Semana	% de Humedad			
	EM Compost	Estiércol de cuy	Levadura	Testigo
Semana 0	55	55	60	56
Semana 1	56	50	68	58
Semana 2	50	45	55	50
Semana 3	52	43	52	49
Semana 4	54	40	48	47
Semana 5	50	44	55	48
Semana 6	52	40	50	46
Semana 7	50	45	52	48
Semana 8	53	48	50	50
Semana 9	50	40	51	48
Semana 10	48	42	48	45
Semana 11	46	41	45	42

Semana 12	45	35	45	40
-----------	----	----	----	----

Nota. Elaboración propia.

En los tratamientos de compost con EM Compost y Levadura, se ha observado que el suministro de las dosificaciones se realiza junto con el riego, lo que conlleva a un entorno con mayor humedad en la fase de monitoreo. En la tabla 9, se refleja un valor máximo de humedad del 68 % para el tratamiento con levadura, y un valor mínimo de 35 % para el tratamiento con estiércol de cuy. Según las pautas establecidas por la FAO, el rango óptimo de humedad debe situarse entre el 30 % y 40 %. Los valores registrados al finalizar las 12 semanas son: 45 % para EM Compost, 35 % para estiércol de cuy, 45 % para levadura y 40 % para el tratamiento testigo. Esto indica que los tratamientos que cumplieron con las condiciones de calidad fueron el tratamiento de estiércol de cuy y el testigo.

Figura 12
Evolución de Humedad (%) por tratamiento



Nota. Elaboración propia

En la figura 12 se visualiza la evolución del porcentaje de humedad para cada tratamiento realizado. Se destaca que el tratamiento de levadura alcanzó su pico más alto en la semana 2. Es relevante señalar que el tratamiento con estiércol de cuy muestra los valores más bajos a lo largo del monitoreo de las 12 semanas.

En la Tabla 10 se examinan las medidas estadísticas descriptivas, incluyendo la media, desviación estándar, varianza, así como los valores mínimo y máximo, del porcentaje de humedad a lo largo de un período de 12 semanas para cada uno de los tratamientos implementados. Este análisis tiene como objetivo evaluar de manera individual la influencia de dichos tratamientos en la calidad del compostaje.

Tabla 10

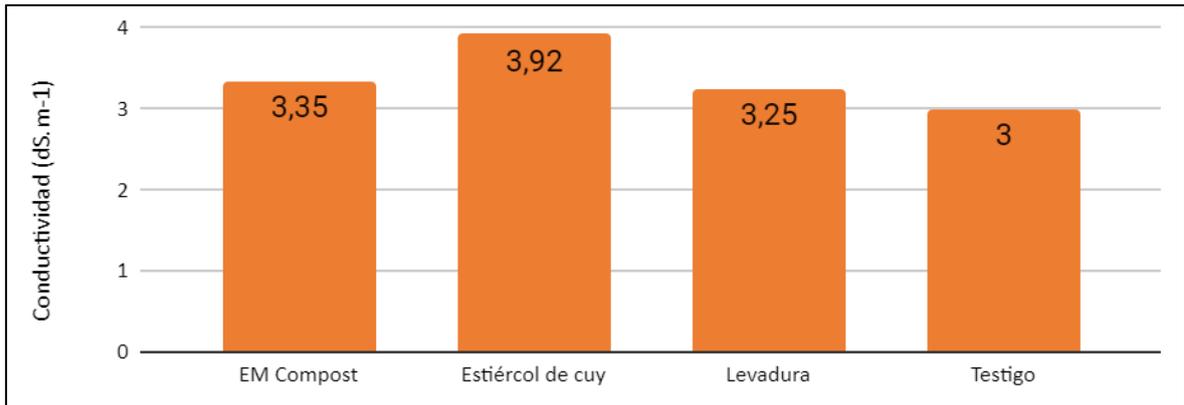
Estadísticos descriptivos de Humedad

		EM Compost	Testigo	Levadura	estiércol de cuy
N	Válido	13	13	13	13
	Perdidos	0	0	0	0
Media		48.9846	47.0077	50.4231	42.8077
Desv. Desviación		8.91271	8.06954	10.51159	7.29594
Varianza		79.436	65.117	110.494	53.231
Mínimo		20.80	24.10	21.50	23.50
Máximo		56.00	58.00	68.00	55.00

Fuente: Elaboración propia

3.1.5. Conductividad eléctrica

Figura 13
Niveles de Conductividad ($dS.m^{-1}$) según tratamiento



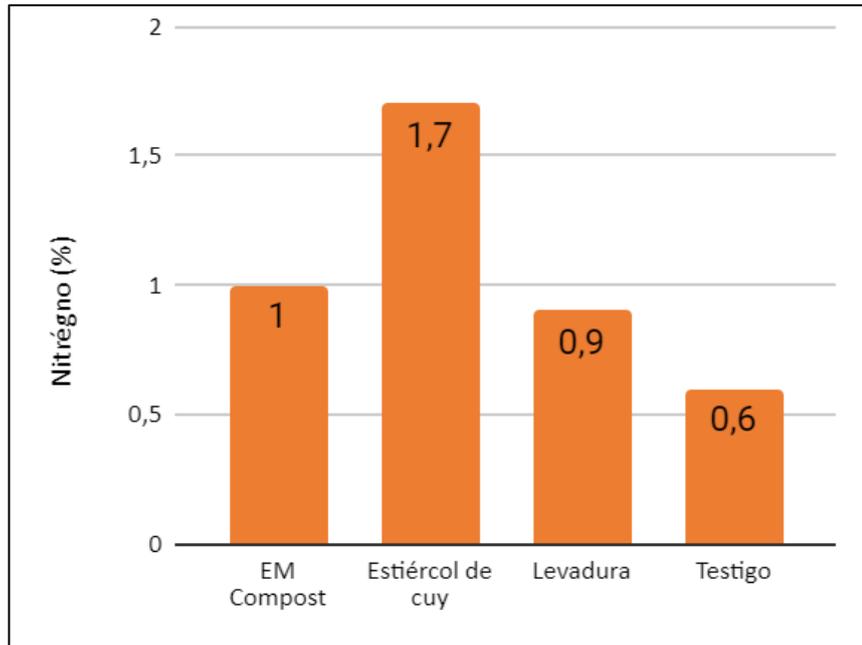
Nota. Elaboración propia

El compost resultante descrito en la figura 13 a partir de la transformación de residuos orgánicos utilizando diversos inóculos para acelerar el proceso de compostaje, se mantiene dentro de los parámetros establecidos por el IIAP. Este hecho puede atribuirse a la mínima acumulación de sales durante el tratamiento del compost. Un exceso de 4 en la acumulación de sales podría ocasionar deshidratación en las plantas si este compost se emplea como sustrato en plantaciones a pequeña escala. Es importante tener en consideración el tratamiento de cuy, que muestra una proximidad a este límite con un valor de 3.92.

3.1.6. Nitrógeno

En la figura 14 se evidencia que, en comparación con los tratamientos asistidos, el compost de control mantiene un nivel de 0.6 %, cifra que, según los estándares de la FAO, se mantiene dentro de un rango aceptable. No obstante, para el IIAP, no cumple con el rango óptimo, clasificándolo como compost de calidad B. Por otro lado, el estiércol de cuy, al presentar un valor del 1.7%, supera el rango recomendado por ambas entidades. En contraste, los tratamientos asistidos con EM Compost y levadura se consideran óptimos, dado que sus valores son de 1% y 0.9%, respectivamente.

Figura 14
Niveles de Nitrógeno (%) según tratamiento

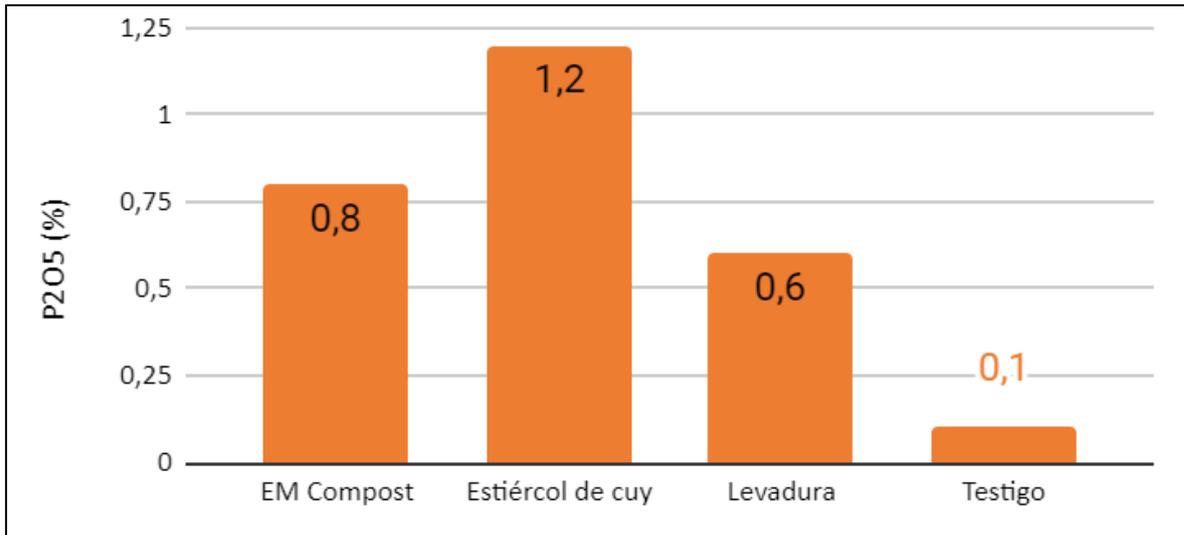


Nota. Elaboración propia

3.1.7. Fósforo en forma de Pentóxido de Fósforo - P_2O_5 (%)

La figura 15 muestra los resultados de los ensayos para determinar el contenido de fósforo en los 3 tratamientos. Según los estándares establecidos por la FAO y el IIAP, el contenido mínimo de fósforo debe ser de 0.1 y 0.4 respectivamente, con un máximo de 1.0. Se concluye que el estiércol de cuy supera el límite indicado por ambas organizaciones. En cuanto a los resultados de cada tratamiento, se observa que EM Compost cumple con un valor de 1.0, la levadura con 0.9 y el tratamiento testigo con 0.6.

Figura 15
Niveles de P_2O_5 (%) según tratamiento

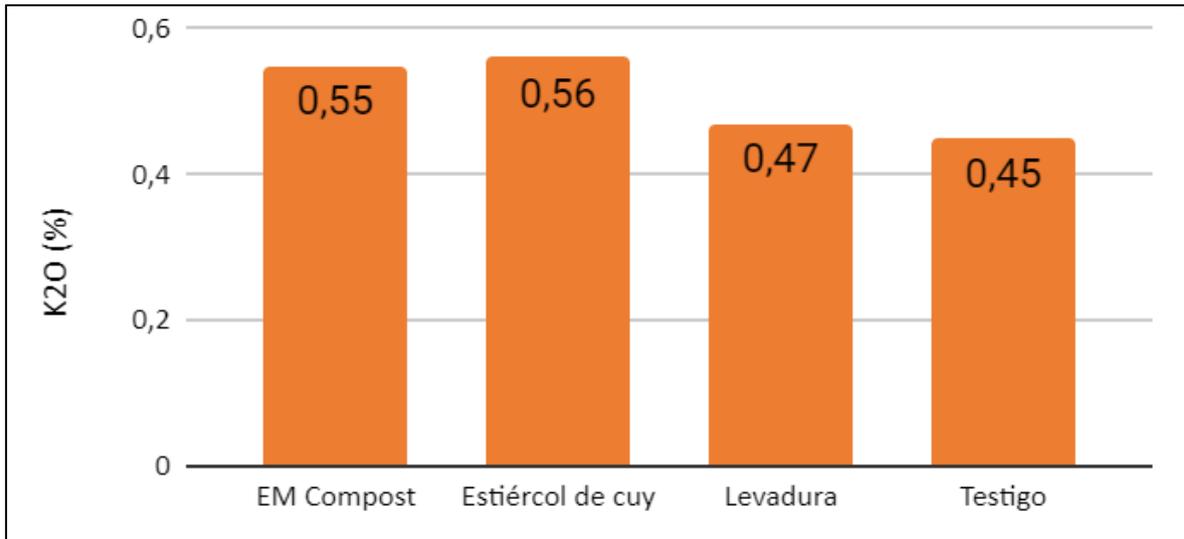


Nota. Elaboración propia.

3.1.8. Potasio en forma de óxido de potasio (K₂O)

Los valores establecidos por ambas instituciones señalan un rango mínimo del 0.3% y 0.6% según la FAO y el IIAP respectivamente, además de un límite máximo de 1.0% y 1.5%. Al observar la figura 16, se concluye que todos los tratamientos se mantienen dentro de este rango, oscilando desde el 0.45% mínimo del tratamiento testigo hasta el 0.56% del tratamiento con estiércol de cuy.

Figura 16
Niveles de F2O5(%) según tratamiento

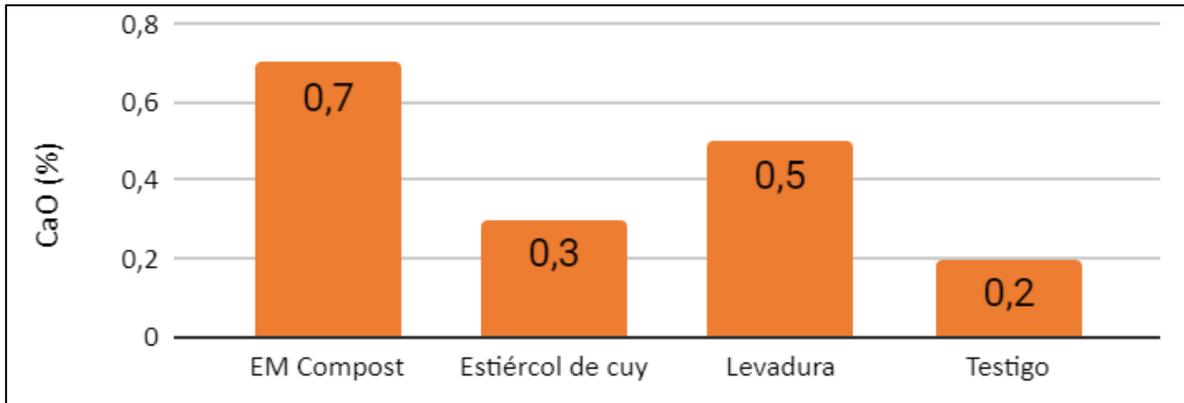


Nota. Elaboración propia

3.1.9. Calcio en forma de Óxido de Calcio – CaO (%)

En la figura 17 se representa el rango de valores resultantes del análisis de laboratorio, con el tratamiento testigo mostrando el valor más bajo (0.2) al no haber sido inoculado con ningún agente acelerador. El valor máximo (0.7) se observa en el tratamiento de EM Compost. Los parámetros normados por las instituciones mencionan que los valores mínimos deben ser de 0.3 (FAO) y 0.6 (IIAP), además de no exceder el límite de 1.0 y 1.5 respectivamente. Todos los valores obtenidos (EM Compost: 0.7%, Estiércol de cuy: 0.3%, Levadura: 0.5% y Testigo: 0.2%) se encuentran dentro de este rango establecido por las normativas.

Figura 17
Niveles de CaO (%) según tratamiento

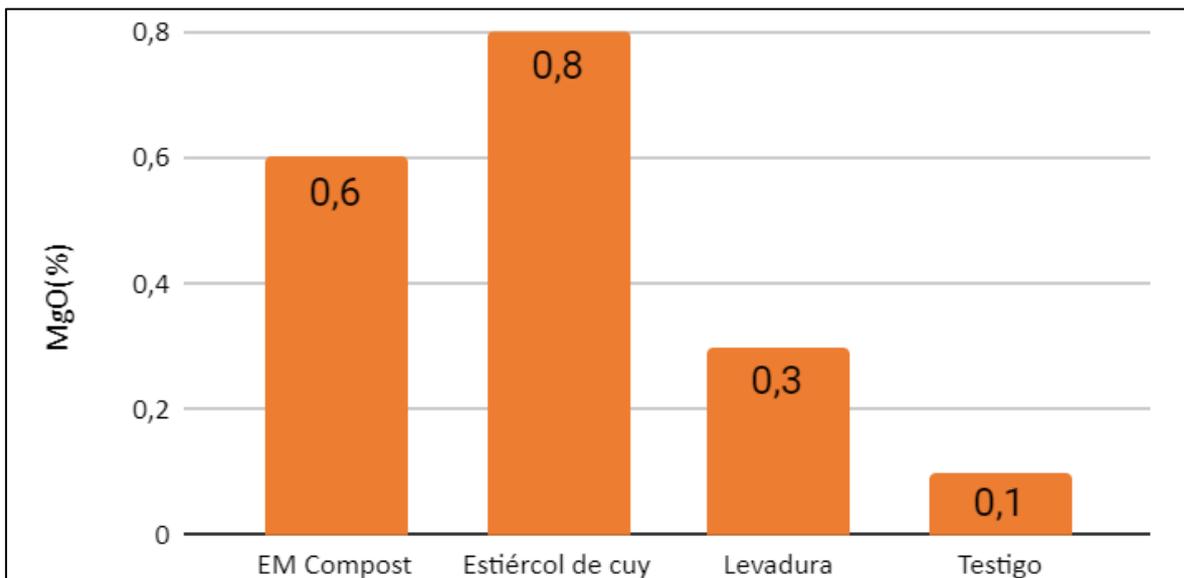


Nota. Elaboración propia

3.1.10. Magnesio

Tomando en cuenta las directrices de la IIAP, que establecen un valor mínimo de 0.2% y un máximo de 0.7% para considerar aceptable un compost, se observa, de acuerdo a la figura 18, que el tratamiento testigo no cumple con el porcentaje mínimo al presentar un valor de 0.1%. En contraste, el estiércol de cuy registra un valor de 0.8%, indicando un exceso en relación al máximo establecido. Por otro lado, se destaca que los tratamientos con EM Compost y levadura se mantienen dentro del rango normativo.

Figura 18
Niveles de MgO (%) según tratamiento



3.1.11. Rendimiento de tratamientos

La determinación de la estabilización en el proceso de compostaje se fundamenta en el parámetro de temperatura, el cual debe mantenerse en el rango de temperatura ambiente. Desde la undécima semana, se constata que los tratamientos con microorganismos eficientes, utilizando EM Compost, y con levadura lograron alcanzar las temperaturas óptimas, situadas entre 20 y 25 °C.

En particular, siguiendo el análisis de la Tabla N°5, el tratamiento con estiércol de cuy se aproximó al límite superior de este rango, registrando 25.4 °C en la semana 11. Sin embargo, en los primeros días de la semana 12, experimentó un descenso progresivo hasta estabilizarse en 23.5°C. En contraste, el tratamiento testigo presentó el valor más elevado, alcanzando los 24.1°C, y requirió más tiempo para estabilizar el parámetro de temperatura. En virtud de este comportamiento, se infiere que el tratamiento testigo exhibió un menor grado de degradación en los residuos sólidos tratados.

Considerando lo anterior, se presenta la Tabla N°11, que detalla la cantidad de días necesarios para alcanzar un estado de compost maduro, basándose en la estabilización de la temperatura en los diferentes tratamientos.

Tabla 11

Cantidad de días para maduración de compost por tratamiento

Tratamiento	Días de estabilización
Microorganismos eficientes	75
Estiércol de cuy	80
Levadura	77
Testigo	84

Nota. Elaboración propia

Posterior a la conclusión de los tratamientos, se llevó a cabo un análisis del porcentaje de degradación de cada uno de ellos, los cuales se detallan en la Tabla N°12. La evaluación de eficacia implica comparar el porcentaje de degradación logrado frente a otros tratamientos ejecutados. El tratamiento con microorganismos eficientes, utilizando EM Compost, destacó al alcanzar un porcentaje de degradación del 42.60% en un lapso de 75 días. Este resultado superó de manera significativa los valores obtenidos por los demás tratamientos, consolidándolo como el enfoque óptimo en términos de descomposición de residuos orgánicos. En contraste, el tratamiento con levadura alcanzó un 39.60% de degradación, el estiércol de cuy logró un 35.20%, y el tratamiento testigo obtuvo un 30.80%. Estos datos subrayan la eficacia distintiva de los microorganismos eficientes en el proceso de descomposición de residuos orgánicos.

Estos resultados proporcionan una evaluación cuantitativa de la eficacia de cada tratamiento en el proceso de degradación de los residuos sólidos tratados, ofreciendo datos fundamentales para la comprensión global de los impactos ambientales y la efectividad de las estrategias implementadas.

Tabla 12
Cantidad de días para maduración de Compost por tratamiento

Tratamiento	Masa inicial (kg)	Masa final (kg)	Porcentaje de degradación (%)
EM Compost	50	28.7	42.60
Estiércol de cuy	50	32.4	35.20
Levadura	50	30.2	39.60
Testigo	50	34.6	30.80

Nota. Elaboración propia

3.1.12. Tratamiento de datos

En la Tabla N°13 se presenta la comparativa de los resultados obtenidos para cada parámetro, contrastándolos con los valores mínimos y máximos establecidos por la FAO y el IIAP.

Tabla 13

Comparativa de resultados frente a parámetros normados mínimos y máximos

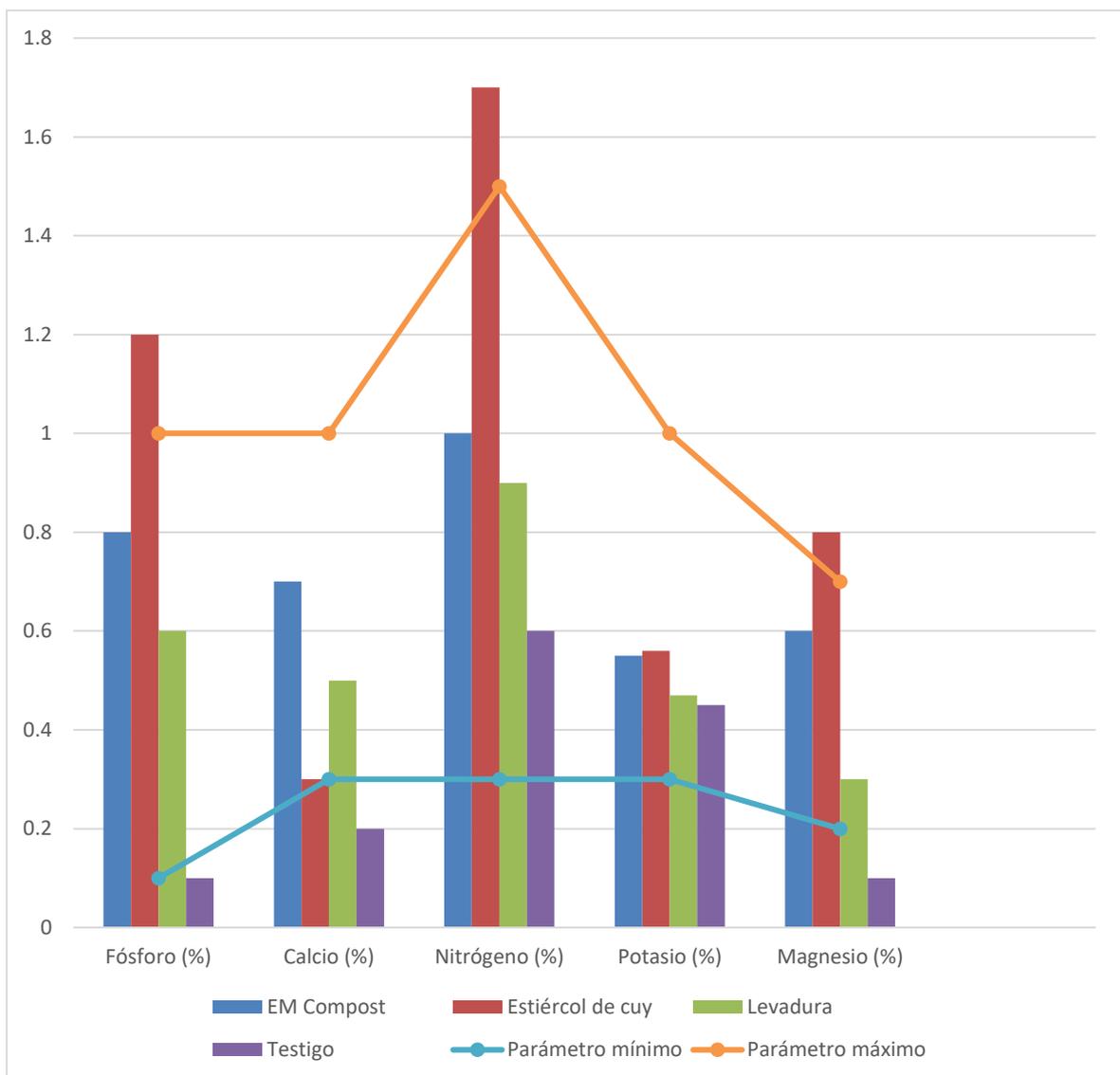
Tratamiento	pH	temperatura (°C)	Humedad (%)	Conductividad (dS.m-1)	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)	Calcio (%)	Magnesio (%)
EM Compost	7.88	20.8	46	3.35	1	0.8	0.55	0.7	0.6
Estiércol de cuy	8.05	23.5	41	3.92	1.7	1.2	0.56	0.3	0.8
Levadura	8.11	21.5	45	3.25	0.9	0.6	0.47	0.5	0.3
Testigo	8.01	24.1	42	3	0.6	0.1	0.45	0.2	0.1
Parámetro mínimo	6.5	20	30	2	0.3	0.1	0.3	0.3	0.2
Parámetro máximo	8.3	25	40	4	1.5	1	1	1	0.7

Nota. Elaboración propia

En consecuencia, se exhibe la Figura N°19, la cual ilustra la comparación de datos entre los valores obtenidos y los parámetros mínimos y máximos establecidos para cada uno de ellos trabajados en porcentajes. Se destaca que el tratamiento con estiércol de cuy supera los niveles de fósforo, nitrógeno y magnesio.

Figura 19

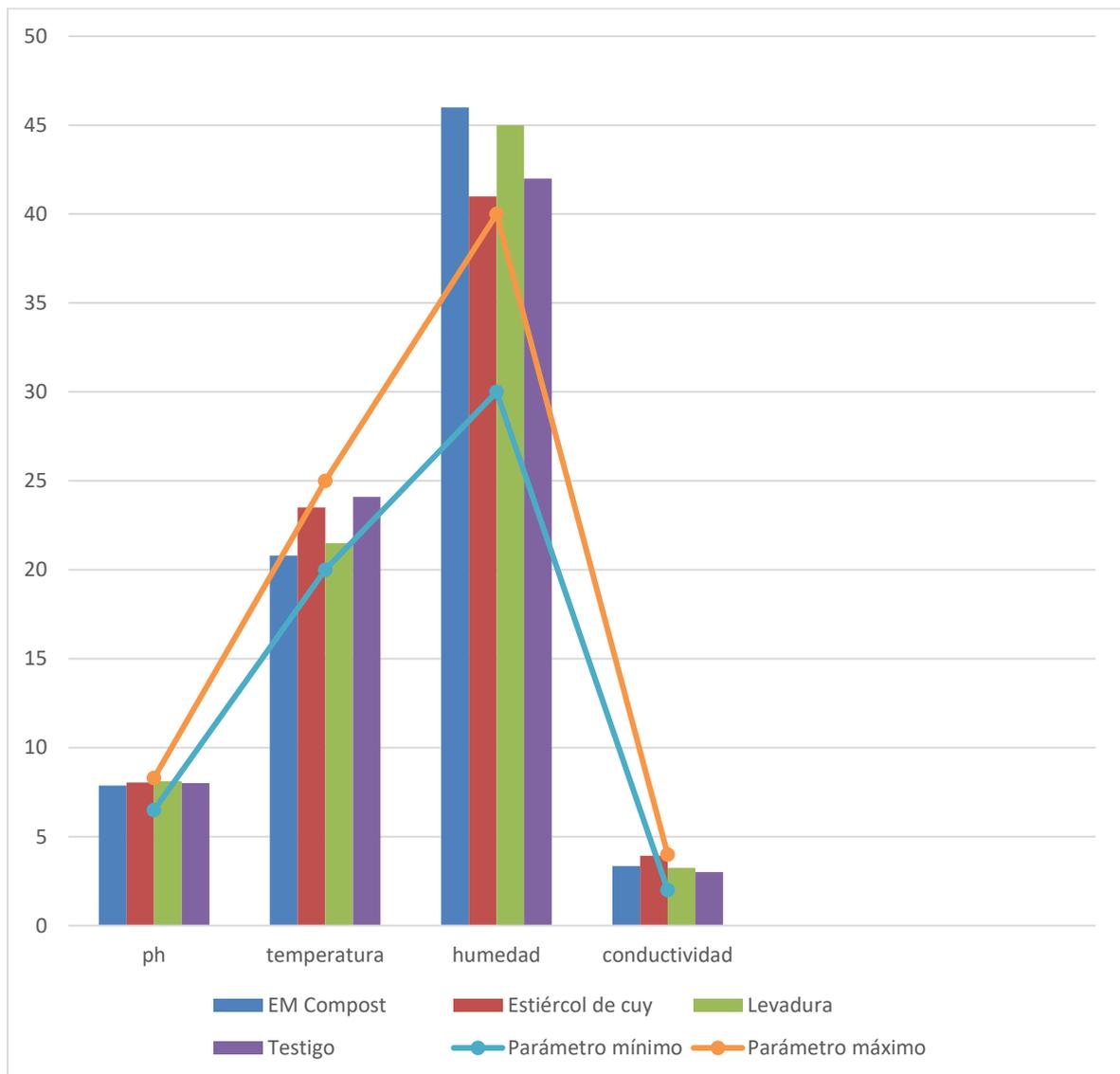
Comparación de Tratamientos con valores mínimos y máximos de parámetros medidos en porcentaje



Nota. Elaboración propia.

Además, en la Figura N°20 se presentan los parámetros analizados en unidades. En este mismo contexto, se evaluaron los valores máximos y mínimos recomendados, destacando que ningún tratamiento se mantuvo dentro de los rangos permitidos para la humedad.

Figura 20
Niveles de Conductividad ($dS.m^{-1}$) según tratamiento



Nota. Elaboración propia.

En la Tabla N°14 se confirma que, al tener en cuenta los parámetros normalizados, el tratamiento que utiliza microorganismos eficientes se posiciona como el más adecuado en términos de tiempo para obtener compost, seguido por el tratamiento de levadura. Estos dos métodos se destacan como las opciones más viables para la obtención de compost en un período más breve y con una calidad superior.

Tabla 14
Matriz Comparativa de Eficiencia de Tratamientos: Parámetros, Rendimiento y Tiempo de Compostaje

Parámetro	Em Compost	Estiércol De Cuy	Levadura	Testigo
pH	1	1	1	1
Temperatura	1	1	1	1
Humedad	0	0	0	0
Conductividad	1	1	1	1
Nitrógeno	1	0	1	1
Fósforo	1	0	1	1
Potasio	1	1	1	1
Calcio	1	1	1	0
Magnesio	1	0	1	0
Subtotal	8	5	8	6
Rendimiento	1	0	0	0
Tiempo	1	1	1	1
TOTAL	18	11	17	13

Nota. Se considera rendimiento óptimo a los tratamientos con una velocidad de degradación superior al 40%. Además, en cuanto al tiempo, se consideran eficientes aquellos tratamientos cuyo período de estabilización no excede los 90 días.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Al evaluar la relación carbono/nitrógeno y el proceso de descomposición de residuos orgánicos, es necesario tomar en cuenta los lineamientos proporcionados por El Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Investigación (2022), donde se subraya la importancia del cálculo, ya que el equilibrio en esta relación implica la presencia adecuada de otros nutrientes necesarios como fósforo (P), potasio (K), azufre (S) y calcio (Ca). Por lo tanto, se llevó a cabo el cálculo inicial de la relación carbono-nitrógeno a partir de la caracterización de los residuos a degradar. Posteriormente, estos residuos se distribuyeron para su tratamiento correspondiente con los inóculos. En el proceso, se incluyeron los residuos generales, lo que resultó en una relación carbono/nitrógeno final de 50.4:1. Además, es relevante destacar las aportaciones de relación carbono-nitrógeno (C:N) para cada uno de los tratamientos específicos, que son las siguientes: EM Compost (30:1), estiércol de cuy (22.7:1) y levadura (8:1). Asimismo, en la "NTP 201.208:2021. FERTILIZANTES. Compost a partir de residuos sólidos orgánicos municipales. Requisitos, 1ª Edición", se especifica la necesidad de presentar resultados de laboratorio de diversos ensayos, tales como Coliformes fecales, *Salmonella spp*, Humedad, Relación carbono/nitrógeno, Conductividad eléctrica, pH, Metales pesados, y Huevos de helmintos (parásitos). Sin embargo, estos análisis representaron una limitación en el presente estudio debido a las restricciones de recursos, ya que no todos los laboratorios consultados contaban con todos los parámetros mencionados. En su lugar, se optó por utilizar las normas indicadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), así como los parámetros establecidos por el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana

(IIAP) en Iquitos, como alternativa viable, ajustándose a las posibilidades y alcances del proyecto.

En relación con la velocidad de degradación de los residuos orgánicos, se implementaron tres tratamientos distintos que involucraron el uso de inóculos en diferentes concentraciones para acelerar el proceso de descomposición. De acuerdo con los hallazgos de Quevedo & Chavarro (2020), en su diseño experimental, se observó una disminución del 44% en el volumen de residuos en un período de tres meses al aplicar microorganismos eficientes en diversas proporciones, concretamente, 1-2 litros de microorganismos eficientes (EM) por cada 10 litros de agua, acompañados de adiciones de melaza en una relación de 1 kg de melaza por cada 10 litros de agua. En contraste, el tratamiento que no incluyó la aplicación de inóculo mantuvo una reducción del 28% en tres meses y dos semanas.

En la misma línea, Arevalo y Barrera (2022) al realizar una comparación en el rendimiento de la degradación de residuos orgánicos utilizando microorganismos eficientes y microorganismos de montaña, llegaron a la conclusión de que los microorganismos eficientes lograron compostar el 49.37% de los residuos sólidos, en contraste con el 39.38% compostado por los microorganismos de montaña. En el marco de la presente investigación, se aplicó una dosis tecnificada de 1 litro de EM compost activado, con adiciones subsiguientes de 6 litros de EM cada quince días. Estas condiciones se alinearon con un enfoque de compostaje, indicando una degradación más rápida, aunque no equivalente. Se obtuvo un porcentaje de degradación del 42.60% para los microorganismos eficientes, 39.60% para la levadura, 35.20% para el estiércol de cuy y 30.80% para el tratamiento testigo. Se consideraron como efectivos aquellos tratamientos que superaron el umbral del 40% de degradación, destacándose especialmente el tratamiento de microorganismos

eficientes mediante el uso de EM Compost. Estos resultados subrayan la eficacia de la dosificación aplicada y respaldan la preferencia por los microorganismos eficientes en el proceso de compostaje.

Es importante destacar que, aunque el proceso de tratamiento se llevó a cabo en 12 semanas para todos los tratamientos presentados, no todos ellos alcanzaron valores óptimos. Esto se asemeja a los resultados obtenidos en la investigación de Mejia y Melendez (2022), donde se observó que el tratamiento T4 (suero de leche y melaza) destacó como el más eficiente, completando el proceso en 60 días con un rendimiento del 95.33%. Le siguió el tratamiento T2 (levadura y melaza) con 67 días y un rendimiento del 93.33%. A continuación, el T3 (suero de leche y levadura) requirió 74 días con un rendimiento del 90%, y finalmente, el T1 (control) demandó un tiempo más prolongado, 81 días, con un rendimiento del 66.66%. En relación a estos hallazgos, el tratamiento con EM Compost demostró una mayor degradación de los residuos durante el proceso de tratamiento, lo que guarda relación con la investigación de los autores, ya que el procedimiento para la activación de los EM Compost implica la intervención de melaza y la participación de microorganismos presentes en el suero de leche.

En respuesta a la necesidad de analizar el comportamiento de los diferentes tratamientos para la obtención de compost, se implementó el seguimiento de parámetros con el fin de evaluar su eficacia, junto con un análisis de laboratorio subsiguiente.

En el contexto de la presente investigación, se realizó un estudio para la obtención de compost mediante la implementación de tres tratamientos y un grupo de control a lo largo de un período de doce semanas. Durante este proceso, se observó que el tratamiento con EM Compost exhibió niveles significativamente superiores en el aumento de temperatura, alcanzando un pico de 62.8 °C. Este aumento de temperatura permitió diferenciar claramente

la fase mesófila durante las dos primeras semanas en comparación con los otros tres tratamientos, los cuales registraron temperaturas que oscilaron entre 43.8 °C (en el caso del estiércol de cuy) y 48.6 °C (en el caso del EM Compost).

Este hallazgo encuentra respaldo en la investigación presentada por Chaparro, Vera, Herera, & Barahona (2020) donde se señala que la temperatura máxima de fermentación al elaborar compost con la adición de Microorganismos Eficientes alcanzó los 53 °C a los 20 días, mientras que, sin dicha adición, la temperatura máxima fue de 45 °C a los 45 días. Además, de acuerdo con lo descrito por Román, Martínez y Pantoja (2013), la fase termofílica comienza a partir de los 45°C y, a partir de los 60°C, se logra la eliminación de contaminantes de origen fecal, quistes y huevos de helminto.

No obstante, el estudio realizado por Coyachamín (2021) señala que en el caso de residuos que contienen estiércol, se caracterizan por presentar un elevado contenido de carbono (C) y nitrógeno (N), lo cual favorece el logro de temperaturas significativamente altas durante el proceso de compostaje. Es precisamente por esta razón que se observa una marcada diferencia entre la temperatura registrada en la semana 2 (43.8°C) y la semana 3 (61.5°C) en el tratamiento con estiércol de cuy, evidenciando un notable aumento de 17.7°C, lo que marca el inicio de la fase termofílica en dicho tratamiento.

Al analizar el registro de las semanas para los tres tipos de tratamiento, se determinó que el tratamiento con EM Compost inició su fase termofílica a partir de la semana 1, con una temperatura de 47.8°C. Por otro lado, el tratamiento con levadura y el grupo de control comenzaron a alcanzar temperaturas termofílicas de 45.5°C y 46.6°C, respectivamente, a partir de la semana 2. Mientras tanto, el tratamiento con estiércol de cuy inició su fase termofílica en la semana 3, con una temperatura de 61.5°C, precedida por un valor de 43°C

en la semana 2. En este sentido, se registra que el tratamiento con EM Compost mantuvo una etapa de higienización durante un período prolongado de 7 semanas.

Durante la evaluación de los parámetros monitoreados, se observa que la evolución de pH y temperatura, tal como se representa en las respectivas gráficas, no muestra una diferencia sustancial, ya que, aunque hay variaciones, estas no alcanzan valores significativamente divergentes. En contraste, el porcentaje de humedad presenta notables disparidades, siendo el estiércol de cuy el que registra el nivel más bajo de humedad durante el proceso.

Esta discrepancia en la humedad se encuentra respaldada por las conclusiones de Inga (2018), quien, al comparar tratamientos que involucran microorganismos eficientes comerciales (EM Compost) con aquellos que no los utilizan en la obtención de compost, señala que la temperatura puede variar significativamente entre ambos tratamientos, mientras que el pH y la humedad tienden a mantenerse en proximidad. La influencia en este estudio radica en que el porcentaje de humedad está influenciado por diversos factores, como la textura, estructura, porosidad, profundidad, contenido de materia orgánica y actividad biológica del material. Dado que el estiércol animal aporta un alto contenido de carbono y nitrógeno, la estructura de los residuos a tratar se ve afectada, lo que explica la divergencia en este parámetro.

Como se puede apreciar en la tabla 7, se ha llevado a cabo una comparación en el rendimiento de tres tratamientos diseñados para la degradación acelerada de los residuos orgánicos. Se observa que el tratamiento con EM Compost y levadura no cumple con el parámetro de humedad (%), mientras que el tratamiento con estiércol de cuy no alcanza los

porcentajes necesarios de nitrógeno, fósforo y magnesio. Por último, el tratamiento de control no cumple con el porcentaje de calcio.

En relación a este aspecto, Zarate (2019) destaca que el tratamiento con estiércol de cuy se enfoca principalmente en la degradación de metales pesados. Su investigación ha demostrado que existen diferencias mínimas entre el uso de estiércol de vacuno y estiércol de cuy en cuanto a la reducción del contenido de los diferentes metales pesados analizados, siendo siempre menor cuando se utiliza estiércol de cuy. Por otra parte, Chasquero (2019) señala que el tratamiento asistido de compost con pulpa de café y estiércol de cuy muestra un mayor rendimiento en términos de los parámetros de nitrógeno, fósforo, potasio, carbono, materia orgánica e intercambio catiónico.

Con respecto al rendimiento de los elementos NPK en cada uno de los tratamientos, se obtuvieron los siguientes porcentajes: EM Compost (N 1%, P 0.8%, K 0.55%), estiércol de cuy (N 1.7%, P 1.2%, K 0.56%), levadura (N 0.9%, P 0.6%, K 0.47%), y el grupo de control (N 0.6%, P 0.1%, K 0.45%).

Estos resultados se vinculan con la investigación realizada por Coyla (2018), quien describió el rendimiento de NPK en tratamientos que involucraban inóculos para acelerar el proceso de compostaje, donde la levadura se utilizó como agente. En este contexto, los tratamientos 3 (levadura) y 4 (levadura + suero de leche) mostraron los mejores rendimientos, con los siguientes valores: T4 (N 2.80%, P 1.13%, K 2.00%) y T-3 de levadura (N 2.80%, P 1.00%, K 1.71%). Estos resultados son relevantes en el contexto de la presente investigación.

Al comparar los resultados de los distintos tratamientos con las normativas proporcionadas por la FAO y el IIAP, se observa que en términos de nitrógeno (N), el

tratamiento de control no cumple con el rango óptimo, lo que lo clasifica como compost de calidad B según el IIAP. Por otro lado, el estiércol de cuy, al presentar un valor del 1.7%, supera el rango recomendado por ambas entidades. En este sentido, los tratamientos de EM Compost y levadura se encuentran dentro de los rangos óptimos.

En lo que respecta al parámetro de fósforo (P), el estiércol de cuy supera el límite indicado por ambas organizaciones. Sin embargo, los microorganismos eficientes cumplen con un valor de 0.8, la levadura con 0.6 y el tratamiento de control con 0.1.

Por último, en cuanto al porcentaje de potasio (K), se observa que todos los tratamientos se encuentran dentro de los rangos normados establecidos por las organizaciones mencionadas.

En este contexto, Mego y Rios (2022), en su investigación detallada sobre el manejo de los tratamientos para la obtención de compost utilizando microorganismos eficientes y estiércol de cuy, llegaron a la conclusión de que tanto las dosis mínimas como las excesivas no lograron cumplir con los estándares exigidos en relación a la materia orgánica, según la normativa chilena. Por lo tanto, sugieren la necesidad de evaluar y ajustar los tratamientos en concordancia con la bibliografía previamente validada, como se ha realizado en la presente investigación.

Así, al emplear diversos tratamientos con el propósito de acelerar los procesos de compostaje y proporcionar una solución a la creciente generación de residuos orgánicos y su impacto en los vertederos y basureros, Benavente y Quispe (2022), compartiendo la misma visión, optaron por aplicar varias tecnologías para el tratamiento de los residuos, incluyendo el vermicompostaje, pre-compost y compost. En sus resultados, determinaron que la tecnología de abono comercial a 250 gramos mostró el mejor rendimiento.

Este enfoque es similar al abordado en el presente trabajo, donde, a través de la evaluación y monitoreo de un conjunto de parámetros, se visualiza que la aplicación de un inóculo de microorganismos eficientes en una dosis de 1 litro por cada 10 litros de agua proporciona un rendimiento óptimo para la obtención de compost.

Con el propósito de anticipar posibles deficiencias al intentar replicar el presente estudio, se presentan las limitaciones del mismo. Principalmente, se destaca la restricción temporal, ya que se contó con un tiempo limitado tanto para la presentación del proyecto como para obtener los resultados provenientes del organismo encargado del análisis de las muestras de cada tratamiento. A su vez, se identifica otra limitante en la escasez de datos confiables referentes a la metodología expuesta en esta investigación, la cual emplea un sistema combinado de tratamiento cerrado y abierto junto con diferentes aceleradores biológicos.

En cuanto a las implicaciones del estudio, se ha logrado ampliar la literatura sobre los tratamientos asistidos con el objetivo de acelerar el proceso de degradación de la materia orgánica, considerando el comportamiento de dichos tratamientos desde su inicio hasta la fase de maduración. Además, se destaca que este estudio aporta una perspectiva empírica y teórica en relación con la velocidad y calidad de obtención de compost, al comparar tres tratamientos, con especial énfasis en su viabilidad económica en un entorno urbano.

4.2. Conclusiones

Dado que el compost se obtiene al concluir la fase de maduración, la cual se define al alcanzar la temperatura ambiente, los tratamientos con microorganismos eficientes y levadura exhibieron una estabilización temprana en la semana 11, registrando 22.1 °C y 23.7 °C, respectivamente. En contraste, el tratamiento con estiércol de cuy alcanzó una

temperatura ambiente de 23.5 °C en la semana 12, mientras que el tratamiento testigo llegó a 24.1 °C. Considerando que el tratamiento de microorganismos eficientes utilizando EM Compost logró un porcentaje de degradación del 42.60% en un periodo de 75 días, se concluye que este es el más óptimo, superando los valores obtenidos por los demás tratamientos.

A partir de la evaluación de tres tratamientos de compostaje (microorganismos eficientes, estiércol de cuy y levadura), se realizó el cálculo inicial de la relación C/N para su degradación. Esta relación se determinó a partir de la caracterización de los residuos a tratar, y se obtuvo una relación C/N final de 50.4:1. En conjunto, estos tratamientos demostraron ser efectivos en acelerar el proceso de descomposición de los residuos orgánicos. En particular, el tratamiento de microorganismos eficientes trabajados con una dosis de 1 litro de EM Compost por cada 10 litros de agua, se destacó al lograr temperaturas significativamente superiores durante las dos primeras semanas (semana 1: 47.8°C y semana 2: 48.6°C) indicando una fase mesófila temprana y una degradación más rápida, lo que a su vez ha acelerado el tiempo de descomposición de manera considerable.

En el seguimiento de los parámetros para evaluar la eficacia de cada uno de los tratamientos a lo largo de las 12 semanas, se observó que la evolución del pH y la temperatura no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. No obstante, se destacaron notables disparidades en el porcentaje de humedad y el porcentaje de degradación de materia orgánica final, siendo el estiércol de cuy el tratamiento que registró el nivel más bajo de humedad durante el proceso. Estas diferencias en la humedad están relacionadas con la composición y las características específicas de los residuos de estiércol animal, lo que contribuye a una menor humedad en el proceso.

Los resultados de la concentración de nutrientes en cada uno de los tratamientos exhibieron diferencias sustanciales en su calidad. Se pudo constatar que tanto el tratamiento con EM Compost como el de levadura no lograron cumplir con el requisito de humedad (%). En el contexto del estudio, se obtuvieron los siguientes porcentajes de NPK para cada tratamiento: EM Compost (N 1%, P 0.8%, K 0.55%), Estiércol de cuy (N 1.7%, P 1.2%, K 0.56%), Levadura (N 0.9%, P 0.6%, K 0.47%), y el grupo de control (N 0.6%, P 0.1%, K 0.45%). En lo que concierne al nitrógeno (N), los tratamientos de EM Compost y levadura se encuentran en línea con los estándares óptimos, asegurando así una calidad adecuada del compost en este aspecto. En cuanto al fósforo (P), tanto EM Compost, levadura como el tratamiento de control cumplen con los requisitos establecidos, lo que contribuye a la calidad del compost en términos de contenido de fósforo. Por último, en lo que respecta al potasio (K), se observa que todos los tratamientos se hallan dentro de los rangos normativos establecidos por las entidades pertinentes.

Referencias

- Arevalo, P., & Barrera, D. (2022). *Comportamiento de los Microorganismos de Montaña (MM) y Microorganismos Eficientes (EM) en la Producción de Compost Orgánico Urbano, Cacatachi, 2022*. Tarapoto: Universidad César Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/113594/Arevalo_CP A-Barrera_TD-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Barreros, E. (2017). *EFECTO DE LA RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO EN EL TIEMPO DE DESCOMPOSICIÓN DEL ABONO DE CUY (Cavia porcellus), ENRIQUECIDO*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25395/1/Tesis-157%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20479.pdf>
- Bazán, R. (2017). *Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego*. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego. https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/504/1/Bazan-Manual_de_procedimientos_de_los.pdf
- BBVA. (24 de Noviembre de 2022). *BBVA*. Retrieved 9 de Octubre de 2023, from BBVA: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-compost-y-cuales-son-sus-fases-el-poder-del-suelo-vivo/>
- Becerra, G. (2022). *Valorización de Residuos Orgánicos Municipales y su Compostaje Mediante el Método Takakura, Distrito de San Jerónimo, Andahuaylas 2022*. Universidad César Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/91948/Becerra_HGM-SD.pdf?sequence=1
- Benavente, N., & Quispe, L. (2022). *Evaluación de la Efectividad de Tres Tecnologías de Compost, Vermicompost y Precompostaje a Partir del Acopio de Residuos Sólidos Orgánicos para su Aprovechamiento Como Abono en Cultivos Agrícolas en el Distrito de Cerro Colorado - Arequipa 2022*. Universidad Católica de Santa María. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/12188>

- BioPunto. (2019). *PROCESO DE COMPOSTAJE CON EM™*. EM Research Organization Inc. .
- Bósleman, B., & Collantes, M. (2022). *Eficacia de los Microorganismos Eficientes en la producción de abono orgánico, en la Urbanización Santa Lucía, distrito de Morales, San Martín*. Universidad Peruana La Unión. https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/5689/Brecia_Tesis_Licenciatura_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chaparro, E., Vera, M., Herera, F., & Barahona, J. (2020). Utilización de microorganismos eficientes para la elaboración de compost a partir de residuos orgánicos. *Sincretismo - Revista de Divulgación Científica*, 01(001), 45-48. <https://revistas.unam.edu.pe/index.php/sincretismo/article/view/34/20>
- Chasquero, Á. (2019). *Análisis de la reactividad del compost de pulpa de café y estiércol de cuy, en la provincia de Jaén*. Jaén: Universidad Nacional de Jaén. http://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/153/1/Chasquero_TAR.pdf
- Chasquero, Á. (2019). *Análisis de la reactividad del compost de pulpa de café y estiércol de cuy, en la provincia de Jaén*. Universidad Nacional de Jaén. http://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/153/1/Chasquero_TAR.pdf
- Coronel, A., & Ramón, G. (2022). Planta de compostaje y reciclaje para la gestión de residuos sólidos en Río Blanco, Ecuador. *Dominio De Las Ciencias*, 8(1), 222-247. <https://doi.org/https://doi.org/10.23857/dc.v8i1.2487>
- Coyachamín, J. (2021). *Diseño de un biorreactor para la obtención de compost a partir de hojas de mora y estiércol de cuy para el grupo de investigación ENAMPROD de la facultad de Mecánica*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14896/1/96T00612.pdf>
- Coyla, Y. (2018). *Optimización del proceso de compostaje de residuos sólidos orgánicos de los mercados de la ciudad de Juliaca mediante la impermeabilización con geomembrana y la aplicación de activadores biológicos (sueros de leche y levadura) - 2018*. Juliaca: Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez". http://repositorio.uancv.edu.pe/bitstream/handle/UANCV/2982/T036_47970899_T.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Digital, S. d. (20 de marzo de 2023). *Plataforma Nacional de Datos Abiertos*. Plataforma Nacional de Datos Abiertos: <https://www.datosabiertos.gob.pe/dataset/generacion-anual-de-residuos-solidos-municipales/resource/1a23ea76-e847-49a8-8cd6#{}>

Hernández, A. G., Gracida, J., & López, V. (2008). *EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN CARBONO:NITROGENO PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO DE PROPAGACION DE Aureobasidium pullulans EN LA PRODUCCIÓN DE ACIDO GLUCÓNICO*. Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería. <https://smbb.mx/congresos%20smbb/queretaro11/TRABAJOS/trabajos/V/carteles/CV-42.pdf>

Herrera, M., Valiente, Y., Garibay, J., & Herrera, S. (2023). Manejo de residuos sólidos en la gestión municipal: Revisión sistemática. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria KOINONIA*, VIII(16), 150-170. <https://ve.scielo.org/pdf/raiko/v8n16/2542-3088-raiko-8-16-150.pdf>

INACAL. (6 de junio de 2022). Inacal aprobó Norma Técnica sobre los requisitos del compost elaborado a partir de residuos sólidos orgánicos municipales. *Gobierno del Perú*, págs. 1-2. <https://www.gob.pe/institucion/inacal/noticias/616950-inacal-aprobo-norma-tecnica-sobre-los-requisitos-del-compost-elaborado-a-partir-de-residuos-solidos-organicos-municipales>

INEI. (2019). 5. *Residuos Sólidos*. Instituto Nacional de Estadística. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1756/cap05.pdf

Inga, J. (2018). *EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS PECUARIOS EN COMPOSTERAS, MEDIANTE MICROORGANISMOS EFICIENTES PRESENTES EN LA COL CHINA, JULIO 2017 – JULIO 2018*. Universidad de Huánuco. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UDHR_f62f58f8fed54991dd7d7c4e9e8dbd46/Description#tabnav

Llenque, L. (2023). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta productora de biol a partir del estiércol de cuy*. Universidad de Lima.

<https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20.500.12724/18315#:~:text=Para%20su%20elaboraci%C3%B3n%20se%20recomienda,como%20vaca%2C%20cerdo%20o%20caballo.>

Mager, U., Ibarretxe, L., Lejarzegi, X., Mayora, H., Escudero, A., Artetxe, A., & Ruiz, R. (2012). *Compostaje de estiércoles en agricultura ecológica*. Fondo Europeo de Desarrollo Regional. https://www.biolur.eus/documentos/descargas/Guia_de_compostaje_final_cast.pdf

Mego, C., & Rios, I. (2022). *Aprovechamiento de cáscara de sachá inchi incorporando estiércol de cuy y microorganismos eficientes en la producción de compost, Banda de Shilcayo 2022*. Tarapoto: Universidad César Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/102827/Mego_TCJ-Rios_UIL-SD.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Mejia, D., & Melendez, R. (2022). *Elaboración de compost con materia orgánica generada en el mercado Central Ambo, mediante el uso de aceleradores biológicos, Ambo, 2022*. Lima: Universidad César Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/112895/Mejia_ADM-Melendez_SRJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

MINAM. (2013). *Programa Nacional de Segregación en la Fuente y Recolección Selectiva de Residuos Sólidos Domiciliarios*. MINAM. https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_publica/capacita/PI2013_MINAM_DGCA_TipoA.pdf

MINAM. (2014). *Guía para el muestreo de Suelos*. Lima: Dirección General de Calidad Ambiental. <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf>

MINAM. (2014). *GUÍA PARA EL MUESTREO DE SUELOS*. Ministerio del Ambiente. <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf>

- MINAM. (2022). *Decreto Supremo que modifica el Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, aprobado mediante Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, y el Reglamento de la Ley N° 29419, Ley que re. El Peruano.*
- MINAM. (2023). *Indicador 3.2: Porcentaje de residuos sólidos orgánicos municipales valorizados*. Ministerio del Ambiente. https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_publ/migl/pi/Indicador_3_2.pdf
- MINCIT. (2019). *PIENSA UN MINUTO ANTES DE ACTUAR : GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS*. MINCIT. <https://www.mincit.gov.co/getattachment/c957c5b4-4f22-4a75-be4d-73e7b64e4736/17-10-2018-Uso-Eficiente-de-Recursos-Agua-y-Energi.aspx>
- MITECO. (2001). *Sistemas de tratamiento*. MITECO. MITECO: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/tratamientos-biologicos-compostaje.html>
- MITECO. (2023). *Sistemas de tratamiento*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/tratamientos-biologicos-compostaje.html>
- Morales, F. (2012). *Conozca 3 tipos de investigación: Descriptiva, Exploratoria y Explicativa*. Universidad para la Cooperación Internacional. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w23919w/Conozca%203%20tipos%20de%20investigaci_%B3n.pdf
- Morales, N. (2015). *Investigación Exploratoria: Tipos, Metodología y Ejemplos*. Lifeder. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/64537756/Investigaci%C3%B3n_Exploratoria-libre.pdf?1601263412=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DInvestigacion_Exploratoria_Tipos_Metodol.pdf&Expires=1697419309&Signature=Z0s7ynuhJrBhEFhPRTpF99MjqUM52d
- Otero, A. (2018). *ENFOQUES DE INVESTIGACIÓN*. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/profile/Alfredo-Otero->

- Ortega/publication/326905435_ENFOQUES_DE_INVESTIGACION/links/5b6b7f9992851ca650526dfd/ENFOQUES-DE-INVESTIGACION.pdf
- Oviedo, E., Marmolejo, L., & Torres, P. (2013). INFLUENCIA DE LA FRECUENCIA DE VOLTEO PARA EL CONTROL DE LA HUMEDAD DE LOS SUSTRATOS EN EL COMPOSTAJE DE BIORRESIDUOS DE ORIGEN MUNICIPAL. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(1), 10. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v30n1/v30n1a8.pdf>
- Quevedo, J., & Chavarro, O. (2020). *Viabilidad técnica y económica del proceso de compostaje empleando microorganismos eficientes para el Jardín Botánico de Bogotá*. Universidad Distrital Francisco José de Calda. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/24841/ChavarroDazaOverEsneider-QuevedoUsecheJohanRicardo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramos, C. (2020). LOS ALCANCES DE UNA INVESTIGACIÓN. *CienciAmérica*, 9(3), 1-5. <http://201.159.222.118/openjournal/index.php/uti/article/view/336/621>
- Rivera, M., Caracela, E., & Morales, L. (2020). Proceso de compostaje por *Saccharomyces cerevisiae* en una institución educativa en Perú. *Revista Científica Electrónica de Ciencias Humanas*, 16(ESPECIAL), 11. <https://doi.org/https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7611500>
- Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). *MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR Experiencias en América Latina*. FAO. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Rosales, K., & Taipe, R. (2021). *Revisión sistemática de la aplicación de aditivos sobre la producción de compost doméstico*. Lima: Universidad César Vallejo.
- Sánchez, D. (2022). Técnicas e instrumentos de recolección de datos en investigación. *TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río*, 9(17), 38-39. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/tepexi/article/view/7928/8457>
- SENA. (2022). *El compostaje a partir de Microorganismos Eficientes*. SENNOVA.
- SINIA. (2019). *Minam: 70% de los residuos que generamos pueden convertirse en nuevos productos*. SINIA. <https://sinia.minam.gob.pe/novedades/minam-70-residuos-que->

generamos-pueden-convertirse-nuevos-
productos#:~:text=El%20compostaje%20o%20%20E2%80%9Ccomposting%E2%80%9D%20es,mejorar%20la%20calidad%20del%20suelo.

Tanya, M., & Leiva, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola*, 46(2), 93-103. <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v46n2/0253-5785-cag-46-02-93.pdf>

Triviño, J., Yolanda, R., & Sánchez, J. (2021). Subproductos generados en el tratamiento y valorización de residuos sólidos urbanos dentro del concepto de biorrefinería: una revisión sistemática. *Revista Ingeniería y Región*, 25, 60-74. <https://doi.org/10.25054/22161325.2783>

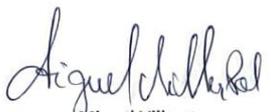
Velard, A. (2016). *Código de Ética del Investigador Científico UPN*. Lima: UPN. <https://www.upn.edu.pe/sites/default/files/documentos/codigo-etica-investigador-cientifico-upn.pdf>

Vizcaíno, P., Maldonado, I., & Cedeño, R. (2023). Metodología de la investigación científica: guía práctica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 9723-9762. https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7658

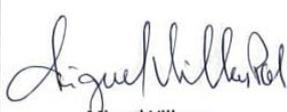
White, H., & Sabarwal, S. (2014). *Diseño y métodos cuasiexperimentales*. Florencia: CENTRO DE INVESTIGACIONES INNOCENTI DE UNICEF. <https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w24243w/Diseno%20y%20metodos%20cuasiexperimentales.pdf>

Zarate, R. (2019). *Mejoramiento del compost mediante la adición de estiércol de vacuno y de cuy para la disminución de la concentración de metales pesados en el CEPASC-Concepción*, 2018. Universidad Continental. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/6992/2/IV_FIN_107_TE_Zarate_Caja_2019.pdf

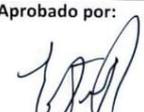
ANEXOS

Municipalidad de San Isidro					
Gerencia de Desarrollo Ambiental Sostenible					
Subgerencia de Gestión Ambiental Municipalidad de San Isidro					
Ubicación	Planta Piloto de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos		Programa	Programa de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos	
Registro de Datos Generales					
Tratamiento	Microorganismos Eficientes		Fecha de Elaboración	24/07/2023	
Dato del Responsable					
Nombre	David Montalvan Romani				
Ficha de Evaluación de Parámetros					
Fecha	ph	Temperatura (T°)	Humedad	Volteo	Observación
26/07/2023	6,06	22.5	55	No	Sigen abouizna
02/08/2023	6,42	47.8	56	S:	Cubierta Caída
07/08/2023	6,45	48.6	50	S:	Cubierta Caída
16/08/2023	7,28	62.8	52	S:	—
23/08/2023	7,45	60.5	54	S:	—
30/08/2023	7,46	55.6	50	S:	—
06/09/2023	7,50	53.2	52	S:	—
13/09/2023	7,52	47.5	50	S:	—
20/09/2023	7,57	42.3	53	S:	—
27/09/2023	7,80	32.7	50	S:	Cubierta Caída
04/10/2023	8,10	25.2	48	S:	—
11/10/2023	8,05	22.1	46	S:	—
18/10/2023	7,88	20.8	45	S:	—
Observaciones	Se observa influencia antropogénica, se observan desechos y residuos sólidos inorgánicos en los pillos de la Planta de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos, los contenedores se encuentran bajo sombra y cubiertos.				
Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:	
 David Montalvan Romani Técnico Ambiental		 Miguel Villena Profesional en Residuos Sólidos		 Enelinda Vega Janampa Coordinadora de Calidad Ambiental	



Municipalidad de San Isidro					
Gerencia de Desarrollo Ambiental Sostenible					
Subgerencia de Gestión Ambiental Municipalidad de San Isidro					
Ubicación	Planta Piloto de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos		Programa	Programa de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos	
Registro de Datos Generales					
Tratamiento	Estiércol de Cuy		Fecha de Elaboración	24/07/2023	
Dato del Responsable					
Nombre	David Montalvan Romani				
Ficha de Evaluación de Parámetros					
Fecha	ph	Temperatura (T°)	Humedad	Volteo	Observación
26/07/2023	6,25	27,5	55	No	Superficie húmeda
02/08/2023	6,38	43,7	50	Si	Contenedor Cerrado
09/08/2023	6,42	43,3	45	Si	Contenedor Cerrado
16/08/2023	7,15	61,5	43	Si	—
23/08/2023	7,34	58,5	40	Si	—
30/08/2023	7,49	57,3	44	Si	—
06/09/2023	7,52	55,7	40	Si	—
13/09/2023	7,62	48,2	45	Si	—
20/09/2023	7,83	43,1	48	Si	—
27/09/2023	7,95	36,4	40	Si	Contenedor Cerrado
04/10/2023	8,22	28,6	42	Si	—
11/10/2023	8,16	25,4	41	Si	—
18/10/2023	8,05	23,5	35	Si	—
Observaciones	Se observa influencia antropogénica, se observan residuos inorgánicos y desechos en las periferias de la Planta de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos. Los contenedores se encuentran bajo sombra y cubiertos.				
Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:	
					
David Montalvan Romani Técnico Ambiental		Miguel Villena Profesional en Residuos Sólidos		Enelinda Vega Janampa Coordinadora de Calidad Ambiental	



Municipalidad de San Isidro					
Gerencia de Desarrollo Ambiental Sostenible					
Subgerencia de Gestión Ambiental Municipalidad de San Isidro					
Ubicación	Planta Piloto de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos		Programa	Programa de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos	
Registro de Datos Generales					
Tratamiento	Levadura		Fecha de Elaboración	24/07/2023	
Dato del Responsable					
Nombre	David Montalvan Romani				
Ficha de Evaluación de Parámetros					
Fecha	ph	Temperatura (T°)	Humedad	Volteo	Observación
26/07/2023	6,32	22,6	60	No	aligena / Noizena
02/08/2023	6,40	43,6	68	Si	Contenedor Caido
09/08/2023	6,48	45,5	55	Si	Contenedor Caido
16/08/2023	7,25	59,6	52	Si	—
23/08/2023	7,40	60,3	48	Si	Contenedor Caido
30/08/2023	7,48	58,6	55	Si	—
06/09/2023	7,53	54,2	50	Si	—
13/09/2023	7,68	46,5	52	Si	—
20/09/2023	7,41	43,8	50	Si	—
27/09/2023	7,82	35,2	51	Si	Contenedor Caido
04/10/2023	8,20	28,3	48	Si	—
11/10/2023	8,23	23,7	45	Si	—
18/10/2023	8,11	21,5	45	Si	—
Observaciones	Se observa influencia antropogénica, se observan desechos y residuos de otros microorganismos en las plantas de la Planta piloto de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos. Los contenedores se encuentran bajo sombra y cubiertos.				
Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:	
 David Montalvan Romani Técnico Ambiental		 Miguel Villena Profesional en Residuos Sólidos		 Enelinda Vega Janampa Coordinadora de Calidad Ambiental	



Municipalidad de San Isidro					
Gerencia de Desarrollo Ambiental Sostenible					
Subgerencia de Gestión Ambiental Municipalidad de San Isidro					
Ubicación	Planta Piloto de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos		Programa	Programa de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos	
Registro de Datos Generales					
Tratamiento	Vertigo		Fecha de Elaboración	24/07/2023	
Dato del Responsable					
Nombre	David Montalvan Romani				
Ficha de Evaluación de Parámetros					
Fecha	ph	Temperatura (T°)	Humedad	Volteo	Observación
26/07/2023	6,26	22.0	56	No	Liger./húmeda
02/08/2023	6,40	40.3	58	Si	Contenedor Cuido
09/08/2023	6,45	46.6	50	Si	—
16/08/2023	7,23	58.8	49	Si	—
23/08/2023	7,40	59.6	47	Si	—
30/08/2023	7,47	56.3	48	Si	—
06/09/2023	7,52	55.5	46	Si	—
13/09/2023	7,61	48.3	48	Si	—
20/09/2023	7,70	44.1	50	Si	—
27/09/2023	7,86	40.5	48	Si	Contenedor Cuido
04/10/2023	8,17	32.6	45	Si	—
11/10/2023	8,15	26.7	42	Si	—
18/10/2023	8,01	24.1	40	Si	—
Observaciones	De diversa influencia antropogénica, se observan desechos y residuos sólidos inorgánicos en la perilla de la Planta Piloto de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos. Los contenedores se encuentran bajo sombra y cubiertos.				
Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:	
 David Montalvan Romani Técnico Ambiental		 Miguel Villena Profesional en Residuos Sólidos		 Enelinda Vega Janampa Coordinadora de Calidad Ambiental	

