



**Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión**  
**Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental**

**Fuentes de estiércol en la evaluación de algunas características del compost  
elaborado con residuos orgánicos municipales**

**Tesis**

**Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental**

**Autores**

**Mijael Rodolfo Reynalte Silva**  
**Helliane Hilari Ramirez Huaman**

**Asesor**

**Mg. Sc. Eroncio Mendoza Nieto**



Mg. Sc. Eroncio Mendoza Nieto  
INGENIERO AGRÓNOMO  
CIP. 45592

**Huacho – Perú**

**2026**



### **Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

**Reconocimiento:** Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



# UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

## LICENCIADA

Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020

"AÑO DE LA ESPERANZA Y EL FORTALECIMIENTO DE LA DEMOCRACIA"

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA, INDUSTRIAS ALIMENTARIAS Y AMBIENTAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

### INFORMACIÓN

DATOS DEL AUTOR(ES):		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	FECHA DE SUSTENTACIÓN
Mijael Rodolfo Reynalte Silva	72570806	30/04/2026
Helliane Hilari Ramirez Huaman	70127012	30/04/2026
DATOS DEL ASESOR:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CÓDIGO ORCID
Mg. Sc Eroncio Mendoza Nieto	06723932	<a href="https://orcid.org/0000-0002-4850-2777">https://orcid.org/0000-0002-4850-2777</a>
DATOS DE LOS MIEMBROS DE JURADOS – PREGRADO/POSGRADO-MAESTRÍA-DOCTORADO:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CÓDIGO ORCID
Dr. Segundo Rolando Alvites Vigo	26620605	<a href="https://orcid.org/0000-0002-6243-079X">https://orcid.org/0000-0002-6243-079X</a>
Dr. Fredesvindo Fernandez Herrera	40588728	<a href="https://orcid.org/0000-0003-2973-7973">https://orcid.org/0000-0003-2973-7973</a>
Mg. Hellen Yahaira Huertas Pomasoncco	46741141	<a href="https://orcid.org/0000-0002-4204-7320">https://orcid.org/0000-0002-4204-7320</a>

# 2026-020442 HELLIANE HILARI RAMIREZ HUAMAN...

## Fuentes de estiércol en la evaluación de algunas características del compost elaborado con residuos orgánicos ...

UI-FIAIAYA PREGRADO 2026  
Unidad de Investigación FIAIAYA-2026  
Facultad de Ingeniería Agrarias, Industrias Alimentarias y Ambiental

### Detalles del documento

Identificador de la entrega  
trn:oid::1:3512538531

Fecha de entrega  
20 mar 2026, 2:51 p.m. GMT-5

Fecha de descarga  
20 mar 2026, 2:59 p.m. GMT-5

Nombre del archivo  
FUENTES\_DE\_ESTIÉRCOL\_EN\_LA\_EVALUACIÓN\_DE\_ALGUNAS\_CARACTERÍSTICAS\_DEL\_COMPOST\_EL....pdf

Tamaño del archivo  
10.3 MB

140 páginas  
30.563 palabras  
158.807 caracteres



Página 2 de 152 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::1:3512538531

## 20% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

### Exclusiones

- ▶ N.º de coincidencias excluidas:

### Fuentes principales

19% Fuentes de Internet  
6% Publicaciones  
10% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

#### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitan distinguir de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y lo revise.

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo con todo mi cariño a mis queridos padres, Jessica Huamán de la Cruz y Wilver Ramírez Resurrección, quienes con su amor, esfuerzo y sacrificio hicieron posible que culminara mi carrera profesional. A mis pequeños hermanos, quienes son mi fortaleza y mi motivo de superación constante. Y a mi compañero de tesis, Mijael Rodolfo, gracias por acompañarme en este camino, por tu apoyo y por ser una parte importante de este logro.

*Helliane Hilari, Ramirez Huaman*

Dedico este trabajo con todo mi amor y gratitud a mi madre, quien ha sido mi mayor ejemplo de fortaleza, perseverancia y amor incondicional. A pesar de los obstáculos, nunca dejó de apoyarme ni de creer en mí, acompañándome desde el primer día de clases hasta la culminación de esta etapa tan importante de mi vida.

Gracias por enseñarme que, a pesar de las dificultades, la constancia y la fe en uno mismo son las claves para superar cualquier obstáculo y lograr las metas propuestas.

*Mijael Rodolfo, Reynalte Silva*

## AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por haberme abierto las puertas a esta hermosa carrera que despertó en mí una profunda vocación por el cuidado y la protección del medio ambiente. Extiendo también mi gratitud al bello distrito de Hualmay, que me brindó la oportunidad de desarrollar esta investigación y contribuir, desde mi formación, al conocimiento de su entorno.

***Helliane Hilari, Ramirez Huaman***

Extiendo mi profundo reconocimiento a mis familiares y amigos por su constante apoyo, comprensión y motivación a lo largo de mi formación académica universitaria, cuyo respaldo ha sido fundamental para el logro de esta meta.

De igual manera, manifiesto mi gratitud a la Municipalidad Distrital de Hualmay por las facilidades que se nos brindó para llevar a cabo la investigación dentro de su infraestructura y a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental por la transmisión de sus conocimientos, experiencias y valores, los cuales han contribuido significativamente con el presente proyecto. De igual manera es grato dirigirme a nuestro Asesor por su contribución, recomendación y experiencia el cual nos permitió culminar nuestro proyecto de investigación experimental.

***Mijael Rodolfo, Reynalte Silva***

## ÍNDICE

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>V</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XII</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>XIV</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XV</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>XVI</b>
<b>CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Descripción de la realidad problemática</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Formulación del problema</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2.1 Problema general</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2.2 Problemas específicos</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3 Objetivos de la investigación</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3.1 Objetivo general</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3.2 Objetivo específico</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4 Justificación de la investigación</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4.1 Justificación teórico</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4.2 Justificación práctico</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4.3. Justificación metodológica</b> .....	<b>4</b>
<b>1.5 Delimitación del estudio</b> .....	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 Antecedentes de la investigación</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1.1 Antecedentes internacionales</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1.2 Antecedentes nacionales</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2 Bases teóricas</b> .....	<b>10</b>
<b>2.3 Definición de términos básicos</b> .....	<b>20</b>
<b>2.4 Hipótesis de investigación</b> .....	<b>22</b>
<b>2.4.1 Hipótesis general</b> .....	<b>22</b>
<b>2.4.2 Hipótesis específicas</b> .....	<b>22</b>
<b>2.5 Operacionalización de las variables</b> .....	<b>23</b>

<b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>24</b>
<b>3.1 Diseño metodológico.....</b>	<b>24</b>
<b>3.1.1. Ubicación.....</b>	<b>24</b>
<b>3.1.2. Diseño experimental.....</b>	<b>25</b>
<b>3.1.3. Características de área experimental.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1.4. Tratamientos.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1.5. Variables a evaluar.....</b>	<b>27</b>
<b>3.1.6. Conducción del experimento.....</b>	<b>28</b>
<b>3.2 Técnicas para el procesamiento de la información.....</b>	<b>35</b>
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....</b>	<b>36</b>
<b>4.1 Análisis de la propiedad físico.....</b>	<b>36</b>
<b>4.2 Análisis de la propiedad químico.....</b>	<b>42</b>
<b>4.3 Análisis de la propiedad biológico.....</b>	<b>65</b>
<b>4.4 Contrastaciones de hipótesis.....</b>	<b>74</b>
<b>CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....</b>	<b>79</b>
<b>CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>82</b>
<b>6.1 CONCLUSIONES.....</b>	<b>82</b>
<b>6.2 RECOMENDACIONES.....</b>	<b>83</b>
<b>CAPÍTULO VII. REFERENCIAS.....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>91</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Requisitos del compost según NTP 201.208:2021, EPA (2006) y NCH2880: 2004.....	20
Tabla 2. Operacionalización de variables, dimensiones e indicadores.....	23
Tabla 3. Tratamientos del diseño de estudio .....	27
Tabla 4. Actividad del armado de las pilas de compostaje .....	32
Tabla 5. Control biológico de las pilas de compostaje .....	33
Tabla 6. Control físico y químico de las pilas de compostaje .....	33
Tabla 7. Resultados del análisis de humedad del compost .....	36
Tabla 8. Análisis de varianza de humedad del compost .....	36
Tabla 9. Prueba de Scott-Knott al 5% de humedad del compost .....	37
Tabla 10. Resultados del análisis de temperatura del compost.....	38
Tabla 11. Análisis de varianza de temperatura del compost .....	38
Tabla 12. Prueba de Scott-Knott al 5% de temperatura del compost .....	39
Tabla 13. Resultados del análisis de densidad aparente del compost .....	40
Tabla 14. Análisis de varianza de densidad aparente del compost .....	40
Tabla 15. Prueba de Scott-Knott al 5% de densidad aparente del compost .....	41
Tabla 16. Resultados del análisis de conductividad eléctrica del compost .....	42
Tabla 17. Análisis de varianza de conductividad eléctrica del compost .....	42
Tabla 18. Prueba de Scott-Knott al 5% de conductividad eléctrica del compost .....	43
Tabla 19. Resultados del análisis de pH del compost .....	44
Tabla 20. Análisis de varianza para el pH del compost .....	44
Tabla 21. Prueba de Scott-Knott al 5% para el pH del compost .....	45
Tabla 22. Resultados del análisis del plomo en el compost .....	46
Tabla 23. Análisis de varianza del plomo en el compost .....	46
Tabla 24. Prueba de Scott-Knott al 5% del plomo en el compost .....	47
Tabla 25. Resultados del análisis de cadmio en el compost .....	48
Tabla 26. Análisis de varianza del cadmio en el compost .....	48
Tabla 27. Prueba de Scott-Knott al 5% del cadmio en el compost .....	49
Tabla 28. Resultados del análisis de cromo en el compost .....	50
Tabla 29. Análisis de varianza para el cromo del compost .....	50
Tabla 30. Prueba de Scott-Knott al 5% para el cromo del compost .....	51

Tabla 31.	Resultados del análisis de arsénico en el compost .....	52
Tabla 32.	Análisis de varianza para el arsénico en el compost .....	52
Tabla 33.	Prueba de Scott-Knott al 5% del arsénico en el compost .....	53
Tabla 34.	Resultados del análisis de materia orgánica en el compost .....	54
Tabla 35.	Análisis de varianza de materia orgánica en el compost .....	54
Tabla 36.	Prueba de Scott-Knott al 5% de materia orgánica en el compost .....	55
Tabla 37.	Resultados del análisis de nitrógeno en el compost .....	55
Tabla 38.	Análisis de varianza de nitrógeno en el compost .....	56
Tabla 39.	Prueba de Scott-Knott al 5% de nitrógeno en el compost .....	56
Tabla 40.	Resultados del análisis de fósforo en el compost .....	57
Tabla 41.	Análisis de varianza de fósforo en el compost .....	58
Tabla 42.	Prueba de Scott-Knott al 5% de fósforo en el compost .....	58
Tabla 43.	Resultados del análisis de potasio en el compost .....	59
Tabla 44.	Análisis de varianza potasio en el compost .....	60
Tabla 45.	Prueba de Scott-Knott al 5% potasio en el compost .....	60
Tabla 46.	Resultados del análisis de calcio en el compost .....	61
Tabla 47.	Análisis de varianza de calcio en el compost .....	62
Tabla 48.	Prueba de Scott-Knott al 5% de calcio en el compost .....	62
Tabla 49.	Resultados del análisis de magnesio en el compost .....	63
Tabla 50.	Análisis de varianza de magnesio en el compost .....	64
Tabla 51.	Prueba de Scott-Knott al 5% de magnesio en el compost .....	64
Tabla 52.	Resultados del análisis de Coliforme total en el compost .....	65
Tabla 53.	Análisis de varianza para Coliforme total en el compost .....	66
Tabla 54.	Prueba de Scott-Knott al 5% para Coliforme total en el compost .....	67
Tabla 55.	Resultados del análisis de Coliforme fecal en el compost .....	68
Tabla 56.	Análisis de varianza sobre Coliforme fecal en el compost .....	68
Tabla 57.	Prueba de Scott-Knott al 5% sobre Coliforme fecal en el compost ...	69
Tabla 58.	Resultados del análisis de Escherichia coli del compost .....	70
Tabla 59.	Análisis de varianza de la Escherichia coli en el compost .....	70
Tabla 60.	Prueba de Scott-Knott al 5% de la Escherichia coli en el compost ...	71
Tabla 61.	Resultados del análisis de Salmonella SSP en el compost .....	71
Tabla 62.	Análisis de varianza sobre Salmonella SSP en el compost .....	72
Tabla 63.	Prueba de Scott-Knott al 5% de Salmonella SSP en el compost .....	72

Tabla 64.	Resultados de los tratamientos y sus comparaciones con normas nacionales e internacionales .....	74
Tabla 65.	P-01: Armado de la pila T1 del Bloque 01 .....	92
Tabla 66.	P-02: Armado de la pila T1 del Bloque 02 .....	92
Tabla 67.	P-03: Armado de la pila T1 del Bloque 03 .....	93
Tabla 68.	P-01: Armado de la pila T2 del Bloque 01 .....	93
Tabla 69.	P-02: Armado de la pila T2 del Bloque 02 .....	94
Tabla 70.	P-03: Armado de la pila T2 del Bloque 03 .....	94
Tabla 71.	P-01: Armado de la pila T3 del Bloque 01 .....	95
Tabla 72.	P-02: Armado de la pila T3 del Bloque 02 .....	95
Tabla 73.	P-03: Armado de la pila T3 del Bloque 03 .....	96
Tabla 74.	P-01: Armado de la pila T4 del Bloque 01 .....	96
Tabla 75.	P-02: Armado de la pila T4 del Bloque 02 .....	97
Tabla 76.	P-03: Armado de la pila T4 del Bloque 03 .....	97
Tabla 77.	S-01: Sectores de recolección de la muestra del estudio experimental	98
Tabla 78.	D-01: Dirección de recolección de residuos orgánicos parte 1.....	99
Tabla 79.	D-02: Dirección de recolección de residuos orgánicos parte 2.....	100
Tabla 80.	D-03: Dirección de recolección de residuos orgánicos parte 3.....	101
Tabla 81.	D-04: Dirección de recolección de residuos orgánicos parte 4.....	102
Tabla 82.	D-05: Dirección de recolección de residuos orgánicos parte 5.....	103
Tabla 83.	D-06: Dirección de recolección de estiércol de cuy, gallina y vaca ...	104
Tabla 84.	M-01: Monitoreo de T° y pH durante el proceso de armado de camas del bloque 1.....	105
Tabla 85.	M-02: Monitoreo de T° y pH durante el proceso de armado de camas del bloque 2.....	105
Tabla 86.	M-03: Monitoreo de T° y pH durante el proceso de armado de camas del bloque 3.....	105
Tabla 87.	B-01: Monitoreo de T° y pH de la descomposición del bloque 1 .....	106
Tabla 88.	B-01: Monitoreo de T° y pH de la descomposición del bloque 2 .....	107
Tabla 89.	B-01: Monitoreo de T° y pH de la descomposición del bloque 3 .....	108
Tabla 90.	Resultados del laboratorio de los parámetros físicos y químicos del compost.....	124
Tabla 91.	Resultados del laboratorio de los parámetros biológicos del compost	125

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje .....	12
Figura 2.	Mapa de la ubicación del proyecto de investigación .....	24
Figura 3.	Croquis del área experimental .....	26
Figura 4.	Modelo de la instalación experimental de las pilas de compost .	27
Figura 5.	Diagrama para la conducción del experimento .....	28
Figura 6.	Modelo de la pila de compost del proyecto .....	32
Figura 7.	Comparación de tratamientos de humedad del compost .....	37
Figura 8.	Comparación de tratamientos de temperatura del compost .....	39
Figura 9.	Comparación de tratamientos de densidad aparente del compost	41
Figura 10.	Comparación de tratamientos de conductividad eléctrica del compost .....	43
Figura 11.	Comparación de tratamientos de pH del compost .....	45
Figura 12.	Comparación de tratamientos sobre el plomo en el compost .....	47
Figura 13.	Comparación de tratamientos sobre cadmio en el compost .....	49
Figura 14.	Comparación de tratamientos sobre cromo en el compost .....	51
Figura 15.	Comparación de tratamientos sobre arsénico en el compost .....	53
Figura 16.	Comparación de tratamientos sobre materia orgánica en el compost .....	55
Figura 17.	Comparación de tratamientos sobre nitrógeno en el compost ....	57
Figura 18.	Comparación de tratamientos sobre fósforo en el compost .....	59
Figura 19.	Comparación de tratamientos sobre potasio en el compost .....	61
Figura 20.	Comparación de tratamientos sobre calcio en el compost .....	63
Figura 21.	Comparación de tratamientos sobre magnesio en el compost ....	65
Figura 22.	Comparación de tratamientos sobre Coliforme total en el compost .....	67
Figura 23.	Comparación de tratamientos sobre Coliforme fecal en el compost .....	69
Figura 24.	Comparación de tratamientos sobre Escherichia coli en el compost .....	71
Figura 25.	Comparación de tratamientos sobre Salmonella SSP en el compost .....	73

Figura 26.	Otorgamiento de permiso .....	109
Figura 27.	Reconocimiento del área de estudio y visita preliminar .....	110
Figura 28.	Inicio del Armado de las camas para el compost del Bloque 01 .	111
Figura 29.	Almacenamiento de estiércol de cuy, gallina y vaca .....	111
Figura 30.	Sellado de las camas de compost del Bloque 01 .....	112
Figura 31.	Inicio del Armado de las camas para el compost del Bloque 02 .	112
Figura 32.	Sellado de las camas de compost del Bloque 02.....	113
Figura 33.	Inicio del Armado de las camas para el compost del Bloque 03	113
Figura 34.	Sellado de las camas de compost del Bloque 03.....	114
Figura 35.	Medición del peso de los residuos Orgánicos.....	115
Figura 36.	Medición del peso de las fuentes de Estiércol .....	115
Figura 37.	Medición del peso de los residuos de poda.....	116
Figura 38.	Incorporación del ROM a la cama del tratamiento T1.....	116
Figura 39.	Incorporación del EC a la cama del tratamiento T2.....	117
Figura 40.	Incorporación del EG a la cama del tratamiento T3 .....	117
Figura 41.	Incorporación del EV a la cama del tratamiento T4 .....	118
Figura 42.	Incorporación de ROM a la cama T2, T3 y T4 por la Tesista ....	118
Figura 43.	Incorporación de ROM a la cama T2, T3 y T4 por el Tesista ....	119
Figura 44.	Camas de un bloque en proceso de armado (T1, T2, T3 y T4) ...	119
Figura 45.	Control de la Temperatura y pH de las camas de compost por el Tesista .....	120
Figura 46.	Termómetro usado para la medición de temperatura de las camas de compostaje .....	120
Figura 47.	Control de la Temperatura y pH de las camas de compost por la Tesista .....	121
Figura 48.	Colado de compost del Bloque 01 para toma de muestra .....	122
Figura 49.	Colado de compost del Bloque 02 para toma de muestra .....	122
Figura 50.	Colado de compost del Bloque 03 para toma de muestra .....	123
Figura 51.	Muestras de compost enviadas al Laboratorio Mecánica de Suelos .....	123

## RESUMEN

**Objetivo:** Evaluar la eficiencia del estiércol de cuy, gallina y vaca para la mejora de la calidad del compost generado en la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos (PVRO) de Hualmay, según sus parámetros físicos, químicos y biológicos. **Metodología:** Se utilizó el diseño de Bloques Completamente al Azar conformado por cuatro tratamientos: T1 (ROM – testigo), T2 (ROM + estiércol de cuy), T3 (ROM + estiércol de gallina) y T4 (ROM + estiércol de vaca), con tres repeticiones cada uno. Se evaluaron los parámetros físicos, químicos y biológicos del compost mediante análisis de laboratorio, y los datos fueron procesados mediante análisis de varianza (Anova) y comparación de medias mediante la prueba de Scott-Knott al 5 % de probabilidad. **Resultados:** Los parámetros físicos, la humedad, temperatura y densidad aparente se mantuvieron dentro de los rangos establecidos por la NTP 201.208:2021 y la NCH 2880:2004, evidenciando un compost estructuralmente estable. En los parámetros químicos se observaron diferencias altamente significativas entre tratamientos, destacando el estiércol de gallina (T3) como el más eficiente al presentar las mayores concentraciones de macronutrientes: nitrógeno (1.55 %) y calcio (6.79 %). Los metales pesados mostraron niveles bajos en todos los tratamientos. Sin embargo, los parámetros biológicos no cumplieron los límites establecidos por la normativa para coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli* y *Salmonella spp.*, lo que evidencia una deficiente fase termofílica durante el proceso. **Conclusión:** La adición de estiércol mejora significativamente la calidad física y química del compost, siendo el estiércol de gallina la fuente más eficiente por su aporte nutricional.

**Palabras claves:** compostaje, residuos orgánicos, estiércol.

## ABSTRACT

**Objective:** To evaluate the efficiency of guinea pig, chicken, and cow manure in improving the quality of compost produced at the Hualmay Organic Waste Recovery Plant (PVRO), based on its physical, chemical, and biological parameters. **Methodology:** A completely randomized block design was used, consisting of four treatments: T1 (ROM – control), T2 (ROM + guinea pig manure), T3 (ROM + chicken manure), and T4 (ROM + cow manure), with three replicates each. The physical, chemical, and biological parameters of the compost were evaluated through laboratory analysis, and the data were processed using analysis of variance (ANOVA) and comparison of means using the Scott-Knott test at a 5% probability level. **Results:** The physical parameters, moisture, temperature, and bulk density remained within the ranges established by NTP 201.208:2021 and NCH 2880:2004, indicating a structurally stable compost. Highly significant differences were observed between treatments in the chemical parameters, with chicken manure (T3) standing out as the most efficient, presenting the highest concentrations of macronutrients: nitrogen (1.55%) and calcium (6.79%). Heavy metals showed low levels in all treatments. However, the biological parameters did not meet the limits established by the regulations for total coliforms, fecal coliforms, *Escherichia coli*, and *Salmonella* spp., which indicates a deficient thermophilic phase during the process. **Conclusion:** The addition of manure significantly improves the physical and chemical quality of the compost, with chicken manure being the most efficient source due to its nutritional content.

**Keywords:** composting, organic waste, manure.

## INTRODUCCIÓN

La gestión adecuada de los residuos orgánicos municipales representa uno de los retos ambientales más significativos para las autoridades locales, en particular en áreas donde una gestión ineficiente provoca efectos adversos en el suelo, el agua y la salud de la población. Ante esta situación, el compostaje emerge como una solución sostenible y parte de la bioeconomía circular. Este proceso biológico regulado convierte los residuos orgánicos que se pueden descomponer en compost, una enmienda orgánica estable, rica en nutrientes, que favorece la fertilidad y la estructura de los suelos agrícolas.

Por consiguiente, el compost ofrece ventajas para el medio ambiente al minimizar los olores desagradables originados por la descomposición y ayuda a eliminar plagas como insectos y roedores. Además, produce beneficios económicos, ya que resulta en un producto final con propiedades excepcionales, como enmendador del suelo y fertilizante, que puede reemplazar los fertilizantes minerales. Asimismo, los altos niveles de materia orgánica proporcionan numerosos beneficios, tales como la mejora de: características físicas (incrementa la habilidad del suelo para retener humedad, disminuye la probabilidad de erosión, y disminuye la evaporación del agua del suelo), características químicas (suministro de macro y micronutrientes) y actividad biológica (optimiza las condiciones del suelo y proporciona carbono para preservar la biodiversidad) (Grand y Michel, 2020).

En el contexto peruano, diversas municipalidades están adoptando este enfoque, siendo la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos de Hualmay un caso relevante de esta transición hacia el aprovechamiento. No obstante, el compost producido únicamente a partir de residuos orgánicos municipales a menudo presenta deficiencias nutricionales o requiere largos periodos de maduración. Para superar estas limitaciones y acelerar la estabilización y calidad nutricional del producto final, la incorporación de fuentes de nitrógeno orgánico, como los estiércoles animales, es una práctica reconocida. Además, que el éxito y la calidad final del compost dependen de factores críticos, como la humedad, la aireación y temperatura.

Por lo tanto, esta investigación se centra en evaluar la eficiencia del estiércol de cuy, gallina y vaca en la mejora de la calidad del compost producido en la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos de Hualmay, según sus parámetros físicos, químicos y biológicos.

## CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción de la realidad problemática

La generación de residuos a nivel mundial en la actualidad es una de las grandes preocupaciones por lo que se estima que a nivel mundial se generan 20 mil millones de t/año de residuos sólidos. Además, Rosal (2023) menciona que la Organización de la Naciones Unidas (ONU) la cifra podría quintuplicarse para el año 2025 si se siguen con los mismos hábitos (Rosal, 2023). Sin embargo, países como España alcanza a reciclar apenas el 11% de sus residuos orgánicos (García, 2023). Por lo que es necesario realizar diversas técnicas como el compostaje (proceso biooxidativo, aerobio y termófilo) y el vermicompostaje (proceso biooxidativo y aerobio) para lograr un mayor porcentaje en el tratamiento y reaprovechamiento de los residuos orgánicos.

Mediante el Ministerio del Ambiente, MINAM (2022) se trazan estrategias en los tres niveles de gobierno para la adecuada gestión de Residuos sólidos; todo esto es realizado con la finalidad de combatir los problemas económicos, sanitarios, ambientales y sociales que generan. Para ello el MINAM designa competencias en materia de Residuos Sólidos en el cual se subdivide los residuos Municipales y No Municipales (MINAM, 2022). Sin embargo, a nivel nacional se genera un promedio de 23 000 Tn de residuos el cual es equivalente a 0,85 kilos por persona al día. Por ejemplo, la cifra general en el año 2022 fue de 8 455 715 Tn, de los cuales se logró valorizar 148 559 Tn (1,8%), el cual 78 804 Tn son inorgánicas y 69 754 son orgánicos (MINAM, 2023).

Según las cifras el Registro Nacional de Municipalidades 2020, solo el 55% de estos cuentan con un “Plan de Manejo de Residuos Sólidos” y el 11.9% no cuentan con ningún tipo de instrumento de gestión de residuos sólidos, por lo que el MINAM reportó que el año 2020, un total de 1 874 Municipalidades provinciales y distritales generó un aproximado de 7.9 millones de Tn de residuos sólidos, una cifra que corresponde al 55.7% de residuos orgánicos, sin embargo, solo el 5.9% se valorizó para el compostaje y otros (ComexPerú, 2022).

La Municipalidad Distrital de Hualmay se encuentra en la categoría de tipo D, dentro de la clasificación de municipalidades para el cumplimiento del Compromiso 3, lo que significa que está dentro del Programa de Incentivos a la Mejora de Gestión Ambiental. Es

decir, el Compromiso 3 o Meta 3 trata de la implementación de un sistema integrado de manejo de residuos sólidos donde se ve la valorización de residuos orgánicos e inorgánicos como parte de una meta municipal. Por ende, se tiene que valorizar obligatoriamente sus residuos orgánicos e inorgánicos municipales (Quiche & Lao, 2022). Mediante la creación de rutas de recolección el personal a cargo de la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos (PVRO) hace la recolección selectiva de los restos orgánicos de su jurisdicción, para reaprovechar mediante técnicas de compostaje.

Por lo antes descrito, el presente estudio trata sobre mejorar la calidad del compostaje a través de la identificación de tratamiento más efectivo, que permita la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica para biodegradarla rápidamente y obtener un compost de calidad (MINAM, 2019).

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿Cuál es la eficiencia del estiércol de cuy, gallina y vaca en la mejora de calidad del compost generado en la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos (PVRO) de Hualmay, según sus parámetros físicos, químicos y biológicos?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Cuál es la calidad de compost que produce la PVRO de Hualmay, según la evaluación de sus parámetros físicos?
- ¿Cuál es la calidad de compost que produce la PVRO de Hualmay, según la evaluación de sus parámetros químicos?
- ¿Cuál es la calidad de compost que produce la PVRO de Hualmay, según la evaluación de sus parámetros biológicos?
- ¿Qué fuente de estiércol presenta mayor eficiencia en la mejora de la calidad del compost en la PVRO de Hualmay, según sus parámetros físicos, químicos y biológicos?

### **1.3 Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Evaluar la eficiencia del estiércol de cuy, gallina y vaca para la mejora de la calidad del compost generado en la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos (PVRO) de Hualmay, según sus parámetros físicos, químicos y biológicos.

#### **1.3.2 Objetivo específico**

- Examinar la calidad de compost que produce la PVRO de Hualmay en un laboratorio de suelos según sus parámetros físicos.
- Examinar la calidad de compost que produce la PVRO de Hualmay en un laboratorio de suelos según sus parámetros químicos.
- Examinar la calidad de compost que produce la PVRO de Hualmay en un laboratorio de suelos según sus parámetros biológicos.
- Determinar la fuente de estiércol que presente mayor eficiencia en la mejora de la calidad del compost en la PVRO de Hualmay, según sus parámetros físicos, químicos y biológicos.

### **1.4 Justificación de la investigación**

#### **1.4.1 Justificación teórico**

El proyecto buscó erradicar una de las principales problemáticas relacionadas con la contaminación por residuos orgánicos. Para ello, la elaboración del proceso de compostaje brindó información valiosa sobre cómo valorizar los residuos orgánicos generados diariamente. Mediante esta técnica, fue posible reducir grandes volúmenes de residuos orgánicos y reinsertarlos al medio ambiente, contribuyendo a mejorar la fertilidad y estructura del suelo, así como a prevenir su erosión y/o degradación debido a la calidad del compost que fueron analizados los parámetros en los ensayos analizados por el laboratorio Mecánica de Suelos.

#### **1.4.2 Justificación práctico**

La investigación resultó muy conveniente en la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos (PVRO) de la Municipalidad Distrital de Hualmay, ya que permitió mejorar la

eficiencia en la elaboración de sus pilas de compostaje. Asimismo, facilitó el conocimiento sobre la calidad del compost producido en dicha planta. La determinación de si el compost elaborado era de buena o mala calidad se realizó en base a los datos obtenidos de los parámetros establecidos por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y las normas internacionales correspondientes.

Una vez obtenidos los resultados, con la información recopilada se pudo proyectar la realización de nuevos ensayos que se incorporaron estiércol en diferentes tratamientos, con el fin de mejorar la calidad del compost y analizar cuál de ellos resultaba más beneficioso dentro del proceso de compostaje en la planta de valorización de la Municipalidad. Asimismo, será conveniente para futuras investigaciones que se podría emplear como base los datos recopilados en la investigación.

### **1.4.3. Justificación metodológica**

El proyecto experimental tuvo como propósito optimizar y mejorar la calidad del compost, mediante la incorporación de tres tipos diferentes de estiércol y la aplicación de una metodología propia. Para ello, se contó con pilas de compostaje dispuestas en bloques, a fin de determinar la forma más adecuada de obtener un compost que cumpliera con los parámetros establecidos por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y las normas internacionales.

Con el objetivo de respaldar los datos obtenidos de los parámetros analizados, se llevaron a cabo los ensayos correspondientes en el Laboratorio Mecánica de Suelos de la Universidad César Vallejo para el análisis de los parámetros del compost.

## **1.5 Delimitación del estudio**

La investigación se llevó a cabo dentro de la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos (PVRO) de la Municipalidad Distrital de Hualmay, ubicada en la Av. Cincuentenario, al costado de la urbanización Los Portales, en la ciudad de Huacho, provincia de Huaura, región Lima.

Geográficamente, la planta está situada entre las coordenadas Este: 215575, Sur: 8773282 y una altitud de 57.00 m.s.n.m. Asimismo, el estudio se desarrolló durante un periodo de 10 meses del año 2024, finalizando en el año 2025.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1 Antecedentes internacionales

Palma (2023), llevó a cabo su investigación en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador para evaluar los parámetros físicos, químicos y biológicos del abono orgánico. Para lo cual realizó en tres fases: siendo la primera fase la descripción del lugar con sus respectivas coordenadas (latitud Norte 13°43'08.83 y longitud Oeste 89°12'01.21") la fase de laboratorio para analizar los parámetros físicos en el laboratorio de suelos, mientras que los parámetros químicos y biológicos se realizaron en laboratorios acreditados, por último, la fase denominada análisis y discusión de los resultados con la ayuda de la norma chilena NCH2880-2023. Como resultados se obtuvo los siguientes: N (0.66%), P (0.13%), K (0.34%), Mg (0.22%), Ca (4.70%), Fe (1.59%), y Mn (239.01 ppm) el cual indica que se encuentran en niveles óptimos según la norma chilena NCH2880-2023, mientras que Na (0.28%) superó los niveles máximos según el rango (0.04 a 0.24%) que establece. Por otro lado, no se encontró agentes contaminantes de *Echerichia coli*. En conclusión, según los resultados obtenidos de los parámetros físicos, químicos y biológicos es recomendable su uso por su contenido de nutrientes y ausencia de bacterias patógenos.

Fulvio (2020), quien realizó su investigación en Sao Paulo para evaluar la calidad del compostaje orgánico con el objetivo de producir especies nativas para las plantaciones para restaurar las áreas degradadas. Para ello realizó dos experimentos, siendo el primero por el proceso de compostaje a escala industrial, por el sistema de aireación forzada el cual tuvo 15 tratamientos y 3 repeticiones y el segunda ensayar cinco compuestos orgánicos T1 (50% de lodos de ETE , 25% restos de comida y 25% de poda triturada), T2 (50% de lodos de ETE , 25% cenizas de biomasa y 25% de poda triturada), T3(50% de lodos de ETE , 25% restos de comida y 25% de poda triturada) , T4 (50% de tierra de diatomea, 25% restos de comida y 25% de poda triturada) y T5 (50% ceniza de biomasa, 25% restos de comida y 25% de poda triturada), el cual tuvo mejores resultados en T1. Para lo cual se utilizó el Software SAS 9.4, realizando el análisis de varianza obteniendo como resultado por prueba de Tukey ( $P > 0.05$ ).

Alves (2018), quien realizó su investigación en Brasil, con el objetivo de determinar la factibilidad de implementar técnicas de bajo costo para el procesamiento de los restos orgánicos en la planta de compostaje, en cual tuvo los siguientes tratamientos: T1- montón de restos de poda y huertas sin mantenimiento de humedad (testigo), T2-hilera con restos de poda y jardines con mantenimiento de humedad, T3-arado con restos de poda y jardinería con mantenimiento de humedad más 1% (v/v) de torta de higuera (riego más TM), T4-hilera con restos de poda y jardinería con mantenimiento de humedad más aplicaciones de EM (embiotic) (riego más inoculante). El cual evaluaron algunos parámetros (pH, CE, contenido de C y N, emisiones de CO<sub>2</sub>, y NH<sub>3</sub>) por 120 días de compostaje y los contenidos totales de N, Ca, Mg, P, y k que se evaluó al finalizar. El resultado que se obtuvo fue con el tratamiento T3 presentando resultados favorables a cabo de seis meses con un crecimiento de 21,5 cm.

Basantes (2018), en su investigación realizado en la finca agropecuaria “La Inmaculada” ubicada en el cantón Guano provincia de Chimborazo; con el objetivo de elaborar compost por el proceso de co-compostaje de residuos vegetales generados en la finca añadiendo estiércol de cuy, vaca y gallinaza. Para ello realizará en tres pilas con diferente estiércol ya mencionadas aplicando tres tratamientos el cual diferenciará por códigos: CP1 (residuos orgánicos vegetales más gallinaza), CP2 (residuos orgánicos vegetales más cuy) y CP3 (residuos orgánicos vegetales más vaca) cada una con 760 Kg de residuos orgánicos y 240 Kg de estiércol según corresponda por tratamiento el cual se realizó 5 volteos en todo el proceso. Se aplicó DCA, resolviendo con ANOVA de dos factores y test t- de student obteniendo como resultados de una diferencia mínima significativa en  $P < 0.05$  según la prueba de tukey-b. Los resultados del compost a través de pruebas fisicoquímicas, químicas y biológicas mostraron que el pH, %MO, relación C/N, CE, CIC, IG, contenido nutrientes y metales pesados cumplen el rango y el límite máximo permisible el cual establecen los (US Composting Council, 2001), (European Commission 2014), (Ecological criteria for soil improvers 2006) y la (Norma Chilena Oficial, 2004) posicionando al compost en la clase A.

Saltos (2018), quien realizó su investigación en el Relleno Sanitario Municipal ubicada en la comUnidad Getsemaní del Cantón Joya de los Sachas de la provincia de Orellana. El objetivo fue elaborar compost a partir de los residuos sólidos orgánicos provenientes del Mercado San Francisco de la ciudad La Joya de los Saches. Para lo cual

elaboró tres diferentes de compost para acelerar el proceso de descomposición de la materia orgánica para analizar los macronutrientes (N, P y K), micronutrientes, pH, humedad y temperatura para determinar qué porcentaje de nutrientes tienen los ensayos y la calidad de cada uno de ellos mediante análisis de laboratorio. Para interpretar los resultados utilizó la tabla general de interpretación de análisis de suelos adaptada por el GAPDO, donde el nitrógeno fue de 17,16% en el compost 2, fósforo 246 mg/kg compost 2, potasio 13 355,45 mg/kg y calcio 6 672,66 mg/kg compost 1. Según la tabla de comparación se concluye que se obtuvo resultados positivos en la elaboración de compost debido al alto contenido de micro y macronutrientes según mostraron los análisis del laboratorio.

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

Ortiz (2020), en su investigación realizado en Centro Modelo de Tratamiento de Residuos (CEMTRAR) el cual pertenece a la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM). Teniendo como objetivo determinar el efecto de estiércol con número de volteos en el proceso de compostaje y en la calidad del compost, que utilizó sustratos de estiércol de vacunos, gallinas ponedoras y restos de vegetales provenientes de la UNALM. Para lo cual empleó cuatro tratamientos; T1 (estiércol de vacuno y un volteo cada 2 semanas), T2 (estiércol de vacuno y seis volteos cada 2 semanas), T3 (estiércol de gallina y un volteo cada 2 semanas) y T4 (estiércol de gallina y seis volteos cada 2 semanas), que realizó tres repeticiones por tratamiento conducido mediante un Diseño Completamente al Azar (DCA). Los resultados obtenidos en los parámetros físicos mostraron que la humedad varió entre 34,58 % (T4) y 52,23 % (T1); la densidad, entre 484,13 kg/m<sup>3</sup> (T3) y 558,50 kg/m<sup>3</sup> (T4); y la temperatura, entre 27,24 °C (T4) y 29,67 °C (T1). En todos estos casos, los tratamientos se encontraron dentro del rango óptimo establecido. En cuanto a los parámetros químicos, el pH varió entre 7,41 (T3) y 7,73 (T1); la conductividad eléctrica, entre 2,9 mS/cm (T4) y 3,9 mS/cm (T1); el contenido de plomo, entre 48,04 ppm (T2) y 64,40 ppm (T3); y el contenido de cromo, entre 15,98 ppm (T1) y 19,54 ppm (T3), encontrándose todos dentro de los límites óptimos. En cambio, el contenido de cadmio varió entre 1,28 ppm (T1) y 3,01 ppm (T3), ubicándose todos los tratamientos fuera del rango permitido según la norma ÖNORM S-2022. Se observó que la concentración de metales pesados fue menor cuando se utilizó estiércol vacuno. Respecto a los macronutrientes, el contenido de nitrógeno varió entre 1,79 % (T3) y 2,25 % (T2), superando en todos los casos el valor mínimo establecido. El fósforo presentó valores entre 1,60 % (T1 y T2) y 2,32 % (T3), situando a los tratamientos

T1 y T2 por debajo y a los tratamientos T3 y T4 por encima del valor mínimo. El potasio varió entre 0,98 % (T3) y 1,79 % (T1), con los tratamientos T3 y T4 por debajo y los tratamientos T1 y T2 por encima del valor mínimo. En general, la concentración de nitrógeno y potasio fue superior cuando se empleó estiércol vacuno, mientras que los valores de fósforo fueron mayores con el uso de estiércol de gallinas ponedoras. Finalmente, en los análisis microbiológicos, el contenido de coliformes fecales varió desde  $5,9 \times 10$  NMP/g (T3) hasta valores superiores a  $1,1 \times 10^2$  NMP/g (T2 y T4). En conclusión, el tratamiento T4, elaborado con estiércol de gallinas ponedoras, presentó la mejor calidad en el producto final.

Leiva y Tapia (2020), en su investigación realizado en el distrito de Bagua (Amazonas), por otra parte, evaluó las características fisicoquímicas del compost a partir de residuos orgánicos domiciliarios, estiércol de vacuno y cuy. Para lo cual aplicó el método Indore de compostaje, considerando tres tratamientos; T1 (compost elaborado a partir de residuos orgánicos domiciliarios y estiércol de vacuno), T2 (Compost elaborado a partir de residuos orgánicos domiciliarios y estiércol de cuy) y T3 (Compost elaborado a partir de residuos orgánicos domiciliarios y estiércol de vacuno y de cuy) y cinco repeticiones. Se aplicó el Diseño Completamente al Azar (DCA), para ello se realizó pruebas estadísticas (ANOVA y Tukey) obteniendo como resultados (p-valor = 0,0027, F = 10,1) en el rendimiento de T2 y T3 de 38,33 y 36,04% respectivamente, en cuanto al T1 se obtuvo 32,5%. Por otro lado, en el T3 se obtuvo mayor porcentaje de nitrógeno (0,664%); mayor contenido de carbono (7,7%), fósforo (787,39 ppm) y potasio (6 663,95 ppm), a diferencia de los tratamientos T1 y T2. De acuerdo con los resultados obtenidos, se concluye que el T2 obtuvo un mayor rendimiento superior con 38,33% y el T3 presentó mejores valores en cuanto a los análisis fisicoquímicos tales como la materia orgánica con 13,28%, nitrógeno, carbono, entre otros.

Albitez y Arata (2019), en su investigación realizado en la provincia de Moyobamba, departamento de San Martín tuvo como objetivo evaluar y comparar la mezcla de residuos orgánicos generados en el Mercado Zonal de Ayaymama con estiércol de gallinaza en la obtención del compost para lograr un compost óptimo para el desarrollo de las hortalizas (lechuga y rabanito). Para lo cual aplicó 5 tratamientos: T1 (100% de gallinaza), T2 (75% de gallinaza y 25% de compost), T3 (50% de gallinaza y 50% de compost), T4 (25% de gallinaza y 75% de compost) y T5 (100% de compost) y un testigo cada uno con 4 repeticiones, para lo cual se aplicó el Diseño Completamente al Azar (DCA) el cual se

obtuvo como resultado con la prueba LSD Fisher,  $\alpha = 5\%$ , DMS = 424,82 observando que:  $T5 \neq T3$ , T1 y Testigo. Hay diferencia significativa con valor de ( $P > 0,05$ ). En cuanto a los nutrientes se obtuvo que la concentración de nitrógeno (N) el T2 registró 1,092%; una mayor concentración en fósforo (P) el T4 registró la concentración de 0.022% y en mayor concentración de potasio (K) el T5 registró la mayor concentración de 33.79%, en cual concluyó que el T2 tendría las concentraciones apropiadas para el cultivo de verduras (lechuga) y para el rabanito, el compost presentó mejores resultados.

Ludeña (2019), por otra parte, realizó su investigación en la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de la ciudad de José Gálvez, de la provincia de Celendín (Cajamarca). El cual tuvo como finalidad determinar la aceleración de la descomposición de los residuos orgánicos municipales con la incorporación de estiércol de vacuno y microorganismos. Para ello realizó 4 tratamientos cada uno con 3 repeticiones con  $1\text{m}^3$  de material experimental (residuo orgánico domiciliario 70 % más estiércol de ganado 30 %) y 10 L de agua, denominando los tratamientos como: T1 (no se utilizó microorganismos), T2 (una dosis de 100 ml de EM por 10 L de agua), T3 (una dosis de 150 ml de EM por 10 L de agua) y T4 (una dosis de 200 ml de EM por 10 L de agua) el cual aplicó el diseño Completamente al Azar (DCA). El T2 tuvo un menor tiempo de descomposición de 80 días, en cuanto los resultados del material experimental según la Norma Chilena NCH 2880 - 2005 cumple con la mayoría los límites máximos permisibles, además de los metales pesados clasificando en posición como compostaje tipo b.

Durand (2018), en su investigación realizado en el distrito de Independencia (Huaraz), que tuvo como objetivo optimizar la técnica de compostaje para minimizar las concentraciones de *Salmonella spp*, *Escherichia coli* y *Huevos de Helmitos* presente en el compost con la incorporación del estiércol de cuy y restos orgánicos, para ello empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) realizando 4 tratamientos y 3 repeticiones. El cual partió desde el balance de nutrientes C/N, el cual utilizó la técnica de compostaje denominada ruma, empleando 3 rumas (Ruma N°01 – C/N=35 y Ruma N°02 – C/N =30) considerando la Ruma N°3 como de control. En el cual se identificó que el estiércol de cuy presentó mayor predominancia en cuanto a composición porcentual en función al nutriente C/N. De acuerdo con la presencia de *Salmonella spp* *Huevos de Helmitos* no se encontró en los residuos orgánicos municipales, sin embargo, se encontró la presencia de *Escherichia*

*coli* en las tres rumas durante el proceso de temperatura y pH predominando una menor concentración en la ruma N°1.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Compostaje**

El compostaje es un proceso de descomposición aeróbica, es decir, que ocurre en presencia de oxígeno, mediante el cual los residuos orgánicos de origen animal y/o vegetal son transformados por la acción de microorganismos descomponedores bajo condiciones controladas. Como resultado de este proceso se obtiene un producto estable, inocuo y libre de efectos fitotóxicos, denominado compost (Ortiz, Pérez y Medrano, 2023).

El compostaje es un proceso biológico mediante las comunidades de microorganismos aeróbicos, actúan en un medio sólido, transformando los residuos orgánicos, como restos de plantas, desechos alimenticios y estiércoles de animales, en un producto estable que puede emplearse para mejorar las propiedades del suelo, optimizando la fertilización de los cultivos y, en muchos casos, aumentando la productividad agrícola (Pardo, Suárez, Camelo, Rojas y Estrada, 2024).

El compostaje ofrece una alternativa segura para convertir los residuos orgánicos en insumos aprovechables en la producción agrícola. El compostaje es un proceso biológico, que ocurre en condiciones aeróbicas (presencia de oxígeno). Con la adecuada humedad y temperatura, se asegura una transformación higiénica de los restos orgánicos en un material homogéneo y asimilable por las plantas (Román, Martínez y Pantoja, 2013).

El compostaje puede entenderse como un conjunto de procesos metabólicos complejos llevados a cabo por diversos microorganismos que, en presencia de oxígeno, utilizan el carbono (C) y el nitrógeno (N) disponibles para generar su propia biomasa. Durante este proceso, los microorganismos también liberan calor y producen un sustrato sólido más estable, con menor contenido de C y N, conocido como compost (Román et al., 2013).

A medida que los microorganismos degradan el carbono, el nitrógeno y la materia orgánica inicial, se libera calor, el cual puede medirse mediante las variaciones de temperatura registradas a lo largo del tiempo. De acuerdo con la temperatura alcanzada

durante el proceso, el compostaje se divide en tres etapas principales, seguidas de una fase de maduración cuya duración puede variar (Román et al., 2013).

### **A. Fases del compostaje**

Según Román et al. (2013) precisa que el proceso de compostaje se divide en 4 fases:

**Fase mesófila:** El material principal inicia el proceso de compostaje a temperatura ambiente y, en un corto periodo, que puede variar desde algunas horas hasta pocos días, la temperatura se eleva hasta alcanzar aproximadamente los 45 °C. Este incremento térmico se debe a la intensa actividad microbiana, ya que en esta etapa los microorganismos aprovechan las fuentes más simples de carbono (C) y nitrógeno (N), liberando calor como resultado de su metabolismo. Durante la descomposición de compuestos solubles, como los azúcares, se forman ácidos orgánicos que provocan una disminución del pH, llegando a valores cercanos a 4,0 o 4,5. Esta fase, de carácter inicial, tiene una duración aproximada de entre dos y ocho días.

**Fase termófila o de higienización:** Cuando el material supera los 45 °C, los microorganismos que prosperan a temperaturas moderadas (mesófilos) son sustituidos por aquellos capaces de desarrollarse a temperaturas más elevadas, principalmente bacterias termófilas. Estas bacterias intervienen en la degradación de compuestos orgánicos más complejos, como la celulosa y la lignina. Durante este proceso, transforman el nitrógeno en amoníaco, lo que ocasiona un incremento en el pH del medio.

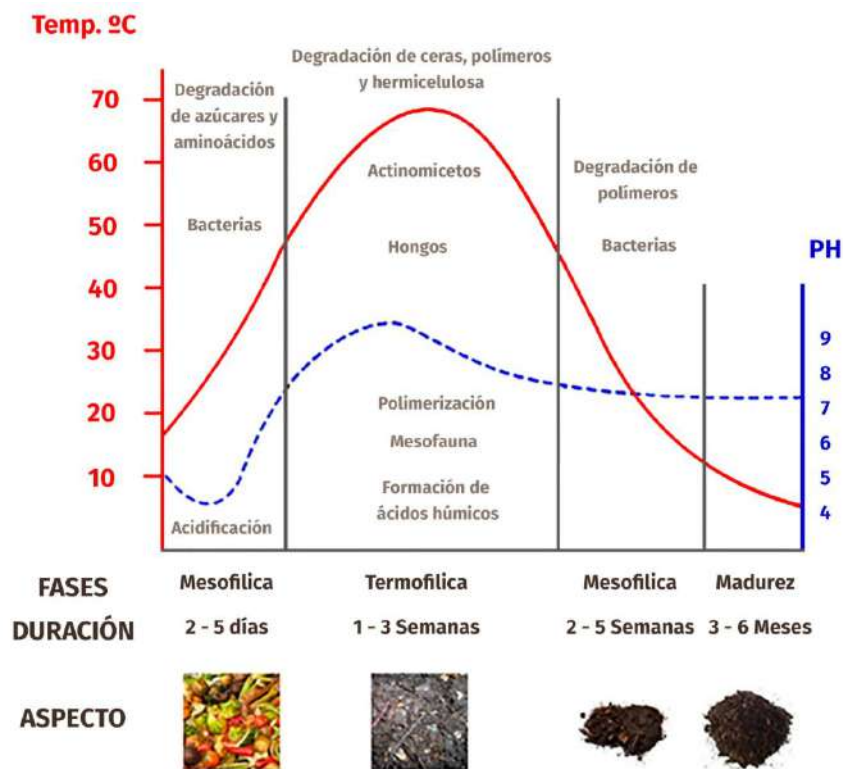
A partir de los 60 °C, comienzan a proliferar bacterias esporuladas y actinobacterias, responsables de descomponer ceras, hemicelulosas y otros compuestos de carbono de estructura compleja. La duración de esta fase puede variar desde algunos días hasta varios meses, dependiendo del tipo de material inicial, las condiciones climáticas y otros factores ambientales.

Esta etapa también se conoce como fase de higienización, debido a que el calor generado permite eliminar microorganismos patógenos y contaminantes de origen fecal, como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* Su importancia radica en que temperaturas superiores a 55 °C destruyen quistes y huevos de helmintos, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas presentes en el material inicial, obteniéndose así un producto final higienizado.

**Fase de enfriamiento o mesófila II:** Una vez agotadas las fuentes de carbono y, especialmente, el nitrógeno presente en el material en compostaje, la temperatura desciende gradualmente hasta valores comprendidos entre 40 y 45 °C. En esta etapa continúa la descomposición de polímeros como la celulosa, y comienzan a desarrollarse hongos que pueden observarse a simple vista.

Cuando la temperatura desciende por debajo de los 40 °C, los microorganismos mesófilos reanudan su actividad metabólica. Durante este proceso, el pH del medio disminuye ligeramente, aunque en términos generales se mantiene en valores levemente alcalinos. Esta fase de enfriamiento suele extenderse por varias semanas y, en algunos casos, puede confundirse con el inicio de la fase de maduración.

**Fase de maduración:** Esta etapa, que se desarrolla a temperatura ambiente y puede prolongarse durante varios meses, se caracteriza por la ocurrencia de reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados, las cuales conducen a la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.



**Figura 1.** Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje.  
**Fuente:** Puntocompost (s.f.)

## **B. Material compostable**

De acuerdo con Román et al. (2013), la mayoría de los materiales orgánicos poseen la capacidad de ser compostados. A continuación, se presenta una lista detallada de los principales materiales que pueden incorporarse al proceso de compostaje:

- Restos de cosecha y material vegetal del huerto o jardín: incluyen ramas trituradas o troceadas provenientes de podas, hojas secas de árboles y arbustos, así como heno, hierba cortada y césped, preferiblemente dispuestos en capas delgadas y previamente desecados.
- Estiércol de cuy, gallina y vacuno, y sus camas de corral.
- Restos orgánicos de cocina en general (frutas y hortalizas). Alimentos estropeados o caducados. Cáscaras de huevo (preferible trituradas). Restos de café. Restos de té e infusiones. Cáscaras de frutos secos. Cáscaras de naranja, cítricos o piña (de preferencia troceadas). Papas en mal estado.
- Aceites y grasas comestibles (muy esparcidas y en pequeña cantidad).
- Virutas de serrín (en capas finas).

No deben incorporarse al proceso de compostaje materiales inertes, tóxicos o potencialmente nocivos, tales como:

- Residuos químicos-sintéticos, pegamentos, solventes, gasolina, petróleo, aceite de vehículos, pinturas.
- Materiales no degradables (vidrio, metales, plásticos).
- Aglomerados o contrachapados de madera (ni sus virutas o serrín).
- Tabaco, ya que contiene un biocida potente como la nicotina y diversos tóxicos.
- Detergentes, productos clorados, antibióticos, residuos de medicamentos.
- Animales muertos (estos deben ser incinerados en condiciones especiales, o pueden ser compostados en pilas especiales).

## **C. Importancia del compost**

La importancia del uso del compost radica en su capacidad para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Además, constituye una fuente significativa de materia orgánica y microorganismos benéficos, indispensables para la

nutrición vegetal, ya que facilitan la asimilación de nutrientes y contribuyen al óptimo desarrollo de los cultivos (Ortiz et al., 2023).

Entre sus principales ventajas, se pueden mencionar las siguientes:

- Requiere baja inversión económica.
- Reduce el uso de fertilizantes sintéticos.
- Incrementa el contenido de materia orgánica en el suelo.
- Mejora la estructura y aireación del suelo.
- Aumenta la capacidad de retención de agua y nutrientes.
- Aporta de forma natural minerales esenciales para el crecimiento de las plantas.
- Favorece e intensifica la actividad biológica del suelo, promoviendo su fertilidad.

La importancia del uso del compost radica en su capacidad para mejorar las propiedades del suelo.

#### **D. Beneficios del compost**

De acuerdo con Aguilera et al., (2021) existen beneficios ambientales, sociales y económicos sobre el compost:

##### **Beneficios ambientales:**

- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), disminuye las emisiones generadas por la disposición final de residuos orgánicos en rellenos sanitarios, especialmente de metano ( $\text{CH}_4$ ), cuya mitigación produce beneficios inmediatos en la salud, los ecosistemas y el clima.
- Disminución de lixiviados en la generación de líquidos contaminantes en los rellenos sanitarios y evita la afectación de los acuíferos.
- Sustitución de fertilizantes químicos promueve el uso de compost en la agricultura y en áreas verdes como alternativa sostenible a los fertilizantes sintéticos.
- Recuperación de nutrientes convierte a los residuos orgánicos en un fertilizante natural que devuelve los nutrientes al suelo y fortalece el ciclo silvoagropecuario.

### **Beneficios sociales:**

- Disminución de los impactos en la salud reduce los contaminantes del aire a nivel local, mejora la calidad del aire y disminuye la contaminación del suelo y del agua, beneficiando especialmente a las poblaciones que residen cerca de los rellenos sanitarios.
- Generación de empleo impulsando nuevas oportunidades laborales, ya que las tecnologías de tratamiento alternativo de residuos demandan más mano de obra que los rellenos sanitarios.
- Promoción de estilos de vida sostenibles mejora la calidad de vida de las poblaciones más vulnerables, como los recicladores informales, al reducir la contaminación de los materiales reciclables con residuos orgánicos.

### **Beneficios económicos:**

- Reducción de costos operativos genera ahorros en transporte y disposición final cuando la planta de compostaje se ubica más cerca que el sitio actual de disposición, debido a la menor cantidad de residuos orgánicos trasladados al relleno sanitario.
- Extensión de la vida útil del relleno sanitario disminuye el volumen de residuos dispuestos, reduciendo además los costos asociados al manejo de lixiviados.
- Valorización económica de los residuos orgánicos permite obtener ingresos adicionales mediante la comercialización del compost, complementando los ahorros generados por la gestión eficiente de los residuos.

### **E. Tipos de compostaje**

Según Sepúlveda y Alvarado (2013) existen los siguientes tipos de compostaje:

**Compostaje a Gran Escala o Industrial:** Existen diversos sistemas para llevar a cabo el proceso de descomposición y maduración del compost a gran escala o nivel industrial. En una clasificación general, estos pueden agruparse en sistemas abiertos y sistemas cerrados.

De acuerdo con Sepúlveda y Alvarado (2013) la clasificación se determina según el grado de mecanización aplicado en el método de compostaje, dividiéndose principalmente en dos grandes grupos: sistemas de pilas (abiertos) y sistemas mecánicos o cerrados.

Si bien la denominación de cada sistema describe sus características básicas, es importante señalar que los sistemas de pilas pueden estar altamente mecanizados e incluso presentar componentes parcialmente cerrados. A su vez, estos sistemas se subdividen en pilas estáticas y pilas volteadas.

**Compostaje Comunitario:** El compostaje comunitario se reconoce como una alternativa intermedia entre el compostaje industrial y el doméstico, ya que se maneja un volumen moderado de residuos y participa un número limitado de personas. Generalmente se implementa en áreas compartidas, como jardines o espacios comunes de viviendas, instituciones educativas, urbanizaciones, unidades deportivas, centros recreativos o juntas vecinales (Sepúlveda y Alvarado, 2013).

**Compostaje residencial:** El compostaje doméstico se lleva a cabo en el ámbito familiar, aprovechando espacios como jardines, terrazas, huertos u otros lugares adecuados, empleando pequeñas cantidades de residuos orgánicos y utilizando métodos simples y de fácil manejo (Sepúlveda y Alvarado, 2013).

#### **Clases de composteras a pequeña escala:**

De acuerdo con Sepúlveda y Alvarado (2013) el compostaje a pequeña escala, tanto en el ámbito residencial como comunitario, puede realizarse mediante diferentes tipos de compostadores, clasificados en recipientes, mecánicos y automáticos.

**Recipientes:** Estos compostadores suelen fabricarse en plástico o madera y presentan diversas formas, como cuadradas, rectangulares o redondas. Se caracterizan por ser económicos y de fácil manejo, ya que los residuos se incorporan de forma continua a medida que se generan, hasta alcanzar la capacidad máxima del recipiente. En su interior se pueden distinguir materiales en diferentes etapas de descomposición: frescos, parcialmente degradados y completamente estabilizados, los cuales pueden extraerse manualmente por la parte inferior, según el diseño del compostador (Sepúlveda y Alvarado, 2013).

**Compostadores mecánicos:** Estos compostadores suelen tener forma cilíndrica y disponen de un mecanismo manual o motorizado que facilita el movimiento y la mezcla del material en proceso de compostaje (Sepúlveda y Alvarado, 2013).

Los residuos se incorporan progresivamente a medida que se generan, hasta alcanzar la capacidad total del equipo o completar la degradación del material orgánico. La extracción del compost se realiza de manera manual, mientras que la aireación se produce durante el movimiento de rotación del sistema (Sepúlveda y Alvarado, 2013).

**Compostadoras automáticas:** Estos compostadores, utilizados tanto a nivel doméstico como comercial, poseen capacidades suficientes para procesar los residuos generados por varias familias. Los modelos automáticos pueden presentar formas rectangulares o cilíndricas, con disposición vertical u horizontal. Están equipados con un sistema de control automatizado que regula la aireación del material, facilita su mezclado y controla la temperatura, evitando sobrecalentamientos durante el proceso de compostaje (Sepúlveda y Alvarado, 2013).

### 2.2.2 Monitoreo durante el compostaje

Dado que el compostaje es un proceso biológico ejecutado por microorganismos, es fundamental considerar los parámetros que influyen en su crecimiento y reproducción. Entre los factores más relevantes se encuentran la disponibilidad de oxígeno o aireación, el contenido de humedad del sustrato, la temperatura, el pH y la relación carbono-nitrógeno (C:N) (Román et al., 2013).

Asimismo, el desarrollo del proceso depende en gran medida de las condiciones ambientales, del método de compostaje aplicado, de las características de las materias primas utilizadas y de otros factores externos, lo que puede generar variaciones en algunos de estos parámetros. Sin embargo, es necesario mantener un control continuo para asegurar que se conserven dentro de los rangos óptimos establecidos (Román et al., 2013).

A continuación, se presentan los principales parámetros del proceso de compostaje y sus respectivos rangos óptimos.

**Oxígeno:** El compostaje es un proceso de carácter aeróbico, por lo que resulta esencial mantener una adecuada aireación que permita la respiración de los microorganismos y la liberación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera. Además, una ventilación apropiada evita la compactación y el encharcamiento del material en descomposición. Las demandas de oxígeno varían a lo largo del proceso, alcanzando su punto máximo durante la fase termofílica (Román et al., 2013).

La concentración de oxígeno en el medio no debe descender por debajo del 5 %, siendo el nivel óptimo cercano al 10 %. Un exceso de aireación puede ocasionar una disminución de la temperatura y una pérdida excesiva de humedad por evaporación, lo que interrumpe el proceso de descomposición debido a la falta de agua. En tales condiciones, las células microbianas se deshidratan, algunos microorganismos forman esporas y se detiene la actividad enzimática responsable de la degradación de los compuestos orgánicos (Román et al., 2013).

Por el contrario, una aireación insuficiente impide la adecuada evaporación del agua, generando un exceso de humedad y un ambiente anaeróbico. Esta condición favorece la aparición de malos olores y un aumento de la acidez, debido a la acumulación de compuestos como ácido acético, sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ) y metano ( $CH_4$ ) (Román et al., 2013).

**Humedad:** La humedad constituye un parámetro fundamental en el proceso de compostaje, ya que está directamente relacionada con la actividad microbiana. Al igual que en otros organismos vivos, el agua actúa como medio para el transporte de nutrientes y compuestos energéticos a través de las membranas celulares de los microorganismos (Román et al., 2013).

El nivel óptimo de humedad en el compost se sitúa alrededor del 55 %, aunque este valor puede variar según el tamaño y la condición física de las partículas, así como del método de compostaje empleado (ver sección Tamaño de Partícula). Cuando la humedad desciende por debajo del 45 %, la actividad microbiana se reduce significativamente, impidiendo que se completen todas las fases de degradación y generando un producto final biológicamente inestable. Por el contrario, si el contenido de humedad supera el 60 %, el agua tiende a saturar los poros del material, dificultando la oxigenación y promoviendo condiciones anaerobias (Román et al., 2013).

En los procesos en los que predominan sustratos secos, como aserrín, astillas de madera, paja o hojas secas, la necesidad de riego durante el compostaje es mayor que en materiales con alta humedad natural, como los residuos de cocina, frutas, hortalizas o restos de césped. En general, el rango óptimo de humedad para un compostaje eficiente se encuentra entre 45 % y 60 % del peso total del material base (Román et al., 2013).

**Temperatura:** El proceso de compostaje se inicia a temperatura ambiente y puede alcanzar valores de hasta 65 °C sin requerir intervención externa o calentamiento artificial. Posteriormente, durante la fase de maduración, la temperatura desciende gradualmente hasta estabilizarse nuevamente en niveles ambientales. Es importante que el descenso térmico no ocurra de manera abrupta, ya que una temperatura elevada mantenida por un periodo prolongado favorece tanto la velocidad de descomposición de la materia orgánica como la higienización del material, garantizando un compost de mejor calidad (Román et al., 2013).

**pH:** El pH durante el proceso de compostaje depende principalmente de los materiales de origen y presenta variaciones en cada una de sus fases, con valores que pueden oscilar entre 4,5 y 8,5. En las etapas iniciales, el medio se acidifica debido a la formación de ácidos orgánicos. Posteriormente, en la fase termofílica, el pH aumenta y se alcaliniza el entorno como resultado de la conversión del ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) en amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). Finalmente, en la fase de maduración, el pH tiende a estabilizarse en valores cercanos a la neutralidad (Román et al., 2013).

El pH constituye un factor determinante para la supervivencia y actividad de los microorganismos, ya que cada grupo presenta rangos óptimos de crecimiento y multiplicación. En este sentido, la actividad bacteriana es más intensa en valores de pH entre 6,0 y 7,5, mientras que la actividad fúngica predomina entre 5,5 y 8,0. En general, el rango ideal de pH para un proceso de compostaje eficiente se sitúa entre 5,8 y 7,2 (Román et al., 2013).

**Relación Carbono-Nitrógeno (C:N):** La relación carbono-nitrógeno (C:N) depende del tipo de material empleado como base del compost y se calcula dividiendo el porcentaje de carbono total (%C) entre el porcentaje de nitrógeno total (%N) presente en dichos materiales. Esta proporción varía a lo largo del proceso de compostaje, experimentando una disminución progresiva conforme avanza la descomposición, pasando generalmente de valores iniciales cercanos a 35:1 hasta alcanzar aproximadamente 15:1 en la fase final (Román et al., 2013).

## 2.2.3 Requisitos del compost según NTP 201.208:2021, EPA (2006) y NCH2880: 2004

**Tabla 1**

*Requisitos del compost según NTP 201.208:2021, EPA (2006) y NCH2880: 2004*

Parámetro	Indicador	NTP 201.208:2021*	EPA**	NCH 2880:2004***
Físico	Humedad (%)	Mayor a 35% y menor a 50%	-	30% - 45%
	Temperatura (°C)	-	-	-
	Densidad aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	550 – 850 Kg/m <sup>3</sup>	-	Menor o igual a 700 Kg/m <sup>3</sup>
Química	Conductividad (CE) dS/m	2 – 4 dS/m	-	3 dS/m
	pH	Mayor a 6.5 y menor a 8.5	-	5.0 – 8.5
	Plomo (ppm)	150 ppm	300 ppm	100 mg/kg
	Cadmio (ppm)	2.5 ppm	10 ppm	2 mg/kg
	Cromo (ppm)	200 ppm	400 ppm	120 mg/kg
	Arsénico (ppm)	15 ppm	-	15 mg/kg
	Materia orgánica (%)	Igual o mayor al 20%	-	Igual o mayor al 20%
	Nitrógeno (%)	0.3 – 1.5	-	Mayor o igual a 0.5%
	Fósforo (%)	0.1 – 1.0	-	-
	Potasio (%)	0.3 – 1.0	-	-
	Calcio (%)	2 - 6	-	-
	Magnesio (%)	0.2 – 0.7	-	-
	Biológica	Coliforme total (NMP)	-	-
Coliforme fecal (NMP)		< a 1000 NMP**** por gramo de compost	-	< a 1000 NMP**** por gramo de compost
Escherichia coli (NMP)		-	-	-
Salmonella spp (UFC)		Ausente en 25 gramos	-	3NMP en 4 gramos de compost

\*Norma Técnica Peruana – NTP 201.208:2021 Fertilizantes. Compost a partir de residuos sólidos orgánicos municipales. Requisitos. 1ª Edición

\*\*Environmental Protection Agency (EPA), 2006 (Citado por Rojas et al., (2016))

\*\*\*Norma Chilena Oficial – NCH2880: 2004 Compost – Clasificación y requisitos.

\*\*\*\* NMP: Número más probable

## 2.3 Definición de términos básicos

**Agentes patógenos:** Es común encontrar agentes patógenos en las pilas del compost, con capacidad de causar ciertas enfermedades humanas, por ello es necesario realizar análisis de contaminación bacteriológico como los coliformes fecales (Monsalve, 2007).

**Aireación:** Los microorganismos aeróbicos son los responsables del proceso de compostaje, para ello la pila debe estar bien aireada (8% de volumen mínimo de aire). Por otro lado, si se generan malos olores, la razón principal suele ser por la falta de aire siendo

necesario voltear la pila para su aireación del compostaje (Consejo de Agricultura y Alimentación Ecológica de Euskadi - ENEEK, 2013).

**Aeróbico:** Es un proceso que se desarrolla en condiciones aeróbicas, es decir, con la presencia de oxígeno. Para asegurar el éxito del compostaje, es necesario mantener una adecuada oxigenación que permita la continuidad del proceso biológico y favorezca la actividad de los microorganismos (Román et al., 2013).

**Bacterias termófilas:** Conjunto de bacterias termófilas capaces de sobrevivir, desarrollarse y multiplicarse durante el proceso de compostaje en rangos de temperatura comprendidos entre 40 °C y 70 °C (Román et al., 2013).

**Compostaje:** Es una práctica en la que propiciamos la transformación biológica de los restos vegetales en abono. Lo llevan a cabo microorganismos benéficos (hongos y bacterias) y pequeños animales en presencia de aire y humedad sin olores ni riesgo para la salud de las personas. También puede realizarse incorporando lombrices (lombricompostaje) pero no son indispensables en el proceso (Ministerio del Ambiente de la Provincia de Buenos Aires, 2022).

**Estiércol:** Es un material orgánico, compuesto generalmente por heces y orina de animales domésticos. Presenta nutrientes en nitrógeno, fósforo y potasio, comparado con los fertilizantes inorgánicos sus contenidos son menores pero que se encuentran en forma orgánica (Román et al, 2013).

**Macronutrientes:** Los macronutrientes son necesarios para el crecimiento de las plantas en grandes cantidades, los nutrientes primarios son nitrógeno, fósforo y potasio (Division Land and Water, 2002).

**Residuos orgánicos:** Se refiere a todo aquello que proviene de especies de flora y fauna, que es susceptible a ser descompuestos por los microorganismos (Carter, 2017).

**Residuos orgánicos domiciliarios:** Son aquellos residuos de origen vegetal o animal que solemos producir en el hogar: yerba, café, infusiones, cáscaras, carozos y restos de frutas y verduras, comida en mal estado, servilletas de papel, cáscara de huevo, lácteos, huesos, grasa y otros restos de carnes rojas, pollo y pescado. También incluye los cortes de pasto,

hojas secas, ramitas y restos de plantas de macetas y jardín (Ministerio del Ambiente de la Provincia de Buenos Aires, 2022).

**pH:** Medida de acidez/alcalinidad. Es óptimo cerca de neutralidad (pH 7) pero puede tolerar un rango bastante amplio (6-9) (Aguilera et al., 2021).

## **2.4 Hipótesis de investigación**

### **2.4.1 Hipótesis general**

A partir de la evaluación del estiércol en la obtención del compost orgánico se podrá analizar las mejoras de algunos parámetros físicos, químicos y biológicos que cumplan el rango establecido por INACAL y los límites máximos permisibles según Environmental Protection Agency (EPA, 2006).

### **2.4.2 Hipótesis específicas**

- Los parámetros físicos evaluados cumplen el rango establecido por INACAL y los límites máximos permisibles según Environmental Protection Agency (EPA, 2006).
- Los parámetros químicos evaluados cumplen el rango establecido por INACAL y los límites máximos permisibles según Environmental Protection Agency (EPA, 2006).
- Los parámetros biológicos evaluados cumplen el rango establecido por INACAL y los límites máximos permisibles según Environmental Protection Agency (EPA, 2006).
- La fuente de estiércol de gallina influye significativamente, esto indica que es el estiércol con mayor eficiencia, además aporta mayores propiedades como macronutrientes y algunos micronutrientes y es libre de agentes patógenos.

## 2.5 Operacionalización de las variables

**Tabla 2**

*Operacionalización de variables, dimensiones e indicadores*

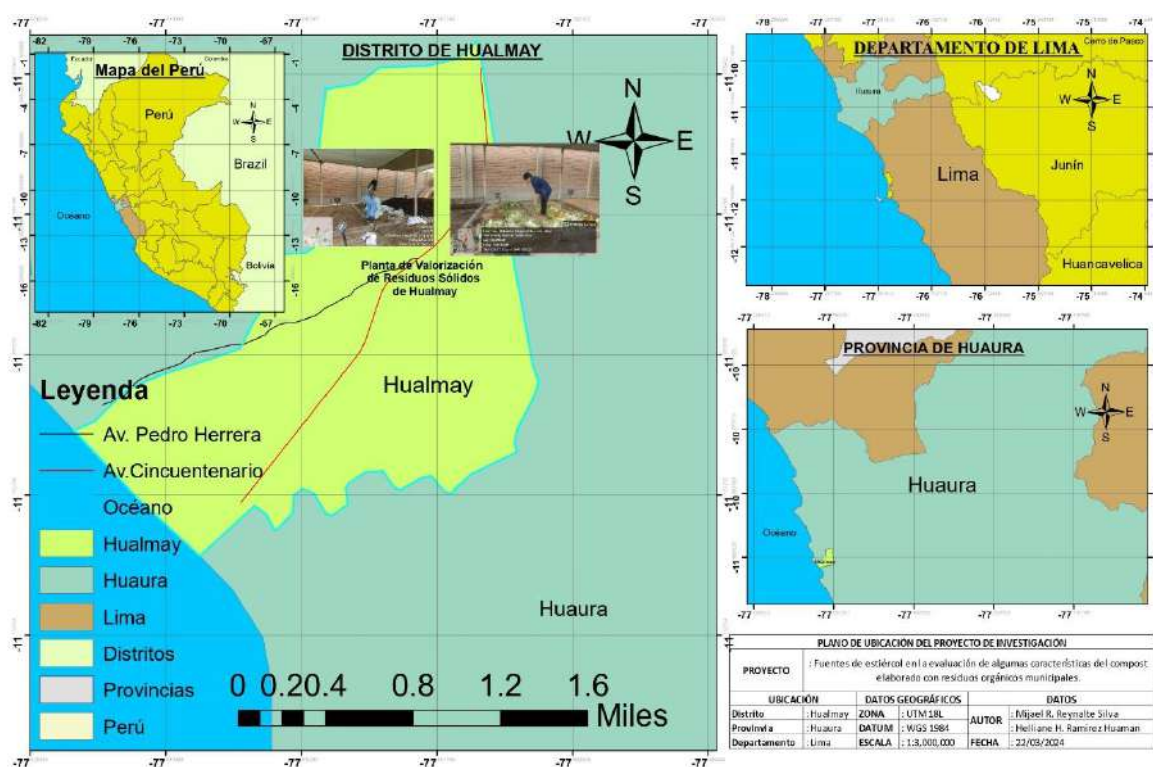
Variables	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Unidad
<b>Variable independiente</b>	Incorporación de tres tipos de estiércol al compost por separado para mejorar la eficiencia del producto final de compost y determinar cuál de ellas tiene un mayor rendimiento.	Tipo de estiércol	- Estiércol de cuy	- Kg
Fuentes de estiércol			- Estiércol de gallina	- Kg
			- Estiércol de vaca	- Kg
		Propiedad física	- Humedad	- %
			- Temperatura	- °C
			- Densidad aparente	- Kg/m <sup>3</sup>
			- Conductividad (CE)	- dS/m
			- pH	- Unidad
			- Plomo	- Ppm
			- Cadmio	- Ppm
			- Cromo	- Ppm
			- Arsénico	- Ppm
		Propiedad química	- Materia orgánica	- %
			- Nitrógeno	- %
			- Fósforo	- %
			- Potasio	- %
			- Calcio	- %
			- Magnesio	- %
				- Coliforme total
		Propiedad biológica	- Coliforme fecal	- NMP
			- Escherichia coli	- NMP
			- Salmonella spp	- UFC
<b>Variable dependiente</b>	Comparación de los parámetros del compost para determinar la calidad del producto final y analizar el cumplimiento de los parámetros según su rango que establece INACAL.			
Características físicas, químicas y biológicas del compost				

## CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

### 3.1 Diseño metodológico

#### 3.1.1. Ubicación

El proyecto se desarrolló dentro de la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos (PVRO) de la Municipalidad de Hualmay ubicada entre la Av. Cincuentenario y la Av. Pedro P. Herrera del distrito de Hualmay, provincia Huaura y departamento de Lima. La ubicación principal de la planta según UTM se encuentra en la zona 18L, con coordenadas: 215575 E, 8773282 N y una altitud de 57.00 m.s.n.m.



**Figura 2.** Mapa de la ubicación del proyecto de investigación.

**Nota:** La ubicación del proyecto se desarrollará dentro de la Planta de valorización de Residuos Orgánicos (PVRO) ubicado en el distrito de Hualmay, cerca de la Av. Pedro Herrera y la Av. Cincuentenario.

#### 3.1.2. Diseño experimental

**Tipo de investigación:** El proyecto de investigación fue de tipo experimental, ya que tuvo como propósito mejorar los parámetros físicos, químicos y biológicos del compost

mediante el aprovechamiento de residuos orgánicos municipales. Durante el proceso se trabajó con 12 pilas de compostaje, empleando tres tratamientos (T2, T2 y T4) de fuentes de estiércol (cuy, gallina y vaca) con 3 repeticiones cada una y 1 tratamiento del testigo (T1) con residuo orgánico de 3 repeticiones, para la comparación de los valores de los parámetros del compost obtenido con los rangos establecidos por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y dentro de los límites máximos permisibles según NCH 2880:2004.

De acuerdo con Bernal (2010), el tipo experimental se caracteriza porque el investigador actúa como un observador metódico y sistemático, obteniendo información del objeto de estudio a través de encuestas, entrevistas, documentos o análisis de vestigios, entre otros métodos. En este tipo de investigación, “se analiza el efecto por la acción o manipulación de una o más variables independientes sobre una o varias dependientes” (p. 120).

**Enfoque de investigación:** También denominado enfoque total o modelo multimodal, este enfoque fue el resultado de la conciliación entre los paradigmas cuantitativo y cualitativo, desarrollada por los filósofos de la Escuela de Frankfurt: Theodor Adorno, Max Horkheimer y Herbert Marcuse (Naupas et al., 2018).

Esta investigación presentó un enfoque cuantitativo, dado que siguió un procedimiento secuencial para la obtención del compost, aplicando las etapas correspondientes a cada una de las fases del proceso de compostaje. En función de ello, se analizaron las muestras obtenidas, con el propósito de interpretar los datos recolectados en campo y los resultados de laboratorio de suelos, los cuales fueron utilizados para el análisis estadístico y la formulación de las conclusiones de la investigación.

**Diseño de investigación:** El diseño experimental empleado en este estudio fue el de Bloques Completamente al Azar (DBCA), conformado por cuatro tratamientos con cuatro réplicas cada uno. Para la comparación de los tratamientos, se aplicó la prueba de Scott-Knott con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$

### **3.1.3. Características del área experimental**

La Planta de Valorización de Residuos Orgánicos (PVRO) del distrito de Hualmay, tiene una extensión aproximada de 1 800 m<sup>2</sup>. Dentro de ello, el proyecto experimental del mejoramiento del compostaje se desarrolló en un área de 200 m<sup>2</sup>, ubicada según UTM en la

Zona 18L, coordenadas 215575 E y 8773282 N de una altitud de 57,00 m.s.n.m. A continuación, se muestra una representación gráfica del área experimental (ver Figura 3).



**Figura 3.** Croquis del área experimental.

*Nota:* El área experimental es donde se elaborará el compostaje para las investigación de las características físicos, químicos y biológicos del compost.

### 3.1.4. Tratamientos

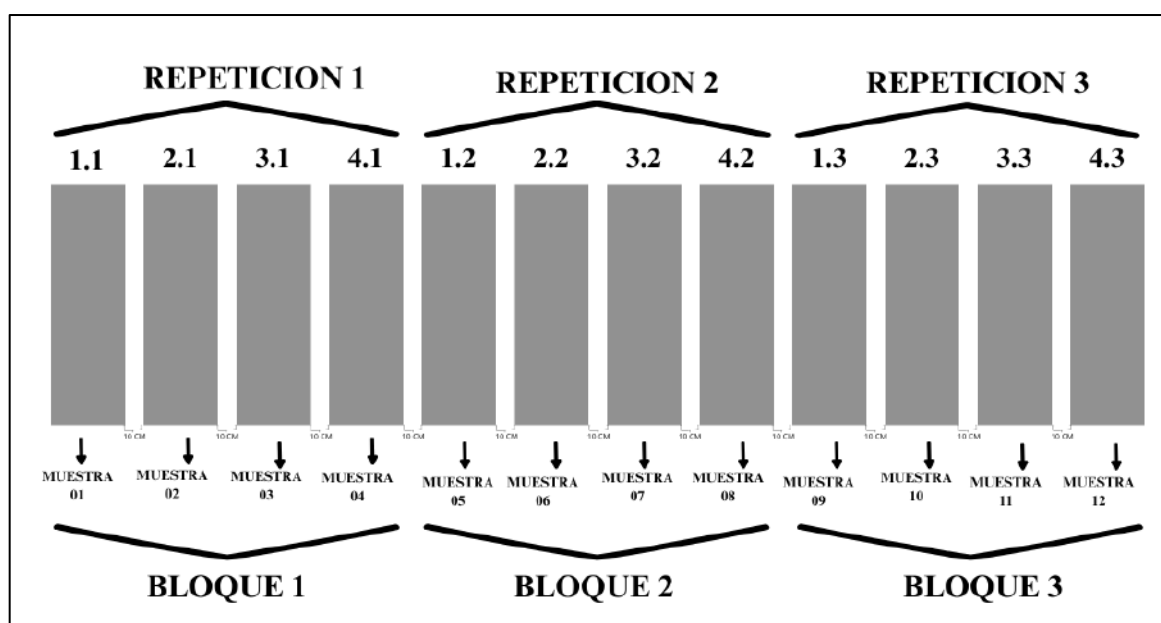
En el proyecto se realizaron cuatro tratamientos (T1, T2, T3 y T4), y tres repeticiones considerando igual cantidad de proporciones (por kg) de estiércol y residuo orgánico municipal (ROM) por tratamiento, a excepción del T1 (testigo) como se muestra en la siguiente tabla (ver tabla 3). Para lo cual, se evaluaron un total de 12 unidades experimentales.

**Tabla 3**

*Tratamientos del diseño de estudio*

N° Tratamiento	Tratamiento (%)			Bloque		
	100 %			I	II	III
T1	ROM (Testigo)			1.1	1.2	1.3
	50%			I	II	III
T2	ROM	+	EC	2.1	2.2	2.3
T3	ROM	+	EG	3.1	3.2	3.3
T4	ROM	+	EV	4.1	4.2	4.3

*Nota:* ROM: Residuos Orgánicos Municipales, EC: Estiércol de cuy, EG: Estiércol de gallina y EV: Estiércol de vaca.



**Figura 4.** Modelo de la instalación experimental de las pilas de compost.

*Nota:* En la Figura 4 se observa la distribución de las 12 muestras, con el número de repeticiones y bloques donde se muestra los cuatro tratamientos (T1, T2, T3 y T4).

### 3.1.5. Variables a evaluar

#### - Variable independiente

X: Fuentes de estiércol

- $x_1$ = Estiércol de cuy
- $x_2$ = Estiércol de gallina
- $x_3$ = Estiércol de vaca

- **Variable dependiente**

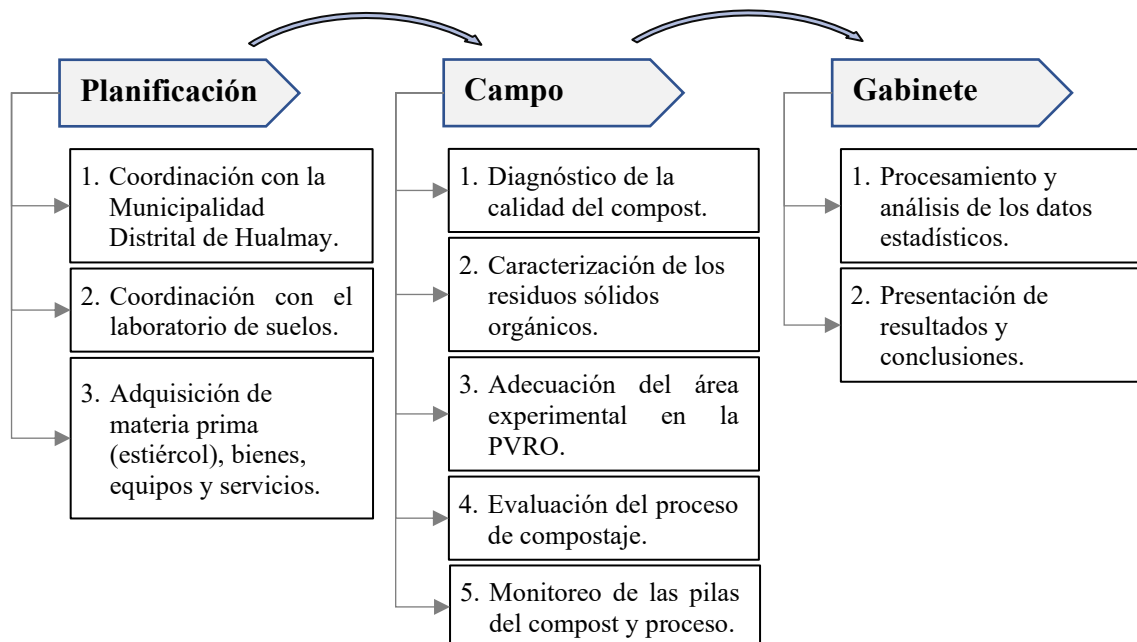
Y= Características físicas, químicas y biológicas del compost

- $y_1$ = Propiedad física
- $y_2$ = Propiedad química
- $y_3$ = Propiedad biológica

**3.1.6. Conducción del experimento**

La conducción del experimento se llevó a cabo mediante la recolección de datos presentados en tablas, donde se especificó el armado de las pilas de compostaje (Tablas 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75 y 76), los sectores de recolección de residuos orgánicos y estiércol de cuy, gallina y vaca del estudio experimental (Tablas 77, 78, 79, 80, 81, 82 y 83), el formato de monitoreo (Tablas 84, 85, 86, 87, 88y 89) y el otorgamiento de permiso (Figura 26).

El proyecto se desarrolló en tres fases, tal como se muestra en la Figura 5: planificación, campo y gabinete. A continuación, se detallaron las actividades que se realizaron en cada una de ellas.



**Figura 5.** Diagrama para la conducción del experimento.

## **Fase1: Planificación**

### **1. Coordinación con la Municipalidad Distrital de Hualmay.**

- a. Se presentó la solicitud para llevar a cabo la investigación experimental en la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos (PVRO) de la Municipalidad.
- b. Se gestionó la solicitud de información sobre los datos relacionados con la recolección de residuos orgánicos municipales.
- c. Se solicitó la información referente al número de participantes registrados en el programa “Hualmay Recicla Orgánico”.
- d. Se requirieron los datos correspondientes a la cantidad de residuos orgánicos recolectados mensualmente.
- e. Se tramitó la autorización para el armado de las pilas de compost dentro de la PVRO de la Municipalidad.

### **2. Coordinación con el laboratorio de suelos.**

- a. Se realizó la búsqueda de información sobre laboratorios de suelos debidamente acreditados para la ejecución de los ensayos de los parámetros del compost.
- b. Se gestionó la solicitud de cotización para la realización de los ensayos físicos, químicos y biológicos del compost.
- c. Se coordinó para enviar las muestras de compost al Laboratorio Mecánica de Suelos para efectuar los ensayos correspondientes de los parámetros físicos, químicos y biológicos.

### **3. Adquisición de materia prima (estiércol), bienes, equipos y servicios.**

#### **a. Identificación de necesidades.**

**Proceso de elaboración de compost:** El proceso de elaboración del compost, que comprendió el armado de las pilas de compostaje y la recolección de los residuos orgánicos, estuvo a cargo de la Municipalidad. Por su parte, los tesistas se encargaron de la dosificación del estiércol y los residuos orgánicos, previa aprobación de la unidad municipal responsable.

**Análisis del producto:** Para el proceso de análisis del compost se realizó la cotización en los siguientes laboratorios: Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y

Fertirriego (LASMAF) de la Universidad Nacional Agraria La Molina; Analytical Laboratory E.I.R.L (ALAB) y Laboratorio Mecánica de Suelos de la Universidad César Vallejo.

**Tramites documentarios de la universidad:** Se llevaron a cabo todos los procedimientos administrativos necesarios para garantizar la validez del estudio, desde su ejecución hasta la sustentación de tesis.

**a. Recepción y verificación.**

**Datos del proceso de elaboración de pilas:** Todos los datos requeridos fueron solicitados por transparencia de la Municipalidad Distrital de Hualmay.

**Muestra de compost:** Para las muestras del producto final (compost) se adquirió 1kg de cada pila de compostaje que fueron sustraídas personalmente por los tesistas, previa otorgación del permiso por parte de la Municipalidad.

**Datos de análisis:** Los resultados finales del compost fueron otorgados por el Laboratorio Mecánica de Suelos para analizar los parámetros del compost del estudio experimental.

**b. Registro y documentación.**

Toda la documentación los datos utilizados para validar la fiabilidad del proyecto estuvo acreditada por la Municipalidad y por el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad César Vallejo. Asimismo, las fotografías de las actividades realizadas estuvieron georreferenciadas y fechadas para garantizar su autenticidad y trazabilidad.

**Fase 2: Campo**

**1. Diagnóstico de la calidad del compost.**

La Municipalidad, a través de su Planta de Valorización de Residuos Orgánicos (PVRO), contó con la producción de compost, por lo que se tomó una primera muestra del producto elaborado por dicha unidad, con el fin de evaluar los parámetros físicos, químicos y biológicos en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad César Vallejo, de

esta manera, se identificó las variaciones de los diferentes tratamientos que se llevaron a cabo.

## **2. Caracterización de los residuos sólidos orgánicos.**

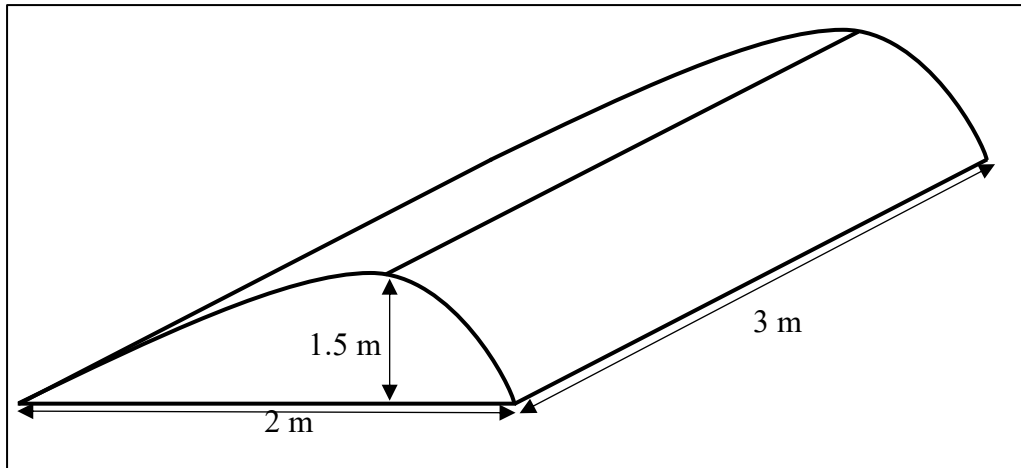
La población del distrito de Hualmay fue la fuente generadora de los residuos orgánicos utilizados en la presente investigación. Para ello, se emplearon los puntos de recolección registrados y participantes del programa “Hualmay Recicla Orgánico”. En el marco de dicho programa, la Municipalidad realizó un empadronamiento que permitió registrar diversos sectores generadores de residuos orgánicos, los cuales se detallaron en el Anexo (Tabla 77).

Por otro lado, el análisis de la cantidad de residuos orgánicos utilizados por pila se basó en los datos proporcionados por la Municipalidad, obtenidos a partir de un control previo de cuatro meses en la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos (PVRO), donde se registró la generación mensual de residuos sólidos (kg). Esta información permitió realizar el proceso de compostaje conforme a los tratamientos establecidos previamente, los cuales se presentan en el Anexo (Tablas 65, 66, 67 y 68).

## **3. Adecuación del área experimental en la PVRO.**

Para la ejecución del estudio se consideraron tres tipos de estiércol que fueron mezclados con los residuos orgánicos municipales, con los cuales se construyeron las pilas de compostaje de 3 metros de largo, 2 metros de ancho y 1,5 metros de altura.

Cada pila de compost requirió 1 tonelada de residuos orgánicos municipales y 1 tonelada de estiércol por tratamiento, mientras que para el tratamiento testigo se utilizaron 2 toneladas de residuos orgánicos municipales durante todo el proceso. Los estiércoles de cuy, gallina y vaca utilizados en este estudio fueron recolectados de los vecinos empadronados (Tabla 83) del distrito de Hualmay y posteriormente almacenados en un almacén destinado para este fin (Figura 29).



**Figura 6.** Modelo de la pila de compost del proyecto.

*Nota:* El modelo de la pila de compost comprenderá la capacidad máxima de 1.5 metros de altura con residuos orgánicos y estiércol.

**Tabla 4**

*Actividad del armado de las pilas de compostaje*

Pilas	Actividad de armado
<b>T1 (Testigo)</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Disposición de un espacio vacío para el inicio de la pila.</li> <li>2. Inserción de 2 toneladas de residuo orgánico de las viviendas en la pila asignada.</li> <li>3. Monitoreo del pH cada 5 días.</li> <li>4. Monitoreo de la Temperatura cada 5 días.</li> </ol>
<b>T2, T3 y T4</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Disposición de un espacio vacío para el inicio de la pila.</li> <li>2. Colocación de la 1ra capa a base de estiércol (350 kg).</li> <li>3. Colocación de la 2da capa a base de residuos orgánicos (500 kg).</li> <li>4. Colocación de la 3ra capa a base de estiércol (350kg).</li> <li>5. Colocación de la 4ta capa a base de residuos orgánicos (500kg).</li> <li>6. Colocación de la 5ta capa a base de estiércol (300kg).</li> <li>7. Monitoreo del pH cada 5 días.</li> <li>8. Monitoreo de la Temperatura cada 5 días.</li> </ol>

*Nota:* Los testistas realizarán las verificaciones in situ de que se cumpla el control biológico en todas las pilas al mismo tiempo, para evitar alteraciones o diferenciaciones en la metodología empleada, llevando a cabo mediante fotografías georreferenciadas.

**Tabla 5***Control biológico de las pilas de compostaje*

<b>Control Biológico</b>	<b>T1 (Testigo), T2, T3 y T4</b>
<b>Añadir cal</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Todos los sábados hasta finalizar el sellado de la pila.</li> <li>2. Después de finalizar el volteo programado, cada 10 días hasta la obtención del producto final.</li> </ol>
<b>Limpieza y desinfección de insumos.</b>	1. Previa actividad que requiera contacto directo de las pilas de compost con alguna de las herramientas o equipos.
<b>Fumigación contra plagas.</b>	1. 1 vez cada 3 meses, hasta la obtención del producto final (Compost).

*Nota:* Los testistas realizarán las verificaciones in situ de que se cumpla las siguientes actividades desde el sellado de la pila, y se llevará un control mediante fotografías georreferenciadas.

**Tabla 6***Control físico y químico de las pilas de compostaje*

<b>Actividad</b>	<b>T1 (Testigo), T2, T3 y T4</b>
<b>Medida de pH</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mientras se realiza el armado de la pila se hará una medición de manera quincenal.</li> <li>2. Una vez sellada la pila se llevará la medición todos los viernes hasta la obtención del producto final.</li> </ol>
<b>Medida de Temperatura</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mientras se realice el armado de la pila se hará una medición de manera quincenal.</li> <li>2. Una vez sellada la pila se llevará la medición todos los viernes hasta la obtención del producto final.</li> </ol>
<b>Volteo de Pila</b>	1. Una vez sellada la pila, se realizará un volteo cada 10 días.

**4. Monitoreo de las pilas del compost y proceso.**

Para el monitoreo del compost, se consideraron los parámetros que influyeron en el crecimiento y la actividad de los microorganismos. Se controló la temperatura, procurando que no fuera menor a 35 °C ni mayor a 70 °C, así como el pH, registrando los datos como se muestra en el formato M-01 (Tabla 84). La humedad se mantuvo dentro de un rango óptimo de 45 % a 60 %, y el contenido de oxígeno se controló entre 5 % y 15 % (Pabellón Verde, 2015).

Durante todo el proceso se monitorearon 12 pilas de compostaje, cada una conformada por 1 tonelada de materia orgánica y 1 tonelada de estiércol, con excepción del grupo control, que estuvo compuesto el total de 2 toneladas de materia orgánica.

Una vez alcanzada la cantidad establecida, el compost pasó por una fase de maduración de tres meses, durante la cual se realizaron tres volteos en los primeros 30 días. Concluido el periodo de maduración, el material se zarandeó y coló, finalizando así el proceso de compostaje. Posteriormente, el compost obtenido fue enviado al Laboratorio Mecánica de Suelos de la universidad César vallejo para efectuar los ensayos correspondientes de los parámetros a evaluar.

Para este propósito, se definieron la población y la muestra de acuerdo con lo siguiente:

#### **a. Población**

Para la población, se tomó en consideración el total de residuos orgánicos municipales generados y el estiércol (de cuy, gallina y vaca) que se incorporó en las pilas de compostaje. Esta mezcla inicial fue la base sobre la cual se desarrolló todo el proceso de compostaje.

#### **b. Muestra**

Para obtener la muestra del ensayo, se extrajo 1 kg del producto final por tratamiento, obteniendo un total de 12 kg de muestra destinados al Laboratorio Mecánica de Suelos para ser analizados los parámetros correspondientes.

### **Fase 3: Gabinete**

#### **1. Procesamiento y análisis de los datos estadísticos.**

Para el procesamiento de los datos de los parámetros evaluados, se utilizaron programas como Microsoft Excel, y para el análisis de los resultados se aplicó la prueba de Scott-Knott, con el fin de evaluar las propiedades físicas, químicas y biológicas del compost. Los resultados se verificaron con los valores y rangos establecidos en normas nacionales e internacionales.

## **2. Presentación de resultados y conclusiones.**

Por último, se presentaron los resultados obtenidos mediante la prueba de Scott-Knott, realizando una comparación con las normas nacionales e internacionales con el propósito de formular las conclusiones en función de los objetivos planteados en el proyecto.

### **3.2 Técnicas para el procesamiento de la información**

Para el procesamiento de la información de la investigación, se utilizaron dos programas: ArcGIS y Google Earth con el propósito de georreferenciar la ubicación del área de estudio. Asimismo, para el procesamiento de la base de datos, se empleó Microsoft Excel y R Studio.

En cuanto al análisis de los datos, se aplicó la estadística descriptiva, de modo que los resultados de los parámetros físicos, químicos y biológicos fueron comparados con las normas nacionales e internacionales, específicamente la NTP 201.208:2021 y la NCH 2880:2004. Posteriormente, se ejecutó la prueba de Scott-Knott con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ , con la finalidad de contrastar las hipótesis de la investigación.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS

### 4.1 Análisis de la propiedad físico

#### 4.1.1 Humedad (%)

**Tabla 7**

*Resultados del análisis de humedad del compost*

Repeticiones	Análisis de la Humedad (%)			
	T1	T2	T3	T4
Bloque I	32.14	35.18	35.07	37.65
Bloque II	32.18	35.44	35.38	37.89
Bloque III	32.12	36.11	35.78	38.09
<b>Promedio</b>	<b>32.15</b>	<b>35.58</b>	<b>35.41</b>	<b>37.88</b>

En la Tabla 7 se presentan los valores promedio de humedad obtenidos varían entre 32.15 % y 37.88 %, como el promedio encontrándose dentro de los rangos establecidos por la NTP 201.208:2021, que recomienda valores mayores al 35 % y menores al 50 %, así como por la NCH 2880:2004, que establecen un rango óptimo de 30 % a 45 %. Esto evidencia que el compost generado alcanzó una humedad adecuada para mantener la actividad microbiana durante el proceso y favorecer su estabilización final. Los tratamientos con incorporación de estiércol mostraron una ligera mejora en la retención de humedad respecto al testigo.

**Tabla 8**

*Análisis de varianza de humedad del compost*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calc.	p-valor
Tratamiento	49.98	3	16.66	360.98	0.000
Bloque	0.53	2	0.27	5.8	0.0396
Error	0.28	6	0.046		
Total	50.79	11			

CV (%) = 0.61

Promedio general = 35.25

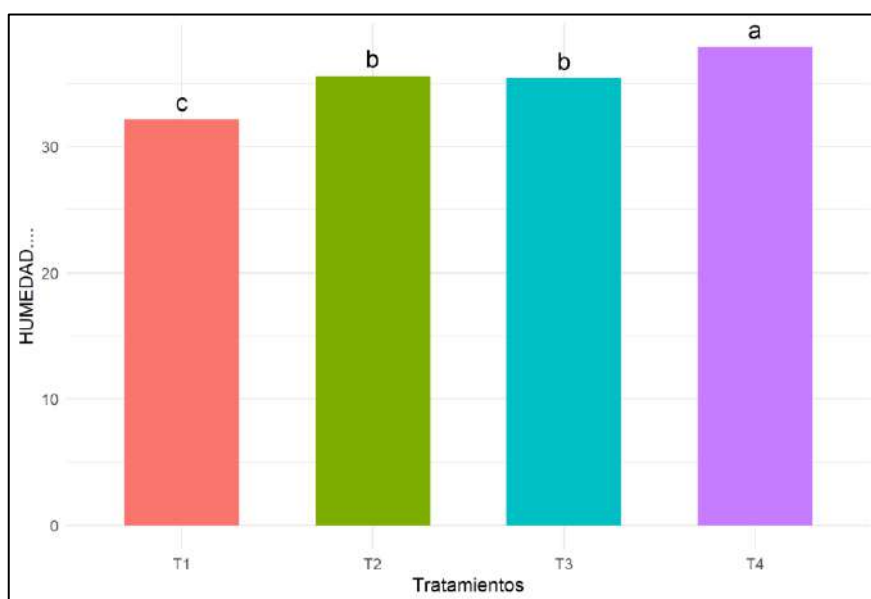
En la Tabla 8 se presentan los resultados del análisis de varianza Anova para el parámetro físico humedad del compost producido en la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos (PVRO) de Hualmay.

El análisis muestra que el factor tratamiento presenta diferencias altamente significativas ( $F = 360.98$ ;  $p = 0.0000 < 0.05$ ), lo cual indica que el tipo de estiércol incorporado influye de manera significativa en el contenido de humedad. Asimismo, el bloque presentó un efecto significativo ( $F = 5.8$ ;  $p = 0.0396 < 0.05$ ), evidenciando ligeras variaciones entre las repeticiones experimentales. El coeficiente de variación ( $CV = 0.61 \%$ ) refleja una excelente precisión experimental y el promedio general ( $35.25 \%$ ) se encuentra dentro del rango óptimo reportado para compost.

**Tabla 9**

*Prueba de Scott-Knott al 5% de humedad del compost*

Tratamiento	Media de humedad	Agrupamiento
T4	37.88	a
T2	35.58	b
T3	35.41	b
T1	32.15	c



**Figura 7.** Comparación de tratamientos de humedad del compost.

De acuerdo con la prueba de Scott-Knott al 5 %, los tratamientos se agruparon en tres categorías: el T4 (ROM + EV) alcanzó la mayor media de humedad ( $37.87 \%$ ) y se ubicó en el grupo “a”, seguido de T2 (ROM + EC) y T3 (ROM + EG) con valores de  $35.57 \%$  y  $35.41 \%$ , pertenecientes al grupo “b”, mientras que el T1 (Testigo) registró el valor más bajo ( $32.14 \%$ ) y se clasificó en el grupo “c”. Estos resultados confirman que la adición de

estiércol de vaca generó una mejor retención de humedad en el compost, diferenciándose significativamente de los demás tratamientos.

#### 4.1.2 Temperatura (°C)

**Tabla 10**

*Resultados del análisis de temperatura del compost*

Repeticiones	Análisis de la Temperatura (°C)			
	T1	T2	T3	T4
Bloque I	23.5	25.3	25.8	25.6
Bloque II	23.6	26.4	26.7	26.3
Bloque III	23.2	26.8	26.8	26.7
<b>Promedio</b>	<b>23.43</b>	<b>26.17</b>	<b>26.43</b>	<b>26.20</b>

En la Tabla 10 se presentan los valores de temperatura obtenidos en el compost elaborado con diferentes tipos de estiércol. Los valores oscilaron entre 23.2 °C y 26.80 °C. El tratamiento T2 (ROM + EC) y T3 (ROM + EG) alcanzaron la mayor temperatura (26.8 °C), seguido de T4 (ROM + EV) y T2 (ROM + EC) con valores de 26.7 °C, mientras que el testigo (T1) presentó la temperatura más baja (23.2 °C). Estos resultados reflejan que la incorporación de estiércol contribuyó al incremento de la temperatura del compost, lo que favorece la actividad microbiana y la degradación de la materia orgánica durante el proceso de maduración.

**Tabla 11**

*Análisis de varianza de temperatura del compost*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calc.	p-valor
Tratamiento	18.19	3	6.06	38.77	0.00025
Bloque	1.589	2	0.79	5.06	0.052
Error	0.94	6	0.15		
Total	20.72	11			

CV (%) = 1.55  
Promedio general = 25.56

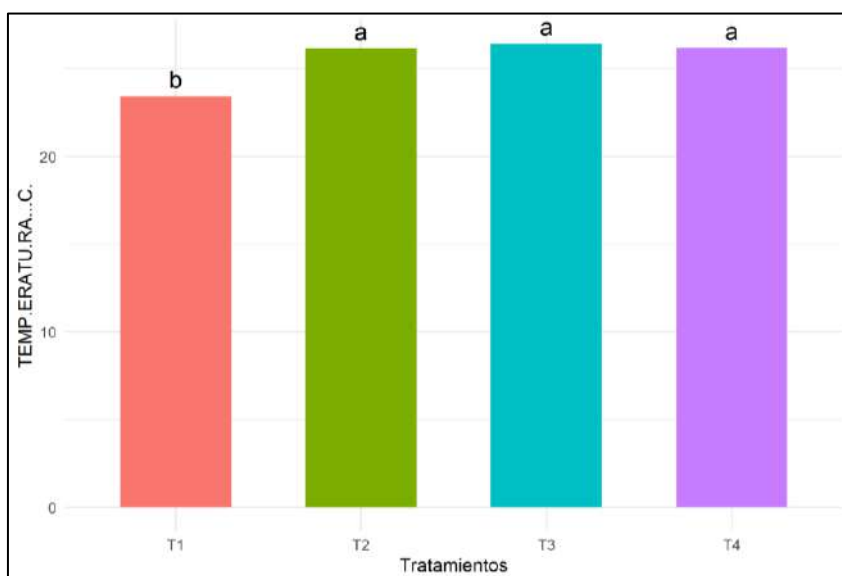
De acuerdo con los resultados del Anova, el factor tratamiento presentó diferencias altamente significativas ( $F = 38.77$ ;  $p = 0.00025 < 0.05$ ), lo que demuestra que el tipo de

estiércol incorporado influye significativamente sobre la temperatura del compost. El factor bloque también mostró efecto significativo ( $F = 5.06$ ;  $p = 0.052 < 0.05$ ), evidenciando ligeras variaciones entre repeticiones experimentales. El coeficiente de variación ( $CV = 1.55\%$ ) indica una excelente precisión experimental, y el promedio general de 25.56.

**Tabla 12**

*Prueba de Scott-Knott al 5% de temperatura del compost*

Tratamiento	Media de temperatura	Agrupamiento
T3	26.43	a
T4	26.20	a
T2	26.17	a
T1	23.43	b



**Figura 8.** Comparación de tratamientos de temperatura del compost.

Según los resultados de la prueba de Scott-Knott al 5%, los tratamientos T3 (ROM + EG), T4 (ROM + EV) y T2 (ROM + EC) se agruparon en el grupo “a”, mientras que el testigo T1 (ROM) se ubicó en el grupo “b”. Esto indica que la adición de estiércol de cuy, gallina y vaca contribuyó significativamente a elevar la temperatura del compost en comparación con el tratamiento sin adición de estiércol, siendo el estiércol de gallina (T3) el que alcanzó la mayor temperatura promedio.

### 4.1.3 Densidad aparente (Kg/m<sup>3</sup>)

**Tabla 13**

*Resultados del análisis de densidad aparente del compost*

Repeticiones	Análisis de la Densidad aparente (Kg/m <sup>3</sup> )			
	T1	T2	T3	T4
Bloque I	239.11	235.05	375.07	417.12
Bloque II	378.24	235.01	374.09	417.05
Bloque III	239.11	234.78	374.04	473.89
<b>Promedio</b>	<b>285.49</b>	<b>234.95</b>	<b>374.40</b>	<b>436.02</b>

La densidad aparente del compost varió entre 234.78 y 473.89 kg/m<sup>3</sup>. El tratamiento T4 (ROM + EV) alcanzó la mayor densidad (473.89 kg/m<sup>3</sup>), seguido por T3 (ROM + EG) (374.09 kg/m<sup>3</sup>). Los valores más bajos correspondieron al T2 (ROM + EC) (234.78 kg/m<sup>3</sup>) y T1 (ROM – testigo) (239.11 kg/m<sup>3</sup>) y T2 (ROM + EC) (235.01 kg/m<sup>3</sup>). Al contrastar con los requisitos normativos, estos valores quedan por debajo del rango recomendado por la NTP 201.208:2021 (550–850 kg/m<sup>3</sup>), aunque cumplen con la NCH 2880:2004 ( $\leq 700$  kg/m<sup>3</sup>). En términos prácticos, una densidad por debajo del rango NTP sugiere una mezcla más suelta/aireada (alta porosidad), lo que facilita oxigenación, pero puede requerir ligero incremento de compactación o ajuste de humedad para mejorar estabilidad y uniformidad del producto final.

**Tabla 14**

*Análisis de varianza de densidad aparente del compost*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calc.	p-valor
Tratamiento	72596.17	3	24198.72	11.48	0.0067
Bloque	2412.48	2	1206.24	0.57	0.59
Error	12644.21	6	2107.37		
Total	87 652.86	11			

CV (%) = 13.8  
Promedio general = 332.71

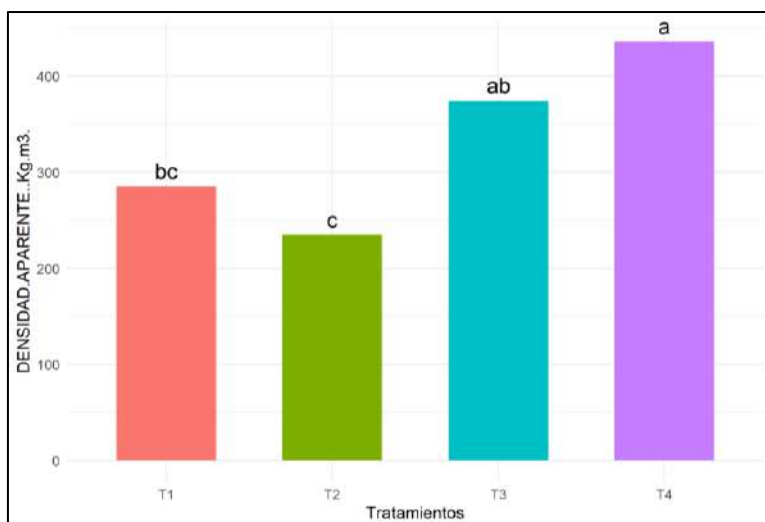
El análisis de varianza Anova mostró un efecto altamente significativo del factor Tratamiento sobre la densidad aparente del compost ( $F = 11.48$ ;  $p = 0.0067 < 0.01$ ), lo que evidencia que el tipo de estiércol incorporado influyó de manera significativa en este

parámetro físico. En contraste, el factor Bloque no presentó diferencias significativas ( $F = 0.57$ ;  $p = 0.59 > 0.05$ ), indicando que las variaciones entre las repeticiones experimentales fueron mínimas frente al efecto principal de los tratamientos. El coeficiente de variación ( $CV = 13.8\%$ ) refleja una precisión experimental aceptable, lo que respalda la confiabilidad de los resultados obtenidos.

**Tabla 15**

*Prueba de Scott-Knott al 5% de densidad aparente del compost*

Tratamiento	Media de densidad aparente	Agrupamiento
T4	436.02	a
T3	374.40	ab
T1	285.49	bc
T2	234.95	c



**Figura 9.** Comparación de tratamientos de densidad aparente del compost.

La prueba de agrupamiento confirmó las diferencias entre tratamientos. De acuerdo con T4 (ROM + EV) quedó en el grupo “a” (mayor densidad), T3 (ROM + EG) se ubicó inmediatamente por debajo (“ab”, indicando proximidad al grupo superior), mientras que T1 (ROM – testigo) y T2 (ROM + EC) formaron los grupos inferiores. En términos operativos, el estiércol de vaca (T4) genera el compost más denso y estructuralmente más compacto, el de gallina (T3) ofrece un incremento intermedio, y el testigo (T1) junto con el de cuy (T2) presentan las densidades más bajas.

## 4.2 Análisis de la propiedad químico

### 4.2.1 Conductividad eléctrica (dS/m)

**Tabla 16**

*Resultados del análisis de conductividad eléctrica del compost*

Repeticiones	Análisis de la Conductividad eléctrica (dS/m)			
	T1	T2	T3	T4
Bloque I	11.35	8.30	11.64	13.52
Bloque II	15.02	8.35	12.14	15.18
Bloque III	11.41	8.45	12.88	16.21
<b>Promedio</b>	<b>12.59</b>	<b>8.37</b>	<b>12.22</b>	<b>14.97</b>

Los valores de conductividad eléctrica del compost oscilaron entre 8.30 dS/m y 16.21 dS/m. Los resultados muestran que los tratamientos con incorporación de estiércol presentaron valores más altos de conductividad en comparación con el testigo (ROM). Los valores óptimos reportados para compost suelen encontrarse entre 2 y 4 dS/m según la NTP 201.208:2021 y no mayores a 3 dS/m según la NCH 2880:2004. Por lo tanto, los valores obtenidos superan ampliamente los rangos normativos, indicando una acumulación de sales que podría deberse al aporte mineral de los estiércoles usados, principalmente de vaca y gallina.

**Tabla 17**

*Análisis de varianza de conductividad eléctrica del compost*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calc.	p-valor
Tratamiento	67.25	3	22.42	15.38	0.0032
Bloque	4.56	2	2.28	1.56	0.29
Error	8.75	6	1.46		
Total	80.56	11			

CV (%) = 10.03  
Promedio general = 12.04

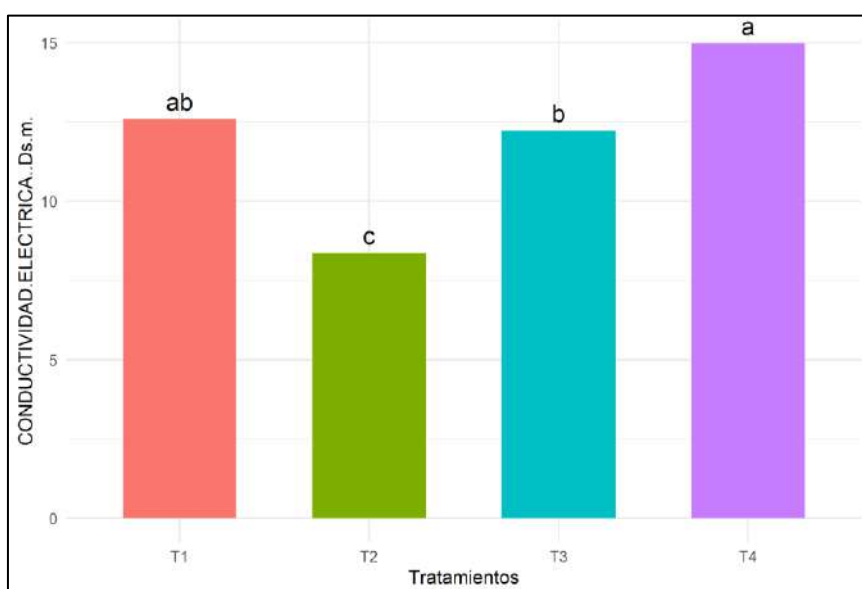
El análisis de varianza evidenció diferencias altamente significativas entre tratamientos ( $F = 15.38$ ;  $p = 0.0032 < 0.05$ ), lo que demuestra que el tipo de estiércol empleado influyó significativamente en la conductividad eléctrica del compost. En contraste, el efecto del bloque no fue significativo ( $F = 1.56$ ;  $p = 0.29 > 0.05$ ), lo que indica que las

repeticiones mantuvieron uniformidad. El coeficiente de variación ( $CV = 10.03\%$ ) muestra una buena precisión experimental. Estos resultados confirman que la variación observada en la conductividad eléctrica se debe principalmente al tipo de estiércol incorporado en el proceso de compostaje.

**Tabla 18**

*Prueba de Scott-Knott al 5% de conductividad eléctrica del compost*

Tratamiento	Media de conductividad eléctrica	Agrupamiento
T4	14.97	a
T1	12.59	ab
T3	12.22	b
T2	8.37	c



**Figura 10.** Comparación de tratamientos de conductividad eléctrica del compost.

Según la prueba de Scott-Knott, los tratamientos se agruparon en tres categorías. El T4 (ROM + EV) presentó la mayor media (14.97 dS/m) y se ubicó en el grupo “a”, seguido por T1 (ROM – Testigo) con 12.59 dS/m en el grupo “ab”, y T3 (ROM + EG) con 12.22 dS/m en el grupo “b”. Finalmente, el T2 (ROM + EC) registró la menor conductividad (8.37 dS/m) y se clasificó en el grupo “c”. Esto evidencia que el estiércol de vaca (T4) generó la mayor acumulación de sales en el compost, mientras que el estiércol de cuy (T2) produjo los valores más bajos, lo cual podría considerarse más favorable en términos de calidad agronómica, ya que un exceso de sales puede limitar el crecimiento de plantas.

## 4.2.2 pH

**Tabla 19**

*Resultados del análisis de pH del compost*

Repeticiones	Análisis de pH			
	T1	T2	T3	T4
Bloque I	6.18	6.75	7.42	6.95
Bloque II	6.15	6.85	6.44	7.08
Bloque III	6.21	6.78	7.46	7.18
<b>Promedio</b>	<b>6.18</b>	<b>6.79</b>	<b>7.11</b>	<b>7.07</b>

Los valores de pH obtenidos oscilaron entre 6.15 y 7.46, lo que indica que el compost presenta una ligera tendencia a la neutralidad. Estos valores son considerados adecuados para compost maduros, ya que el rango óptimo de pH para la actividad microbiana y la estabilidad del compost se sitúa entre 6.5 y 8.0 según las normas NTP 201.208:2021 y NCH 2880:2004. Los tratamientos con incorporación de estiércol mostraron valores ligeramente superiores al testigo, lo que sugiere que la adición de estiércol de cuy, gallina y vaca favorecen la neutralización de la acidez del material compostado, producto de la descomposición y mineralización de la materia orgánica.

**Tabla 20**

*Análisis de varianza para el pH del compost*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calc.	p-valor
Tratamiento	1.65	3	0.55	6.13	0.029
Bloque	0.16	2	0.08	0.9	0.45
Error	0.54	6	0.090		
Total	2.35	11			

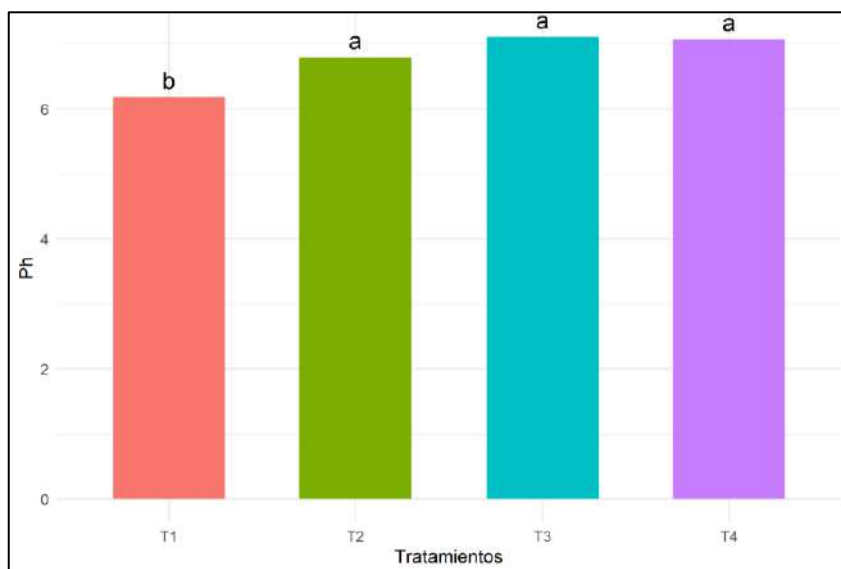
CV (%) = 4.41  
Promedio general = 6.79

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre tratamientos ( $F = 6.13$ ;  $p = 0.029 < 0.05$ ), lo que demuestra que el tipo de estiércol utilizado influyó significativamente en el pH final del compost. En cambio, el efecto del bloque no fue significativo ( $F = 0.9$ ;  $p = 0.45 > 0.05$ ), evidenciando que las repeticiones experimentales fueron consistentes. El coeficiente de variación ( $CV = 4.41\%$ ) indica una alta precisión experimental, lo que otorga fiabilidad a los resultados obtenidos.

**Tabla 21**

*Prueba de Scott-Knott al 5% para el pH del compost*

Tratamiento	Media de pH	Agrupamiento
T3	7.11	a
T4	7.07	a
T2	6.79	a
T1	6.18	b



**Figura 11.** Comparación de tratamientos de pH del compost.

De acuerdo con la prueba de Scott-Knott, los tratamientos se agruparon en dos categorías. El T3 (ROM + EG) presentó la mayor media de pH (7.11) y se ubicó en el grupo “a”, junto con el T4 (ROM + EV) con 7.07 y el T2 (ROM + EC) con 6.79, mientras que el T1 (Testigo), con 6.18, se clasificó en el grupo “b”. Estos resultados indican que la adición de estiércol de cuy, gallina y vaca incrementaron el pH del compost, promoviendo una condición más cercana a la neutralidad, ideal para la estabilización biológica y la reducción de la acidez típica de las primeras etapas del proceso de compostaje.

### 4.2.3 Plomo (mg/L)

**Tabla 22**

*Resultados del análisis del plomo en el compost.*

Repeticiones	Análisis del Plomo (mg/L)			
	T1	T2	T3	T4
Bloque I	0.0005	0.0003	0.0003	0.0005
Bloque II	0.0005	0.0002	0.0002	0.0005
Bloque III	0.0002	0.0001	0.0001	0.0003
<b>Promedio</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0004</b>

Los valores de plomo obtenidos en los diferentes tratamientos oscilaron entre 0.0001 mg/L y 0.0005 mg/L. Estos resultados se encuentran muy por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por las normas NTP 201.208:2021 (150 ppm), EPA (300 ppm) y NCH 2880:2004 (100 mg/kg), evidenciando que el compost producido no presenta contaminación por este metal pesado y cumple con las normativas nacionales e internacionales de calidad para compost. La baja concentración observada puede atribuirse a la ausencia de fuentes contaminantes metálicas en los residuos orgánicos municipales y en los estiércoles utilizados, lo que garantiza la inocuidad del producto final.

**Tabla 23**

*Análisis de varianza del plomo en el compost*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calc.	p-valor
Tratamiento	$1.43 \times 10^{-7}$	3	$4.75 \times 10^{-8}$	19	0.0018
Bloque	$1.12 \times 10^{-7}$	2	$5.58 \times 10^{-8}$	22.33	0.0017
Error	$1.50 \times 10^{-8}$	6	$2.50 \times 10^{-9}$		
Total	0	11			

CV (%) = 16.22  
Promedio general = 0

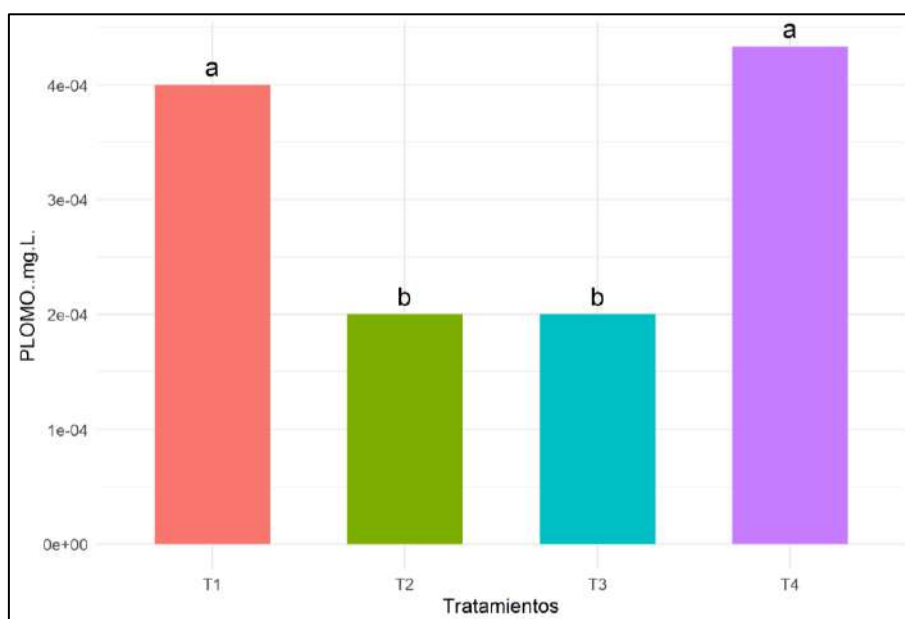
El análisis de varianza mostró que el factor tratamiento presentó un efecto altamente significativo sobre el contenido de plomo ( $F = 19.00$ ;  $p = 0.0018 < 0.01$ ), lo que indica que la adición de diferentes tipos de estiércol influye de manera significativa en la concentración de plomo del compost. Asimismo, el factor Bloque también resultó significativo ( $F = 22.33$ ;  $p = 0.0017 < 0.01$ ), reflejando ligeras variaciones entre repeticiones experimentales. El

coeficiente de variación (CV = 16.22%) es aceptable para este tipo de análisis químicos, lo que demuestra una buena precisión experimental.

**Tabla 24**

*Prueba de Scott-Knott al 5% del plomo en el compost.*

Tratamiento	Media del plomo	Agrupamiento
T4	0.0004	a
T1	0.0004	a
T2	0.0002	b
T3	0.0002	b



**Figura 12.** Comparación de tratamientos sobre el plomo en el compost.

Según la prueba de Scott-Knott, los tratamientos se agruparon en dos categorías principales. El T4 (ROM + EV) y el T1 (Testigo) presentaron las mayores concentraciones promedio de plomo (0.00043 mg/L y 0.0003 mg/L, respectivamente), ubicándose en el grupo “a”, mientras que los tratamientos T2 (ROM + EC) y T3 (ROM + EG), con 0.0002 mg/L, se agruparon en el grupo “b”. Estos resultados indican que, todas las concentraciones se mantienen muy por debajo de los límites normativos, por lo que el compost puede considerarse libre de contaminación por plomo y seguro para su aplicación.

#### 4.2.4 Cadmio (mg/L)

**Tabla 25**

*Resultados del análisis de cadmio en el compost*

Repeticiones	Análisis del Cadmio (mg/L)			
	T1	T2	T3	T4
Bloque I	0.0006	0.0003	0.0005	0.0006
Bloque II	0.0004	0.0002	0.0003	0.0003
Bloque III	0.0003	0.0001	0.0002	0.0002
<b>Promedio</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0004</b>

Los valores de cadmio obtenidos variaron entre 0.0001 mg/L y 0.0006 mg/L. Estas concentraciones son notablemente inferiores a los límites establecidos por las normas NTP 201.208:2021 (2.5 ppm), EPA (10 ppm) y NCH 2880:2004 (2 mg/kg), lo que evidencia que el compost elaborado no presenta riesgos de contaminación por cadmio y cumple ampliamente con los criterios de calidad ambiental para compost orgánico. La baja presencia de este metal pesado indica que las materias primas utilizadas, tanto los residuos orgánicos municipales como los estiércoles, son limpias y seguras, sin aporte significativo de contaminantes metálicos.

**Tabla 26**

*Análisis de varianza del cadmio en el compost*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calc.	p-valor
Tratamiento	8.67 <sup>-8</sup>	3	2.89 <sup>-8</sup>	13	0.0049
Bloque	1.87 <sup>-7</sup>	2	9.3 <sup>-8</sup>	42	0.0003
Error	1.33 <sup>-8</sup>	6	2.2 <sup>-9</sup>		
Total	0	11			

CV (%) = 14.14  
Promedio general = 0

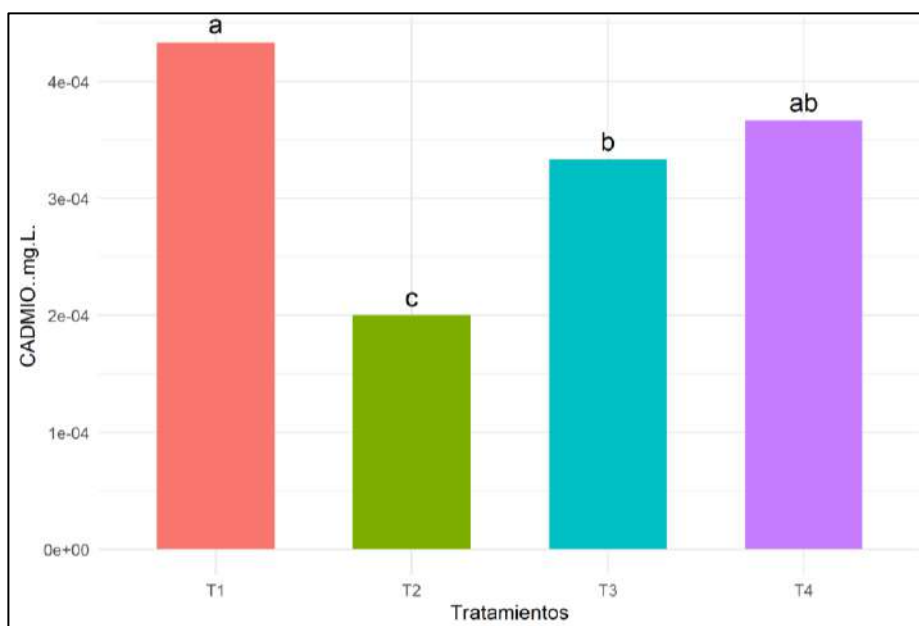
El análisis de varianza evidenció efecto altamente significativo del factor Tratamiento sobre la concentración de cadmio ( $F = 13.00$ ;  $p = 0.0049 < 0.01$ ), demostrando que el tipo de estiércol incorporado influye de manera estadísticamente significativa en la cantidad de cadmio en el compost. Asimismo, el factor Bloque también resultó altamente significativo ( $F = 42.00$ ;  $p = 0.0003 < 0.01$ ), indicando ligeras variaciones entre repeticiones

experimentales. El coeficiente de variación (CV = 14.14%) refleja una precisión experimental adecuada, lo que da solidez a los resultados obtenidos.

**Tabla 27**

*Prueba de Scott-Knott al 5% del cadmio en el compost*

Tratamiento	Media de cadmio	Agrupamiento
T1	0.0004	a
T4	0.0003	ab
T3	0.0003	b
T2	0.0002	c



**Figura 13.** Comparación de tratamientos sobre cadmio en el compost.

Según la prueba de Scott-Knott, los tratamientos se agruparon en tres categorías. El T1 (Testigo) mostró la mayor media de concentración de cadmio (0.0004 mg/L) y se ubicó en el grupo “a”, seguido del T4 (ROM + EV) con 0.0003 mg/L, perteneciente al grupo “ab”, mientras que los tratamientos T3 (ROM + EG) y T2 (ROM + EC) presentaron valores más bajos (0.0003 y 0.0002 mg/L) y se clasificaron en el grupo “b” y “c” respectivamente. Todas las concentraciones son extremadamente bajas, confirmando que el compost producido en la PVRO de Hualmay es seguro, estable y cumple con las normativas nacionales e internacionales en cuanto a contenido de metales pesados.

#### 4.2.5 Cromo (mg/L)

**Tabla 28**

*Resultados del análisis de cromo en el compost*

Repeticiones	Análisis del Cromo (mg/L)			
	T1	T2	T3	T4
Bloque I	0.0009	0.0004	0.0008	0.0005
Bloque II	0.0003	0.0003	0.0005	0.0002
Bloque III	0.0002	0.0002	0.0003	0.0001
<b>Promedio</b>	<b>0.0005</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0005</b>	<b>0.0003</b>

Los valores de cromo obtenidos en los tratamientos oscilaron entre 0.0001 mg/L y 0.0009 mg/L. Estas concentraciones se encuentran muy por debajo de los límites establecidos por la NTP 201.208:2021 (200 ppm), EPA (400 ppm) y NCH 2880:2004 (120 mg/kg). Esto demuestra que el compost elaborado en la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos (PVRO) de Hualmay no presenta contaminación por cromo, garantizando un producto químicamente seguro y apto para uso. La baja concentración registrada sugiere que los insumos empleados (residuos orgánicos y estiércoles) no aportaron metales pesados relevantes al proceso de compostaje.

**Tabla 29**

*Análisis de varianza para el cromo del compost*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calc.	p-valor
Tratamiento	1.5 <sup>-7</sup>	3	4.9 <sup>-8</sup>	3.38	0.095
Bloque	4.3 <sup>-7</sup>	2	2.1 <sup>-7</sup>	14.66	0.005
Error	8.8 <sup>-8</sup>	6	1.5 <sup>-8</sup>		
Total	0	11			

CV (%) = 30.98  
Promedio general = 0

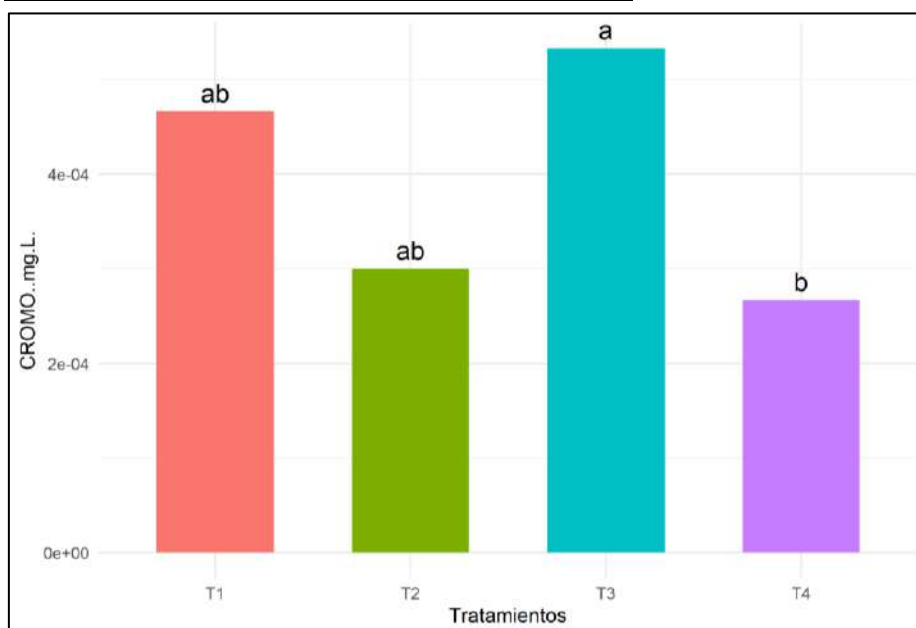
El análisis de varianza mostró que el factor Tratamiento no presentó diferencias significativas sobre el contenido de cromo ( $F = 3.38$ ;  $p = 0.095 > 0.05$ ), indicando que el tipo de estiércol incorporado no tuvo un efecto estadísticamente importante sobre este parámetro. En cambio, el factor Bloque sí evidenció diferencias significativas ( $F = 14.66$ ;  $p = 0.005 < 0.05$ ), lo que sugiere que hubo ligeras variaciones entre repeticiones

experimentales. El coeficiente de variación (CV = 30.98 %) indica variabilidad moderada en los datos, pero dentro de un rango aceptable para estudios experimentales de compostaje.

**Tabla 30**

*Prueba de Scott-Knott al 5% para el cromo del compost*

Tratamiento	Media de cromo	Agrupamiento
T3	0.0005	a
T1	0.0005	ab
T2	0.0003	ab
T4	0.0003	b



**Figura 14.** Comparación de tratamientos sobre cromo en el compost.

Según la prueba de Scott-Knott, los tratamientos se agruparon en tres categorías. El T3 (ROM + EG) registró la mayor concentración media de cromo (0.00053 mg/L) y se ubicó en el grupo “a”, seguido de T1 (Testigo) y T2 (ROM + EC) con medias de 0.00047 mg/L y 0.0003 mg/L, respectivamente, ambos en el grupo “ab”. Finalmente, el T4 (ROM + EV) presentó el valor más bajo (0.00027 mg/L) y se clasificó en el grupo “b”. En conjunto, estos resultados indican que las diferencias observadas son mínimas y sin implicancia práctica, confirmando que todas las formulaciones cumplen con las normas de calidad ambiental respecto al contenido de cromo en compost.

#### 4.2.6 Arsénico (mg/L)

**Tabla 31**

*Resultados del análisis de arsénico en el compost*

Repeticiones	Análisis del Arsénico (mg/L)			
	T1	T2	T3	T4
Bloque I	0.0004	0.0001	0.0001	0.0003
Bloque II	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001
Bloque III	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001
<b>Promedio</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0002</b>

Los valores de arsénico registrados en los tratamientos oscilaron entre 0.0001 mg/L y 0.0004 mg/L. Estas concentraciones son notablemente inferiores a los límites máximos permitidos por la NTP 201.208:2021 (15 ppm) y la NCH 2880:2004 (15 mg/kg). Esto confirma que el compost generado en la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos (PVRO) de Hualmay cumple con las normas nacionales e internacionales, garantizando un material libre de contaminación por arsénico y seguro para su aplicación. La baja concentración indica que los residuos orgánicos y los estiércoles utilizados no aportaron trazas relevantes de este metal durante el proceso de compostaje.

**Tabla 32**

*Análisis de varianza para el arsénico en el compost*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calc.	p-valor
Tratamiento	5.5 <sup>-8</sup>	3	1.9 <sup>-8</sup>	4.19	0.064
Bloque	2.7 <sup>-8</sup>	2	1.3 <sup>-8</sup>	3	0.125
Error	2.7 <sup>-8</sup>	6	4.4 <sup>-9</sup>		
Total	0	11			

CV (%) = 42.11  
Promedio general = 0

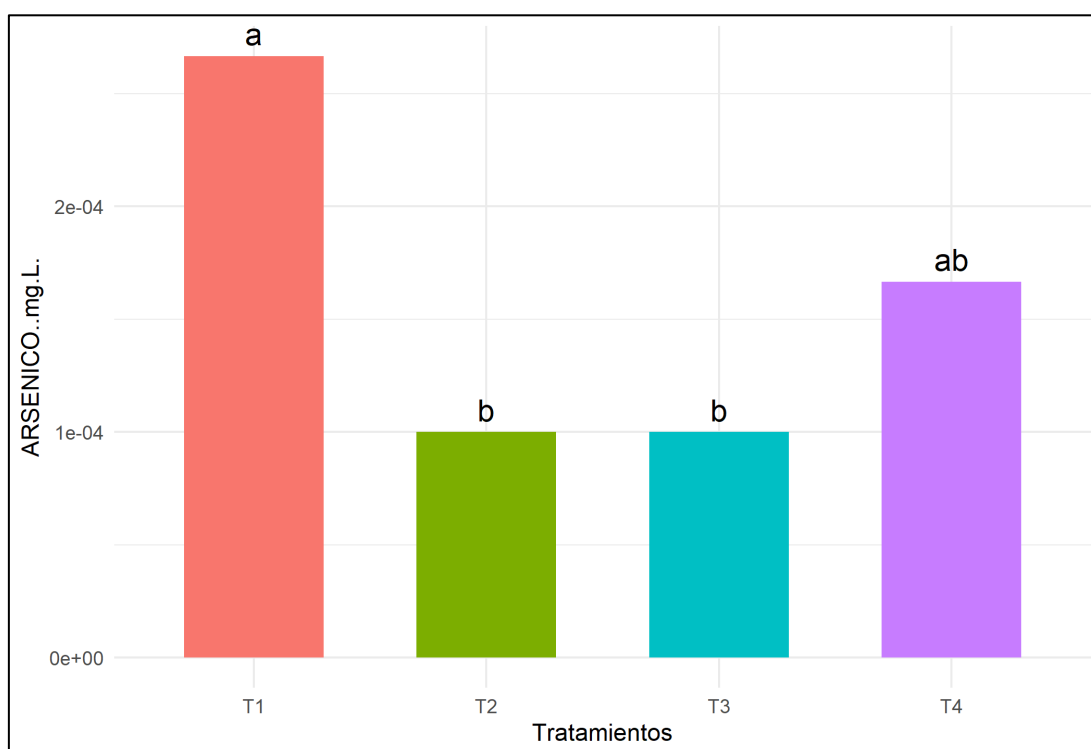
El análisis de varianza reveló que el factor Tratamiento no mostró diferencias estadísticamente significativas sobre la concentración de arsénico ( $F = 4.19$ ;  $p = 0.064 > 0.05$ ). Esto sugiere que el tipo de estiércol incorporado no afectó de forma significativa el contenido de arsénico en el compost. Del mismo modo, el factor Bloque tampoco fue significativo ( $F = 3.00$ ;  $p = 0.125 > 0.05$ ), evidenciando que las repeticiones mantuvieron

resultados homogéneos. El coeficiente de variación ( $CV = 42.11\%$ ) indica variabilidad moderada, propia de valores muy bajos en concentración.

**Tabla 33**

*Prueba de Scott-Knott al 5% del arsénico en el compost*

Tratamiento	Media de arsénico	Agrupamiento
T1	0.0003	a
T4	0.0002	ab
T2	0.0001	b
T3	0.0001	b



**Figura 15.** Comparación de tratamientos sobre arsénico en el compost.

Según la prueba de Scott-Knott, los tratamientos se agruparon en tres categorías. El T1 (Testigo) registró la mayor media de arsénico (0.0003 mg/L) y se ubicó en el grupo “a”, seguido del T4 (ROM + EV) con 0.00017 mg/L en el grupo “ab”, mientras que T2 (ROM + EC) y T3 (ROM + EG) mostraron los valores más bajos (0.0001 mg/L) y pertenecen al grupo “b”. En conjunto, aunque se observan ligeras diferencias estadísticas, todas las concentraciones son extremadamente bajas y cumplen con las normas de referencia, demostrando que el compost producido es químicamente estable y seguro para su uso.

#### 4.2.7 Materia orgánica (%)

**Tabla 34**

*Resultados del análisis de materia orgánica en el compost*

Repeticiones	Análisis de la Materia Orgánica (%)			
	T1	T2	T3	T4
Bloque I	63.19	63.15	48.19	61.53
Bloque II	48.71	63.24	48.66	61.75
Bloque III	63.19	63.66	48.83	61.88
<b>Promedio</b>	<b>58.36</b>	<b>63.35</b>	<b>48.56</b>	<b>61.72</b>

Los valores de materia orgánica obtenidos variaron entre 48.19% y 63.66%. De acuerdo con la NTP 201.208:2021 y la NCH 2880:2004, el compost debe contener una materia orgánica igual o mayor al 20 %, criterio que todos los tratamientos cumplen ampliamente. Esto demuestra que el compost producido en la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos (PVRO) de Hualmay posee una alta calidad orgánica, resultado de un proceso de descomposición adecuado y estable, que favorece la estructura del suelo y la retención de nutrientes.

**Tabla 35**

*Análisis de varianza de materia orgánica en el compost*

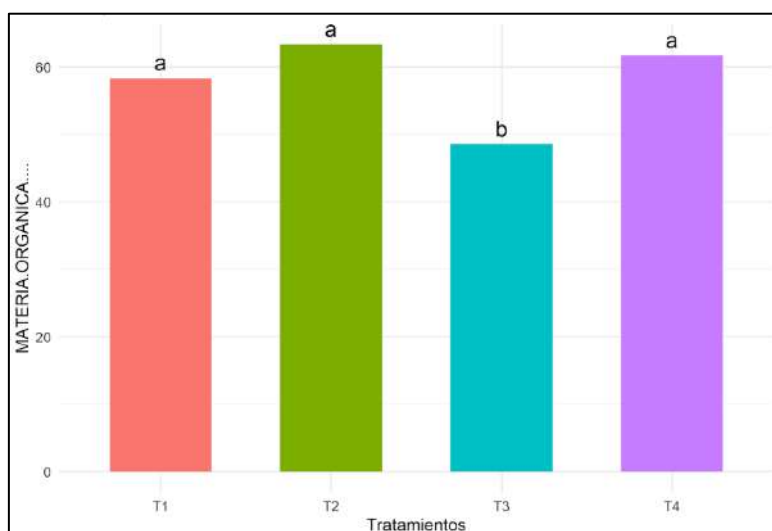
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calc.	p-valor
Tratamiento	395.12	3	131.71	7.52	0.019
Bloque	35.08	2	17.54	1	0.421
Error	105.13	6	17.52		
Total	535.33	11			

CV (%) = 7.22  
Promedio general = 58

El análisis de varianza evidenció un efecto altamente significativo del Tratamiento sobre la materia orgánica ( $F = 7.52$ ;  $p = 0.019 < 0.05$ ), lo que indica que el tipo de estiércol influye en el contenido de materia orgánica del compost. El factor Bloque no mostró diferencias significativas ( $F = 1$ ;  $p = 0.421$ ), reflejando uniformidad entre las repeticiones. El coeficiente de variación (CV) = 7.22 % indica una precisión experimental adecuada, asegurando la confiabilidad de los resultados obtenidos.

**Tabla 36***Prueba de Scott-Knott al 5% de materia orgánica en el compost*

Tratamiento	Media de materia orgánica	Agrupamiento
T2	63.35	a
T4	61.72	a
T1	58.36	a
T3	48.56	b

**Figura 16.** Comparación de tratamientos sobre materia orgánica en el compost.

La prueba de Scott-Knott ( $\alpha = 0.05$ ) mostró dos agrupamientos significativos. Los tratamientos T2 (ROM + EC = 63.35 %), T4 (ROM + EV = 61.72 %) y T1 (Testigo = 58.36 %) se agruparon en la letra “a”, presentando los mayores valores de materia orgánica, mientras que T3 (ROM + EG = 48.56 %) se ubicó en el grupo “b” con el valor más bajo. Estos resultados indican que la adición de estiércol de cuy y de vaca contribuye a una mayor acumulación de materia orgánica en el compost, diferenciándose significativamente del tratamiento con estiércol de gallina.

#### 4.2.8 Nitrógeno (%)

**Tabla 37***Resultados del análisis de nitrógeno en el compost*

Repeticiones	Análisis del Nitrógeno (%)			
	T1	T2	T3	T4
Bloque I	1.45	2.16	1.49	1.73
Bloque II	1.45	2.21	1.55	1.76
Bloque III	1.42	2.23	1.62	1.78
<b>Promedio</b>	<b>1.44</b>	<b>2.20</b>	<b>1.55</b>	<b>1.76</b>

Los valores de nitrógeno determinados en el compost oscilaron entre 1.42 % y 2.23%. De acuerdo con la NTP 201.208:2021, el compost de buena calidad debe presentar concentraciones de nitrógeno comprendidas entre 0.3 % y 1.5 %, mientras que la NCH 2880:2004 recomienda un contenido igual o superior a 0.5 %. En este sentido, todos los tratamientos evaluados superan los límites mínimos exigidos, evidenciando una adecuada disponibilidad de nitrógeno para la actividad microbiana y el enriquecimiento del material compostado. El tratamiento T2 (ROM + EC) alcanzó la mayor concentración (2.2 %), lo que sugiere que el estiércol de cuy aportó una mayor cantidad de nitrógeno, contribuyendo al incremento del contenido proteico del compost final.

**Tabla 38**

*Análisis de varianza de nitrógeno en el compost*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calc.	p-valor
Tratamiento	1.01	3	0.34	300.03	0.000
Bloque	0.0062	2	0.0031	2.76	0.14
Error	0.0067	6	0.0011		
Total	1.023	11			

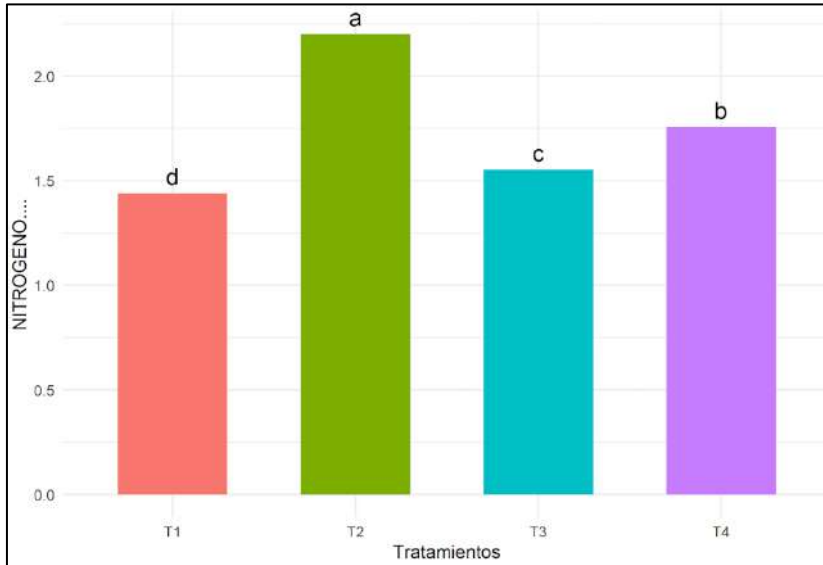
CV (%) = 1.93  
Promedio general = 1.74

El análisis de varianza mostró que el factor Tratamiento presentó diferencias altamente significativas sobre el contenido de nitrógeno ( $F = 300.03$ ;  $p = 0.0000 < 0.05$ ), indicando que el tipo de estiércol empleado influyó notablemente en la acumulación de nitrógeno del compost. Por su parte, el factor Bloque no mostró efecto significativo ( $F = 2.76$ ;  $p = 0.14 > 0.05$ ), evidenciando una buena homogeneidad entre las repeticiones. El coeficiente de variación ( $CV = 1.93 \%$ ) demuestra una excelente precisión experimental, lo que valida la confiabilidad de los resultados obtenidos en esta variable.

**Tabla 39**

*Prueba de Scott-Knott al 5% de nitrógeno en el compost*

Tratamiento	Media de nitrógeno	Agrupamiento
T2	2.2	a
T4	1.76	b
T3	1.55	c
T1	1.44	d



**Figura 17.** Comparación de tratamientos sobre nitrógeno en el compost.

De acuerdo con la prueba de Scott-Knott al 5 %, los tratamientos se distribuyeron en cuatro grupos estadísticamente diferenciados. El tratamiento T2 (ROM + EC) obtuvo la mayor media (2.2 %) y se ubicó en el grupo “a”, seguido de T4 (ROM + EV) con 1.76 % (grupo “b”), T3 (ROM + EG) con 1.55 % (grupo “c”) y finalmente T1 (Testigo) con 1.44 % (grupo “d”). Esta clasificación evidencia que la incorporación de estiércol de cuy (T2) fue la más efectiva en el incremento de nitrógeno en el compost, diferenciándose significativamente de los demás tratamientos.

#### 4.2.9 Fósforo (%)

**Tabla 40**

*Resultados del análisis de fósforo en el compost*

Repeticiones	Análisis del Fósforo (%)			
	T1	T2	T3	T4
Bloque I	1.26	1.28	3.35	1.69
Bloque II	1.71	1.31	3.37	1.73
Bloque III	1.38	1.33	3.39	1.76
<b>Promedio</b>	<b>1.45</b>	<b>1.31</b>	<b>3.37</b>	<b>1.73</b>

Los valores de fósforo obtenidos en los tratamientos variaron entre 1.26 % y 3.39 %, observándose que los compost con incorporación de estiércol de gallina (T3: ROM + EG) presentaron las concentraciones más elevadas de fósforo, mientras que los tratamientos con estiércol de cuy (T2: ROM + EC) y el testigo (T1: ROM) mostraron los valores más bajos.

En comparación con los requisitos establecidos en la NTP 201.208:2021, que recomienda un contenido de fósforo entre 0.1 % y 1.0 %, todos los tratamientos superaron este rango, lo que evidencia un enriquecimiento del compost en este nutriente, particularmente en los tratamientos con estiércoles animales. Este incremento puede atribuirse al aporte mineral del estiércol de gallina, caracterizado por su alto contenido de fósforo disponible.

**Tabla 41**

*Análisis de varianza de fósforo en el compost*

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F calc.</b>	<b>p-valor</b>
Tratamiento	8.19	3	2.73	213.61	0.000
Bloque	0.04	2	0.02	1.43	0.311
Error	0.08	6	0.01		
Total	8.31	11			

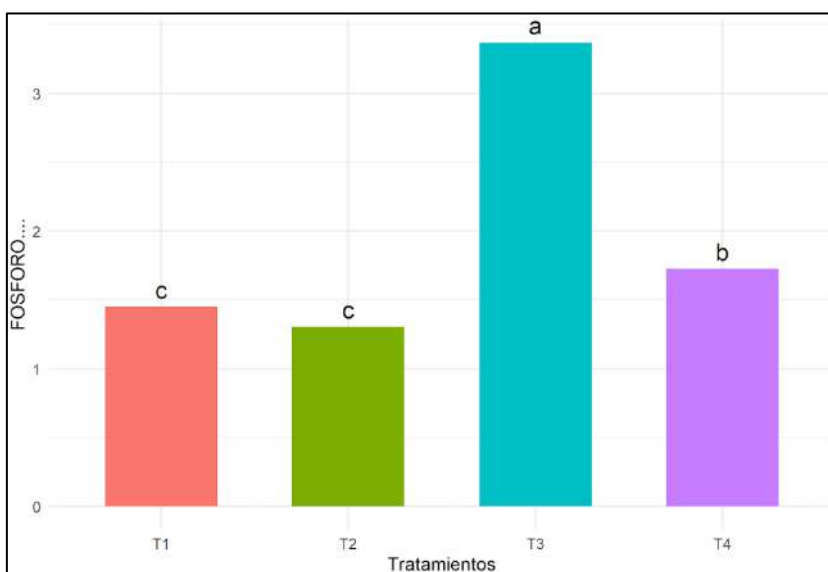
CV (%) = 5.76  
Promedio general = 1.96

El análisis de varianza mostró que el factor tratamiento tuvo un efecto altamente significativo sobre el contenido de fósforo ( $F = 213.61$ ;  $p = 0.0000 < 0.05$ ), indicando que el tipo de estiércol incorporado influye de manera importante en la concentración de fósforo en el compost. Por otro lado, el factor bloque no presentó diferencias significativas ( $F = 1.43$ ;  $p = 0.311 > 0.05$ ), lo cual demuestra una buena homogeneidad entre las repeticiones experimentales. El coeficiente de variación ( $CV = 5.76 \%$ ) indica alta precisión experimental, y el promedio general de fósforo ( $1.96 \%$ ) confirma que el compost mantiene un nivel adecuado de este macronutriente esencial para la fertilidad del suelo.

**Tabla 42**

*Prueba de Scott-Knott al 5% de fósforo en el compost*

<b>Tratamiento</b>	<b>Media de fósforo</b>	<b>Agrupamiento</b>
T3	3.37	a
T4	1.73	b
T1	1.45	c
T2	1.31	c



**Figura 18.** Comparación de tratamientos sobre fósforo en el compost.

Según la prueba de Scott-Knott al 5 % (Tabla 42), los tratamientos se agruparon en tres categorías. El T3 (ROM + EG) se ubicó en el grupo “a” con la mayor media de fósforo (3.37 %), seguido del T4 (ROM + EV) con una media de 1.72 % en el grupo “b”, mientras que el T1 (ROM) y T2 (ROM + EC) registraron los valores más bajos (1.45 % y 1.31 %, respectivamente), formando los grupos “c”. Estos resultados evidencian que la incorporación de estiércol de gallina generó un aumento significativo del fósforo disponible, consolidándose como el tratamiento más eficiente para mejorar la calidad nutritiva del compost en términos de fósforo.

#### 4.2.10 Potasio (%)

**Tabla 43**

*Resultados del análisis de potasio en el compost*

Repeticiones	Análisis del Potasio (%)			
	T1	T2	T3	T4
Bloque I	1.58	1.67	3.21	2.87
Bloque II	1.73	1.69	3.25	2.85
Bloque III	1.71	1.75	3.28	2.92
<b>Promedio</b>	<b>1.67</b>	<b>1.70</b>	<b>3.25</b>	<b>2.88</b>

Los valores de potasio en el compost oscilaron entre 1.58% y 3.28%. Todos los tratamientos superaron el rango establecido por la NTP 201.208:2021, que recomienda un contenido de potasio entre 0.3 % y 1.0 %, lo que indica una alta disponibilidad de este

macronutriente en el compost. El tratamiento con estiércol de gallina (T3: ROM + EG) mostró las concentraciones más elevadas, seguido del estiércol de vaca (T4: ROM + EV), mientras que el testigo (T1) y el estiércol de cuy (T2: ROM + EC) presentaron valores más bajos. Este incremento de potasio puede atribuirse a la mayor riqueza mineral del estiércol de gallina, que aporta sales solubles de potasio durante el proceso de descomposición.

**Tabla 44**

*Análisis de varianza potasio en el compost*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calc.	p-valor
Tratamiento	5.87	3	1.96	1453.58	0.000
Bloque	0.014	2	0.0069	5.09	0.051
Error	0.0081	6	0.0013		
Total	5.89	11			

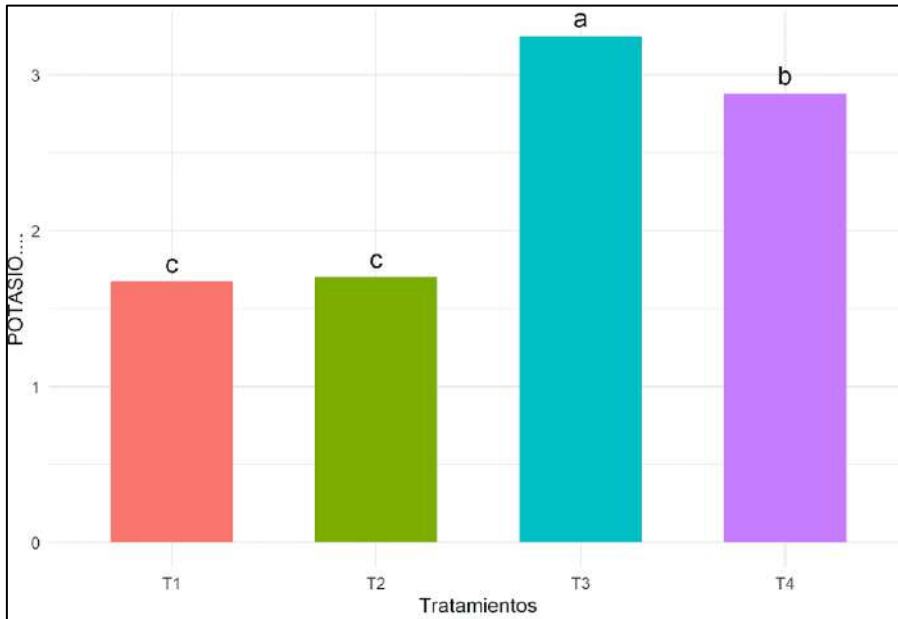
CV (%) = 1.54  
Promedio general = 2.38

El análisis de varianza evidenció diferencias altamente significativas entre tratamientos ( $F = 1453.58$ ;  $p = 0.0000 < 0.05$ ), lo que demuestra que el tipo de estiércol incorporado influye significativamente en el contenido de potasio del compost. En cambio, el efecto del bloque no resultó significativo ( $F = 5.09$ ;  $p = 0.051 > 0.05$ ), lo que sugiere que las variaciones entre repeticiones fueron mínimas. El coeficiente de variación ( $CV = 1.54$  %) indica una excelente precisión experimental, confirmando la confiabilidad de los resultados obtenidos.

**Tabla 45**

*Prueba de Scott-Knott al 5% potasio en el compost*

Tratamiento	Media de potasio	Agrupamiento
T3	3.25	a
T4	2.88	b
T2	1.7	c
T1	1.67	c



**Figura 19.** Comparación de tratamientos sobre potasio en el compost.

La prueba de Scott-Knott al 5 % agrupó los tratamientos en tres niveles de significancia: T3 (ROM + EG) alcanzó la mayor media de potasio (3.25 %) y se ubicó en el grupo “a”, destacando como el tratamiento más eficiente, mientras que, T4 (ROM + EV) presentó una media intermedia (2.88 %) dentro del grupo “b”, indicando un efecto positivo moderado, siendo el T2 (ROM + EC) y T1 (ROM) los que obtuvieron valores más bajos (1.70 % y 1.67 %, respectivamente) y fueron clasificados en el grupo “c”, sin diferencias significativas entre sí. Estos resultados demuestran que el estiércol de gallina es el más eficaz para incrementar el contenido de potasio en el compost, seguido del estiércol de vaca, mientras que el estiércol de cuy y el testigo presentaron menor efecto fertilizante.

#### 4.2.11 Calcio (%)

**Tabla 46**

*Resultados del análisis de calcio en el compost*

Repeticiones	Análisis del Calcio (%)			
	T1	T2	T3	T4
Bloque I	2.19	2.24	6.88	3.33
Bloque II	2.28	2.22	6.75	3.31
Bloque III	2.29	2.26	6.74	3.35
<b>Promedio</b>	<b>2.25</b>	<b>2.24</b>	<b>6.79</b>	<b>3.33</b>

Los valores de calcio obtenidos oscilaron entre 2.19 % y 6.88 %. De acuerdo con la NTP 201.208:2021, el compost debe presentar concentraciones de calcio entre 2.0 % y 6.0 %, por lo que los resultados se encuentran dentro del rango óptimo. Se observa que los tratamientos con estiércol de gallina (T3: ROM + EG) registraron los valores más altos (6.8 %), seguidos del tratamiento con estiércol de vaca (T4: ROM + EV) con valores intermedios (3.3 %), mientras que el estiércol de cuy (T2) y el testigo (T1) mostraron los niveles más bajos (2.2 %). Estos resultados indican que el estiércol de gallina aporta una mayor disponibilidad de calcio, favoreciendo la calidad mineral del compost final.

**Tabla 47**

*Análisis de varianza de calcio en el compost*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calc.	p-valor
Tratamiento	41.70	3	13.9007	4436.4	0.000
Bloque	0.0011	2	5e-04	0.17	0.85
Error	0.019	6	0.0031		
Total	41.72	11			

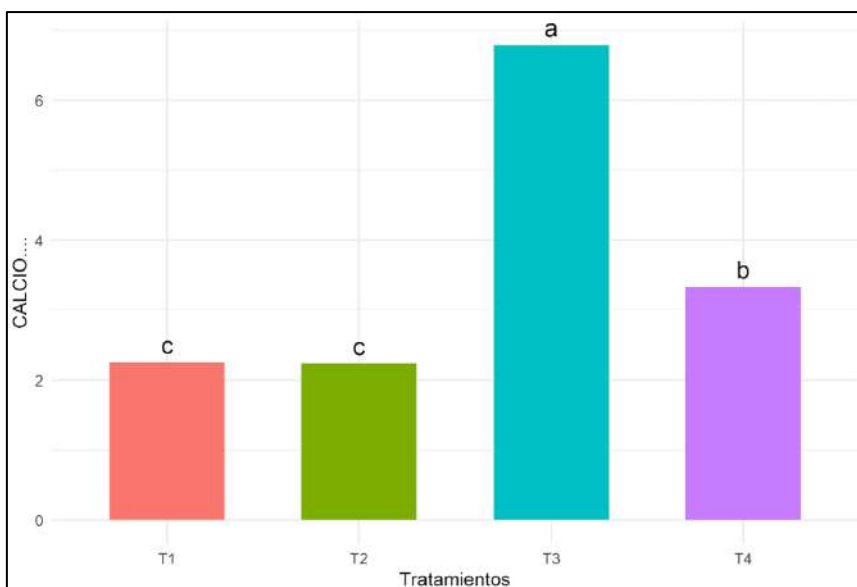
CV (%) = 1.53  
Promedio general = 3.65

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos ( $F = 4436.4$ ;  $p = 0.0000 < 0.05$ ), lo que evidencia que el tipo de estiércol incorporado influye notablemente en el contenido de calcio del compost. En contraste, el bloque no presentó efecto significativo ( $F = 0.17$ ;  $p = 0.85 > 0.05$ ), indicando homogeneidad entre las repeticiones experimentales. El coeficiente de variación ( $CV = 1.53 \%$ ) evidencia excelente precisión experimental y confirma la confiabilidad.

**Tabla 48**

*Prueba de Scott-Knott al 5% de calcio en el compost*

Tratamiento	Media de calcio	Agrupamiento
T3	6.79	a
T4	3.33	b
T1	2.25	c
T2	2.24	c



**Figura 20.** Comparación de tratamientos sobre calcio en el compost.

La prueba de Scott-Knott clasificó los tratamientos en tres grupos estadísticamente diferentes. El tratamiento T3 (ROM + estiércol de gallina) presentó el valor más alto de calcio con 6.79 %, ubicándose en el grupo “a”. En segundo lugar, el tratamiento T4 (ROM + estiércol de vaca) alcanzó un 3.33 %, correspondiente al grupo “b”, representando un valor intermedio. Finalmente, los tratamientos T1 (ROM) y T2 (ROM + estiércol de cuy) mostraron valores similares, alrededor de 2.25 %, agrupados en el grupo “c” por no presentar diferencias significativas entre sí. Estos resultados evidencian que el uso de estiércol de gallina incrementó de manera significativa el contenido de calcio en el compost, seguido del estiércol de vaca, mientras que el testigo y el estiércol de cuy no generaron mejoras notorias.

#### 4.2.12 Magnesio (%)

**Tabla 49**

*Resultados del análisis de magnesio en el compost*

Repeticiones	Análisis del Magnesio (%)			
	T1	T2	T3	T4
Bloque I	2.09	2.11	2.21	1.03
Bloque II	2.31	2.13	2.26	1.05
Bloque III	2.19	2.18	2.29	1.08
<b>Promedio</b>	<b>2.20</b>	<b>2.14</b>	<b>2.25</b>	<b>1.05</b>

Los valores de magnesio obtenidos oscilaron entre 1.03 % y 2.31 %. De acuerdo con la NTP 201.208:2021, el compost debe contener entre 0.2 % y 0.7 % de magnesio; por tanto,

los valores obtenidos superan ampliamente el rango establecido, lo que indica una alta concentración de este nutriente esencial. El tratamiento con estiércol de gallina (T3: ROM + EG) registró el valor más elevado (2.25 %), seguido por el testigo (T1: ROM) y el estiércol de cuy (T2: ROM + EC) con valores intermedios (2.19 % y 2.14 %), mientras que el estiércol de vaca (T4: ROM + EV) presentó el contenido más bajo (~1.05 %). Este comportamiento demuestra que el estiércol de gallina fue el más efectivo en enriquecer el compost con magnesio.

**Tabla 50**

*Análisis de varianza de magnesio en el compost*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calc.	p-valor
Tratamiento	2.96	3	0.9868	372.78	0.000
Bloque	0.015	2	0.0078	2.93	0.13
Error	0.016	6	0.0026		
Total	2.99	11			

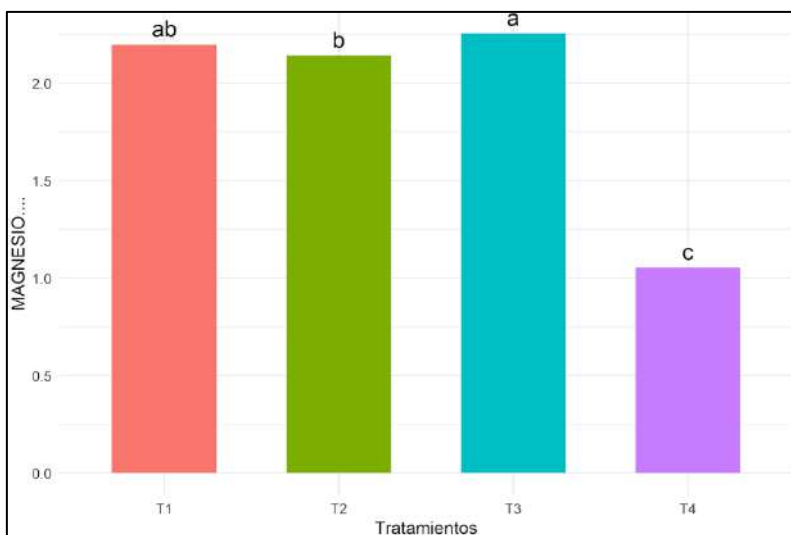
CV (%) = 2.69  
Promedio general = 1.91

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos ( $F = 372.78$ ;  $p = 0.0000 < 0.05$ ), lo que evidencia que el tipo de estiércol tiene un efecto directo y determinante sobre el contenido de magnesio del compost. Por otro lado, el factor bloque no presentó diferencias significativas ( $F = 2.93$ ;  $p = 0.13 > 0.05$ ), lo que indica uniformidad entre las repeticiones experimentales. El coeficiente de variación ( $CV = 2.69$  %) muestra alta precisión experimental, reflejando la confiabilidad de los resultados obtenidos.

**Tabla 51**

*Prueba de Scott-Knott al 5% de magnesio en el compost*

Tratamiento	Media de magnesio	Agrupamiento
T3	2.25	a
T1	2.197	ab
T2	2.14	b
T4	1.05	c



**Figura 21.** Comparación de tratamientos sobre magnesio en el compost.

De acuerdo con la prueba de Scott-Knott al 5 % de significancia, los tratamientos se distribuyeron en tres grupos estadísticamente distintos. El tratamiento T3 (ROM + estiércol de gallina) alcanzó la mayor media de magnesio con un 2.25 %, ubicándose en el grupo “a” y destacándose como el más eficiente. En cambio, los tratamientos T1 (ROM) y T2 (ROM + estiércol de cuy) presentaron valores intermedios de 2.19 % y 2.14 %, respectivamente, clasificándose en los grupos “ab” y “b”. Por su parte, el tratamiento T4 (ROM + estiércol de vaca) registró el valor más bajo de magnesio con 1.05 %, correspondiente al grupo “c”. En conjunto, estos resultados evidencian que el estiércol de gallina fue el más eficaz para incrementar la concentración de magnesio en el compost, mientras que el estiércol de vaca mostró el menor aporte.

### 4.3 Análisis de la propiedad biológico

#### 4.3.1 Coliforme total (NMP/100mL)

**Tabla 52**

*Resultados del análisis de Coliforme total en el compost*

Repeticiones	Análisis del Coliforme total (NMP/100mL)			
	T1	T2	T3	T4
Bloque I	$2.3 \times 10^5$	$2.3 \times 10^2$	$2.3 \times 10^6$	$2.3 \times 10^5$
Bloque II	$2.3 \times 10^4$	$2.3 \times 10^2$	$2.3 \times 10^3$	$2.3 \times 10^4$
Bloque III	$2.3 \times 10^4$	$2.3 \times 10$	$2.3 \times 10^3$	$2.3 \times 10^2$
<b>Promedio</b>	<b><math>9.2 \times 10^4</math></b>	<b><math>1.6 \times 10^2</math></b>	<b><math>7.7 \times 10^5</math></b>	<b><math>8.4 \times 10^4</math></b>

Los valores de coliformes totales registrados en el compost variaron entre  $2.3 \times 10^1$  y  $2.3 \times 10^6$  NMP/100mL. Esta amplia dispersión refleja la presencia variable de microorganismos durante el proceso de compostaje. El tratamiento T3 (ROM + EG) alcanzó los valores más elevados ( $2.3 \times 10^6$ ) mientras que T2 (ROM + EC) mostró los niveles más bajos ( $2.3 \times 10^1$ ) lo que sugiere que el tipo de estiércol incorporado influye en la dinámica microbiana del compost, aunque con alta variabilidad entre repeticiones. Cabe resaltar que, según las normas NTP 201.208:2021, EPA (2006) y NCH 2880:2004, no se establece un límite específico para coliformes totales, por lo que estos resultados se interpretan únicamente de forma descriptiva y comparativa entre tratamientos.

**Tabla 53**

*Análisis de varianza para Coliforme total en el compost*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calc.	p-valor
Tratamiento	$1.15 \times 10^{12}$	3	382572253410.749	0.98	0.46
Bloque	$1.24 \times 10^{12}$	2	618012630285.75	1.58	0.28
Error	$2.34 \times 10^{12}$	6	390701922765.75		
Total	$4.73 \times 10^{12}$	11			

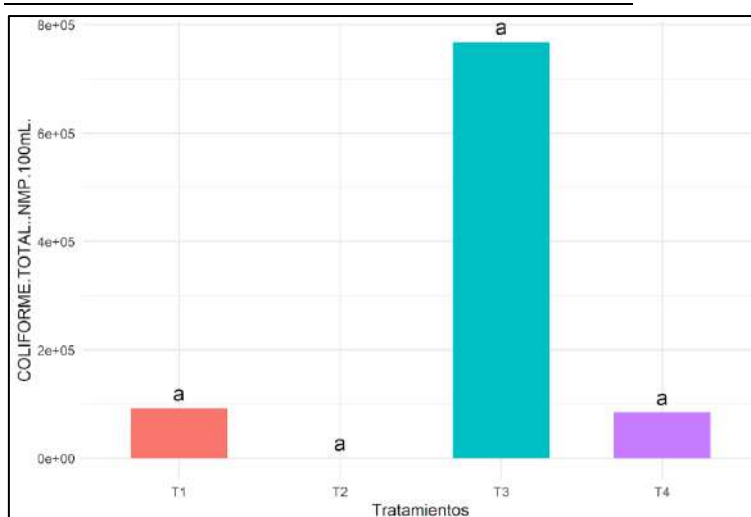
CV (%) = 264.64  
Promedio general =  $2.36 \times 10^5$

El análisis de varianza mostró que no existen diferencias significativas entre los tratamientos ( $F = 0.98$ ;  $p = 0.46 > 0.05$ ), lo que indica que el tipo de estiércol incorporado no tuvo un efecto estadísticamente relevante sobre la población de coliformes totales. De igual forma, el factor bloque tampoco presentó diferencias significativas ( $F = 1.58$ ;  $p = 0.28 > 0.05$ ), evidenciando uniformidad entre las repeticiones experimentales. El coeficiente de variación ( $CV = 264.64\%$ ) fue elevado, revelando una marcada dispersión en los datos, probablemente asociada a la naturaleza heterogénea del compost y a la variabilidad microbiana intrínseca del proceso.

**Tabla 54**

*Prueba de Scott-Knott al 5% para Coliforme total en el compost*

Tratamiento	Media de Coliforme total	Agrupamiento
T3	$7.7 \times 10^5$	a
T1	$9.2 \times 10^4$	a
T4	$8.4 \times 10^4$	a
T2	$1.6 \times 10^2$	a



**Figura 22.** Comparación de tratamientos sobre Coliforme total en el compost.

De acuerdo con la prueba de Scott-Knott al 5 %, todos los tratamientos se ubicaron en el mismo grupo estadístico (“a”), lo que confirma que no existen diferencias significativas entre ellos en cuanto al contenido de coliformes totales. Sin embargo, el tratamiento con estiércol de gallina (T3) mostró la media más alta ( $7.68 \times 10^5$  NMP/100mL), seguido por el testigo (T1) y el estiércol de vaca (T4), mientras que el estiércol de cuy (T2) registró el valor más bajo ( $1.61 \times 10^2$  NMP/100mL). Aunque las medias numéricas variaron ampliamente (de 161 a 768 000 NMP/100 mL), la falta de significancia en el Anova y la alta variabilidad residual impidieron la formación de grupos diferenciados. Este comportamiento sugiere que la reducción o persistencia de coliformes totales depende más de las condiciones del proceso (temperatura, humedad y aireación) que del tipo de estiércol utilizado.

### 4.3.2 Coliforme fecal (NMP/100mL)

**Tabla 55**

*Resultados del análisis de Coliforme fecal en el compost*

Repeticiones	Análisis del Coliforme fecal (NMP/100mL)			
	T1	T2	T3	T4
Bloque I	$2.3 \times 10^4$	$2.3 \times 10^3$	$2.3 \times 10^5$	$2.3 \times 10^3$
Bloque II	$2.3 \times 10^4$	$2.3 \times 10^1$	$2.3 \times 10^5$	$2.3 \times 10^3$
Bloque III	$2.3 \times 10^4$	$2.3 \times 10^2$	$2.3 \times 10^3$	$2.3 \times 10^3$
<b>Promedio</b>	<b><math>2.3 \times 10^4</math></b>	<b><math>8.51 \times 10^2</math></b>	<b><math>1.5 \times 10^5</math></b>	<b><math>2.3 \times 10^3</math></b>

Los valores de coliformes fecales registrados en el compost variaron entre  $2.3 \times 10^1$  y  $2.3 \times 10^5$  NMP/100 mL, mostrando una notable reducción de la carga microbiana en algunos tratamientos. Según la NTP 201.208:2021 y la NCH 2880:2004, el compost debe contener menos de  $1.0 \times 10^3$  NMP/g para ser considerado estable e higienizado. En este sentido, los tratamientos T2 (ROM + EC) alcanzaron niveles cercanos al límite establecido, evidenciando un proceso de desinfección más efectivo, mientras que los tratamientos T1 (ROM) y T3 (ROM + EG) superaron el valor referencial, lo que indica una higienización incompleta.

**Tabla 56**

*Análisis de varianza sobre Coliforme fecal en el compost*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calc.	p-valor
Tratamiento	$4.85 \times 10^{10}$	3	16159218450.75	3.75	0.08
Bloque	$8.710 \times 10^9$	2	4356354278.25	1.01	0.42
Error	$2.59 \times 10^{10}$	6	4309220378.25		
Total	$8.31 \times 10^{10}$	11			

CV (%) = 145.67  
Promedio general =  $4.51 \times 10^4$

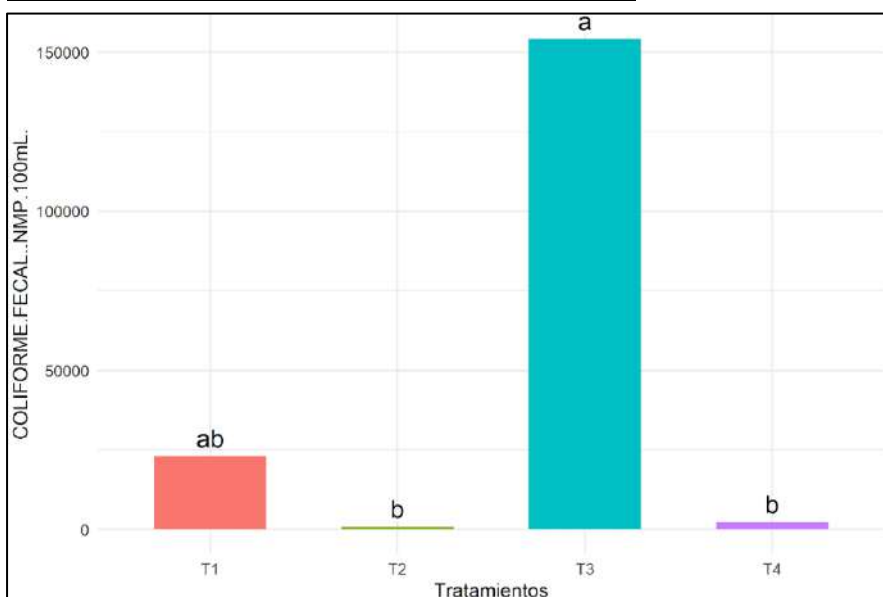
El análisis de varianza ANOVA indicó que el factor tratamiento no presentó diferencias significativas ( $F = 3.75$ ;  $p = 0.08 > 0.05$ ), lo que sugiere que los distintos estiércoles no influyeron de manera estadísticamente significativa sobre la concentración de coliformes fecales. El factor bloque no mostró influencia significativa ( $p = 0.42$ ), confirmando uniformidad entre repeticiones. El coeficiente de variación (CV = 145.67%)

evidencia alta variabilidad en los resultados, característica común en parámetros microbiológicos debido a la naturaleza irregular del crecimiento bacteriano.

**Tabla 57**

*Prueba de Scott-Knott al 5% sobre Coliforme fecal en el compost*

Tratamiento	Media de humedad	Agrupamiento
T3	$1.54 \times 10^5$	a
T1	$2.30 \times 10^4$	ab
T4	$2.30 \times 10^3$	b
T2	$8.51 \times 10^2$	b



**Figura 23.** Comparación de tratamientos sobre Coliforme fecal en el compost.

Según la prueba de Scott-Knott al 5 %, los tratamientos se agruparon en tres categorías: T3 conformó el grupo “a” con el valor más alto, T1 se ubicó en el grupo intermedio “ab”, y T4 y T2 formaron el grupo “b”, con las menores concentraciones. Esto evidencia una reducción gradual de coliformes fecales en los tratamientos con estiércoles, siendo el estiércol de cuy (T2) el más eficiente en la disminución microbiana.

### 4.3.3 Escherichia coli (NMP/100mL)

**Tabla 58**

*Resultados del análisis de Escherichia coli del compost*

Repeticiones	Análisis del Escherichia coli (NMP/100mL)			
	T1	T2	T3	T4
Bloque I	$1.2 \times 10^2$	$1.2 \times 10^1$	$1.2 \times 10^1$	$1.2 \times 10^1$
Bloque II	$1.2 \times 10^2$	$1.2 \times 10^1$	$1.2 \times 10^2$	$1.2 \times 10^2$
Bloque III	$1.2 \times 10^3$	$1.2 \times 10^1$	$1.2 \times 10^3$	$1.2 \times 10^2$
<b>Promedio</b>	<b><math>4.8 \times 10^2</math></b>	<b><math>1.2 \times 10^1</math></b>	<b><math>4.44 \times 10^2</math></b>	<b><math>8.4 \times 10^1</math></b>

El análisis de *Escherichia coli* evidenció medias de  $1.2 \times 10^1$  NMP/100 mL en T1,  $1.2 \times 10^3$  NMP/100 mL en T3, 84 NMP/100 mL en T4 y 12 NMP/100 mL en T2. Aunque no existe un valor de referencia específico para este indicador en las normas nacionales o internacionales consideradas, los resultados reflejan una tendencia favorable hacia la reducción de *E. coli*, especialmente en los tratamientos T2 y T4.

**Tabla 59**

*Análisis de varianza de la Escherichia coli en el compost*

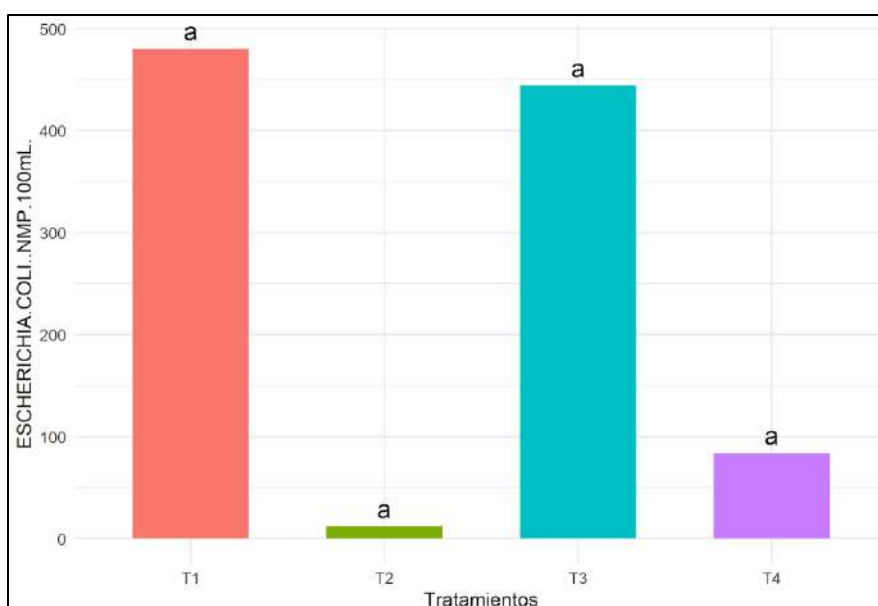
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calc.	p-valor
Tratamiento	$5.24 \times 10^5$	3	$1.75 \times 10^5$	1.33	0.35
Bloque	$8.63 \times 10^5$	2	$4.32 \times 10^5$	3.3	0.11
Error	$7.85 \times 10^5$	6	$1.31 \times 10^5$		
Total	$2.17 \times 10^6$	11			

CV (%) = 141.88  
 Promedio general =  $2.55 \times 10^2$

El Anova mostró que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos ( $F = 1.33$ ;  $p = 0.35 > 0.05$ ) ni entre los bloques ( $F = 3.30$ ;  $p = 0.11 > 0.05$ ), lo que indica que los distintos estiércoles no produjeron efectos estadísticamente diferenciados sobre la concentración del microorganismo. El coeficiente de variación (CV = 141.88 %) refleja una alta dispersión de los datos, típica de los ensayos microbiológicos, mientras que el promedio general fue de  $2.55 \times 10^2$  NMP/100 mL.

**Tabla 60***Prueba de Scott-Knott al 5% de la Escherichia coli en el compost*

Tratamiento	Media de humedad	Agrupamiento
T1	$4.80 \times 10^2$	a
T3	$4.44 \times 10^2$	a
T4	$8.40 \times 10^1$	a
T2	$1.20 \times 10^1$	a

**Figura 24.** Comparación de tratamientos sobre *Escherichia coli* en el compost.

La prueba de Scott-Knott al 5 % agrupó a todos los tratamientos en una sola categoría (“a”), evidenciando que no existen diferencias significativas entre ellos. Sin embargo, se observó que el tratamiento con estiércol de cuy (T2) obtuvo el menor valor absoluto, lo que sugiere una tendencia favorable a la reducción de *Escherichia coli* en el compost final.

#### 4.3.4 Salmonella SSP (UFC/mL)

**Tabla 61***Resultados del análisis de Salmonella SSP en el compost*

Repeticiones	Análisis del Salmonella SSP (UFC/mL)			
	T1	T2	T3	T4
Bloque I	$1.5 \times 10^8$	$1.5 \times 10^5$	$1.5 \times 10^6$	$1.5 \times 10^7$
Bloque II	$1.5 \times 10^7$	$1.5 \times 10^4$	$1.5 \times 10^5$	$1.5 \times 10^5$
Bloque III	$1.5 \times 10^5$	$1.5 \times 10^2$	$1.5 \times 10^3$	$1.5 \times 10^4$
<b>Promedio</b>	<b><math>5.5 \times 10^7</math></b>	<b><math>5.5 \times 10^4</math></b>	<b><math>5.5 \times 10^5</math></b>	<b><math>5.05 \times 10^6</math></b>

Los valores de *Salmonella spp* oscilaron entre  $1.5 \times 10^2$  y  $1.5 \times 10^8$  UFC/mL, presentando una disminución notoria en algunos tratamientos, aunque con niveles aún superiores a los límites establecidos por la NTP 201.208:2021, que exige ausencia en 25 g, y la NCH 2880:2004, que permite hasta 3 NMP en 4 g de compost. En consecuencia, ninguno de los tratamientos alcanzó la inocuidad microbiológica requerida, lo que indica que el compostaje no eliminó completamente los patógenos.

**Tabla 62**

*Análisis de varianza sobre Salmonella SSP en el compost*

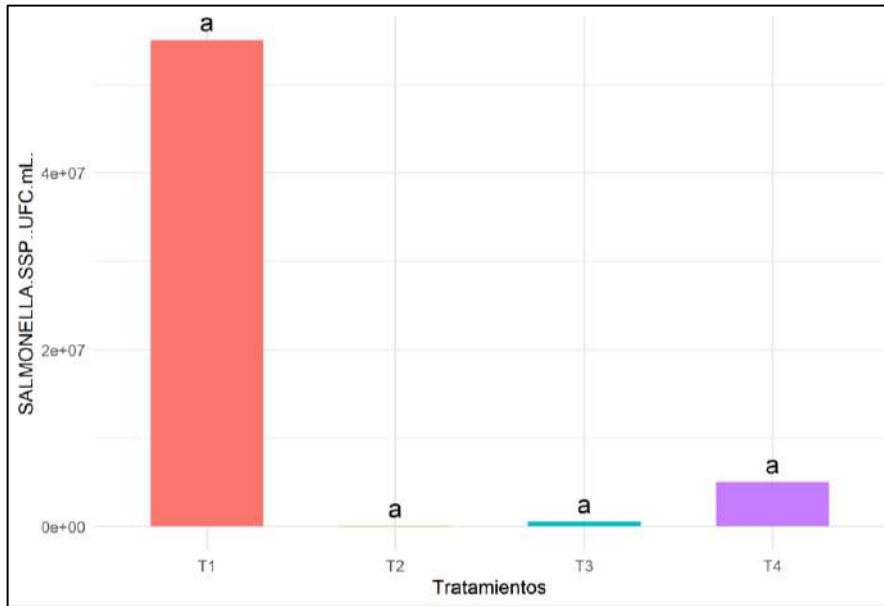
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calc.	p-valor
Tratamiento	$6.40 \times 10^{15}$	3	$2.13 \times 10^{15}$	1.34	0.35
Bloque	$4.24 \times 10^{15}$	2	$2.12 \times 10^{15}$	1.33	0.33
Error	$9.55 \times 10^{15}$	6	$1.59 \times 10^{15}$		
Total	$2.02 \times 10^{16}$	11			
CV (%) = 262.8					
Promedio general = $1.52 \times 10^7$					

El análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre tratamientos ( $F = 1.34$ ;  $p = 0.35 > 0.05$ ) ni entre bloques ( $F = 1.33$ ;  $p = 0.33 > 0.05$ ), indicando que los diferentes tipos de estiércol no influyeron significativamente sobre la concentración de *Salmonella spp*. El coeficiente de variación ( $CV = 26.28 \%$ ) refleja una variabilidad moderada, y el promedio general ( $1.52 \times 10^7$  UFC/mL) confirma la persistencia del microorganismo en el material compostado.

**Tabla 63**

*Prueba de Scott-Knott al 5% de Salmonella SSP en el compost*

Tratamiento	Media de humedad	Agrupamiento
T1	$5.5 \times 10^7$	a
T4	$5.05 \times 10^6$	a
T3	$5.5 \times 10^5$	a
T2	$5.5 \times 10^4$	a



**Figura 25.** Comparación de tratamientos sobre Salmonella SSP en el compost.

La prueba de Scott-Knott al 5 % agrupó a todos los tratamientos en una sola categoría (“a”), lo que confirma la ausencia de diferencias significativas entre ellos respecto a la presencia de *Salmonella spp.* Esto demuestra que el tipo de estiércol no afectó de manera diferenciada la supervivencia del patógeno y que las condiciones del proceso no fueron suficientes para su eliminación total. A pesar de ello, los resultados evidencian una tendencia general de disminución de *Salmonella spp.* con respecto al testigo, lo que sugiere que la fase termofílica del compostaje tuvo un efecto de control parcial, aunque no definitivo, sobre los patógenos.

#### 4.4. Contrastaciones de hipótesis

**Tabla 64**

*Resultados de los tratamientos y sus comparaciones con normas nacionales e internacionales*

Parámetro	Indicador	NTP 201.208:2021*	EPA**	NCH 2880:2004***	T1 ROM (testigo)	T2 ROM + EC	T3 ROM + EG	T4 ROM + EV	p-valor
Físico	Humedad (%)	Mayor a 35% y menor a 50%	-	30% - 45%	32.15	35.58	35.41	37.88	0.000
	Temperatura (°C)	-	-	-	23.43	26.17	26.43	26.20	0.00025
	Densidad aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	550 – 850 Kg/m <sup>3</sup>	-	Menor o igual a 700 Kg/m <sup>3</sup>	285.49	234.95	374.40	436.02	0.0067
Química	Conductividad (CE) dS/m	2 – 4 dS/m	-	3 dS/m	12.59	8.37	12.22	14.97	0.0032
	pH	Mayor a 6.5 y menor a 8.5	-	5.0 – 8.5	6.18	6.79	7.11	7.07	0.029
	Plomo (ppm)	150 ppm	300 ppm	100 mg/kg	0.0004	0.0002	0.0002	0.0004	0.0018
	Cadmio (ppm)	2.5 ppm	10 ppm	2 mg/kg	0.0004	0.0002	0.0003	0.0003	0.0049
	Cromo (ppm)	200 ppm	400 ppm	120 mg/kg	0.0004	0.0003	0.0005	0.0003	0.095
	Arsénico (ppm)	15 ppm	-	15 mg/kg	0.0003	0.0001	0.0001	0.0002	0.064
	Materia orgánica (%)	Igual o mayor al 20%	-	Igual o mayor al 20%	58.36	63.35	48.56	61.72	0.019
	Nitrógeno (%)	0.3 – 1.5	-	Mayor o igual a 0.5%	1.44	2.2	1.55	1.76	0.000
	Fósforo (%)	0.1 – 1.0	-	-	1.45	1.30	3.37	1.73	0.000
	Potasio (%)	0.3 – 1.0	-	-	1.67	1.70	3.25	2.88	0.000
	Calcio (%)	2 - 6	-	-	2.25	2.24	6.79	3.33	0.000
	Magnesio (%)	0.2 – 0.7	-	-	2.20	2.14	2.25	1.05	0.000
Biológica	Coliforme total (NMP)	-	-	-	9.2x10 <sup>4</sup>	1.6x10 <sup>2</sup>	7.7x10 <sup>5</sup>	8.4x10 <sup>4</sup>	0.46

Coliforme fecal (NMP)	< a 1000 NMP**** por gramo de compost	-	< a 1000 NMP*** por gramo de compost	$2.30 \times 10^4$	$8.51 \times 10^2$	$1.54 \times 10^5$	$2.30 \times 10^3$	0.08
<i>Escherichia coli</i> (NMP)	-	-	-	$4.80 \times 10^2$	$1.20 \times 10^1$	$4.44 \times 10^2$	$8.40 \times 10^1$	0.35
<i>Salmonella spp</i> (UFC)	Ausente en 25 gramos	-	3NMP en 4 gramos de compost	$5.5 \times 10^7$	$5.5 \times 10^4$	$5.5 \times 10^5$	$5.05 \times 10^6$	0.35

\*Norma Técnica Peruana – NTP 201.208:2021 Fertilizantes. Compost a partir de residuos sólidos orgánicos municipales. Requisitos. 1ª Edición

\*\*Environmental Protection Agency (EPA), 2006 (Citado por Rojas et al., (2016))

\*\*\*Norma Chilena Oficial – NCH2880: 2004 Compost – Clasificación y requisitos.

\*\*\*\* NMP: Número más probable

hhhh,

#### 4.4.1 Hipótesis general

A partir de la evaluación del estiércol en la obtención del compost orgánico se podrá analizar las mejoras de algunos parámetros físicos, químicos y biológicos que cumplan el rango establecido por INACAL y los límites máximos permisibles según Environmental Protection Agency (EPA, 2006).

##### **Interpretación:**

Los resultados de la tabla 64, demuestran que los resultados obtenidos evidencian que la incorporación de estiércoles de cuy, gallina y vaca en el proceso de compostaje mejoró de manera significativa varios parámetros físicos y químicos del compost, alcanzando valores dentro de los rangos establecidos por la NTP 201.208:2021 (INACAL), los límites de referencia de la EPA (2006) y NCH2880: 2004.

En cuanto a los parámetros físicos como humedad y densidad aparente, estos se mantuvieron dentro de los valores recomendados, garantizando una adecuada aireación y retención de agua. De igual forma, en los parámetros químicos como pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno y calcio se observaron valores óptimos que indican una buena calidad del compost, mientras que en fósforo, potasio y magnesio se evidenció que sobrepasaban el límite establecido por NTP 201.208:2021.

Sin embargo, los parámetros biológicos no cumplieron completamente los valores normativos, ya que los tratamientos presentaron presencia de coliformes y *Salmonella spp*, lo que indica que el proceso de compostaje no logró eliminar totalmente los microorganismos patógenos. Esto sugiere la necesidad de optimizar la fase termofílica.

#### 4.4.2 Hipótesis específicas

Los parámetros físicos evaluados cumplen el rango establecido por INACAL y los límites máximos permisibles según Environmental Protection Agency (EPA, 2006).

##### **Interpretación:**

Esta hipótesis se acepta, dado que los resultados de humedad (32.14 % a 37.87 %) y densidad aparente (285.49 a **436.02** Kg/m<sup>3</sup>) se encuentran dentro de los rangos óptimos

definidos por la NTP 201.208:2021 y la NCH 2880:2004. Además, el análisis de varianza y la prueba de Scott-Knott mostraron diferencias significativas entre tratamientos, destacando al estiércol de vaca como el que mejoró la retención de humedad y la que favoreció la densidad aparente. Estos resultados reflejan un compost de buena estructura física.

Los parámetros químicos evaluados cumplen el rango establecido por INACAL y los límites máximos permisibles según Environmental Protection Agency (EPA, 2006).

#### **Interpretación:**

Esta hipótesis también **se acepta**, ya que la mayoría de los parámetros químicos pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno y calcio cumplieron los valores establecidos en las normas técnicas. Mientras que el fósforo, potasio y magnesio se demostró que sobrepasaban el límite establecido por NTP 201.208:2021. El pH se mantuvo entre 7.18 y 7.10, dentro del rango óptimo (6.5–8.5), mientras que la conductividad eléctrica superó los límites de salinidad establecidos (<4 dS/m). Además, la materia orgánica alcanzó valores superiores al mínimo requerido ( $\geq 20\%$ ), y los macronutrientes N y Ca se mantuvieron en concentraciones adecuadas para compost maduros. Por otro lado, los metales pesados (Pb, Cd, Cr, As) se encontraron **muy por debajo** de los límites máximos permitidos por la EPA (2006), evidenciando que el compost no presenta riesgo de contaminación.

Los parámetros biológicos evaluados cumplen el rango establecido por INACAL y los límites máximos permisibles según Environmental Protection Agency (EPA, 2006).

#### **Interpretación:**

Esta hipótesis se rechaza parcialmente, ya que, aunque se observó una reducción de coliformes fecales y *Escherichia coli* en los tratamientos con estiércol de cuy y vaca, los resultados finales no cumplieron con los límites establecidos por la NTP 201.208:2021 y la NCH 2880:2004, que exigen ausencia de *Salmonella spp* y niveles menores a 1 000 NMP/g para coliformes fecales. El tratamiento con estiércol de cuy (T2) presentó la menor concentración microbiana (851 NMP/100 mL), acercándose al valor de referencia, mientras que los demás tratamientos superaron ampliamente los límites. Esto evidencia que el proceso de compostaje redujo la carga microbiana, pero no fue suficiente para garantizar la inocuidad total del producto.

La fuente de estiércol de gallina influye significativamente por lo que es el estiércol más eficiente, además aporta mayores propiedades como macronutrientes y algunos micronutrientes y es libre de agentes patógenos.

### **Interpretación:**

La hipótesis se acepta parcialmente, ya que los resultados obtenidos confirman que el estiércol de gallina (T3) fue el tratamiento más eficiente en mejorar las propiedades químicas del compost, aunque no cumplió con los requisitos biológicos de inocuidad establecidos por las normas de referencia.

En el parámetro químico, el tratamiento T3 destacó con los valores más altos de fósforo (3.37 %), potasio (3.24 %), calcio (6.79 %) y magnesio (2.25 %), indicadores que superan ampliamente los valores mínimos establecidos por la NTP 201.208:2021 y la EPA (2006), demostrando una alta disponibilidad de macronutrientes esenciales para la fertilidad del suelo. Estos resultados confirman la capacidad del estiércol de gallina para enriquecer el compost con elementos nutritivos de fácil asimilación por las plantas, fortaleciendo así su calidad agronómica.

Sin embargo, en cuanto a los parámetros biológicos, los resultados mostraron la presencia de coliformes fecales (154 100 NMP/100 mL), *Escherichia coli* (444 NMP/100 mL) y *Salmonella spp* ( $5.5 \times 10^5$  UFC/mL), valores que superan los límites máximos permisibles establecidos por la NTP 201.208:2021 y la NCH 2880:2004, que exigen ausencia de patógenos y menos de 1 000 NMP/g de compost. Esto evidencia que, aunque el estiércol de gallina mejoró significativamente las propiedades químicas, no alcanzó la inocuidad microbiológica requerida para compost de uso seguro.

Por tanto, se concluye que el estiércol de gallina representa la fuente más eficiente en la mejora de la calidad química del compost, pero no puede considerarse libre de agentes patógenos. Se recomienda aplicar un mayor tiempo de maduración o una fase termofílica más controlada, de manera que la temperatura asegure la eliminación completa de microorganismos.

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

El compostaje constituye un proceso biotecnológico fundamental para la transformación de residuos orgánicos en un insumo estable, nutritivo e inocuo para el suelo. Bajo esta premisa, la presente investigación se desarrolló con el objetivo de evaluar la eficiencia del estiércol de cuy, gallina y vaca en la mejora de la calidad del compost producido en la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos (PVRO) de Hualmay, considerando parámetros físicos, químicos y biológicos. Los resultados obtenidos permiten comprender con mayor profundidad el comportamiento del compost bajo diferentes fuentes de estiércol y contrastarlo con estudios similares realizados en contextos diversos.

En primer lugar, los parámetros físicos analizados (humedad, temperatura y densidad aparente) demostraron un comportamiento acorde con los valores establecidos por la normativa nacional e internacional. La humedad en los cuatro tratamientos (T1= 32.15%, T= 35.58%, T3= 34.41% y T4=37.88%) se mantuvo dentro de los rangos aceptados por la NTP 201.208:2021 (35% a 50%) y la NCH 2880:2004 (30% a 45%), lo cual indica que el compost alcanzó un adecuado nivel de estabilización. La temperatura final se ubicó en rangos mesofílicos propios de la etapa de maduración, mientras que la densidad aparente se mantuvo dentro de los valores esperados para un compost estabilizado. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Ortiz (2020), quien también encontró valores óptimos de humedad (entre 34,58 % y 52,23 %), temperatura (entre 27,24 °C y 29,67 °C) y densidad (entre 484,13 kg/m<sup>3</sup> y 558,50 kg/m<sup>3</sup>) en compost elaborados con estiércol vacuno y gallinas. A su vez, Leiva y Tapia (2020) observaron que el uso combinado de estiércol y residuos orgánicos mejora las propiedades físicas del compost, resultados que se reflejan de manera similar en la presente investigación. De igual manera, Palma (2023) reportó condiciones físicas adecuadas en su compost, reforzando la idea de que un manejo apropiado del proceso permite alcanzar valores óptimos sin importar la procedencia del residuo orgánico base. Por tanto, mantener los parámetros físicos dentro de estos rangos asegura que los microorganismos puedan actuar correctamente, promoviendo la descomposición y evitando problemas como exceso de agua

En cuanto a los parámetros químicos, la presencia de nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio mostró diferencias marcadas entre los tratamientos. En particular, el compost elaborado con estiércol de gallina (T3) del bloque 3 presentó las

concentraciones más altas de macronutrientes tales como el P (3.39%), K (3.28%) y Mg (2.29%) y en el bloque 1 Ca (6.88%); mientras que la mezcla con el estiércol de cuy (T2) del bloque 1 presentó la más alta respecto al nitrógeno (2.16%) evidenciando su notable aporte nutricional. Este comportamiento coincide plenamente con Ortiz (2020), quien identificó que el estiércol de la gallina aumenta de forma significativa la concentración de fósforo y calcio en el compost, superando a los tratamientos elaborados con estiércol vacuno. De manera similar, Leiva y Tapia (2020) reportaron que los tratamientos con mayor proporción de estiércol, especialmente aquellos con gallinas presentaron incrementos sustanciales en nitrógeno, carbono orgánico y fósforo, resultados que guardan coherencia con los obtenidos en el presente estudio. Asimismo, los valores obtenidos difieren parcialmente de Palma (2023), quien reportó concentraciones más bajas de macronutrientes N (0.66%), P (0.13%), K (0.34%), Mg (0.22%), Ca (4.70%); lo cual puede atribuirse a la composición inicial del sustrato, puesto que su estudio empleó residuos agrícolas y no residuos orgánicos municipales. Finalmente, los resultados se alinean con Albitez y Arata (2019), quienes demostraron que la gallina incrementa de forma notable las concentraciones de nutrientes en el compost N (1.092%) y K (33.79%) reforzando nuevamente la eficiencia de este estiércol en la mejora química del material final.

Respecto a los parámetros biológicos, los resultados evidenciaron que ninguno de los tratamientos alcanzó los niveles de inocuidad establecidos por la NTP 201.208:2021 ni la NCH 2880:2004, ya que se registraron concentraciones elevadas de coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* Este comportamiento indica que, si bien los estiércoles empleados mejoraron las características físicas y químicas del compost, la fase termofílica pudo no haber sido suficientemente prolongada o uniforme para asegurar la eliminación completa de microorganismos patógenos. Estos hallazgos difieren de los obtenidos por Palma (2023), quien reportó ausencia de *E. coli* en su compost final, posiblemente debido a un proceso termofílico más controlado. En cambio, los resultados coinciden con Ortiz (2020), quien señaló que los tratamientos con menos volteos o menor temperatura interna retuvieron niveles elevados de coliformes, situación similar a la observada en la PVRO de Hualmay. Leiva y Tapia (2020), por su parte, encontraron compost microbiológicamente estable, lo cual refuerza la idea de que la eficiencia biológica depende más del control térmico que del tipo de estiércol utilizado.

Un hallazgo particularmente relevante fue la confirmación de que el estiércol de gallina constituye la fuente más eficiente para mejorar la calidad del compost en términos químicos, dado que aportó los valores más altos de nutrientes esenciales. Este resultado se ajusta a lo indicado por Ortiz (2020), quien determinó que los tratamientos elaborados con estiércol de gallina mostraron mayor concentración de macronutrientes y mejor calidad final del compost. Sin embargo, aunque el estiércol de gallina incrementó significativamente el contenido de nutrientes, no logró garantizar la inocuidad biológica del compost, por lo que la hipótesis de que este estiércol sería "libre de agentes patógenos" no se cumple.

En opinión de la investigadora, este resultado demuestra que la calidad nutricional del compost no necesariamente está asociada con su inocuidad biológica, y pone en evidencia la necesidad de implementar mejoras en el control de la fase termofílica, el número de volteos y el tiempo de maduración para garantizar un producto seguro.

## CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

Se concluye que los tres tipos de estiércol evaluados contribuyen de manera diferenciada a la calidad del compost. El estiércol de gallina fue el insumo más eficiente, al presentar las mejores concentraciones de macronutrientes (N y Ca) y al ubicarse en los grupos estadísticos superiores en la mayoría de los parámetros químicos evaluados. El estiércol de vaca mostró ventajas en parámetros físicos como humedad, mientras que el estiércol de cuy presentó mejoras moderadas. No obstante, ninguno de los tratamientos logró cumplir los requisitos microbiológicos de inocuidad, lo que evidencia deficiencias en la fase termofílica del proceso de compostaje.

Los parámetros físicos evaluados (humedad, temperatura y densidad aparente) mostraron valores adecuados según la NTP 201.208:2021 y la NCH 2880:2004. La humedad osciló entre 32.14 % y 37.87 %, dentro del rango óptimo; la temperatura final se mantuvo entre 23.43 °C y 26.43 °C, compatible con compost maduro; y la densidad aparente se ubicó entre 234.94 y 436.02 kg/m<sup>3</sup>, valores aceptables para compost estabilizado. Se concluye que el proceso físico de compostaje en la PVRO es adecuado y permite obtener un material estructuralmente estable.

Los parámetros químicos presentaron diferencias significativas entre tratamientos. El estiércol de gallina (T3) alcanzó las mayores concentraciones de los macronutrientes N (1.55 %), P (3.37 %), K (3.24 %), Ca (6.79 %) y Mg (2.25 %). La mayoría de los valores se encontraron dentro de los rangos establecidos por la NTP 201.208:2021, la EPA (2006) y la NCH 2880:2004, excepto los metales pesados, que, aunque fueron muy bajos, también presentaron variaciones significativas entre tratamientos. En general, se concluye que químicamente el compost enriquecido con estiércol de gallina posee la mayor calidad nutricional.

Los indicadores biológicos (coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli* y *Salmonella spp.*) no cumplieron los límites establecidos por la NTP 201.208:2021 ni por la norma EPA (2006). Ninguno de los tratamientos alcanzó niveles de inocuidad aceptables, lo que confirma que el proceso no logró una fase termofílica efectiva y sostenida.

El análisis integral de los resultados indica que el estiércol de gallina (T3) fue el insumo más eficiente, ya que presentó las mayores medias en los principales macronutrientes y se ubicó en los grupos estadísticos superiores (grupo “a”) en las pruebas de Scott-Knott para N, P, K, Ca y Mg. Aunque biológicamente ningún tratamiento cumplió la normativa, químicamente el estiércol de gallina mostró la mayor capacidad de enriquecimiento del compost, por lo que se identifica como la mejor alternativa para mejorar su calidad nutricional.

Por lo tanto, es momento de que la PVRO de Hualmay fortalezca sus protocolos operativos, especialmente en lo referente al monitoreo de temperatura, la frecuencia de volteos y la homogeneidad del material en proceso. Asimismo, se debe entender que el mundo está cambiando y que la valorización de residuos orgánicos constituye una herramienta crucial para la sostenibilidad ambiental, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Una mejora continua en los procesos de compostaje permitirá no solo obtener un producto más seguro y nutritivo, sino también contribuir al desarrollo sostenible del distrito de Hualmay.

## **6.2 Recomendaciones**

Fortalecer el proceso de compostaje mediante mejoras en el control de temperatura, volteos y tiempos de retención, con el fin de garantizar no solo la calidad física y química, sino también la inocuidad microbiológica del compost final.

Implementar un monitoreo más frecuente de humedad y temperatura durante el compostaje, asegurando la activación completa de la fase termofílica. Se recomienda incorporar volteos más regulares para homogenizar la temperatura del material en todo el volumen de la pila.

Promover el uso de estiércol de gallina como insumo prioritario para mejorar la calidad química del compost producido en la PVRO de Hualmay, debido a su alta capacidad de aportación de macronutrientes esenciales.

Optimizar las condiciones sanitarias del compostaje reforzando la fase termofílica, asegurando temperaturas superiores a 55 °C durante varios días consecutivos, como

recomiendan las normas internacionales. Asimismo, se recomienda implementar un sistema de volteos más frecuente y verificar tiempos de maduración más prolongados.

Emplear el estiércol de gallina como principal insumo para mejorar la calidad nutricional del compost. No obstante, debido a los resultados microbiológicos, se recomienda complementar este insumo con buenas prácticas operativas que garanticen la eliminación de patógenos.

## CAPÍTULO VII. REFERENCIAS

- Aguilera, D., Canales, G., Chandrasekar, A., Fernández, D., Márquez, M., Ribadeneira, S., Salvo, P., y Van Der Werf, P. (2021). *Manual de compostaje. Una herramienta para combatir el Cambio Climático.* Francesca Chiappa. <https://reciclorganicos.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/12/Manual-de-compostaje-30-12-21-final-comprimido.pdf>
- Albitez, H., y Arata, A. R. (2019). *Evaluación comparativa de mezclas de residuos sólidos orgánicos del mercado Ayaymama mezclados con estiércol de gallina para la obtención de compost, Moyobamba – San Martín*, [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. <http://hdl.handle.net/11458/3774>
- Alves, R. (2018). *Mejorar el compostaje de residuos de poda y jardín mediante técnicas de bajo costo.* [Tesis de maestría, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro]. <https://www.embrapa.br/agrobiologia/fazendinha-agroecologica/dissertacoes-e-teses>
- Basantes, C. E. (2018). *Co-compostaje de residuos vegetales provenientes de la Finca Agropecuaria la Inmaculada con estiércol de cuy, vaca y gallinaza.* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <https://docplayer.es/161581860-Escuela-superior-politecnica-de-chimborazo.html>
- BEAS96. (2015). Monitoreo del compostaje. *Pabellon Verde.* <https://pabellonverde.wordpress.com/2015/05/24/monitoreo-del-compostaje/>
- Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la investigación, Tercera edición.* Pearson Educación, ISBN: 978-958-699-128-5. <https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf.pdf>
- Carter, J. E. (2017). *Caracterización y gestión de los residuos orgánicos en América del Norte.* Informe sintético, Comisión para la Cooperación Ambiental Montreal 52 pp. <https://cec.org/files/documents/publications/11770-characterization-and-management-organic-waste-in-north-america-white-paper-es.pdf>

- ComexPerú. (2022). *Solo aprovechamos el 1% de residuos orgánicos e inorgánicos que generamos*. MINAM. <https://www.comexperu.org.pe/articulo/solo-aprovechamos-el-1-de-residuos-organicos-e-inorganicos-que-generamos>
- Division Land and Water. (2002). *Los fertilizantes y su uso*. París: IFA. <https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>
- Durand, M. M. (2018). *Optimización de la técnica de compostaje para mejorar la disminución de las concentraciones de Salmonella ssp, Escherichia coli y Huevos de helmintos en el compost - Municipalidad Distrital de Independencia - Huaraz - 2016*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo]. <https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2368>
- ENEK. (2013). *Compostaje de estiércoles en la agricultura ecológica*. España: Consejo de Agricultura y Alimentación Ecológica de Euskadi (ENEK). <https://pae.gencat.cat/es/publicacions-materials-referencia/produccions-agricoles/adobat/>
- Environmental Protection Agency (EPA). 2006. *Life cycle assessment: principles and practice*. Scientific Applications International corporation. United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, Ohio. <https://url-shortener.me/99AN>
- Fulvio, P. (2020). *El compostaje de residuos orgánicos y la influencia del uso del compost en producción de plántulas de Cedrella fissilis Vell., con el objetivo de utilizar en la restauración ecológica del área degradada*. [Tesis de doctorado, Instituto de Botánica de São Paulo]. <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/pgibt/dissertacoestesefulvio-cavalheri-parajara-dr/>
- García, A. (2023). *Radiografía del reciclaje en España*. ETHIC. <https://ethic.es/2023/10/radiografia-del-reciclaje-en-espana/>
- Grand, A. y Michel, V. (2020). *Compost: ventajas y desventajas*. <https://www.best4soil.eu/assets/factsheets/es/7.pdf>

Instituto Nacional de Calidad. (2021). Norma Técnica Peruana – NTP 201.208:2021 Fertilizantes. Compost a partir de residuos sólidos orgánicos municipales. Requisitos. 1ª Edición

Instituto Nacional de Normalización. (2004). Norma Chilena Oficial – NCH2880: 2004 Compost – Clasificación y requisitos.

Leiva, L. N., y Tapia, C. R. (2020). *Características fisicoquímicas del compost de calidad agrícola, producido a partir de residuos orgánicos domiciliarios, estiércol de vacuno y/o de cuy, bagua, Amazonas, 2018*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/2073>

Ludeña, M. J. (2019). *Efecto de los microorganismos eficaces en la descomposición de los desechos sólidos orgánicos más estiércol de ganado vacuno en el distrito de José Galvez*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/2784>

Machado de Oliveira, V. (2021). *Hospicing modernity: Facing humanity's wrongs and the implications for social activism*. North Atlantic Books.

Manzur-Nazal, MI y Villalba-Cabezas, B. (2008). *Chile, potencia alimentaria y forestal. Guía técnica de buenas prácticas, recursos naturales, agua, suelo, aire y biodiversidad*. Chile: Subsecretaría de Agricultura. Comisión Nacional de Buenas Prácticas Agrícolas. Gobierno de Chile.

Ministerio del Ambiente. (2019). *Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos Municipales*. MINAM. [https://www.minam.gob.pe/gestion-de-residuos-solidos/wp-content/uploads/sites/136/2019/03/Actividad-2\\_Valorizacion-Organicos.pdf](https://www.minam.gob.pe/gestion-de-residuos-solidos/wp-content/uploads/sites/136/2019/03/Actividad-2_Valorizacion-Organicos.pdf)

Ministerio del Ambiente. (2023). *Plataforma digital única del Estado Peruano*. MINAM. <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/835151-ministerio-del-ambiente-potencia-estrategias-de-valorizacion-de-residuos-solidos-para-implementar-ciudades-sostenibles-en-el-peru>

- Ministerio del Ambiente de la Provincia de Buenos Aires. (2022). *Manual del compostaje domiciliario*.  
<https://www.ambiente.gba.gob.ar/sites/default/files/Manual%20de%20compostaje%20domiciliario%20-%201.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2022). *Guía para el Manejo de Residuos Sólidos Municipales en Situaciones de Emergencia y/o Desastres*. MINAM.  
<https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/579432-minam-aprueba-guia-para-el-manejo-de-residuos-solidos-municipales-en-situaciones-de-emergencia-y-o-desastres>
- Monsalve, J. A. y Guerrero, J. (2007). Evaluación del compostaje de subproductos derivados del sacrificio y faenado del ganado. *Universidad Tecnológica de Pereira*, 32, 590-600. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/a2388ca3-7641-4b00-b56d-12847a36ac79/content>
- Naupas , H., Valdivia, M. R., Palacios, J. J., y Romero, H. E. (2018). Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis (5ta ed.). *Ediciones de la U*, p.538.  
[https://books.google.com.pe/books?id=VzOjDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=VzOjDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Ortiz, L. F. (2020). *Efecto del tipo de estiércol y frecuencia de aireación (volteo) en el comportamiento del proceso de compostaje*. [Tesis de pregrado, Universidad Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4430>
- Ortiz, L.F., Perez, W.E., Medrano, S. (2023). *Guía práctica para la producción de Compost*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. <https://hdl.handle.net/20.500.12955/2062>
- Palma, G. G. (2023). *Evaluación de los parámetros físicos, químicos y biológicos del abono orgánico generado con la metodología UFSC, a partir de residuos del Cafetín Central de la UES*. [Tesis de pregrado, Universidad El Salvador].  
<https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/31156/1/13101828.pdf>

- Pardo, S., Suárez, M., Camelo, M., Rojas, D., y Estrada, G. (2024). Guía de compostaje para agricultores.  
<https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/view/441/547/2540-1>
- Puntocompost. (s.f.). *Guía de Compostaje*. <https://puntocompost.wordpress.com/productos/>
- Quiche, A., & Lao, J. (2022). *Guía para el cumplimiento de la Meta del Programa de Incentivos a la Mejora de la Gestión Municipal correspondiente al año 2022 “Implementación de un sistema integrado de manejo de residuos sólidos municipales*. Lima: MINAM
- Rojas, A., Vázquez, J. M., Romero, N., Rodríguez, M. Á., Toribio, J., y Romero, Y. (2016). Evaluación de compost con presencia de metales pesados en el crecimiento de *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(8), 2047-2054. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342016000802047&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342016000802047&script=sci_arttext)
- Román, P., Martínez, M. M., y Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Santiago de Chile, Chile: FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>
- Román, P., Martínez, M. M., y Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://openknowledge.fao.org/items/bf6d314c-2984-4445-b4b2-b25b01f99cf4>
- Rosal, A. (2023). Se generan en torno a 20 mil millones de toneladas de residuos sólidos al año. *Europa Press*. <https://www.upo.es/diario/cursos-verano/2023/07/se-generan-en-torno-a-20-mil-millones-de-toneladas-de-residuos-solidos-al-ano/>
- Saltos, D. S. (2018). Elaboración de compost a partir de residuos sólidos orgánicos procedentes del Mercado Municipal San Francisco de la ciudad La Joya de los Sachas, 2018. [Tesis de pregrado, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí]. <https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/3095>

- Sepúlveda, L. A., y Alvarado, J.A. (2013). *Manual de compostaje. Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos a través de sistemas de compostaje y lombricultura en el Valle de Aburrá*. <https://www.metropol.gov.co/ambiental/residuos-solidos/Documents/cartillas/Manual%20de%20Aprovechamiento%20de%20Residuos%20Organicos.pdf>
- Todd, S. (2024). Ecología de encuentros: la lógica del compostaje como respuesta educativa al colapso ambiental. *Teoría de la Educación. Revista Interuniversitaria*, 36(2), 43-58. <https://doi.org/10.14201/teri.31915>
- Yunkaporta, T. (2019). *Sand Talk: How Indigenous thinking can save the world*. Text Publishing

# **ANEXOS**

## Anexo 1. Parte metodológica

**Tabla 65**

*P-01: Armado de la pila T1 del Bloque 01*

BLOQUE 1: ARMADO DE LA PILA - T1						
TRATAMIENTO T1 / (ROM: Residuo Orgánico Municipal)						
Periodo	Fecha		Residuo Orgánico (Kg)	Cal (Kg)	Total (Kg)	
Semana 01	24/09/2024	hasta 29/09/2024	260	2	262	
Semana 02	30/09/2024	hasta 6/10/2024	240	1	241	
Semana 03	7/10/2024	hasta 13/10/2024	188	1	189	
Semana 04	14/10/2024	hasta 20/10/2024	216	1	217	
Semana 05	21/10/2024	hasta 27/10/2024	277	1	278	
Semana 06	28/10/2024	hasta 3/11/2024	260	1	261	
Semana 07	4/11/2024	hasta 9/11/2024	300	1	301	
Semana 08	10/11/2024	hasta 14/11/2024	248	3	251	
Muestra total en la pila					2000	

**Tabla 66**

*P-02: Armado de la pila T1 del Bloque 02*

BLOQUE 2: ARMADO DE LA PILA - T1						
TRATAMIENTO T1 / (ROM: Residuo Orgánico Municipal)						
Periodo	Fecha		Residuo Orgánico (Kg)	Cal (Kg)	Total (Kg)	
Semana 01	14/11/2024	hasta 17/11/2024	240	2	242	
Semana 02	18/11/2024	hasta 24/11/2024	208	1	209	
Semana 03	25/11/2024	hasta 1/12/2024	220	1	221	
Semana 04	2/12/2024	hasta 8/12/2024	260	1	261	
Semana 05	9/12/2024	hasta 15/12/2024	255	1	256	
Semana 06	16/12/2024	hasta 22/12/2024	221	1	222	
Semana 07	23/12/2024	hasta 29/12/2024	198	1	199	
Semana 08	30/12/2024	hasta 5/01/2025	255	1	256	
Semana 09	5/01/2025	hasta 11/01/2025	131	3	134	
Muestra total en la pila					2000	

**Tabla 67***P-03: Armado de la pila T1 del Bloque 03*

BLOQUE 3: ARMADO DE LA PILA - T1						
TRATAMIENTO T1 / (ROM: Residuo Orgánico Municipal)						
Periodo	Fecha		Residuo Orgánico (Kg)	Cal (Kg)	Total (Kg)	
Semana 01	18/01/2025	hasta 19/01/2025	300	2	302	
Semana 02	20/01/2025	hasta 26/01/2025	320	1	321	
Semana 03	27/01/2025	hasta 2/02/2025	320	1	321	
Semana 04	3/02/2025	hasta 9/02/2025	280	1	281	
Semana 05	10/02/2025	hasta 16/02/2025	235	1	236	
Semana 06	17/02/2025	hasta 23/02/2025	300	1	301	
Semana 07	24/02/2025	hasta 1/03/2025	235	3	238	
Muestra total en la pila					2000	

**Tabla 68***P-01: Armado de la pila T2 del Bloque 01*

BLOQUE 1: ARMADO DE LA PILA - T2						
TRATAMIENTO T2 / (ROM + EC: Residuo Orgánico Municipal + Estiercol de cuy)						
Periodo	Fecha		Estiercol (Kg)	Residuo Orgánico (Kg)	Cal (Kg)	Total (Kg)
Semana 01	24/09/2024	hasta 29/09/2024	180	160	2	342
Semana 02	30/09/2024	hasta 6/10/2024	130	140	1	271
Semana 03	7/10/2024	hasta 13/10/2024	130	105	1	236
Semana 04	14/10/2024	hasta 20/10/2024	112	102	1	215
Semana 05	21/10/2024	27/10/2024	100	110	1	211
Semana 06	28/10/2024	hasta 3/11/2024	108	122	1	231
Semana 07	4/11/2024	hasta 9/11/2024	130	140	1	271
Semana 08	10/11/2024	hasta 14/11/2024	110	110	3	223
Muestra total en la pila					2000	

**Tabla 69***P-02: Armado de la pila T2 del Bloque 02*

BLOQUE 2: ARMADO DE LA PILA - T2							
TRATAMIENTO T2 / (ROM + EC: Residuo Orgánico Municipal + Estiercol de cuy)							
do	Fecha		Estiercol (Kg)	Residuo Orgánico (Kg)	Cal (Kg)	Total (Kg)	
01	14/11/2024	hasta 17/11/2024	120	128	2	250	
02	18/11/2024	hasta 24/11/2024	102	108	1	211	
03	25/11/2024	hasta 1/12/2024	118	108	1	227	
04	2/12/2024	hasta 8/12/2024	106	104	1	211	
05	9/12/2024	hasta 15/12/2024	110	102	1	213	
06	16/12/2024	hasta 22/12/2024	112	113	1	226	
07	23/12/2024	hasta 29/12/2024	112	107	1	220	
08	30/12/2024	hasta 5/01/2025	108	102	1	211	
09	5/01/2025	hasta 11/01/2025	112	116	3	231	
Muestra total en la pila						2000	

**Tabla 70***P-03: Armado de la pila T2 del Bloque 03*

BLOQUE 3: ARMADO DE LA PILA - T2							
TRATAMIENTO T2 / (ROM + EC: Residuo Orgánico Municipal + Estiercol de cuy)							
Periodo	Fecha		Estiercol (Kg)	Residuo Orgánico (Kg)	Cal (Kg)	Total (Kg)	
Semana 01	18/01/2025	hasta 19/01/2025	200	150	2	352	
Semana 02	20/01/2025	hasta 26/01/2025	100	160	1	261	
Semana 03	27/01/2025	hasta 2/02/2025	150	130	1	281	
Semana 04	3/02/2025	hasta 9/02/2025	100	200	1	301	
Semana 05	10/02/2025	hasta 16/02/2025	150	110	1	261	
Semana 06	17/02/2025	hasta 23/02/2025	100	130	1	231	
Semana 07	24/02/2025	hasta 1/03/2025	200	110	3	313	
Muestra total en la pila						2000	

**Tabla 71***P-01: Armado de la pila T3 del Bloque 01*

BLOQUE 1: ARMADO DE LA PILA - T3							
TRATAMIENTO T3 / (ROM + EG: Residuo Orgánico Municipal + Estiercol de gallina)							
Periodo	Fecha		Estiercol (Kg)	Residuo Orgánico (Kg)	Cal (Kg)	Total (Kg)	
Semana 01	24/09/2024	hasta 29/09/2024	180	160	2	342	✓
Semana 02	30/09/2024	hasta 6/10/2024	130	140	1	271	✓
Semana 03	7/10/2024	hasta 13/10/2024	130	105	1	236	✓
Semana 04	14/10/2024	hasta 20/10/2024	112	102	1	215	✓
Semana 05	21/10/2024	27/10/2024	100	110	1	211	✓
Semana 06	28/10/2024	hasta 3/11/2024	108	122	1	231	✓
Semana 07	4/11/2024	hasta 9/11/2024	130	140	1	271	✓
Semana 08	10/11/2024	hasta 14/11/2024	110	110	3	223	✓
Muestra total en la pila						2000	

**Tabla 72***P-02: Armado de la pila T3 del Bloque 02*

BLOQUE 2: ARMADO DE LA PILA - T3							
TRATAMIENTO T3 / (ROM + EG: Residuo Orgánico Municipal + Estiercol de gallina)							
Periodo	Fecha		Estiercol (Kg)	Residuo Orgánico (Kg)	Cal (Kg)	Total (Kg)	
Semana 01	14/11/2024	hasta 17/11/2024	120	128	2	250	✓
Semana 02	18/11/2024	hasta 24/11/2024	102	108	1	211	✓
Semana 03	25/11/2024	hasta 1/12/2024	118	108	1	227	✓
Semana 04	2/12/2024	hasta 8/12/2024	106	104	1	211	✓
Semana 05	9/12/2024	hasta 15/12/2024	110	102	1	213	✓
Semana 06	16/12/2024	hasta 22/12/2024	112	113	1	226	✓
Semana 07	23/12/2024	hasta 29/12/2024	112	107	1	220	✓
Semana 08	30/12/2024	hasta 4/01/2025	108	102	1	211	✓
Semana 09	5/01/2025	hasta 11/01/2025	112	116	3	231	✓
Muestra total en la pila						2000	

**Tabla 73***P-03: Armado de la pila T3 del Bloque 03*

BLOQUE 3: ARMADO DE LA PILA - T3						
TRATAMIENTO T3 / (ROM + EG: Residuo Orgánico Municipal + Estiercol de gallina)						
Periodo	Fecha		Estiercol (Kg)	Residuo Orgánico (Kg)	Cal (Kg)	Total (Kg)
Semana 01	18/01/2025	hasta 19/01/2025	200	150	2	352
Semana 02	20/01/2025	hasta 26/01/2025	100	160	1	261
Semana 03	27/01/2025	hasta 2/02/2025	150	130	1	281
Semana 04	3/02/2025	hasta 9/02/2025	100	200	1	301
Semana 05	10/02/2025	hasta 16/02/2025	150	110	1	261
Semana 06	17/02/2025	hasta 23/02/2025	100	130	1	231
Semana 07	24/02/2025	hasta 1/03/2025	200	110	3	313
Muestra total en la pila						2000

**Tabla 74***P-01: Armado de la pila T4 del Bloque 01*

BLOQUE 1: ARMADO DE LA PILA - T4						
TRATAMIENTO T4 / (ROM + EV: Residuo Orgánico Municipal + Estiercol de vaca)						
Periodo	Fecha		Estiercol (Kg)	Residuo Orgánico (Kg)	Cal (Kg)	Total (Kg)
Semana 01	24/09/2024	hasta 29/09/2024	180	160	2	342
Semana 02	30/09/2024	hasta 6/10/2024	130	140	1	271
Semana 03	7/10/2024	hasta 13/10/2024	130	105	1	236
Semana 04	14/10/2024	hasta 20/10/2024	112	102	1	215
Semana 05	21/10/2024	27/10/2024	100	110	1	211
Semana 06	28/10/2024	hasta 3/11/2024	108	122	1	231
Semana 07	4/11/2024	hasta 9/11/2024	130	140	1	271
Semana 08	10/11/2024	hasta 14/11/2024	110	110	3	223
Muestra total en la pila						2000

**Tabla 75***P-02: Armado de la pila T4 del Bloque 02*

BLOQUE 2: ARMADO DE LA PILA - T4						
TRATAMIENTO T4 / (ROM + EV: Residuo Orgánico Municipal + Estiercol de vaca)						
Periodo	Fecha		Estiercol (Kg)	Residuo Orgánico (Kg)	Cal (Kg)	Total (Kg)
Semana 01	14/11/2024	hasta 17/11/2024	120	128	2	250
Semana 02	18/11/2024	hasta 24/11/2024	102	108	1	211
Semana 03	25/11/2024	hasta 1/12/2024	118	108	1	227
Semana 04	2/12/2024	hasta 8/12/2024	106	104	1	211
Semana 05	9/12/2024	hasta 15/12/2024	110	102	1	213
Semana 06	16/12/2024	hasta 22/12/2024	112	113	1	226
Semana 07	23/12/2024	hasta 29/12/2024	112	107	1	220
Semana 08	30/12/2024	hasta 4/01/2025	108	102	1	211
Semana 09	5/01/2025	hasta 11/01/2025	112	116	3	231
Muestra total en la pila						2000

**Tabla 76***P-03: Armado de la pila T4 del Bloque 03*

BLOQUE 3: ARMADO DE LA PILA - T4						
TRATAMIENTO T4 / (ROM + EV: Residuo Orgánico Municipal + Estiercol de vaca)						
Periodo	Fecha		Estiercol (Kg)	Residuo Orgánico (Kg)	Cal (Kg)	Total (Kg)
Semana 01	18/01/2025	hasta 19/01/2025	200	150	2	352
Semana 02	20/01/2025	hasta 26/01/2025	100	160	1	261
Semana 03	27/01/2025	hasta 2/02/2025	150	130	1	281
Semana 04	3/02/2025	hasta 9/02/2025	100	200	1	301
Semana 05	10/02/2025	hasta 16/02/2025	150	110	1	261
Semana 06	17/02/2025	hasta 23/02/2025	100	130	1	231
Semana 07	24/02/2025	hasta 1/03/2025	200	110	3	313
Muestra total en la pila						2000

**Tabla 77**

*S-01: Sectores de recolección de la muestra del estudio experimental*



Municipalidad Distrital  
de Hualmay

Sub - Gerencia de Servicios  
Públicos y Gestión Ambiental

Oficina Salud, Gestión  
Ambiental y Ornato

**Registro de restaurantes que participan efectivamente en la segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos orgánicos**

N.º	Dirección	Nombre del restaurante	Tipo	Tipo de residuos
1	Pasaje Esteban Pichilingue 412	Restaurant "Mi Cielo"	Cevichería	Orgánico
2	Avenida Domingo Mandamiento 926	Restaurant "La Zason de Nora"	Otro	Orgánico
3	Jose Crespo frente al colegio Eliseo Español	Restaurant "Sabores y tradiciones D' Luna"	Picantería	Orgánico
4	Av. Hualmay 353-A	Pollería Leñador	Otro	Orgánico
5	Av. Hualmay s/n	Siwichi - Cevichería	Cevichería	Orgánico
6	Av. Hualmay 619	Pollería la Leña	Otro	Orgánico
7	Av. Hualmay 585	Chifa el gordo Victor	Chifa	Orgánico
8	Av. Hualmay S/N	RESTAURANT POLLERIA RIVERA	Otro	Orgánico
9	Av. Hualmay 361	POLLERIA Y RESTAURANT D,VILMA	Otro	Orgánico
10	Av. Hualmay 459	RESTAURANTE KERO	Picantería	Orgánico




**Registro de Áreas Verdes que participan efectivamente en la segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos orgánicos**

Registro de áreas verdes o similares					
N.º	Código	Ubicación en Coordenadas UTM		Zona / Sector	Tipo de residuos
		Norte	Este		
1	P-01	8771580.87 m S	215598.28 m E	Mandamiento	Orgánico
2	P-02	8771974.26 m S	216161.47 m E	Mandamiento	Orgánico
3	P-03	8772029.97 m S	215921.52 m E	Pumacahua	Orgánico
4	P-04	8773181.80 m S	215532.50 m E	P. Herrera	Orgánico
5	P-05	8771625.34 m S	214628.75 m E	Cincuentenario	Orgánico
6	P-06	8772075.70 m S	214564.92 m E	Florian Dias	Orgánico
7	P-07	8771129.59 m S	214281.95 m E	Irene Salvador	Orgánico
8	P-08	8771607.61 m S	215093.13 m E	Sta. Rosa	Orgánico
9	P-09	8771845.68 m S	215454.34 m E	Las Palmas	Orgánico
10	P-10	8771802.51 m S	215593.66 m E	Las Palmas	Orgánico

**Tabla 78**

*D-01: Dirección de recolección de residuos orgánicos parte 1*



Municipalidad Distrital de Hualmay      Sub - Gerencia de Servicios Públicos y Gestión Ambiental      Oficina Salud, Gestión Ambiental y Ornato

**Registro de viviendas que participan efectivamente en la segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos orgánicos**

N.º	Código	Dirección	Nombre y apellido del representante	N.º de habitantes	Tipo de residuos
1	V-01	Prolongación Manuel Ubalde 124	Alor Duran Celia	1	Orgánico
2	V-02	Pasaje Lobitos 126	Antonia Isabel	4	Orgánico
3	V-03	Pasaje Lobitos 162	Mesa Rosel Alejandro	6	Orgánico
4	V-04	Pasaje Lobitos 174	Tiburcio Salzedo Soledad	2	Orgánico
5	V-05	Pasaje Lobitos 173	Mandamiento Mayo de Oyola Ilda	4	Orgánico
6	V-06	Psje Los Lobitos 144	Juan Bayer Pacheco	5	Orgánico
7	V-07	Psje Los Lobitos 167	Marco Palacios Martines	8	Orgánico
8	V-08	Psje Los Lobitos 153	Claudia Canales	3	Orgánico
9	V-09	Psje Los Lobitos 189	Angeles Giron Inelda	6	Orgánico
10	V-10	Pasaje Lobitos 199	Diaz Gloria	3	Orgánico
11	V-11	Pasaje la Florida 153	Mejía Claros Rosalía	5	Orgánico
12	V-12	Pasaje la Florida 165	Espada Morales Abelardo	6	Orgánico
13	V-13	Pasaje la Florida 191	Espinoza Quispe Solís	5	Orgánico
14	V-14	Pasaje los Olivos Mz B	Espinoza Rios Carmen	4	Orgánico
15	V-15	Pasaje los Olivos Mz C2	Azaballe Llantos Arturo	5	Orgánico
16	V-16	Pasaje los Olivos Mz C3	Huayta Garrido Lucas	10	Orgánico
17	V-17	Pasaje los Olivos Mz C6	Cueva Caura Cancha Orfelinda	3	Orgánico
18	V-18	Pasaje los Olivos Mz C10	Maldonado Cano Fiorela	5	Orgánico
19	V-19	Pasaje los Olivos Mz B6	Rodriguez la Cruz Odilia	5	Orgánico
20	V-20	Pasaje los Olivos Mz B3 2do piso	Mendoza Uzuriaga Gladis	2	Orgánico
21	V-21	Pasaje los Olivos Mz B3 1er piso	Rodriguez Piñella Oscar	3	Orgánico
22	V-22	Avenida Domingo Mandamiento 142	Muguruza Ramirez Julia	3	Orgánico
23	V-23	Avenida Domingo Mandamiento 241	Zenaida Altonio Torres	4	Orgánico
24	V-24	Avenida Domingo Mandamiento 361	Ortencia Espada Morales	7	Orgánico
25	V-25	Avenida Domingo Mandamiento 500	Sarita Andrade Bustamante	15	Orgánico

**Tabla 79**

*D-02: Dirección de recolección de residuos orgánicos parte 2*



**Municipalidad Distrital de Hualmay**      **Sub - Gerencia de Servicios Públicos y Gestión Ambiental**

**Oficina Salud, Gestión Ambiental y Ornato**

26	V-26	Avenida Domingo Mandamiento 473	Angelica Zoza Panta	2	Orgánico
27	V-27	Avenida Domingo Mandamiento 641	Basilio Simón Norma	4	Orgánico
28	V-28	Avenida Domingo Mandamiento 649	Basilio Flores Efraín	8	Orgánico
29	V-29	Avenida Domingo Mandamiento 675	García Giron Jaime	3	Orgánico
30	V-30	Avenida Domingo Mandamiento 698	Establecimiento "Lukerismi" Angela	4	Orgánico
31	V-31	Avenida Domingo Mandamiento 772	Muguruza Vázquez María	9	Orgánico
32	V-32	Avenida Domingo Mandamiento 818	Luis Reinoso Cardozo	2	Orgánico
33	V-33	Avenida Domingo Mandamiento 850	Liberato Peña Rosalini	3	Orgánico
34	V-34	Avenida Domingo Mandamiento 882	Martínez Suárez	5	Orgánico
35	V-35	Avenida Domingo Mandamiento 842	Claros Castillo Karina	4	Orgánico
36	V-36	Avenida Domingo Mandamiento 874	Galindo Kimura María Isabel	5	Orgánico
37	V-37	Avenida Domingo Mandamiento 926	Nora Camones Hinostroza	8	Orgánico
38	V-38	Avenida Domingo Mandamiento 949	Díaz Sánchez Juan Jesús	2	Orgánico
39	V-39	Avenida Domingo Mandamiento 957	Marcos Escobar Tania	3	Orgánico
40	V-40	Avenida Domingo Mandamiento 1068	Collantes Chávez Juana María	4	Orgánico
41	V-41	Avenida Domingo Mandamiento s/n	Burgos Calos Víctor	6	Orgánico
42	V-42	Avenida Domingo Mandamiento 128	Pula Chirre Martínez	5	Orgánico
43	V-43	Avenida Domingo Mandamiento 126	Antonia Isabel	4	Orgánico
44	V-44	Avenida Domingo Mandamiento	Marengo Marta	2	Orgánico
45	V-45	Avenida Domingo Mandamiento 136	Luci Doris Valdes Barrera	3	Orgánico
46	V-46	Psje Morales 402	Eulogio Pablo Príncipe	5	Orgánico
47	V-47	Urbanización Las Palmas S/N	Gaudencio Azareño	2	Orgánico
48	V-48	Urbanización Palmas M13	Cancio Silva Luis	7	Orgánico

**Tabla 80**

*D-03: Dirección de recolección de residuos orgánicos parte 3*

		<b>Municipalidad Distrital de Huancayo</b>		<b>Sub - Gerencia de Servicios Públicos y Gestión Ambiental</b>		<b>Oficina Salud, Gestión Ambiental y Ornato</b>	
49	V-49	Urbanización Palmas 119	Las	Felipe Dorador Amado	3	Orgánico	
50	V-50	Urbanización Palmas J23	Las	Coca Bernal Chaves Iraida	4	Orgánico	
51	V-51	Urbanización Palmas M10	Las	Aranda Garcia Deysi	14	Orgánico	
52	V-52	Urbanización Palmas M8	Las	Martines Oyola Rosalia	3	Orgánico	
53	V-53	Urbanización Palmas M9	Las	Suzarrego Cruz Victor	3	Orgánico	
54	V-54	Urbanización Palmas M16	Las	Lili Bello Alberca	4	Orgánico	
55	V-55	Urbanización Palmas M14	Las	Ochoa La Rosa Anabell		Orgánico	
56	V-56	Urbanización Palmas M6	Las	Albino Cuenca Carmen	4	Orgánico	
57	V-57	Urbanización Palmas I2	Las	Echegaray Catillo Maria	3	Orgánico	
58	V-58	Urbanización Palmas M3	Las	Rosales Reyes Hortencia	6	Orgánico	
59	V-59	Urbanización Palmas M4	Las	Sandom Ramirez Bertha	4	Orgánico	
60	V-60	Urbanización Palmas J26	Las	Blanco Vargas Guiselle	5	Orgánico	
61	V-61	Urbanización Palmas M7	Las	Monsalve Ilda	8	Orgánico	
62	V-62	Urbanización Palmas J12	Las	Morales Vasques Andrea	3	Orgánico	
63	V-63	Urbanización Palmas I19	Las	Grados de Sanamamud Lucinda	2	Orgánico	
64	V-64	Urbanización Palmas I18	Las	Honorio Ocaña Javier	8	Orgánico	
65	V-65	Urbanización Palmas I15	Las	Carrera Fermin Maruja	9	Orgánico	
66	V-66	Urbanización Palmas J10	Las	Bernal Torres Nelly	2	Orgánico	
67	V-67	Urbanización Palmas J14	Las	Ramos Mejia Felix	6	Orgánico	
68	V-68	Urbanización Palmas J15	Las	Bustamante Mejia Lucia del Rosario	1	Orgánico	
69	V-69	Urbanización Palmas I-15	Las	Carmen Meneses	12	Orgánico	
70	V-70	Urbanización Palmas 215	Las	Meneses Cabanillas Carmen	5	Orgánico	
71	V-71	Urbanización Palmas I1	Las	Lazaro Silvestre Elena	4	Orgánico	

**Tabla 81**

*D-04: Dirección de recolección de residuos orgánicos parte 4*

						
		Municipalidad Distrital de Hualmay		Sub - Gerencia de Servicios Públicos y Gestión Ambiental		Oficina Salud, Gestión Ambiental y Ornato
72	V-72	Urbanización Palmas M2	Las	Mendosa Silva Matilda Reyes	3	Orgánico
73	V-73	Cirola Alegría 340		Lucho Martínez Flor de María	3	Orgánico
74	V-74	Jr San Martín 740		Juana Castañeda	3	Orgánico
75	V-75	Jr San Martín 740		Juana Castañeda	3	Orgánico
76	V-76	Jr San Martín B2		Loyola Santiago Ilda	3	Orgánico
77	V-77	Av San Martín S/N (a 2 casas del Hostal Real)		Cotrino Pajuelo Alicia	5	Orgánico
78	V-78	Av San Martín 560		Velazquez Pajuelo Yahaira	5	Orgánico
79	V-79	Av San Martín pasaje S/N al costado del predio 569, casa de 3 pisos		Eduardo Oyola Pajuelo	2	Orgánico
80	V-80	Mateo 109	Pumacahua	Chepetan Pachas Adelia Olimpia	2	Orgánico
81	V-81	Mateo 145	Pumacahua	Liberato Sánchez Santa Dominica	4	Orgánico
82	V-82	Mateo 153	Pumacahua	Villanueva Linares Ysaluz	6	Orgánico
83	V-83	Mateo 171	Pumacahua	Díaz Ochoa Aida Lina	5	Orgánico
84	V-84	Mateo 181	Pumacahua	Moreno Blas Alejo	6	Orgánico
85	V-85	Mateo 221	Pumacahua	Díaz Manrique Elisa	3	Orgánico
86	V-86	Mateo 261	Pumacahua	Carbajal Saboya Diego Darío	2	Orgánico
87	V-87	Mateo 265	Pumacahua	Tomas Chavez Sara	3	Orgánico
88	V-88	Mateo 294	Pumacahua	Lucio Olmos Hurtado	4	Orgánico
89	V-89	Mateo 224	Pumacahua	Huertas Ariza Alberto	3	Orgánico
90	V-90	Mateo 105	Pumacahua	Manuel Castro Acosta	2	Orgánico
91	V-91	Psje. Crespo B2	Juan José 290 Interior	Valladares Espinoza Lina	4	Orgánico
92	V-92	Psje. Crespo B3	Juan José 290 Interior	Valladares Espinoza Beatriz	3	Orgánico
93	V-93	Psje. Crespo B4	Juan José 290 Interior	Minaya Azabache Javier Ernesto	4	Orgánico

**Tabla 82**

*D-05: Dirección de recolección de residuos orgánicos parte 5*

Municipalidad Distrital de Hualmay		Sub - Gerencia de Servicios Públicos y Gestión Ambiental		Oficina Salud, Gestión Ambiental y Ornato		
94	V-94	Psje. Juan José Crespo B6	290 Interior	Castillo Valladares Almendra Isabel	8	Orgánico
95	V-95	Psje. Juan José Crespo B1	290 Interior	Romina Rosario Valladares	7	Orgánico
96	V-96	Av Mariano Melgar	382	Edilberto Torres Palomares	8	Orgánico
97	V-97	Mariano Melgar	165 int A	Flores Palomo Carlos Alejandro	2	Orgánico
98	V-98	Los Huacos	3era cuadra s/n	Jesus Mesa	3	Orgánico
99	V-99	Los Huacos	lote 21	Juan Carlos Verde	1	Orgánico
100	V-100	Las Lomas Los Huacos	S/N	Arévalo Paredes María	2	Orgánico
101	V-101	Pasaje Cincuentenario	112	Ana Melgarejo de Crisostomo	1	Orgánico

**Registro de establecimientos comerciales que participan efectivamente en la segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos orgánicos**

N.º	Dirección	Nombre del establecimiento comercial	Tipo de establecimiento comercial	Tipo de residuos
1	Avenida Domingo Mandamiento 128	"Bodega Paula"	Bodega	Orgánico
2	Avenida Domingo Mandamiento 178	Bodega "Comercial II y M"	Bodega	Orgánico
3	Avenida Domingo Mandamiento 338	Bodega Cabrel Teresa	Bodega	Orgánico
4	Avenida Domingo Mandamiento 500	Bodega "Leo y Rivao"	Bodega	Orgánico
5	Avenida Domingo Mandamiento 825	Bodega Mandamiento	Bodega	Orgánico
6	Av. Hualmay s/n	Bodega - Panadería	Bodega	Orgánico
7	Av. Hualmay A21	BODEGA GARDENIA	Bodega	Orgánico

**Registro de mercados que participan efectivamente en la segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos orgánicos**

N.º	Código	Dirección	Nombre y Apellido del representante	Nombre del mercado	Tipo	Nº de puestos que participan	Tipo de residuos
1	M-01	Calle Juan Barreto	Fredy Ruiz Morales	Mercado Centenario "La Parada"	Mayorista	12	Orgánico

**Tabla 83**

*D-06: Dirección de recolección de estiércol de cuy, gallina y vaca*



**Municipalidad Distrital  
de Hualmay**

**Sub - Gerencia de Servicios  
Públicos y Gestión Ambiental**

**Oficina Salud, Gestión  
Ambiental y Ornato**

**Registro de Viviendas que entregan Guano efectivamente en la segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos orgánicos**

<b>N.º</b>	<b>Dirección</b>	<b>Nombre del Participante</b>	<b>Tipo de residuos</b>
1	Urb. Las palmas S/N	Gaudencio azareño	Guano de Cuy
2	Avenida Domingo Mandamiento	Marengo Marta	Guano de Cuy y Conejo
3	Mariano Melgar 165 int A	Flores Palomo Carlos Alejandro	Guano de Cuy
4	Urbanización Las Palmas I1	Lazaro Silvestre Elena	Guano de Cuy
5	Urbanización Las Palmas M2	Mendoza Silva Matilda Reyes	Guano de Cuy
6	Los Huacos 3era cuadra s/n	Jesus Mesa	Guano de cuy
7	Los Huacos lote 21	Juan Carlos Verde	Guano de cuy
8	Avenida San Martin pasaje S/N al costado del predio 569, casa de 3 pisos	Eduardo Oyola Pajuelo	Guano de Gallina
9	Mateo Pumacahua 105	Manuel Castro Acosta	Guano de Gallina
10	Avenida Domingo Mandamiento 136	Luci Doris Valdes Barrera	Guano de Gallina
11	Pasaje Cincuentenario 112	Ana Melgarejo de Crisostomo	Guano de Gallina
12	Puquio Cano S/N al costado de la EPS Aguas Lima Norte	Juan Herbozo Cruz	Guano de Cuy
13	Pasaje Oto S/N	Ángeles Melchor Zenon	Guano de Vaca
14	Pedro P Herrera 134	Julio Valladares Julca	Guano de Vaca
15	Calle Jose Santos Chocano N° 368	Saturno Carhuapompa Rios	Guano de Vaca
16	Pasaje Manuel Vidaurre S/N	Justina Carreño Olivares	Guano de Vaca



**Tabla 84***M-01: Monitoreo de T° y pH durante el proceso de armado de camas del bloque 1*

BLOQUE 1 / PROCESO DE ARMADO DE CAMA									
N°	Fecha	TRATAMIENTO 1 (T1)		TRATAMIENTO 2 (2)		TRATAMIENTO 3 (T3)		TRATAMIENTO 4 (T4)	
		PH	T°	PH	T°	PH	T°	PH	T°
1	7/10/2024	5.2	27.0°C	5.3	31.0°C	5.6	30.9°C	5.3	28.0°C
2	21/10/2024	5.2	31°C	5.5	31.8°C	6.9	36.0°C	6.0	30.2°C
3	4/11/2024	5.3	34°C	5.8	32°C	6.3	36.4°C	6.2	33°C

**Tabla 85***M-02: Monitoreo de T° y pH durante el proceso de armado de camas del bloque 2*

BLOQUE 2 / PROCESO DE ARMADO DE CAMA									
N°	Fecha	TRATAMIENTO 1 (T1)		TRATAMIENTO 2 (2)		TRATAMIENTO 3 (T3)		TRATAMIENTO 4 (T4)	
		PH	T°	PH	T°	PH	T°	PH	T°
1	25/11/2024	5.4	25.4°C	5.8	28°C	5.9	27.0°C	6.2	27.3°C
2	9/12/2024	5.4	26.2°C	5.8	28.8°C	5.9	30.0°C	6.4	28.6°C
3	23/12/2024	5.5	29.2°C	5.9	29.0°C	6.0	32.2°C	6.4	32.1°C
4	5/01/2025	5.5	30.8°C	6.0	31.2°C	6.1	33.9°C	6.5	33°C

**Tabla 86***M-03: Monitoreo de T° y pH durante el proceso de armado de camas del bloque 3*

BLOQUE 3 / PROCESO DE ARMADO DE CAMA									
N°	Fecha	TRATAMIENTO 1 (T1)		TRATAMIENTO 2 (2)		TRATAMIENTO 3 (T3)		TRATAMIENTO 4 (T4)	
		PH	T°	PH	T°	PH	T°	PH	T°
1	27/01/2025	5.3	26.2°C	6.0	28.4°C	5.9	29°C	5.7	30°C
2	10/02/2025	5.5	28.7°C	6.1	29.0°C	6	30.9°C	5.9	30.8°C
3	24/02/2025	5.6	30.0°C	6.2	30.2°C	6.4	31.9°C	6.2	30.2°C

**Tabla 87***B-01: Monitoreo de T° y pH de la descomposición del bloque 1*

<b>BLOQUE 1 / PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN</b>									
<b>N°</b>	<b>Fecha</b>	<b>TRATAMIENTO 1 (T1)</b>		<b>TRATAMIENTO 2 (2)</b>		<b>TRATAMIENTO 3 (T3)</b>		<b>TRATAMIENTO 4 (T4)</b>	
		<b>PH</b>	<b>T°</b>	<b>PH</b>	<b>T°</b>	<b>PH</b>	<b>T°</b>	<b>PH</b>	<b>T°</b>
<b>1</b>	16/11/2024	5.4	35°C	5.9	32°C	6.3	36.4°C	6.2	35.2°C
<b>2</b>	23/11/2024	5.6	36.2°C	6.0	34.0°C	6.3	39.0°C	6.3	36.4°C
<b>3</b>	30/11/2024	5.6	36.8°C	6.1	35.3°C	6.3	40.2°C	6.3	39.6°C
<b>4</b>	7/12/2024	5.7	36.8°C	6.1	38.0°C	6.5	43.8°C	6.4	39.0°C
<b>5</b>	14/12/2024	5.7	38.9°C	6.2	42.0°C	6.8	46.0°C	6.5	42.0°C
<b>6</b>	21/12/2024	5.8	38.9°C	6.2	45°C	6.8	48.0°C	6.6	39.1°C
<b>7</b>	28/12/2024	6.0	40.0°C	6.4	43.3°C	7.0	45.0°C	6.6	35.9°C
<b>8</b>	3/01/2025	6.0	39.3°C	6.4	40.1°C	7.0	43.2°C	6.8	34.0°C
<b>9</b>	10/01/2025	6.1	35.0°C	6.4	38.3°C	7.1	39.8°C	6.8	32.2°C
<b>10</b>	17/01/2025	6.1	32.9°C	6.5	34.0°C	7.1	34.9°C	6.8	31.1°C
<b>11</b>	24/01/2025	6.1	29.3°C	6.6	32.6°C	7.3	31.0°C	6.9	29.4°C
<b>12</b>	31/01/2025	6.1	28.0°C	6.6	28.2°C	7.4	28.6°C	6.9	28.3°C

**Tabla 88***B-02: Monitoreo de T° y pH de la descomposición del bloque 2*

<b>BLOQUE 2 / PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN</b>									
<b>N°</b>	<b>Fecha</b>	<b>TRATAMIENTO 1 (T1)</b>		<b>TRATAMIENTO 2 (2)</b>		<b>TRATAMIENTO 3 (T3)</b>		<b>TRATAMIENTO 4 (T4)</b>	
		<b>PH</b>	<b>T°</b>	<b>PH</b>	<b>T°</b>	<b>PH</b>	<b>T°</b>	<b>PH</b>	<b>T°</b>
<b>1</b>	10/01/2025	5.5	33.0°C	6.1	32.3°C	6.1	34.3°C	6.5	34.0°C
<b>2</b>	17/01/2025	5.5	35.0°C	6.3	38.0°C	6.1	40.8°C	6.6	39°0C
<b>3</b>	24/01/2025	5.6	36.8°C	6.3	39.9°C	6.2	46.3°C	6.7	43.5°C
<b>4</b>	30/01/2025	5.7	38.0°C	6.4	42.0°C	6.3	52.0°C	6.7	46.0°C
<b>5</b>	7/02/2025	5.8	36.2°C	6.5	39.8°C	6.3	46.0°C	6.8	42.5°C
<b>6</b>	14/02/2025	5.8	32.0°C	6.5	36.3°C	6.3	42.0°C	6.9	38.3°C
<b>7</b>	21/02/2025	6.0	30.8°C	6.8	33.1°C	6.3	36.0°C	7.0	35.0°C
<b>8</b>	28/02/2025	6.0	29.0°C	6.8	29.4°C	6.9	31.2°C	7.0	30.0°C
<b>9</b>	7/03/2025	6.1	25.0°C	6.8	26°C	6.4	28.2°C	7.0	28.0°C
<b>10</b>	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<b>11</b>	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<b>12</b>	–	–	–	–	–	–	–	–	–

**Tabla 89***B-03: Monitoreo de T° y pH de la descomposición del bloque 3*

<b>BLOQUE 3 / PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN</b>									
<b>N°</b>	<b>Fecha</b>	<b>TRATAMIENTO 1 (T1)</b>		<b>TRATAMIENTO 2 (2)</b>		<b>TRATAMIENTO 3 (T3)</b>		<b>TRATAMIENTO 4 (T4)</b>	
		<b>PH</b>	<b>T°</b>	<b>PH</b>	<b>T°</b>	<b>PH</b>	<b>T°</b>	<b>PH</b>	<b>T°</b>
<b>1</b>	28/02/2025	5.7	30.0°C	6.2	30.8°C	6.4	32°C	6.3	32.2°C
<b>2</b>	7/03/2025	5.7	32.4°C	6.2	32.9°C	6.4	35.2°C	6.4	34.6°C
<b>3</b>	13/03/2025	5.9	34.9°C	6.2	35.9°C	6.5	37.8°C	6.6	37.1°C
<b>4</b>	21/03/2025	6.0	37.0°C	6.3	38.0°C	6.7	40.4°C	6.6	39.9°C
<b>5</b>	28/03/2025	6.0	41.6°C	6.4	43.9°C	6.8	43.0°C	6.7	42.0°C
<b>6</b>	4/04/2025	6.0	38.0°C	6.4	39.0°C	6.9	45.0°C	6.7	44.1°C
<b>7</b>	11/04/2025	6.1	34.0°C	6.5	36.8°C	7.0	42.0°C	6.9	42.3°C
<b>8</b>	18/04/2025	6.1	30.3°C	6.5	34.6°C	7.0	39.3°C	7.0	40.0°C
<b>9</b>	25/04/2025	6.1	28.5°C	6.5	32.2°C	7.4	34.8°C	7.0	37.0°C
<b>10</b>	2/05/2025	6.1	26.2°C	6.5	30.5°C	7.2	31.2°C	7.0	32.9°C
<b>11</b>	9/05/2025	6.2	25.0°C	6.6	29.1°C	7.3	28.9°C	7.0	28.6°C
<b>12</b>	16/05/2025	6.2	24.6°C	6.6	28.0°C	7.3	28.2°C	7.1	27.8°C
<b>13</b>	23/05/2025	6.2	24.0°C	6.7	27.2°C	7.4	27.4°C	7.1	27°C

## Anexo 2. Otorgamiento de permiso



Figura 26. Otorgamiento de permiso.

### Anexo 3. Reconocimiento del área de estudio



**Figura 27.** Reconocimiento del área de estudio y visita preliminar.

#### Anexo 4. Fotografías en campo



**Figura 28.** Inicio del Armado de las camas para el compost del Bloque 01.



**Figura 29.** Almacenamiento de estiércol de cuy, gallina y vaca.



**Figura 30.** Sellado de las camas de compost del Bloque 01.



**Figura 31.** Inicio del Armado de las camas para el compost del Bloque 02.



**Figura 32.** Sellado de las camas de compost del Bloque 02.



**Figura 33.** Inicio del Armado de las camas para el compost del Bloque 03.



**Figura 34.** Sellado de las camas de compost del Bloque 03.



**Figura 35.** Medición del peso de los residuos Orgánicos.



**Figura 36.** Medición del peso de las fuentes de Estiércol.



**Figura 37.** Medición del peso de los residuos de poda.



**Figura 38.** Incorporación del ROM a la cama del tratamiento T1.



**Figura 39.** Incorporación del EC a la cama del tratamiento T2.



**Figura 40.** Incorporación del EG a la cama del tratamiento T3.



**Figura 41.** Incorporación del EV a la cama del tratamiento T4.



**Figura 42.** Incorporación de ROM a la cama T2, T3 y T4 por la Tesista.



**Figura 43.** Incorporación de ROM a la cama T2, T3 y T4 por el Tesista.



**Figura 44.** Camas de un bloque en proceso de armado (T1, T2, T3 y T4).



**Figura 45.** Control de la Temperatura y pH de las camas de compost por el Tesista.



**Figura 46.** Termómetro usado para la medición de temperatura de las camas de compostaje.



**Figura 47.** Control de la Temperatura y pH de las camas de compost por la Tesista.



**Figura 48.** Colado de compost del Bloque 01 para toma de muestra.



**Figura 49.** Colado de compost del Bloque 02 para toma de muestra.



**Figura 50.** Colado de compost del Bloque 03 para toma de muestra.



**Figura 51.** Muestras de compost enviadas al Laboratorio Mecánica de Suelos.

## Anexo 5. Resultados de laboratorio Mecánica de Suelos

**Tabla 90**

*Resultados del laboratorio de los parámetros físicos y químicos del compost*

<b>ENSAYO N°03 -HR- 2025</b>
INFORME DE RESULTADOS- MUESTREO DE RESIDUOS ORGANICOS
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO - LIMA NORTE

<b>Dirección:</b>	Planta de Valorización de Residuos Orgánicos (PVRO) de la Municipalidad de Hualmay ubicada entre la Av. Cincuentenario y la Av. Pedro P. Herrera del distrito de Hualmay, provincia Huaura y departamento de Lima.
<b>Tipo de ensayo:</b>	Análisis Físico-químicos
<b>Matriz:</b>	Residuos orgánicos
<b>Descripción de la muestra:</b>	Residuos orgánicos domiciliarios del distrito de Hualmay
<b>Muestra tomado por:</b>	Reynalte Silva Mijael Rodolfo y Ramirez Huamán Helliane Hilari
<b>Fecha de ingreso de la muestra:</b>	28 de abril del 2025

	TRATAMIENTO	PROPIEDAD FISICA					PROPIEDAD QUIMICA									
		HUMEDAD (%)	TEMPERATURA (°C)	DENSIDAD APARENTE (Kg/m³)	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (Ds/m)	Ph	PLOMO (mg/L)	CADMIO (mg/L)	CROMO (mg/L)	ARSENICO (mg/L)	MATERIA ORGANICA (%)	NITROGENO (%)	FOSFORO (%)	POTASIO (%)	CALCIO (%)	MAGNESIO (%)
BLOQUE 1	B1-T1/TESTIGO	32.14	23.5	239.11	11.35	6.18	0.0005	0.0006	0.0009	0.0004	63.19	1.45	1.26	1.58	2.19	2.09
	B1-T2/ROM+EC	35.18	25.3	235.05	8.30	6.75	0.0003	0.0003	0.0004	0.0001	63.15	2.16	1.28	1.67	2.24	2.11
	B1-T3/ROM+EG	35.07	25.8	375.07	11.64	7.42	0.0003	0.0005	0.0008	0.0001	48.19	1.49	3.35	3.21	6.88	2.21
	B1-T4/ROM+EV	37.65	25.6	417.12	13.52	6.95	0.0005	0.0006	0.0005	0.0003	61.53	1.73	1.69	2.87	3.33	1.03
BLOQUE 2	B2-T1/TESTIGO	32.18	23.6	378.24	15.02	6.15	0.0005	0.0004	0.0003	0.0002	48.71	1.45	1.71	1.73	2.28	2.31
	B2-T2/ROM+EC	35.44	26.4	235.01	8.35	6.85	0.0002	0.0002	0.0003	0.0001	63.24	2.21	1.31	1.69	2.22	2.13
	B2-T3/ROM+EG	35.38	26.7	374.09	12.14	6.44	0.0002	0.0003	0.0005	0.0001	48.66	1.55	3.37	3.25	6.75	2.26
	B2-T4/ROM+EV	37.89	26.3	417.05	15.18	7.08	0.0005	0.0003	0.0002	0.0001	61.75	1.76	1.73	2.85	3.31	1.05
BLOQUE 3	B3-T1/TESTIGO	32.12	23.2	239.11	11.41	6.21	0.0002	0.0003	0.0002	0.0002	63.19	1.42	1.38	1.71	2.29	2.19
	B3-T2/ROM+EC	36.11	26.8	234.78	8.45	6.78	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	63.66	2.23	1.33	1.75	2.26	2.18
	B3-T3/ROM+EG	35.78	26.8	374.04	12.88	7.46	0.0001	0.0002	0.0003	0.0001	48.83	1.62	3.39	3.28	6.74	2.29
	B3-T4/ROM+EV	38.09	26.7	473.89	16.21	7.18	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001	61.88	1.78	1.76	2.92	3.35	1.08

**Metodología:** Determinación de humedad: método gravimétrico, se utilizó una estufa marca DAHIANSCIENTIFIC modelo OVEN, rango temperatura 0 - 200 °C  
 Determinación de materia orgánica: método gravimétrico, se utilizó una mufla marca NABERTHERM rango de temperatura de 30 - 3000°C  
 Método de Kjeldahl  
 método del Olsen, extracción con NaHCO<sub>3</sub>=0.05M, pH 8.5  
 Extracción con acetato de amonio (CH<sub>3</sub>-COONH<sub>4</sub>)N, pH 7.0  
 Saturación con acetato de amonio (CH<sub>3</sub>-COONH<sub>4</sub>)N, pH 7.0  
 Método de Munsell  
 APHA-AWWA-WEF (2012) 5210 B  
 APHA-AWWA-WEF (2012) 5220 B  
 Método de espectrofotometría UV visible

**Equipos utilizados:** Multiparametro Hanna edge  
 6053633  
 Espectrofotómetro UV  
 6007328  
 Equipo de filtración con bomba de vacío  
 653626  
 Equipo Kjeldahl  
 600956  
 Equipo de destilación de gases  
 6009523  
 Mufla marca NABERTHERM  
 6009521  
 Horno de secado DAHIANSCIENTIFIC  
 D06-006556  
 Desecador con sílica gel marca NORMAX certificado con iso 13130  
 D06-007317  
 Conductímetro de mesa HANNA modelo HI5521  
 Código interno: 06007307  
 Balanza analítica OHAUS  
 Código interno: 06009513

  
 HITLER  
 ROMAN PEREZ  
 Ingeniero Ambiental  
 CIP N° 344579

**Tabla 91**

*Resultados del laboratorio de los parámetros biológicos del compost*

<b>ENSAYO N°03 -HR- 2025</b>
INFORME DE RESULTADOS- MUESTREO DE RESIDUOS ORGANICOS
LABORATORIO DE QUIMICA UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO - LIMA NORTE

<b>Dirección:</b>	Planta de Valorización de Residuos Orgánicos (PVRO) de la Municipalidad de
<b>Tipo de ensayo:</b>	Análisis microbiológico
<b>Matriz:</b>	Residuos orgánicos
<b>Descripción de la muestra:</b>	Residuos orgánicos domiciliarios del distrito de Hualmay
<b>Muestra tomado por:</b>	Reynalte Silva Mijael Rodolfo y Ramirez Huamán Heliiane Hilari
<b>Fecha de ingreso de la muestra:</b>	28 de abril del 2025

MUESTRA	PROPIEDAD BIOLÓGICA				
	COLIFORME TOTAL (NMP/100mL)	COLIFORME FECAL (NMP/100mL)	ESCHERICHIA COLI (NMP/100mL)	SALMONELLA SSP (UFC/mL)	
<b>BLOQUE 1</b>	BI-T1 TESTIGO	2.3*10 <sup>5</sup>	2.3*10 <sup>4</sup>	1.2*10 <sup>2</sup>	1.5*10 <sup>8</sup>
	B1-T2/ROM+E.C	2.3*10 <sup>2</sup>	2.3*10 <sup>3</sup>	1.2*10 <sup>1</sup>	1.5*10 <sup>5</sup>
	B1+T3/ROM+EG	2.3*10 <sup>6</sup>	2.3*10 <sup>5</sup>	1.2*10 <sup>1</sup>	1.5*10 <sup>6</sup>
	B1-T4/ROM+E.V	2.3*10 <sup>5</sup>	2.3*10 <sup>3</sup>	1.2*10 <sup>1</sup>	1.5*10 <sup>7</sup>
<b>BLOQUE 2</b>	B2-T1 TESTIGO	2.3*10 <sup>4</sup>	2.3*10 <sup>4</sup>	1.2*10 <sup>2</sup>	1.5*10 <sup>7</sup>
	B2-T2/ROM+E.C	2.3*10 <sup>2</sup>	2.3*10 <sup>1</sup>	1.2*10 <sup>1</sup>	1.5*10 <sup>4</sup>
	B2+T3/ROM+EG	2.3*10 <sup>3</sup>	2.3*10 <sup>5</sup>	1.2*10 <sup>2</sup>	1.5*10 <sup>5</sup>
	B2-T4/ROM+E.V	2.3*10 <sup>4</sup>	2.3*10 <sup>3</sup>	1.2*10 <sup>2</sup>	1.5*10 <sup>5</sup>
<b>BLOQUE 3</b>	B3-T1 TESTIGO	2.3*10 <sup>4</sup>	2.3*10 <sup>4</sup>	1.2*10 <sup>3</sup>	1.5*10 <sup>5</sup>
	B3-T2/ROM+E.C	2.3*10 <sup>1</sup>	2.3*10 <sup>2</sup>	1.2*10 <sup>1</sup>	1.5*10 <sup>2</sup>
	B3+T3/ROM+EG	2.3*10 <sup>3</sup>	2.3*10 <sup>3</sup>	1.2*10 <sup>3</sup>	1.5*10 <sup>3</sup>
	B3-T4/ROM+E.V	2.3*10 <sup>2</sup>	2.3*10 <sup>3</sup>	1.2*10 <sup>2</sup>	1.5*10 <sup>4</sup>

**Metodología de Análisis:**

International Commission on Microbiological Specifications for Food. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp.

**Equipos**

Contador de colonia  
 código interno: D06-007371  
 Incubadora  
 Código interno: D06-007395  
 Baño maría  
 Código interno: D06-007393  
 Autoclave  
 Código interno: D06-007386  
 Estufa  
 Código interno: D06-007385  
 Microscopio Olympus CX33  
 Código interno: D06-007388

  
 -----  
**HITLER**  
**ROMAN PEREZ**  
 Ingeniero Ambiental  
 CIP N° 344579