

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE
SUELOS Y AGUA



METALES PESADOS, MICROORGANISMOS PATÓGENOS Y CALIDAD EN
COMPOST A BASE DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN TINGO MARIA –
LEONCIO PRADO

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

LORENA RAQUEL GARRIDO ACOSTA

Tingo María – Perú.

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María – Perú

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 041-2022-FRNR-UNAS

Los que suscriben, miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 04 de octubre del 2022 a horas 07:00 p. m. de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la Tesis titulada:

“METALES PESADOS, MICROORGANISMOS PATÓGENOS Y CALIDAD EN COMPOST A BASE DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN TINGO MARIA–LEONCIO PRADO”

Presentado por la Bachiller: **GARRIDO ACOSTA, Lorena Raquel**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título correspondiente.

Tingo María, 10 de octubre de 2022

Ing. M. Sc. **JOSE LEVANO CRISOSTOMO**
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. **SANDRO RUIZ CASTRE**
MIEMBRO



Dr. **LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ**
MIEMBRO

Dr. **NELINO FLORIDA ROFNER**
ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ECUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACION DE
SUELOS Y AGUA



METALES PESADOS, MICROORGANISMOS PATÓGENOS Y CALIDAD EN
COMPOST A BASE DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN TINGO MARIA-
LEONCIO PRADO

Autor	: Bach. Lorena Raquel Garrido Acosta
Asesor	: Dr. Nelino Florida Rofner
Programa de Investigación	: Manejo y Conservación de Suelos
Línea (s) de Investigación	: Ciencias básicas del Suelo
Eje Temático	: Producción de abonos orgánicos
Lugar de ejecución	: Rupa Rupa-Leoncio Prado
Duración del trabajo	: Seis meses
Financiamiento	: S/. 9 994,00
Propio	: Si
FEDU	: No
Otros	: No

Tingo María – Perú

2022

DEDICATORIA

A Dios, por escuchar mis oraciones, por todo lo bueno y malo que me ha pasado, por poner personas maravillosas en mi camino, orientarme por el buen camino, darme fuerza para seguir adelante y no desistir en los problemas que se presentaron, enseñándome a enfrentar y superar las limitaciones sin perder los buenos valores.

A mis padres Edilberto Acosta y Belmira Grandez solo agradecerles por haberme dejado sus mejores enseñanzas y siempre les tengo presente en mi corazón.

A mi hijo Víctor Esteban que ha sido mi motivación en todo momento y me ilumina desde el cielo para seguir adelante en todos mis proyectos.

A mi tía María Acosta por su apoyo incondicional y ser la mejor consejera que con sus palabras de aliento me animaba a seguir adelante en los momentos difíciles.

A mis hermanos y familiares, quienes en mi época universitaria siempre me brindaron su apoyo y me animaban a no rendirme y ser un ejemplo.

El autor

AGRADECIMIENTOS

A Dios, tu amor y tu bondad no tienen fin, me permites disfrutar de todos mis logros que son resultado de tu ayuda, los obstáculos me sirven para mejorar como ser humano. La tesis ha sido una bendición en todo sentido y estaré agradecido, pues la meta está cumplida.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por haber permitido formarme, gracias a todos los docentes que fueron partícipes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, gracias a todos, fueron ustedes con sus aportes, que hoy se ve reflejada en la culminación de mi paso por la universidad.

Al Dr. Nelino Florida Rofner, por el asesoramiento en la formulación del proyecto, la ejecución, redacción y sustentación de la tesis.

A los miembros del jurado al Ing. M. Sc. José Lévano Crisóstomo, Ing. M. Sc. Sandro Ruiz Castre, Dr. Lucio Manrique del Lara Suarez por sus aportes en las correcciones de la presente investigación.

A mis amigos más cercanos que fueron en la universidad, por compartir conocimientos y momentos únicos que nos convirtieron en casi hermanos son y serán un tesoro muy preciado.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Compost	3
2.2 Materiales compostables	3
2.3 Residuos sólidos urbanos.....	4
2.3.1 Caracterización de los residuos sólidos urbanos.....	6
2.4 Normas técnicas para determinar la calidad del compost	7
2.5 Factores que influyen en la calidad del compost	9
2.5.1 Temperatura	9
2.5.2 Humedad.....	10
2.5.3 Potencial de hidrogeno (pH).....	11
2.5.4 Relación carbono-nitrógeno (C/N).....	12
2.5.5 Oxígeno	12
2.6 Indicadores de maduración del compost.....	12
2.7 Estado del arte.....	13
2.7.1 Antecedentes internacionales.....	13
2.7.2. Antecedentes nacionales.....	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1 Ubicación	16
3.2 Características del área de estudio	16
3.3 Materiales y equipos.....	16
3.3.1 Materiales de campo.....	16
3.3.2 Materiales de laboratorio.....	17
3.3.3 Equipos de campo.....	17
3.3.4 Equipos de laboratorio.....	17
3.4 Criterio y análisis del estudio.....	17
3.4.1 Tipo y nivel de investigación.....	17

3.4.2	Diseño de la investigación.....	17
3.5.	Metodología.....	17
3.5.1	Evaluación del proceso y compost final.....	17
3.5.2	Caracterización de los residuos procesados.....	18
3.5.3	Indicadores del proceso de compostaje.....	18
3.5.4	Muestreo y análisis de compost final.....	20
3.6	Análisis estadístico.....	21
3.7	Población y muestra.....	21
3.8	Variables.....	21
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1.	Caracterización de residuos sólidos orgánicos compostados.....	22
4.2.	Indicadores del proceso (T° y pH).....	23
4.3.	Metales pesados y microorganismos contaminantes.....	27
4.4.	Calidad del compost	29
V.	CONCLUSIONES.....	32
VI.	PROPUESTAS A FUTURO.....	33
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34
	ANEXOS.....	39
	Datos generales de bioindicadores del proceso.....	39
	Análisis estadístico.....	43
	Trabajos de campo.....	52
	Análisis de caracterización y microbiológico del compost.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Caracterización de residuos aprovechables	6
2. Composición de residuos sólidos orgánicos domiciliarios del Cercado de Lima.....	7
3. Composición de residuos sólidos domiciliarios y comerciales de la ciudad de	7
4. Norma Oficial Chilena (NOCh) 2880.....	8
5. Real Decreto 824 sobre productos fertilizantes.....	9
6. Principales indicadores de calidad del proceso de compostaje.....	13
7. Periodo de compostaje en pilas evaluadas.....	20
8. Indicadores físicos, químicos y microbiológicos evaluados.....	20
9. Caracterización de los residuos sólidos orgánicos compostados.....	22
10. Valores de la temperatura durante el compostaje.....	23
11. Valores del pH durante el compostaje.....	26
12. Concentración de metales pesados y microorganismos patógenos.....	28
13. Calidad del compost a base de residuos sólidos orgánicos urbanos.....	29
14. Temperatura en las pilas 1 y 2.....	39
15. Temperatura en las pilas 3 y 4.....	40
16. pH en las pilas 1 y 2.....	41
17. pH en las pilas 3 y 4.....	42
18. Análisis de varianza para el indicador pH.....	43
19. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador pH.....	43
20. Análisis de varianza para el indicador Humedad.....	43
21. Análisis de varianza para el indicador MO.....	44
22. Análisis de varianza para el indicador % de cenizas.....	44
23. Análisis de varianza para el indicador N.....	44
24. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador N.....	45
25. Análisis de varianza para el indicador P ₂ O ₅	45
26. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador P ₂ O ₅	45
27. Análisis de varianza para el indicador Ca.....	46
28. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador Ca.....	46
29. Análisis de varianza para el indicador Mg.....	46
30. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador Mg.....	47
31. Análisis de varianza para el indicador K.....	47

32.	Análisis post-hoc de Tukey para el indicador K.....	47
33.	Análisis de varianza para el indicador Pb.....	48
34.	Análisis post-hoc de Tukey para el indicador Pb.....	48
35.	Análisis de varianza para el indicador Cd.....	48
36.	Análisis post-hoc de Tukey para el indicador Cd.....	49
37.	Análisis de varianza para el indicador Cu.....	49
38.	Análisis post-hoc de Tukey para el indicador Cu.....	49
39.	Análisis de varianza para el indicador Fe.....	50
40.	Análisis post-hoc de Tukey para el indicador Cu.....	50
41.	Análisis de varianza para el indicador Zn.....	50
42.	Análisis post-hoc de Tukey para el indicador Zn.....	51
43.	Análisis de varianza para el indicador Mn.....	51
44.	Análisis post-hoc de Tukey para el indicador Mn.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Generación total de residuos sólidos domiciliarios urbanos	5
2. Residuos sólidos municipales dispuestos en rellenos sanitarios	5
3. Comportamiento de la temperatura en compostaje de residuos orgánicos.....	10
4. Comportamiento de pH durante el proceso de compostaje.....	11
5. Localización geográfica del área de estudio, Planta Shapajilla (C) Leoncio Prado (B) en la región Huánuco-Perú (A).....	17
6. Equipos de medición del pH y T° durante el proceso de compostaje.....	19
7. Posición de evaluación de T° y pH durante el compostaje.....	19
8. Variaciones temporales de la temperatura en las diferentes pilas.....	24
9. Variaciones temporales del pH en las diferentes pilas.....	27
10. Planta de compostaje Shapajilla.....	52
11. Caracterización de los residuos en la pila instalada.....	52
12. Evaluación de T° y pH.....	53
13. Volteo mecanizado de las pilas.....	53
14. Extracción de muestras para análisis fisicoquímico y microbiológico.....	54
15. Análisis microbiológico.....	54

RESUMEN

El estado incentiva a que las municipalidades implementen un sistema de gestión integral de residuos sólidos y el compostaje se perfila como técnica que permite la biodegradación controlada de estos residuos para obtener un producto aprovechable para el suelo y disminuir la contaminación ambiental. Por ello, la investigación evaluó metales pesados, microorganismos patógenos y la calidad en compost a base de residuos sólidos urbanos de la municipalidad de Leoncio Prado. Metodológicamente es una investigación descriptiva, en el que se procesaron cuatro pilas de compost y se evaluaron indicadores físicos, metales pesados, microorganismos de origen fecal y se determinó la calidad a través de la Norma Oficial Chilena 2880 y la Norma Española, Real Decreto 824. Los resultados muestran que los residuos en mayor proporción son restos de comidas, frutas y cascaras; la temperatura alcanzó todas las etapas del proceso con valores medios de pH bajos al inicio y tendencia de incremento al final de las evaluaciones; los metales pesados son bajos, con ausencia de microorganismos de origen fecales y la calidad es de clase media (B). Se concluye, que, el compost producido puede ser utilizado en la agricultura con algunas medidas a considerar como el nivel alto en pH y los niveles bajos de Ca, Mg y K.

Palabras clave: Caracterización, compostaje, compost maduro, norma técnica

ABSTRACT

The state encourages municipalities to implement an integrated solid waste management system and composting is emerging as a technique that allows controlled biodegradation of these wastes to obtain a usable product for the soil and reduce environmental pollution. Therefore, the research evaluated heavy metals, pathogenic microorganisms and the quality of compost based on solid urban waste from the municipality of Leoncio Prado. Methodologically, it is descriptive research, in which four piles of compost were processed and physical indicators, heavy metals, microorganisms of fecal origin were evaluated and the quality was determined through the Chilean Official Standard 2880 and the Spanish Standard, Royal Decree 824. The results show that the residues in greater proportion are food remains, fruits and peels; the temperature reached all stages of the process with low average pH values at the beginning and an increasing tendency at the end of the evaluations; the heavy metals are low, with absence of microorganisms of fecal origin and the quality is of medium class (B). It is concluded that the compost produced can be used in agriculture with some measures to consider such as high pH and low Ca, Mg and K levels.

Keywords: Characterization, composting, mature compost, technical standards

I. INTRODUCCIÓN

En Perú, las estadísticas generales a nivel país al 2019 se generan 7 906 913 t de residuos sólidos municipales, de los cuales el 57,64 % (4 557 620 t) corresponden a residuos sólidos orgánicos con gran potencial para ser tratados a través del compostaje (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2021a). Evidentemente este es un problema histórico en Perú, que ha llevado en sus inicios al Concejo Nacional del Ambiente-CONAM, aprobar en el 2006 la “Guía para la Certificación de Municipalidades con Gestión Ambiental Local para el Desarrollo Sostenible, Certificación GALDS”, la referida guía estableció los lineamientos, requisitos y procedimientos a implementar por las comunas para ostentar tal certificación, como estrategia de diferenciación local en la gestión ambiental (MINAM, 2021b). En la actualidad esta clasificación (ciudades Tipo A, B, C, D y E) está regulada por el Ministerio del Ambiente-MINAM, a través de la Dirección General de Residuos Sólidos – DGRS, que, en concordancia con la política del Ministerio de Economía y Finanzas-MEF, crearon el Programa de Incentivos a la Mejora de la Gestión Municipal (GALS), que incentiva la implementación municipal de un sistema de gestión de residuos sólidos (MINAM, 2021a).

El compostaje se perfila como una tecnología para tratar de manera segura y controlada los residuos sólidos orgánicos (Rivas & Silva, 2020; López et al., 2017), transformándolos en biofertilizantes estables y amigables con el medio ambiente, logrando estabilizar diferentes tipos de residuos agrícolas, industriales y residuos sólidos orgánicos urbanos, con el fin de obtener un producto aprovechable para el suelo y evitar la disposición final en áreas no autorizadas (Florida & Reategui, 2019; Muscolo et al., 2018). El compost como producto final, es un biofertilizante que incorpora lenta y progresiva macro y micronutrientes al suelo, traducándose en efectos positivos para los cultivos (Peralta et al., 2019; Sharma et al., 2017), también es usado en la preparación de diferentes sustratos (Bárbaro et al., 2019), en cualquier caso, tiene gran potencial para mejorar el suelo y los cultivos (Cabrera & Rossi, 2016). Sin embargo, el compost producido a base de residuo sólido urbanos genera discusión respecto a su aplicación en las áreas de cultivos, por la posible presencia de componentes fitotóxicos y contaminantes (metales y microorganismos patógenos) que pueden dañar los agroecosistemas.

De la problemática descrita, se plantea la interrogante ¿Cuáles son los niveles de metales pesados y microorganismos patógenos en compost a base de residuo sólidos urbanos producido por la municipalidad de Leoncio Prado?, ¿Cumplen con los estándares de calidad de la Norma Oficial Chilena 2880 y la Norma Española 824 el compost producido por la municipalidad de Leoncio Prado?.

La investigación se justifica en la necesidad de conocer técnica y científicamente los niveles de metales pesados y microorganismos patógenos presentes en compost producido a base de residuo sólidos urbanos en Rupa Rupa-Leoncio Prado, para determinar su calidad según la Norma Oficial Chilena 2880 y la Norma Española 824; teniendo en consideración, los potenciales riesgos fitotóxicos que pueden tener la aplicación en la agricultura de enmiendas orgánicas de calidad no certificada.

Los alcances de este trabajo pretenden generar nuevos conocimientos para la comunidad científica y poner a disposición de: las instituciones municipales que aplican o promueven el compostaje como técnica para el tratamiento de residuos sólidos urbanos (municipalidades), instituciones privadas dedicadas a la exportación en el ámbito regional que promueven la agricultura orgánica, instituciones sectoriales como la Dirección Regional de Agricultura (DRA) y las asociaciones de productores locales.

1.1. Hipótesis

- Los niveles de metales pesados, microorganismos patógenos y calidad en compost a base de residuo sólidos urbanos producido por la municipalidad de Rupa Rupa-Leoncio Prado, cumplen con los criterios de calidad de la Norma Oficial Chilena 2880 y la Norma Española 824.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Evaluar metales pesados, microorganismos patógenos y calidad en compost a base de residuos sólidos urbanos de la municipalidad de Leoncio Prado

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los residuos sólidos orgánicos sometidos a compostaje.
- Evaluar indicadores del proceso: temperatura y pH.
- Determinar los niveles de metales pesados: Pb, Cd, Mn, Zn, Fe y Cu, y microorganismos de origen fecales, *Salmonella* y *Escherichia coli*, en compost a base de residuos sólidos urbanos.
- Determinar la calidad aplicando los criterios de la Norma Oficial Chilena 2880 y la Norma Española, Real Decreto 824.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Compost

Sustantivo que proviene del latín “componere”, que significa juntar. Conceptualiza al compost como producto final, resultado de procesos biooxidativos, desarrollado por microorganismos, sobre diversos residuos de origen orgánico, que se generan producto de actividades agrícolas, industriales y urbanas. La obtención del compost requiere instalaciones que cumplan con criterios técnicos mínimos para transformar residuos en un material estable (Hernández, 2003).

El compostaje es un proceso que ocurre gracias a la acción microbiana sobre residuos de orígenes orgánicos, los materiales compostables son instaladas en ambientes diseñados técnicamente y a los que aplicamos diferentes técnicas y condiciones mínimas para garantizar que los indicadores del proceso revelen un adecuado manejo y permita obtener un producto de alta calidad, los indicadores más relevantes son la humedad, temperatura y pH (Muñoz, 2005; Olivares et al., 2012; FAO, 2013). Químicamente es un proceso de oxidación en condiciones controladas, donde intervienen diferentes grupos de microorganismos (Rodríguez et al., 2010).

El compost, es la etapa final de estabilización del compostaje, muy sencillo de realizarlo y requiere una baja inversión para el montaje y manejo, por ello, es considerada una tecnología simple y económica para tratar diferentes tipos de residuos biodegradables y que a menudo son contaminantes, transformándolo en un producto de gran potencial para la agricultura (Cabrera & Rossi, 2016).

2.2. Materiales compostables

Los subproductos de las cosechas son las principales fuentes de materiales compostables, por su amplia disponibilidad y su capacidad biodegradable (Ramos & Terry, 2014). Además, la FAO (2013) y la NOCh 2880 (2004) incorporan un listado de materiales potencialmente compostables:

- Residuos agrícolas: ramas, hojas caídas, hierba segada, césped, cascaras, seudotallos, pulpas, etc.
- Estiércoles y camas de corral.
- Residuos de cocina.
- Alimentos malogrados.
- Cáscaras de frutas.

- Aceites y grasas comestibles.
- Residuos de la industria maderera.
- Residuos de papelería.
- Residuos sólidos urbanos
- Plumas, pelos y esquilado de animales.

La NOCh 2880 (2004) sugiere un listado de materiales no recomendados para el compostaje:

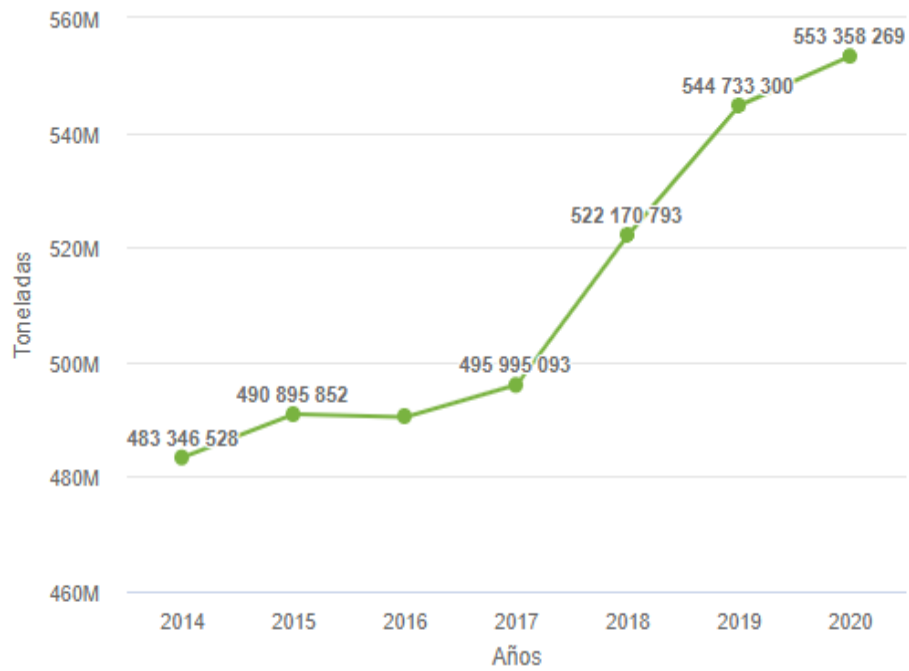
- Residuos de preservantes de madera.
- Residuos de productos clorados de limpieza.
- Sustancias utilizadas en silos contaminados.

También la FAO (2013) sugiere no incluir:

- Pegamentos, solventes, gasolina, petróleo, aceite de vehículos, pinturas.
- Plásticos, vidrios y metales.
- Residuos de plantas con sustancias alelopáticas.
- Detergentes, insecticidas clorados y fosforados, antibióticos y otros.
- Animales en descomposición.

2.3. Residuos sólidos urbanos

De acuerdo con las estadísticas del Ministerio del ambiente (**Figura 1**), la generación total de residuos sólidos municipales en Perú al 2020 alcanza una cifra de 553 358 269 t, los residuos considerados en esta estadística incluyen todo desecho sólido o semisólido. Además, de esta cifra total, los residuos sólidos municipales dispuestos en rellenos sanitarios (**Figura 2**) para el mismo año alcanza una cifra de 4 343 399 t, equivalente al 0,78 % del total producido (MINAM, 2021c). De este, el 57 % corresponden a residuos sólidos orgánicos que pueden ser estabilizados a través del compostaje (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2021a).



Fuente: MINAM (2021c)

Figura 1. Generación total de residuos sólidos domiciliarios urbanos



Fuente: MINAM (2021c)

Figura 2. Residuos sólidos municipales dispuestos en rellenos sanitarios

2.3.1. Caracterización de los residuos sólidos urbanos

En la actualidad encontramos una serie de problemas asociados a la gestión de los residuos sólidos municipales, la principal razón de esta problemática sería la falta de información básica sobre la generación y la caracterización de los residuos, y sobre este desconocimiento, se suma la aplicación de tecnologías improvisadas para el tratamiento de los residuos. En respuesta, el estado a través del Ministerio del Ambiente a reglamentado una propuesta metodológica, a través, de la Resolución Ministerial N° 457-2018-MINAM, para el estudio de caracterización de los residuos y generar información consistente para el diseño de las operaciones, el manejo adecuado de los residuos, la mejora de los servicios de recolección y la disposición final (MINAM, 2018).

La caracterización de los residuos sólidos urbanos que pueden someterse a compostaje como mecanismo de tratamiento para los residuos, para ello, se tiene los criterios de caracterización de la guía metodológica de la Resolución Ministerial N° 457-2018-MINAM, descrita en el numeral 8.2 (etapa de trabajo de campo y operaciones), 8.2.2 (procedimiento para el manejo de muestras) y 8.2.3 (procedimiento para el análisis de muestras y el literal C (composición de los residuos). Además, la sección directamente relacionada con la investigación es el numeral 1.1 (residuos orgánicos) de la tabla 23 de la citada Resolución Ministerial (MINAM, 2018).

Tabla 1. Caracterización de residuos aprovechables

1. Residuos aprovechables	Peso muestra n	% muestra n
1.1 Residuos orgánicos	--	--
Residuos de alimentos (restos de comida, cascara, restos de frutas, verduras, hortalizas y otros similares)	--	--
Residuos de malezas y podas (restos de flores, hojas, tallos, grass, otros similares)	--	--
Otros orgánicos (estiércol de animales menores, huesos y similares)	--	--

Fuente: R.M. N° 457-2018-MINAM (MINAM, 2018)

Algunas investigaciones han desarrollado el estudio de caracterización en determinada jurisdicción, entre ella, tenemos a la del Cercado de Lima (**Tabla 2**) realizado por la Municipalidad Metropolitana de Lima-MML (2019).

Tabla 2. Composición de residuos sólidos orgánicos domiciliarios del Cercado de Lima

Tipo de residuo	Composición porcentual
1. Residuos aprovechables	80,50
1.1 Residuos orgánicos	59,96
Residuos de alimentos (restos de comida, cascara, restos de frutas, verduras, hortalizas y otros similares)	57,58
Residuos de malezas y podas (restos de flores, hojas, tallos, grass, otros similares)	2,38
Otros orgánicos (estiércol de animales menores, huesos y similares)	0,00

Fuente: MML (2019)

También Boggiano (2021) realizó la caracterización de los residuos sólidos domiciliarios de la ciudad de Trujillo (**Tabla 3**), aunque no muestra la caracterización disgregada de los residuos orgánicos, pero, presenta valores generales por tipo de residuo.

Tabla 3. Composición de residuos sólidos domiciliarios y comerciales de la ciudad de Trujillo

Componente	Composición porcentual %	
	Domiciliarios	Comerciales
No Aprovechables	5,98	11,39
Aprovechables	23,38	59,41
Residuos orgánicos	70,65	29,20

Fuente: Boggiano (2021)

2.4. Normas técnicas para determinar la calidad del compost

El control de calidad en los abonos orgánicos tipo compost es importante para prevenir contaminación y efectos fitotóxicos, Los efectos fitotóxicos de un compost se producen por altas concentraciones de amonio, metales y sales, que pueden tener impactos negativos directos e indirectos, inhibiendo la germinación y desarrollo radicular; por ello, es necesario verificar la calidad integral del compost antes de su uso en la agricultura (García et al., 2014; Bailón & florida, 2020). Además, la presencia de microorganismos de origen fecal puede contaminar los alimentos y poner en riesgo la salud humana, en particular el consumo de hortalizas (Rivera et al., 2009)

Tabla 4. Norma Oficial Chilena (NOCh) 2880

Producto	Componentes principales	Indicadores																							
Abono orgánico	Origen. -Producto sólido de residuos animales, vegetales, sólidos urbanos o mezcla de los anteriores	*Contenido de cenizas no especifica * Contenido de humedad: <ul style="list-style-type: none"> • Para clase A < 20% • Para clase B entre 25-40% * Contenido de materia orgánica <ul style="list-style-type: none"> • Clase A, $\geq 45\%$ • Clase B, $\geq 20\%$ * N total $\geq 0.8\%$ * Relación C/N <ul style="list-style-type: none"> • -Clase A, 10 y 25 • -Clase B, 10 y 40 • -Clase C, 10 y 50 																							
	Clase: A, no presenta restricción de uso, producto de alta calidad. B, calidad intermedia, presenta algunas restricciones de uso. C, compost inmaduro que no ha alcanzado la etapa de maduración necesaria. No apto para su uso	* Capacidad de intercambio catiónico, no especifica * pH <ul style="list-style-type: none"> • Clase A, 5-7.5 • Clase B, <5 y >7.5 * metales pesados mg/Kg (base seca) <table border="1"> <tr> <td>As</td> <td>15 (A)</td> <td>20 (B)</td> </tr> <tr> <td>Cd</td> <td>2 (A)</td> <td>8 (B)</td> </tr> <tr> <td>Cr</td> <td>120 (A)</td> <td>600 (B)</td> </tr> <tr> <td>Hg</td> <td>1 (A)</td> <td>4 (B)</td> </tr> <tr> <td>Ni</td> <td>20 (A)</td> <td>80 (B)</td> </tr> <tr> <td>Pb</td> <td>100 (A)</td> <td>300 (B)</td> </tr> <tr> <td>Cu</td> <td>100 (A)</td> <td>1000 (B)</td> </tr> <tr> <td>Zn</td> <td>200 (A)</td> <td>2000 (B)</td> </tr> </table>	As	15 (A)	20 (B)	Cd	2 (A)	8 (B)	Cr	120 (A)	600 (B)	Hg	1 (A)	4 (B)	Ni	20 (A)	80 (B)	Pb	100 (A)	300 (B)	Cu	100 (A)	1000 (B)	Zn	200 (A)
As	15 (A)	20 (B)																							
Cd	2 (A)	8 (B)																							
Cr	120 (A)	600 (B)																							
Hg	1 (A)	4 (B)																							
Ni	20 (A)	80 (B)																							
Pb	100 (A)	300 (B)																							
Cu	100 (A)	1000 (B)																							
Zn	200 (A)	2000 (B)																							

Fuente: NOCh 2880 (2004)

Habitualmente los abonos orgánicos tipo compost presentan importantes cantidades de MO, macro y micronutrientes (Ramos & Terry, 2014), cuyas concentraciones deben ser contrastadas con las principales normas técnicas de calidad determinada por cada país, en su defecto, si no se dispone de una norma específica debe usarse de modo referencial normas técnicas establecidos por otros países como la Norma Técnica Chilena 2880 del 2004, Norma de uso recurrente en Perú y recomendada por investigadores como Bailón & Florida (2020). Además, puede usarse otras normas de referencia como la Norma Técnica Colombiana NTC 5167 del 2011 y el Real decreto español 824 del 2005. Además, una alternativa es combinar estas normas para poder contrastar la mayor cantidad de indicadores físico, químicos y biológicos y de determinar de manera rigurosa la calidad del compost producido.

Las Normas Técnicas citadas presentan algunos vacíos en cuanto al establecimiento de rangos de tolerancia para algunos metales y para el caso específico de la presencia de

microorganismos patógenos, Por ello, la investigación utiliza la Norma Española (**Tabla 5**), quien fija para productos fertilizantes de origen orgánico valores para metales y microorganismos por gramo de producto elaborado

Tabla 5. Real Decreto 824 sobre productos fertilizantes.

Metal	Límites de concentración Sólidos: mg/kg de materia seca		
	s: mg/kg de materia seca Líquidos: mg/kg		
	Clase A	Clase B	Clase C
Cadmio	0,7	2	3
Cobre	70	300	400
Níquel	25	90	100
Plomo	45	150	200
Zinc	200	500	1000
Mercurio	0,4	1,5	2,5
Cromo (total)	70	250	300
<i>Salmonella</i>	Ausente en 25 g		
<i>Escherichia coli</i>	< 1000 número más probable (NMP) por gramo		

Fuente: Real Decreto 824 (2005)

Los productos de la clase C no podrán aplicarse sobre suelos agrícolas en dosis superiores a cinco toneladas de materia seca por ha año⁻¹.

2.5. Factores del proceso que influyen en la calidad del compost

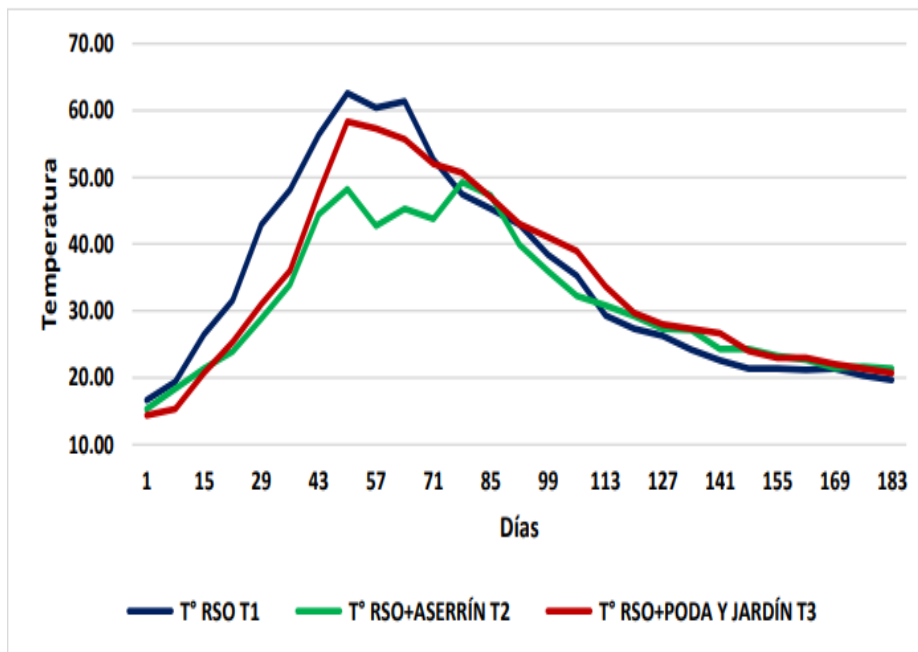
Son factores de deben ser monitoreados para garantizar un producto final de buena calidad, estos factores son:

2.5.1 Temperatura

Durante la descomposición de los materiales la temperatura presenta variaciones, formando una curva de campana, con valores de temperatura ambiente al inicio y al final del proceso, estos cambios se producen por las reacciones exotérmicas producto del metabolismo microbiano, por tanto, los cambios de T° son un buen indicador de un correcto o incorrecto procesamiento (Hernández, 2020). Los cambios de T° definen las diferentes etapas del proceso. La primera fase inicia a temperatura ambiente y puede alcanzar los 45 °C y dura entre dos a ocho días, la segunda es la fase termófila también llamado fase de higienización, las temperaturas pueden subir hasta los 65°C y durar días o meses, la tercera es la fase de enfriamiento en el que las temperaturas retorna a las condiciones iniciales, y la cuarta es la

fase de maduración o estabilización que puede durar meses y es importante porque allí se produce la condensación y formación de los ácidos húmicos (FAO, 2013).

Algunas investigaciones muestran las tendencias de la temperatura en el proceso de compostaje, al respecto La Cruz (2019), utilizando residuos orgánicos de la Municipalidad distrital de Chilca, muestra que el compostaje de Residuos orgánicos (RSO T1) alcanza una temperatura máxima promedio de 62,63 °C (**Figura 3**), entre los 43 a 85 días, manteniéndose estable a diferencia de los tratamientos aplicados.



RSO T1 compostaje de fracción de residuo sólido orgánico, RSOA T2 Fracción de Residuo Sólido Orgánico + Aserrín, RSOP T3 Fracción de Residuo Sólido Orgánico + Poda y Jardín.

Fuente: La Cruz (2019)

Figura 3. Comportamiento de la temperatura en compostaje de residuos orgánicos

2.5.2 Humedad

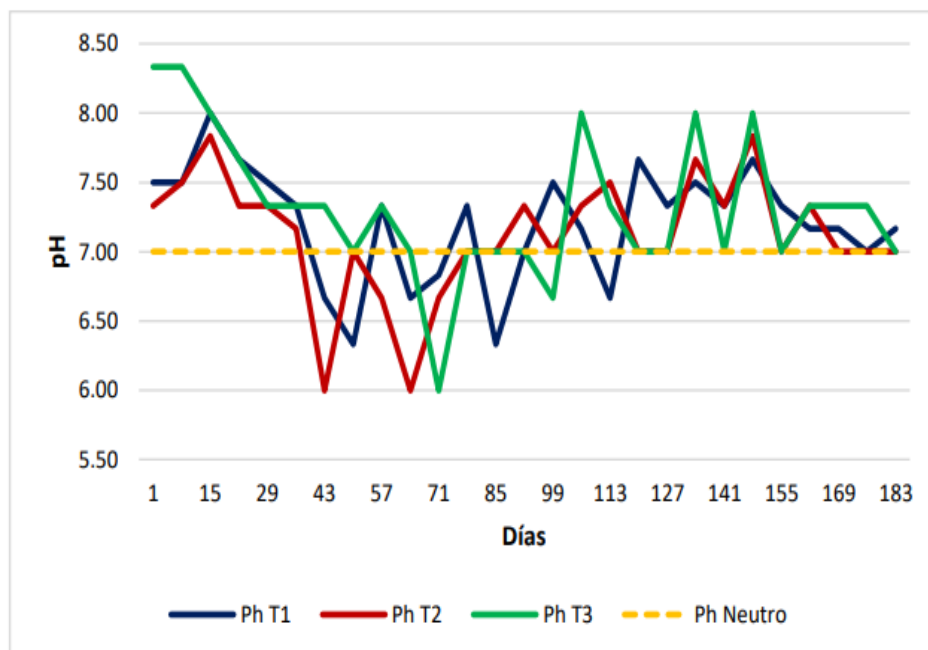
Para la FAO (2013) es otro indicador importante en el proceso de compostaje y recomienda mantener las pilas en un rango de 50 a 55 % de humedad, valores fuera de este rango pueden traer consecuencias y evitar que las pilas alcancen las diferentes fases y con esto afectar negativamente sobre la calidad final. Si los valores disminuyen a menos de 45 %, restringen el metabolismo microbiano, como consecuencia las pilas no alcanzarían la fase termófila, importante en la higienización y descomposición, esto afectaría directamente en la composición nutrimental y calidad final. Por el contrario, valores mayores

de 60 %, saturan el medio y disminuyen los niveles de oxígeno. Por ello, este indicador debe ser monitoreado permanentemente durante el proceso.

2.5.3 Potencial de hidrogeno (pH)

El potencial de hidrogeno tambien es un indicador importante del proceso de compostaje, este presenta variaciones en cada fase del proceso, generalmente disminuye en la primera fase y a partir de allí tiende a incrementarse en las siguientes fases hasta estabilizarse en la etapa de enfriamiento y maduración. Al inicio del proceso desciende a valores cercanos a 4,5, esto por la formación de ácidos orgánicos durante la descomposición inicial de sustancias fácilmente degradables, esta fase provoca el aumento de la temperatura, generando la fase termófila. En la fase termófila el pH tiende a incrementarse por la transformación del amonio en amoniaco, para estabilizarse en pH cercanos al neutro en la fase de enfriamiento y maduración (FAO, 2013).

La Cruz (2019), utilizando residuos orgánicos de la Municipalidad de Chilca-Huancayo (**Figura 4**), muestra disminución por debajo de 7 entre los 43 y 85 días muy similares en todos los tratamientos esto indica que, durante el proceso, independientemente de los residuos compostables, se produce disminución al inicio e incremento al final del proceso.



T1 compostaje de fracción de residuo solido orgánico, T2 Fracción de Residuo Solido Orgánico + Aserrín, T3 Fracción de Residuo Solido Orgánico + Poda y Jardín.

Fuente: La Cruz (2019)

Figura 4. Comportamiento de pH durante el proceso de compostaje

2.5.4 Relación carbono-nitrógeno (C/N)

Indicador importante porque permite tener un balance adecuado de los materiales a compostar, al respecto Hernández (2020) recomienda una relación entre 30 al inicio del proceso y si es posible una relación menor a 15 al final. La complejidad de los de los materiales compostables determina la relación C/N y varía en función de sus componentes estructurales (FAO, 2013).

2.5.5 Oxígeno

Las pilas se descomponen en condiciones aerobias, por ello, es necesario evaluar permanentemente las pilas para mantener una adecuada humedad y realizar el volteo periódico para mantener niveles adecuados de oxigenación dentro de las pilas, para favorecer la respiración microbiana. Además, los valores de oxígeno deben mantenerse entre 5 a 10 %. Si las pilas superan el 10 % se provoca disminución de la temperatura y pérdida de humedad, esto puede impedir alcanzar las fases necesarias que deben presentarse durante el proceso. Contrariamente si los niveles bajan de 5%, se reduce la evaporación y se genera exceso de humedad y con ello condiciones anoxigénicas, iniciándose procesos de putrefacción con formación de ácido acético, sulfhídrico y metano, como consecuencia, la aparición de olores fétidos y acidificación en las pilas (FAO, 2013). La deficiencia o exceso de oxígeno pueden alterar las fases del proceso y este afectar la calidad final del compost.

2.6 Indicadores de maduración del compost

Las concentraciones o niveles alcanzados de los diferentes indicadores fisicoquímicos y biológicos en un compost requieren ser evaluados y contrastados con las Normas Técnicas (Rafael, 2015) para determinar la calidad del producto orgánico, esta acción nos proporciona información detallada sobre la inocuidad, capacidad fertilizante y potenciales efectos fitotóxicos y residuales en el suelo.

García et al. (2014) señala que, para evaluar la calidad de un compost, es necesario analizar indicadores físicos, químicos, biológicos y sensoriales:

- Atributos físicos: granulometría, humedad, color, cuerpos extraños y olor.
- Atributos químicos: pH, MO, Nutrientes y metales pesados.
- Atributos biológicos: presencia de semillas y microorganismos de origen fecal

La FAO (2013) recomienda mantener los siguientes rangos (Tabla 3) e indicadores en cada etapa del proceso (**Tabla 6**) para garantizar la calidad final del compost.

Tabla 6. Principales indicadores de calidad del proceso de compostaje

Parámetro	Fase I (2 - 5 días)	Fase II (2 - 5 semanas)	Fase III y IV (3-6 meses)
C/N	25 - 35	15 - 20	10 - 15
Humedad (%)	50 - 60	45 - 55	30 - 40
pH	6.5 - 8.0	6.0 - 8.5	6.5 - 8.5
Densidad (kg/m ³)	250 - 400	< 700	< 700
MO (%)	50 - 70	> 20	> 20
N (%)	2.5 - 3.0	1 - 2	~1

Fuente: FAO (2013)

2.7. Estado del arte

2.7.1. Antecedentes internacionales

Ramos et al. (2014) en Bocas del Toro, Panamá, evaluó la estabilidad de los diferentes indicadores químicos y microbiológicos durante el proceso de compostaje. Encontraron que los niveles de los principales indicadores se mantienen estables durante los días 21 al 150 de iniciado el proceso. Los valores de los diferentes indicadores se encuentran dentro de los rangos establecidos en las normas técnicas. Además, encontraron niveles bajos de metales pesados y la mayor población microbiana pertenecen al grupo de las bacterias.

Hernández et al. (2013) Evaluaron la calidad de los compost producidos a base de estiércol de vacuno lechero, gallinaza, aserrín y esquilmos de maíz. Las cuatro mezclas evaluadas presentan reducción de la relación C/N (4,9 a 12,9) y un aumento en N-NO. La gallinaza con aserrín y esquilmos presento las mejores condiciones para los indicadores: CO (10,9 a 13,4 %), N (2,3 a 2,1%), C/N (4,9 a 6,5), N-NO₃ (1 190 a 1 473 mg k⁻¹), P (0,11 a 0,114 %), Cu (56 a 48 mg k⁻¹), Fe (1 633 a 1 662 mg k⁻¹) y Mn (7,8 a 7,9 mg k⁻¹) respectivamente, concluye, que los materiales usados tienen potencial para producir compost.

Widman et al. (2005) Evaluaron el comportamiento agronómico de diferentes cultivos con aplicación de compost de residuos sólidos municipales (RSM) de la ciudad de Mérida. Sus resultados muestran mayor poder germinativo en sustrato tierra-composta, además, el comportamiento agronómico del tomate sobre el sustrato suelo-composta, tuvieron tallos más largos y mayor número de hojas evaluados durante 50 días. Concluyen que, la composta elaborada con residuos sólidos urbanos mejoró el suelo, la germinación y crecimiento de los cultivos.

2.7.2. Antecedentes nacionales

Bailón & Florida (2020), evaluaron los indicadores fisicoquímicos y determinaron la calidad de compost producidos y comercializados en Rupa Rupa-Huánuco. No encontraron diferencias para los indicadores fisicoquímicos entre compost evaluados, excepto para N y corresponden a compost de buena calidad según la NTC 5167 y la OMS, mientras la NOCh 2880 los clasifica de calidad media. Concluyen que los compost evaluados son de calidad media.

Florida & Reategui (2019) evaluó el potencial de las plumas de pollo broiler para ser utilizado como insumo en un proceso de compostaje en Leoncio Prado. encontraron diferencias entre tratamientos para MO y N, este último alcanzó 4,8 %, en compost con 30 % de plumas, los demás indicadores no mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$). Concluye que las plumas como insumo en un proceso de compostaje mejoran los niveles de MO y N.

Cabrera & Rossi (2016) evaluó a escala piloto la elaboración de compost con residuos de áreas verdes del distrito de Miraflores. Evaluaron cuatro formulaciones diferentes y contrastaron los diferentes indicadores según la Norma Oficial Chilena 2880., los mismos que corresponden a compost de clase B o compost de calidad media. Concluyen que este tipo de residuos es viable económica y técnicamente para la producción de compost.

Florida, Reategui & Pocomucha. (2016) realizaron la caracterización química y comparación entre compost a base de plumas de pollo y otros residuos locales, como: pulpa de café, cascara de plátano y escobajo de palma. Después de un procesamiento de 90 días encontraron diferencias al comparar entre los compost evaluados. Además, el compost de plumas presento mayores niveles de MO y N, excepto, el P, Ca^{+2} , Mg^{+2} y pH, en comparación del compost a base de escobajo de palma, cascara de plátano, pulpa de café y estiércol de vacuno. Recomiendan el uso de plumas para mejorar significativamente los niveles de MO y N.

Rafael (2015) evaluó la producción y aplicación de EM en la calidad de compost en tres tipos de residuos orgánicos, Sapallanga, Huancayo. Encontró pH alcalinos, con tendencia a la neutralidad a mayor concentración de EM". Según la norma chilena 2880 los compost presentan buena relación C/N y óptimos niveles en MO; además, el tratamiento con 10 % de EM mostro los mejores resultados. Respecto a los nutrientes y metales pesados, se encuentran en concentraciones optimas según la norma chilena 2880, excepto, Ca en todos los tratamientos con proceso tradicional.

Mendoza (2012), realizó una propuesta de tratamiento a través del compostaje y EM para los residuos vegetales del campus de la Universidad de Piura. Sus resultados muestran que el tratamiento 2 (pila 3) fue el que registró mayor % de residuos degradadas (36,70 %) en dos meses que duró el procesamiento, en comparación a los 22,19 % de ramillas degradadas que presentó el tratamiento control (pila 1); los EM aplicadas al tratamiento 2 mostraron efectividad en el proceso. Concluye que, el tratamiento 2 con dosis de 4 % de EM fue más eficiente, registró el valor medio más alto en pH (7,39) y tuvo menor % de residuos sin degradar, al final del procesamiento.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

La investigación se desarrolló en la planta de procesamiento de residuos sólidos orgánicos “Shapajilla” (**Figura 5**), administrada por la Municipalidad provincial de Leoncio Prado, políticamente pertenecen a la, región Huánuco.

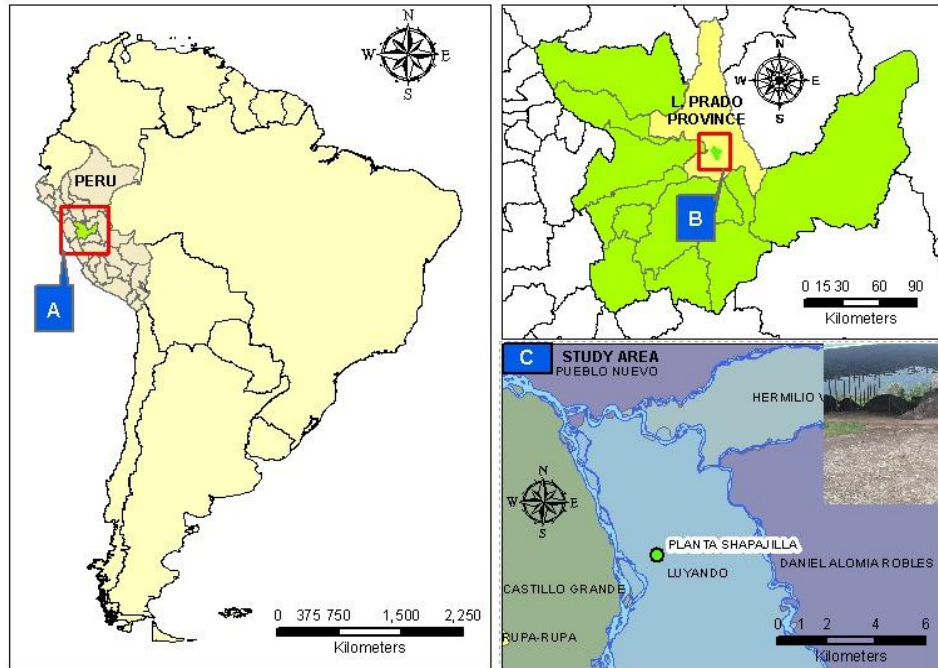


Figura 5. Localización geográfica del área de estudio, Planta Shapajilla (C) Leoncio Prado (B) en la región Huánuco-Perú (A)

3.2. Características del área de estudio

Las características climatológicas que presenta la jurisdicción, según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú- SENAMHI (2020), Naranjillo presenta medias de: 24,5 °C de temperatura, 84 % de humedad relativa y 3 400 mm de precipitación, con régimen bimodal, una seca (junio a setiembre) y otra lluviosa (octubre a mayo). Además, de acuerdo con la clasificación de zonas de vida y formaciones vegetales de Holdridge (2000), el área de estudio pertenece a bosque muy húmedo- Premontano Sub Tropical (bmh-PST). También, según Pulgar (2014) Leoncio Prado pertenece a la ecorregión Rupa Rupa.

3.3. Materiales y equipos

3.3.1. Materiales de campo

Bolsas plásticas, etiquetas, Marcadores, guantes de goma, botas de protección.

3.3.2. Materiales de laboratorio

Probeta de diferentes medidas volumétricas, embudos de vidrio, vasos de precipitación, tubos de ensayo, micropipetas, tamices de 3 mm de diámetro, botellas de vidrio, papel filtro N° 40, reactivos diversos y matraces de 250 cm³.

3.3.3. Equipos de campo y laboratorio

Cámara fotográfica, geotermómetro digital modelo Soil-Meter, pH-Metro digital modelo Three-Way, navegador GPS, balanza gramera y analítica, estufa, mufla, bureta digital, espectrofotómetro de absorción atómica y espectro fotómetro UV - Visible.

3.4. Criterio y análisis del estudio

3.4.1. Tipo y nivel de investigación

Es de tipo aplicada, porque se recurrió a conocimientos establecidos en las ciencias agrícolas para evaluar el problema de la calidad del compost a base de residuos sólidos orgánicos urbanos. Además, corresponde a un nivel de investigación descriptiva comparativa, porque se evaluó la concentración de metales, presencia de patógenos y la calidad de los abonos orgánicos producidos en la planta Shapajilla, según los criterios establecidos por las Normas Técnicas internacionales

3.4.2. Diseño de la investigación

Correspondió a una investigación no experimental mixta, incluye una parte descriptiva y otra comparativa, con diseño estadístico completamente aleatorizado (DCA), donde los tratamientos lo constituyeron las diferentes pilas de compost producidos en la planta Shapajilla: pila 1 (T1), pila 2 (T2), pila 3 (T3) y pila 4 (T4). Los datos se sometieron al análisis de varianza (ANOVA) y las correspondientes pruebas post-hoc de Tukey con un nivel de confianza del 95 %, para la comparación de medias de los metales y patógenos entre los abonos evaluados que presentaron diferencias.

3.5. Metodología

3.5.1. Evaluación del proceso y compost final

La investigación realizó la coordinación respectiva con los responsables de la planta de procesamiento de residuos sólidos urbanos “Shapajilla” en Naranjillo para hacer las evaluaciones según los objetivos planteados:

3.5.2. Caracterización de los residuos procesados

La clasificación de los materiales sometidos a compostaje fue realizada de acuerdo a los lineamientos metodológicos para el estudio de caracterización de los residuos sólidos urbanos (**Tabla 1**), reglamentada en la Resolución Ministerial N° 457-2018-MINAM, específicamente se aplicó los numerales 8.2.3 (procedimiento para el análisis de muestras y el literal C (composición de los residuos). Además, se consideró solo el numeral 1.1 que corresponde a residuos orgánicos de la tabla 23 de la citada Resolución Ministerial (MINAM, 2018).

La caracterización de los residuos sólidos orgánicos sometidos a compostaje se realizó al inicio del proceso en cada pila evaluada, consistió en extraer 4 muestras por pila un volumen determinado con un valde de 5 litros de capacidad, esto fue pesado y sometido a separación de sus diferentes componentes orgánicos y pesado de manera individual, los componentes separados fueron:

- Residuos de Alimentos
 - Restos de comidas
 - Restos de frutas
 - Cascaras
- Otros similares
 - Pepas
- Otros orgánicos
 - Estiércol de animales, huesos, similares.

Los valores del peso individual según el tipo de residuo fueron tabulados y presentados porcentualmente.

3.5.3. Indicadores del proceso de compostaje

Se ha realizado la evaluación de la temperatura, considerando lo señalado por Hernández (2020), que los cambios de la temperatura en el proceso de compostaje es un buen indicador del procesamiento, además, la FAO (2013) recomienda entre otros medir el pH como indicador en cada etapa del proceso (**Tabla 6**) para garantizar la calidad final del compost.

Las mediciones fueron tomadas por métodos directos en campo (**Figura 6**) a través de un geotermómetro digital Soil-Meter para la temperatura, y un pH-metro digital modelo Three-Way Meter para medir el pH, ambos modelos portátiles y con varillas de 0,30 m.



Figura 6. Equipos de medición del pH y T° durante el proceso de compostaje

Las mediciones fueron realizadas cada tres días para todas las pilas y en tres posiciones diferentes (**Figura 7**), en la parte superior, media y baja de la pila.

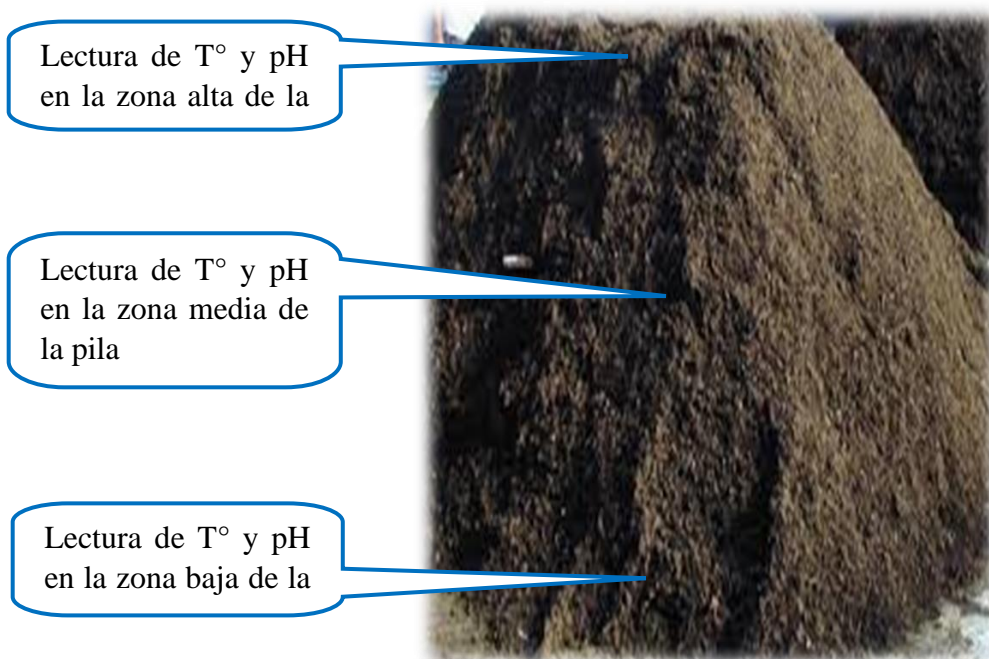


Figura 7. Posición de evaluación de T° y pH durante el compostaje

La **Tabla 7**, muestra el periodo de compostaje que recibieron las diferentes pilas, así como, el número de evaluaciones para cada caso.

Tabla 7. Periodo de compostaje en pilas evaluadas

Pila	Periodo de compostaje			N° de Evaluaciones
	Inicio de evaluación	Termino de evaluación	Total (días)	
P1	15/11/2021	16/03/2022	118	40
P2	29/11/2021	28/03/2022	118	40
P3	13/12/2021	07/04/2022	115	39
P4	27/12/2021	13/05/2022	136	46

3.5.4. Muestreo y análisis de compost final

Una vez registrado y culminado el proceso de compostaje, al producto final (compost) previamente tamizado se realizó el muestreo correspondiente, para ello se extrajeron 5 muestras de 1 Kg de manera aleatorias en cada pila, colocadas en bolsas herméticas y se enviaron al laboratorio de suelos, agua y ecotoxicología para el análisis de caracterización fisicoquímica y metales pesados, y de Microbiología y Biotecnología, para el análisis microbiológico correspondiente. La **Tabla 8**, muestra los diferentes indicadores evaluados.

Tabla 8. Indicadores físicos, químicos y microbiológicos evaluados

Indicadores	Método de análisis
% de humedad	Gravimétrico
MO	Walkley y Black
pH	Electrométrico
N	Micro Kjeldahl
P	Olsen modificado
K	
Ca	Acetato de amonio
Mg	
CE	Electrométrico
CIC	Acetato de amonio
metales Pb, Cd, Fe, Mn, Zn y Cu	Espectro de Absorción Atómica
Patógenos* (<i>Salmonella</i> y <i>Escherichia coli</i>)	Recuento en placa

* Laboratorio de Microbiología y Biotecnología

3.6. Análisis estadístico

El diseño utilizado es completamente aleatorizado DCA en donde los tratamientos lo constituyen las diferentes pilas de compost que la planta produce, con tamaño muestral $n= 20$ (5 muestras por pila de compost producido). Los datos se sometieron al análisis de varianza y la prueba post-hoc de Tukey con un nivel de confianza del 95% para la comparación de medias de indicadores físicos y químicos, metales y patógenos, entre los compost evaluados. Para el procesamiento se utilizará el software de acceso libre IBM-SPSS 25, los datos se presentarán en tablas, barras y líneas de tendencia.

3.7. Población y muestra

La población estuvo constituida por todas las pilas de compost que la planta Shapajilla procesó en un periodo de cuatro meses. La muestra lo constituyó 4 pilas de compost procesados; el tipo de muestra fue no probabilística ni aleatoria, porque, todas las pilas de compost producidas, fueron tomadas como parte de la muestra.

3.8. Variables en estudio

a) Independiente

- Pilas de compost

b) Dependiente

- Concentración de metales
- Presencia de patógenos
- Calidad del compost

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de residuos sólidos orgánicos compostados

La **Tabla 9**, presenta los valores medios porcentuales y la desviación estándar de los diferentes tipos de residuos identificados en el estudio de caracterización realizada al inicio del proceso de compostaje, donde se tiene mayor proporción de restos de comidas, frutas y cascaras. También, puede observarse que los diferentes residuos encontrados en las diferentes pilas no presentan diferencias estadísticas significativas, lo que significa, que todas las pilas presentan proporciones homogéneas de los diferentes tipos de residuos y es de esperar un compost final con similares características para todas las pilas compostadas.

Tabla 9. Caracterización de los residuos sólidos orgánicos compostados

Tipo de residuo (%)	Pilas					Estadísticos	
	P1	P2	P3	P4	Media total	F	Sig.
Residuos de Alimentos							
Restos de comidas	43,86±25,33	31,74±11,47	21,29±13,68	21,70±10,06	29,65±17,40	1,705	0,219 ^{ns}
Restos de frutas	17,80±8,17	29,64±24,34	36,51±22,27	34,31±12,85	29,56±17,88	0,845	0,495 ^{ns}
Cascaras	32,23±22,74	27,8±17,18	28,61±9,92	34,75±16,98	30,85±15,75	0,14	0,934 ^{ns}
	Otros similares						
Pepas	4,72±3,23	6,45±5,21	10,92±5,15	6,42±5,90	7,13±5,04	1,139	0,373 ^{ns}
	Otros orgánicos						
Estiércol de animales, huesos, similares.	1,39±1,80	4,38±4,65	2,68±4,63	2,83±3,37	2,82±3,57	0,416	0,745 ^{ns}
Peso de la muestra (kg)	4,33±1,06	3,61±1,09	3,81±0,54	4,08±0,58	3,95±0,82	0,542	0,663 ^{ns}

P1 al p4 pilas compostadas, ns no significativo

Estos valores son el resultado de la aplicación de los criterios de caracterización de la guía metodológica de la Resolución Ministerial N° 457-2018-MINAM, específicamente del numeral 1.1 (residuos orgánicos) de la tabla 23 (MINAM, 2018). Además, los residuos de alimentos representan un 90 % aproximadamente. No se han encontrado reportes de la caracterización exclusiva de los residuos orgánicos, sin embargo, se tienen estudios de caracterización general de los residuos municipales, entre ellos, la caracterización para el Cercado de Lima, los residuos de alimentos (restos de comida, cascaras, restos de frutas, verduras, hortalizas y otros similares fue de 57.58 (MML, 2019), también, Boggiano (2021), en caracterización de residuos sólidos orgánicos domiciliarios de la ciudad de Trujillo encontró una media de 70,65 %,.. En este contexto, los resultados concuerdan con las referencias y evidencia una gran producción de residuos orgánicos que pueden ser tratados y aprovechados a través de la técnica del compostaje.

4.2. Indicadores del proceso (T° y pH)

La **Tabla 10**, muestra el promedio y la desviación estándar de la temperatura tomada cada 3 días y a diferentes posiciones en las pilas (**Figura 5**). Este parámetro fue evaluado por ser un indicador importante de las diferentes etapas del proceso (FAO, 2013).

Tabla 10. Valores de la temperatura durante el compostaje

Dia	Temperatura (°C)			
	P1	P2	P3	P4
1	36,00±3,00	37,33±2,08	38,67±3,06	50,67±4,51
4	39,67±2,08	39,33±5,13	40,33±4,16	55,67±10,02
7	46,00±3,61	44,67±3,51	46,00±2,00	60,67±11,68
10	46,33±1,53	46,67±2,52	58,00±3,61	45,33±5,69
13	46,67±3,06	47,33±2,52	53,67±7,09	52,33±6,66
16	43,67±8,08	41,67±4,04	50,33±6,11	58,00±12,49
19	46,67±6,11	49,33±5,03	44,33±5,51	50,00±13,75
22	51,33±4,04	51,00±4,58	52,00±4,58	60,33±10,02
25	49,67±5,69	50,67±5,69	49,33±7,02	56,67±3,06
28	42,33±7,02	43,33±7,02	51,33±3,79	50,00±8,54
31	44,00±7,55	41,00±3,00	56,67±5,03	53,33±12,66
34	48,00±4,00	60,33±11,55	52,00±11,27	47,67±11,59
37	50,67±4,51	56,00±4,36	59,00±12,12	47,33±3,79
40	53,33±9,61	50,00±5,29	58,00±12,00	53,33±6,03
43	49,00±12,29	58,00±7,00	44,33±8,33	52,33±14,98
46	54,00±11,53	63,67±6,43	46,67±3,79	54,33±13,61
49	57,00±14,80	60,33±14,15	45,00±7,55	48,67±18,77
52	59,67±18,72	54,33±14,57	46,33±10,50	54,33±15,18
55	53,67±9,07	55,00±6,08	54,00±9,54	59,00±11,53
58	52,33±12,01	57,33±6,11	48,33±13,05	51,00±15,72
61	58,33±14,22	48,67±19,86	53,00±13,00	41,33±9,02
64	61,00±13,00	60,33±12,42	57,33±13,20	37,33±2,52
67	58,33±15,89	52,00±16,82	59,00±16,00	50,00±2,65
70	59,00±15,52	42,00±9,85	49,33±15,04	51,67±16,65
73	57,00±10,39	58,67±8,50	60,33±13,05	47,33±12,50
76	52,33±16,74	62,00±13,08	38,67±6,43	49,00±13,53
79	54,33±16,77	52,67±16,62	48,33±12,29	41,33±15,37
82	41,33±10,12	50,00±11,14	54,67±9,50	51,67±6,51
85	44,33±18,77	45,67±14,19	62,67±14,64	44,00±4,00
88	48,67±19,86	50,00±9,54	57,33±20,31	35,67±2,52
91	58,33±19,50	41,33±12,74	36,00±7,81	33,33±3,21
94	62,00±11,36	43,00±11,36	53,00±7,00	37,00±1,00
97	52,00±8,54	60,33±19,14	53,67±8,62	37,00±6,24
100	47,33±11,02	53,33±18,77	53,00±5,57	37,33±4,16
103	52,33±14,05	34,67±0,58	35,33±5,13	38,33±8,39
106	45,33±16,17	46,00±15,39	38,67±8,08	35,67±8,14
109	52,67±10,60	49,00±18,33	46,33±10,69	43,67±4,93
112	62,00±14,93	43,33±5,13	44,33±9,71	36,00±6,08
115	40,33±8,08	56,33±7,64	38,00±7,81	57,67±12,10
118	42,00±8,19	42,33±10,79	--	43,67±9,61
121	--	--	--	38,33±8,39
124	--	--	--	49,67±12,22
127	--	--	--	50,33±18,23
130	--	--	--	44,33±14,01
133	--	--	--	42,67±3,06
136	--	--	--	34,67±4,73

P1 al P4 pilas evaluadas, ± desviación estándar, -- días no evaluadas según las pilas

La **Figura 8** muestra el comportamiento de las variaciones temporales de la temperatura, basados en los valores medios mostradas en la **Tabla 10**, esto para observar si estas alcanzaron o no las fases que señala la FAO (2013) para garantizar una buena higienización del compost final. Los cambios de la temperatura definen las etapas del proceso de compostaje, como consecuencia de los procesos de biooxidación microbiana, por ello, Hernández (2020) lo considera buen indicador del procesamiento.

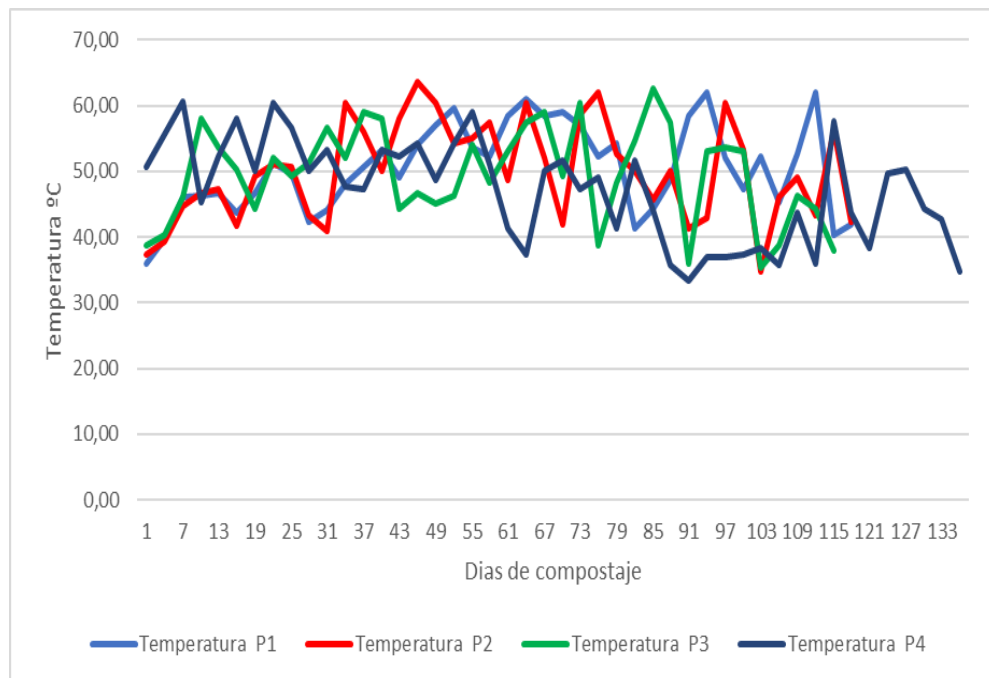


Figura 8. Variaciones temporales de la temperatura en las diferentes pilas

La FAO (2013) señala, que la primera etapa del proceso inicia a temperatura ambiente y dura de 2 a 8 días hasta alcanzar condiciones iniciales de la etapa termófila con temperaturas de 45 °C; la segunda etapa entre 2 a 5 semanas hasta alcanzar temperaturas máximas de hasta 65 °C, la tercera etapa es una fase de enfriamiento o estabilización y maduración que dura entre 3 a 6 meses en el que la pila desciende a temperatura ambiente, el enfriamiento requiere de varias semanas y no debe confundirse con la fase de maduración.

En este sentido, la Figura 6 muestra que todas las pilas luego de 5 días superaron los 45 °C, también, la segunda fase alcanzó temperaturas medias de hasta 65 °C y se extendió hasta los 100 días aproximadamente y partir de allí se observa el enfriamiento de las pilas. Los resultados concuerdan con la FAO (2013) solo en la primera etapa, pues la segunda fase duro más de 12 semanas, superior a las 5 semanas señaladas, y para la fase de enfriamiento y maduración este solo se habría cumplido con el enfriamiento, entre los 100 y 130 días, a partir

de allí, las pilas no se dejaron para su maduración, estas fueron tamizadas, embolsadas y distribuidas. Este último, aspecto importante que va contra los criterios técnicos establecidos para un buen proceso de compostaje.

Algunas investigaciones muestran las tendencias de la temperatura en el proceso de compostaje, al respecto La Cruz (2019), utilizando residuos orgánicos de la Municipalidad distrital de Chilca, muestra que el compostaje de Residuos orgánicos alcanzó una temperatura máxima promedio de 62,63 °C, entre los 43 a 85 días, a diferencia esta investigación muestra la etapa termófila desde el día 10 al 100 aproximadamente, probablemente aspectos del clima local, las características de las pilas y los microorganismos eficientes (EM) aplicados sean los responsables de este comportamiento prolongado de la etapa termófila. También, las variaciones de la temperatura tienen similares comportamientos respecto a otros tipos de materiales compostados, así lo demuestra Florida & Reategui (2019) en condiciones locales al compostar estiércol de vacuno y plumas de pollo, alcanzan la primera fase a los 5 días, la segunda entre los 5 y 60 días (8 semanas) y el enfriamiento entre los 60 a 75 días. Por tanto, los resultados de temperatura son razonables ya que se contrastan con los criterios técnicos y las referencias citadas.

La **Tabla 11**, muestra el promedio y la desviación estándar del pH tomada cada 3 días y a diferentes posiciones en las pilas (**Figura 5**). Este parámetro fue evaluado por ser otro indicador importante en el proceso de compostaje fijado por la FAO (2013). Las variaciones del pH durante el compostaje están relacionadas al origen de los residuos y varía en cada fase del proceso, normalmente son bajos al inicio y tienden a incrementar al final del proceso, variando entre 4,5 a 8,5.

Los procesos biooxidativos de compuestos solubles, como azúcares, en la primera fase del proceso produce ácidos orgánicos que puede bajar el pH entre 4,0 a 4,5, condición necesaria, porque provoca que la pila alcance la fase termogénica (FAO, 2013). En la segunda etapa la acción y población microbiana cambia, consecuentemente el pH tiende a incrementarse por la degradación de fuentes complejas de C (celulosa, hemicelulosa y lignina) y la transformación del N en amoníaco, estabilizando el pH cercanos al neutro o ligeramente alcalino (FAO, 2013; Florida & Reategui, 2019).

Tabla 11. Valores del pH durante el compostaje

Dia	pH			
	P1	P2	P3	P4
1	4,87±0,35	4,70±0,17	4,73±0,40	4,50±0,00
4	5,13±0,60	5,23±0,64	5,10±0,56	4,50±0,00
7	5,03±0,47	5,27±0,12	5,03±0,47	5,20±0,00
10	4,87±0,64	5,10±0,56	5,33±0,23	5,37±0,29
13	5,77±0,60	5,77±0,60	5,43±0,21	5,43±0,21
16	4,87±0,35	5,47±0,46	5,43±0,21	5,43±0,21
19	5,00±0,56	5,47±0,23	5,60±0,17	5,60±0,17
22	5,00±0,56	4,87±0,23	5,30±0,00	5,53±0,06
25	4,87±0,64	5,40±0,20	4,83±0,35	5,50±0,30
28	5,00±0,44	5,33±0,23	4,97±0,40	5,73±0,12
31	4,87±0,35	5,37±0,29	5,63±0,40	6,07±0,12
34	4,70±0,20	5,60±0,17	5,47±0,46	6,07±0,12
37	4,63±0,23	4,97±0,40	5,70±0,50	6,50±0,00
40	5,50±0,95	5,17±0,12	6,07±0,42	6,50±0,00
43	5,50±0,95	5,33±0,23	5,67±0,50	6,60±0,17
46	4,63±0,23	5,33±0,23	6,17±0,29	6,60±0,35
49	5,27±0,06	5,27±0,06	6,40±0,17	6,80±0,00
52	5,27±0,40	5,37±0,29	6,43±0,12	6,70±0,17
55	5,20±0,00	5,57±0,06	6,70±0,17	6,87±0,12
58	5,30±0,00	5,60±0,00	6,60±0,17	6,87±0,12
61	5,77±0,25	6,33±0,29	6,60±0,17	6,87±0,12
64	6,30±0,00	6,27±0,40	6,60±0,35	6,93±0,12
67	6,50±0,00	6,60±0,17	6,80±0,00	7,00±0,00
70	6,70±0,17	6,60±0,17	6,83±0,06	7,00±0,00
73	6,07±0,55	6,70±0,17	6,87±0,12	7,00±0,00
76	6,53±0,35	6,70±0,17	6,83±0,06	7,00±0,00
79	6,77±0,25	6,90±0,00	6,90±0,10	7,07±0,12
82	6,93±0,12	6,90±0,10	7,00±0,00	7,00±0,00
85	6,73±0,64	6,90±0,10	6,93±0,12	7,07±0,12
88	6,93±0,12	7,00±0,00	6,93±0,12	7,07±0,12
91	6,83±0,29	7,00±0,00	7,00±0,00	7,20±0,00
94	6,90±0,36	7,00±0,0	7,00±0,00	7,20±0,00
97	7,00±0,20	6,80±0,26	7,00±0,00	7,00±0,00
100	7,07±0,12	7,00±0,00	7,00±0,00	7,00±0,00
103	7,00±0,00	6,97±0,06	7,00±0,00	7,00±0,00
106	6,83±0,29	7,00±0,00	7,00±0,00	7,00±0,00
109	7,00±0,20	7,07±0,12	7,07±0,12	6,67±0,58
112	7,00±0,20	7,00±0,00	7,07±0,12	7,00±0,00
115	7,00±0,00	7,00±0,00	7,00±0,00	7,17±0,29
118	7,00±0,00	7,13±0,12	--	7,17±0,29
121	--	--	--	7,00±0,00
124	--	--	--	7,00±0,00
127	--	--	--	7,00±0,00
130	--	--	--	6,83±0,29
133	--	--	--	7,07±0,12
136	--	--	--	7,00±0,00

P1 al P4 pilas evaluadas, ± desviación estándar, -- días no evaluadas según las pilas

La **Figura 9** muestra que todas las pilas al primer día de evaluación el pH vario entre 4,50 a 4,87, hay que considerar que las pilas tardan unos días en instalarse, razón por el cual al primer día de evaluaciones ya se tiene pH bajos; además, los valores presentan una

tendencia sostenida de incremento hasta los días 70 a 75 para luego estabilizarse en valores cercanos a 7 hasta el final de las evaluaciones (115 a 136 días).

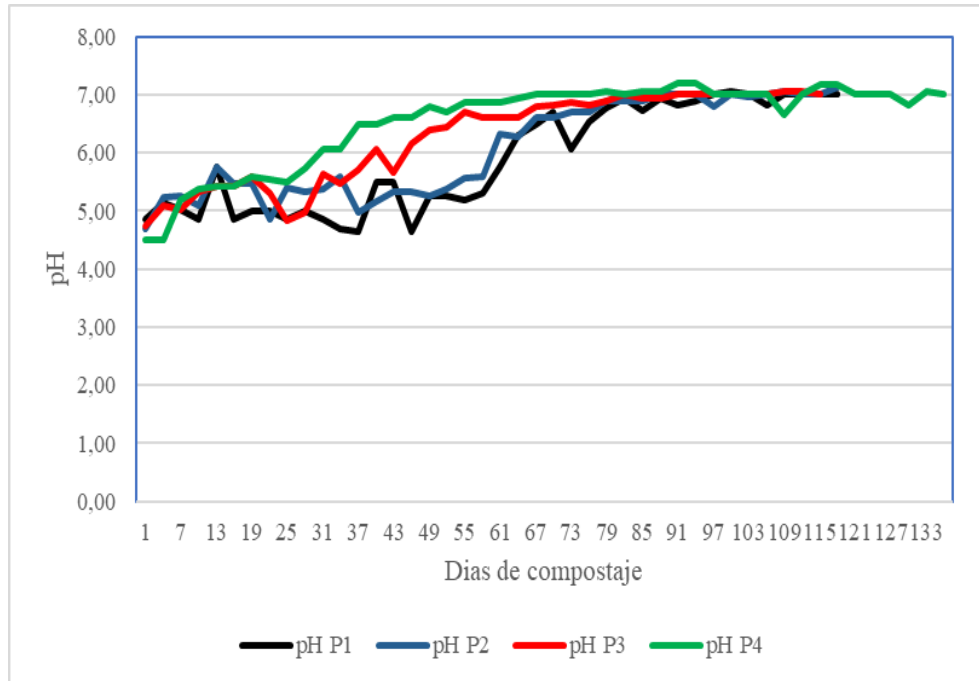


Figura 9. Variaciones temporales del pH en las diferentes pilas

Los resultados concuerdan con los rangos tolerables de pH propuesto por la FAO (2013) para las diferentes etapas del proceso, pues, los valores fueron bajos al inicio y tendieron a subir al final del procesamiento, por lo que, los resultados indican un adecuado procesamiento de los residuos. Además, son similares a lo reportado por La Cruz (2019), utilizando residuos orgánicos de la Municipalidad de Chilca-Huancayo, encontró disminución por debajo de 7 al inicio del proceso y aumentos entre los 43 a 85 días, afirma que independientemente de los residuos compostables, se produce disminución al inicio e incremento al final del proceso.

4.3. Metales pesados y microorganismos contaminantes

La **Tabla 12** muestra la media, la desviación estándar y la significancia estadística resultado de la comparación de medias entre las pilas, del mismo, se puede observar que todos los metales evaluados presentan diferencias altamente significativas.

Tabla 12. Concentración de metales pesados y microorganismos patógenos

Indicador	Pilas compostadas				Estadísticos	
	P1	P2	P3	P4	F	Sig.
Pb	1,30±0,04 ^c	1,28±0,07 ^c	1,13±0,06 ^b	0,93±0,05 ^a	42,893	0,000**
Cd	0,14±0,01 ^b	0,14±0,006 ^b	0,14±0,005 ^b	0,12±0,008 ^a	8,71	0,001**
Cu	15,73±1,09 ^a	21,83±1,27 ^b	23,57±1,08 ^c	20,04±1,12 ^b	43,316	0,000**
Fe	3666,01±90,63 ^a	3624,09±102 ^a	4265,71±183,06 ^b	4645,37±91,93 ^c	80,317	0,000**
Zn	93,96±3,33 ^b	106,79±3,90 ^c	123,37±2,21 ^d	77,614±8,53 ^a	72,436	0,000**
Mn	126,61±4,73 ^a	131,53±6,53 ^a	148,48±4,90 ^b	184,55±9,41 ^c	77,475	0,000**
<i>Salmonella</i>	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	--	--
<i>Escherichia coli</i>	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	--	--

Letras distintas en la misma fila difieren estadísticamente ($p > 0,05$); Ausente: en 25g de compost evaluado, ** altamente significativo

La EPA (2017) considera metal pesado al elemento que tiene una densidad $\geq 5 \text{ g cm}^{-3}$, o número atómico > 20 , en su forma elemental, excluyendo a los metales alcalinos y alcalinos térreos (Ca, Mg, K y Na). En el caso de los metales pesados pueden ser beneficiosos y necesarios para los organismos. Sin embargo, pueden ser muy peligrosos por su capacidad de bioacumulación y biomagnificación en los sistemas vivos (Vargas, 2017). De acuerdo a la Norma Oficial Chilena 2880 (2004) los valores de plomo en todas las pilas evaluadas son menores a 100 mg kg^{-1} , también, los niveles de cadmio son menores a 2 mg kg^{-1} , de Cu menos de 100 mg kg^{-1} y Zn menos de 200, en todos estos casos los valores medios de las pilas están dentro de los rangos y corresponden a un compost libre de potenciales riesgos fitotóxicos o de contaminación.

La citada norma técnica no contempla rangos para los indicadores Fe y Mn, estos se pueden contrastar con otros resultados, entre ellos Jacobo (2017) en compostaje aeróbico empleando estiércol de ganado de engorda y rastrojo de maíz, reporta valores de $1540,66 \text{ mg kg}^{-1}$ de Fe y $266,46 \text{ mg kg}^{-1}$ de Mn, también, Florida & Reategui (2019) en compost de estiércol de vacuno y plumas de pollo reportan valores entre $3738 - 5290$ para Fe y $239,5$ a $302,5$ para Mn.

En general los resultados son valores bajos en comparación a lo encontrado por Vargas (2017), en compost a partir de residuos sólidos orgánicos en la ciudad de Concepción Huancayo, reporta valores entre 239 hasta $285,85 \text{ mg kg}^{-1}$ de plomo, $214,05$ a $152,20 \text{ mg kg}^{-1}$ para Cu, de $2,13$ a $2,22 \text{ mg kg}^{-1}$ para Cd, $1139,5$ a 1203 mg kg^{-1} para Zn, en muestreos a cuatro y cinco meses del compostaje. Por lo tanto, los resultados son menores a las establecidas en las normas técnicas y a las referencias, y podemos afirmar que son valores adecuados y usualmente encontrados en diferentes tipos de compost.

Real Decreto 824 (2005) contempla rangos respecto a la presencia de microorganismos de origen fecal, entre ellos exige para *Salmonella* Ausencia en 25 g de muestra y para *Escherichia coli* < 1000 NMP g⁻¹ de compost analizado, en este sentido, en los resultados no se han encontrado presencia microorganismos de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella*. Es un resultado muy positivo y puede explicarse teniendo en cuenta que las pilas han presentado las tres etapas importantes del proceso, principalmente la fase II o fase termófila no solo alcanzó temperaturas medias mayores a 65 °C, sino que, esta fase duró mas de 95 días, periodo mayor a lo recomendado por la FAO (2013) y a lo encontrado por La Cruz (2019), temperatura máxima promedio de 62,63 °C, entre los 43 a 85 días y Florida & Reategui (2019) temperaturas máximas entre los 5 y 60 días, también, Vargas (2017), reporta ausencia de estos microorganismos en todas sus evaluaciones, argumenta por las altas temperaturas alcanzadas en el compostaje, por tanto, los resultados son coherente con las normas y las referencias, y evidencia un buen proceso de compostaje.

4.4. Calidad del compost

La **Tabla 13** muestra la evaluación general de los indicadores físicos, macronutrientes, metales pesados y microorganismos contaminantes, con las respectivas normas técnicas para determinar la calidad que corresponda a cada indicador y pila procesada.

Tabla 13. Calidad del compost a base de residuos sólidos orgánicos urbanos

Indicador	NOCh. 2880		Tratamientos							
	Clase A	Clase B	Calidad P1		Calidad P2		Calidad P3		Calidad P4	
pH	5-7,5	<5 y >7.5	8,89	B	8,88	B	9,07	B	8,75	B
Humedad	<25	25-40	13,66	A	14,16	A	14,99	A	14,21	A
MO	> 45 %	25-45 %	44,11	B	47,7	A	51,67	A	46,75	A
Cenizas*	Max. 60%		55,89	A	52,3	A	48,33	A	53,25	A
N	> 0.8%		2,59	A	2,03	A	2,92	A	1,95	A
P2O5	< 5 %		0,94	A	1,05	A	1,33	A	0,96	A
Ca	>1%		0,86	B	0,94	B	0,98	B	0,81	B
Mg	>1%		0,23	B	0,24	B	0,26	B	0,27	B
K	>1%		0,38	B	0,40	B	0,41	B	0,34	B
Pb (mg/Kg)	<100	100-300	1,3	A	1,28	A	1,13	A	0,93	A
Cd (mg/Kg)	<2	2 a 8	0,14	A	0,14	A	0,14	A	0,12	A
Cu (mg/Kg)	<100	100-1000	15,73	A	21,83	A	23,57	A	20,04	A
Zn (mg/Kg)	<200	200-2000	93,96	A	106,79	A	123,37	A	77,614	A
<i>Salmonella</i> **	Ausente en 25 g		Ausente	A	Ausente	A	Ausente	A	ausente	A
<i>Escherichia</i>	< 1000 NMP/g		0.00	A	0.00	A	0.00	A	0.00	A
Calidad de la pila			B		B		B		B	

P1...P4 pilas compostadas, A alta calidad del compost, B calidad intermedia, *Norma técnica Colombiana NTC 5167 (2011); ** Real Decreto 824 (2005); Norma Oficial Chilena 2880 (2004)

Ramos & Terry (2014) señala que el compost es el producto final de un proceso de compostaje y presenta importantes cantidades de MO, N, macronutrientes, entre otros atributos, los mismos deben ser evaluadas a través de normas técnicas fijadas por cada país. Por ello, el trabajo usa la Norma Oficial Chilena 2880 (NOCh, 2004) por ser una norma rigurosa (Bailón & Florida, 2020) para determinar la calidad, la Norma Técnica Colombiana NTC 5167 y el Real Decreto 824 (2005) sobre productos fertilizantes, estas últimas, para cubrir algunos vacíos en cuanto al establecimiento de rangos de tolerancia para algunos metales y para el caso específico de la presencia de microorganismos patógenos de origen fecal.

De acuerdo a la Norma Oficial Chilena 2880, la clase B corresponde a compost de calidad intermedia, que presenta algunas restricciones de uso, y la clase C es un compost que no alcanzó la etapa de maduración y no se recomienda su uso en la agricultura, por su parte, el Real Decreto 824 recomienda para compost de clase C, no aplicar dosis superiores a $5 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Los resultados, contrastados con las normas citadas, corresponden a la clase B que representa a compost de calidad intermedia.

La clase B determinada en el contraste se debe a valores elevados de pH que supera los 7,5 (8,75 a 9,07), este indicador es fundamental para determinar la calidad por su relación con la reactividad y una serie de procesos químicos (Bailón & Florida, 2019; FAO, 2013). Además, dentro de los parámetros exigidos por la Norma Oficial Chilena 2880, los niveles de Ca, Mg y K deben ser mayores a 1 %, aspecto que comprometen negativamente la calidad de los compost evaluados.

Son pocos los trabajos en el que se reportan niveles bajos de estos macronutrientes, entre ellos, Castillo (2020) en compost obtenido a partir de residuos orgánicos y microorganismos eficaces (EM) en el distrito de Huayucachi, Huancayo, reportan niveles medios de 0,57 % de K_2O , también, García et al. (2019) en compostaje de residuos de mercados agropecuarios de La Habana-Cuba, reporta valores de 0,10 a 0,47 % de Mg. Sin embargo, los resultados tienen alta similitud con los obtenidos por Vargas (2017) en residuos sólidos orgánicos de la ciudad de Concepción-Huancayo, donde el pH varió de 8.85 a 8.95, el fósforo de 0.029% y 0.021% respectivamente el calcio de 0.273% a 0.250%, el magnesio de 0.1140% y 0.1147% evaluados en el cuarto y quinto mes de compostaje.

La calidad final de un compost está vinculada a la composición de los residuos compostados (Bailón & Florida, 2019; Florida & Reategui, 2019; García et al. 2019; Ramos & Terry, 2014; FAO, 2013) y el contraste con las normas técnicas que mejor determinen la calidad del compost final (Bailón & Florida, 2019). En este contexto, los compost producidos

a partir de residuos sólidos domiciliarios de la ciudad de Tingo María, Leoncio Prado, son de calidad B o calidad media, si bien los niveles de metales pesados son bajos y no se encontró presencia de microorganismos de origen fecal, se tienen bajos niveles de macronutrientes Ca, Mg y K) y un elevado pH. Por lo tanto, los resultados son coherentes a las referencias citadas y el compost producido pueden ser utilizado en la agricultura con algunas medidas a considerar, por su elevado pH y bajos niveles de macronutrientes.

V. CONCLUSIONES

1. La caracterización de los residuos orgánicos compostados son en mayor proporción restos de comidas, frutas y cascaras, además, los residuos encontrados en las diferentes pilas no presentan diferencias estadísticas significativas, dando condiciones homogéneas a las pilas compostadas.
2. La temperatura en las pilas alcanzó todas las etapas señaladas por la FAO (2013), fase I en los primeros 5 días, la fase II entre 5 a 100 días, la fase III de 100 a 136 días, sin embargo, por decisiones institucionales las pilas no pasaron por la fase de maduración. Además, los valores medios de pH son bajos al inicio y presentan tendencia sostenida de incremento hasta los días 70 a 75 para luego estabilizarse en valores cercanos a 7 hasta el final de las evaluaciones.
3. Los metales pesados Pb, Cd, Mn, Zn, Fe y Cu presentan diferencias altamente significativas entre pilas evaluadas y son menores a las establecidas en las normas técnicas. Además, no se encontró microorganismos de origen fecales, *Salmonella* y *Escherichia coli* en todas las pilas evaluadas, lo que evidencia que las pilas alcanzaron adecuadamente todas las etapas del proceso de compostaje.
4. Los compost producidos a partir de residuos sólidos domiciliarios de la ciudad de Tingo María, Leoncio Prado, en base a los criterios de la Norma Oficial Chilena 2880 y la Norma Española, Real Decreto 824 son de clase B o clase media, a pesar de tener bajos niveles de metales pesados y ausencia de microorganismos fecales, los valores altos de pH y los niveles bajos de Ca, Mg y K comprometen negativamente la calidad, ubicándolo en la clase B. Por lo que, el compost producido puede ser utilizado en la agricultura con algunas medidas a considerar ya que el potencial fertilizante de este compost es relativamente bajo.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Utilizar en la agricultura los compost producidos por la municipalidad provincial de Leoncio Prado, por tener bajos niveles de metales pesados y ausencia de microorganismos de origen fecal, previamente, considerar los bajos niveles de Ca, Mg y K.
2. Aplicar el compostaje como herramienta tecnológica para tratar de manera segura los residuos sólidos orgánicos generados en las ciudades, así, evitar la contaminación ambiental.
3. Realizar estudios para incorporar residuos locales que permitan elevar los niveles de Ca, Mg y K, para mejorar la calidad nutricional del compost final.
4. Evaluar las técnicas de procesamiento y la calidad final de los compost producidos por los diferentes distritos que conforman la provincia de Leoncio Prado, para homogenizar las técnicas del procesamiento y obtener compost de alta calidad en el ámbito.
5. Realizar los estudios correspondientes que permitan proponer una norma técnica peruana que determine la calidad de los diferentes abonos orgánicos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bárbaro, L., Karlanian, M., Rizzo, P., & Riera, N. (2019). Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 35(2), 126- 136. <https://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902019005000309>
- Bailón, M. R., Florida, N. (2020). Caracterización y calidad de los compost producidos y comercializados en Rupa Rupa-Huánuco. *Enfoque UTE*, 12(1), 1-11. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.644>
- Boggiano, M.L. (2021). Diagnóstico y caracterización de los residuos sólidos domiciliarios de la ciudad de Trujillo – Perú, 2019-2020. *Rev. Cienc. Tecnol.* 17(3), 61-72. <http://dx.doi.org/10.17268/rev.cyt.2021.03.05>
- Cabrera, V., & Rossi, M. (2016). *Propuesta para la elaboración de compost a partir de los residuos vegetales provenientes del mantenimiento de las áreas verdes públicas del distrito de Miraflores*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. Repositorio UNALM. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2251>
- Environmental Protection Agency [EPA] . (2017). Metales pesados. s. d. t: EPA. Recuperado de: www.epa.gov
- Florida, N., & Reategui, F. (2019). Compost a base de plumas de pollos (*Gallus domesticus*). *Livestock Research for Rural Development*, 31(11), s. p. <http://www.lrrd.org/lrrd31/1/nelin31011.html>
- Florida, N., Reategui, D. & Pocomucha, V. (2016). Caracterización del compost a base de plumas de pollos (*Gallus domesticus*) y otros insumos. *Investigación y Amazonía*. 6(2), 1-5. <https://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/view/124>
- García, C., Arozarena, N.J., Martínez, F., Hernández, M., Pascual, J. Á. Santana, D. (2019). Obtención de compost mediante la biotransformación de residuos de mercados agropecuarios. *Cultivos Tropicales*, 40(2), e02. <https://www.redalyc.org/journal/1932/193262825002/html/>
- García, D., Lima, L., Ruíz, L., & Calderón, P. (2014). Métodos y parámetros para determinar la madurez en el compost a nivel de Fincas. *Medio Ambiente y Desarrollo*, 14(26), s. p.
- Hernández, A. (2003). La composta, su elaboración y beneficio. [Tesis pregrado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Repositorio UAAAN. <https://1library.co/document/y9g1gndq-la-composta-su-elaboracion-y-beneficio.html>
- Hernández, M. (2020). Aspectos fisicoquímicos, bioquímicos y microbiológicos del proceso de compostaje. Evaluación de la calidad. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología

de

Salamanca.

<https://digital.csic.es/bitstream/10261/92881/1/3%202%20Unidad%20tematica%204.pdf>

Hernández, M. (2020). Aspectos fisicoquímicos, bioquímicos y microbiológicos del proceso de compostaje. Evaluación de la calidad. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca.

Hernández, R. O., Hernández, T. A., Rivera, F. C., Arras, V. A., & Ojeda B. D. (2013). Calidad nutrimental de cuatro abonos orgánicos producidos a partir de residuos vegetales y pecuarios. *Terra Latinoamericana*, 31(1), 35-46. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57327411004>

Holdridge, R.L. (2000). Ecología basada en zonas de vida. Quinta reimpresión. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) San José- Costa Rica, 216 pp. <http://repositorio.iica.int/handle/11324/7936>

Jacobo, S. M., Figueroa, V. U., Maciel, T. S., López, R. L. & Muñoz, V. A. (2017). Elementos menores en composta producida a partir de estiércol de engorda y rastrojo de maíz. *Agrofaz*. 17(02), 61-71. http://www.agrofaz.mx/wp-content/uploads/articulos/2017172III_6.pdf

La Cruz, H. V. (2019). Calidad de compost de residuos sólidos orgánicos domiciliarios utilizando aserrín de *Eucalyptus globulus Labill* y restos de poda jardín Chilca – Huancayo. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5442/T010_20079183_T.pdf?sequence=1

López, B., Andrade, R., Herrera, S. M., González, C. O., & García de la F. C. (2017). Propiedades de un compost obtenido a partir de residuos de la producción de azúcar de caña. *Revista Centro Agrícola*, 44(3), 49-55. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852017000300007&lng=es&tlng=es.

Mendoza, M. (2012). *Propuesta de compostaje de los residuos vegetales generados en la Universidad de Piura*. [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. Repositorio PIRHUA. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1728/ING_515.pdf?sequence

Ministerio del Ambiente-MINAM (2021b). Guía para el funcionamiento de los Sistemas Locales de Gestión Ambiental-SLGA. Anexo RM 101-2021-MINAM.

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1957133/Anexo%20RM%20101-2021-MINAM%20-%20Guia%20SLGA%20version%2003.06.2021.pdf.pdf>

Ministerio del Ambiente-MINAM (2021c). Estadística ambiental. Sistema Nacional de Información Ambiental-SINIA.

<https://sinia.minam.gob.pe/informacion/tematicas?tematica=08>

Ministerio del Ambiente-MINAM. (2021a). Gestión de residuos sólidos. Guía para el cumplimiento de la Meta 3 del Programa de Incentivos a la Mejora de la Gestión Municipal correspondiente al año 2021. (https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_publ/migl/metad/GUIA_META_3_PI_2021.pdf)

Ministerio del Ambiente-MINAM. (31 diciembre 2018). Resolución ministerial N° 457-2018-MINAM por el cual establece la Guía para la caracterización de residuos sólidos municipales. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-guia-caracterizacion-residuos-solidos-municipales>

Muñoz, J.S. (2005). *Compostaje en pescador, cauca: tecnología apropiada para el manejo de residuos orgánicos y su contribución a la solución de problemas medioambientales*. [Tesis pregrado. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira]. Repositorio UNAL. revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/download/11742/12290

Muscolo A., Papalia T., Settineri G., Mallamaci C., & Kaczanowska A. (2018). Are Raw Materials or Composting Conditions and Time That Most Influence the Maturity and/or Quality of Composts? Comparison of Obtained Composts on Soil Properties. *Journal of Cleaner Production*, 195, 93-101. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.204>

Norma Chilena Oficial - NCh 2880. OF (2004). Norma Chilena de Calidad de Compost. Instituto Nacional de Normalización INN – Chile. <https://edoc.pub/nch2880-norma-chilena-de-calidad-de-compost-pdf-free.html>

Olivares, C., Hernández, R. A., Vences, C. C, Jáquez, B., & Ojeda, B. D. (2012). Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Trópico Húmedo*, 28(1): 27-37. <http://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v28n1/v28n1a3.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO (2013). Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina Oficina Regional para América Latina y el Caribe Santiago de Chile. <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

- Peralta, A. N., Freitas, G. B., Watthier, M., & Silva, S. R. (2019). Compost, bokashi y microorganismos eficientes: Sus beneficios en cultivos sucesivos de brócolis. *Idesia (Arica)*, 37(2), 59-66. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019000200059>
- Pulgar, V. (2014). Las ocho regiones naturales del Perú. *Terra Brasilis. Revista da Rede Brasileira de História da Geografia e Geografia Histórica*, 238p. <https://doi.org/10.4000/terrabrasilis.1027>
- Rafael, A. (2015). Proceso de producción y aplicación del producto microorganismos eficaces en la calidad de compost a partir de la mezcla de tres tipos de residuos orgánicos, Sapallanga-Huancayo. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/3511>
- Ramos, A., & Terry, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*, 35(04), 52-59.
- Real Decreto 824 (2005). Norma Española sobre productos fertilizantes. Ministerio de la Presidencia. Boletín Oficial del Estado BOE-A-2005-12378. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2005/07/08/824>
- Rivas, N., & Silva, A. R. (2020). Calidad física y química de tres compost, elaborados con residuos de jardinería, pergamino de café y bora (*Eichhornia crassipes*). *Ciencia Unemi*, 13(32), 87-100. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol13iss32.2020pp87-100p>
- Rivera, M., Rodríguez, C. & López, J. (2009). Contaminación fecal en hortalizas que se expenden en mercados de la ciudad de Cajamarca, Perú. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*. 26(1), 45-48. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v26n1/a09v26n1>
- Rodríguez, M., Venegas J., Angoa, P. & Montañez, J. (2010). Extracción secuencial y caracterización fisicoquímica de ácidos húmicos en diferentes compost y el efecto sobre trigo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(21), 133-147. https://www.researchgate.net/publication/262647814_Extraccion_secuencial_y_caracterizacion_fisicoquimica_de_acidos_humicos_en_diferentes_compost_y_el_efecto_sobre_trigo
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú-SENAMHI. (2021). Descarga de datos meteorológicos a nivel nacional. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>
- Sharma A., Saha T. N., Arora A., Shah R., & Nain L. (2017). Efficient Microorganism Compost Benefits Plant Growth and Improves Soil Health in Calendula and Marigold. *Horticultural Plant Journal*, 3(2), 67-72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.hpj.2017.07.003>

- Vargas, Y. (2017). Calidad del compost producidos a partir de residuos sólidos orgánicos municipales en el centro de protección ambiental “Santa Cruz”, ciudad de Concepción [Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP: <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4145/Ytavclerh%20Vargas.pdf?sequence=1>
- Widman, A., Herrera, R., & Cabañas, V. D. (2005). El uso de composta proveniente de residuos sólidos municipales como mejorador de suelos para cultivos en Yucatán. Estudios preliminares. *Ingeniería*, 9(3), 31-38. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46790303>

ANEXOS

Datos generales de bioindicadores del proceso

Tabla 14. Temperatura en las pilas 1 y 2

Muestreo	Posición	T1	T2	Muestreo	Posición	T1	T2	Muestreo	Posición	T1	T2
1	A	33,00	39,00	15	A	40,00	61,00	29	A	66,00	61,00
	M	36,00	38,00		M	63,00	63,00		M	34,00	43,00
	B	39,00	35,00		B	44,00	50,00		B	33,00	33,00
2	A	42,00	45,00	16	A	55,00	71,00	30	A	71,00	59,00
	M	38,00	38,00		M	65,00	61,00		M	42,00	51,00
	B	39,00	35,00		B	42,00	59,00		B	33,00	40,00
3	A	49,00	48,00	17	A	67,00	69,00	31	A	72,00	56,00
	M	47,00	45,00		M	64,00	68,00		M	67,00	35,00
	B	42,00	41,00		B	40,00	44,00		B	36,00	33,00
4	A	45,00	49,00	18	A	52,00	66,00	32	A	70,00	56,00
	M	48,00	47,00		M	81,00	59,00		M	67,00	35,00
	B	46,00	44,00		B	46,00	38,00		B	49,00	38,00
5	A	46,00	47,00	19	A	62,00	59,00	33	A	61,00	76,00
	M	50,00	50,00		M	55,00	58,00		M	51,00	66,00
	B	44,00	45,00		B	44,00	48,00		B	44,00	39,00
6	A	51,00	46,00	20	A	64,00	64,00	34	A	60,00	70,00
	M	45,00	41,00		M	53,00	56,00		M	42,00	57,00
	B	35,00	38,00		B	40,00	52,00		B	40,00	33,00
7	A	52,00	54,00	21	A	65,00	71,00	35	A	67,00	35,00
	M	48,00	50,00		M	68,00	42,00		M	51,00	35,00
	B	40,00	44,00		B	42,00	33,00		B	39,00	34,00
8	A	55,00	52,00	22	A	69,00	68,00	36	A	64,00	63,00
	M	52,00	55,00		M	68,00	67,00		M	36,00	42,00
	B	47,00	46,00		B	46,00	46,00		B	36,00	33,00
9	A	45,00	46,00	23	A	67,00	71,00	37	A	64,00	69,00
	M	56,00	57,00		M	68,00	39,00		M	51,00	45,00
	B	48,00	49,00		B	40,00	46,00		B	43,00	33,00
10	A	43,00	44,00	24	A	75,00	50,00	38	A	73,00	49,00
	M	49,00	50,00		M	58,00	45,00		M	68,00	42,00
	B	35,00	36,00		B	44,00	31,00		B	45,00	39,00
11	A	51,00	44,00	25	A	51,00	65,00	39	A	49,00	63,00
	M	45,00	41,00		M	69,00	62,00		M	39,00	58,00
	B	36,00	38,00		B	51,00	49,00		B	33,00	48,00
12	A	48,00	67,00	26	A	62,00	71,00	40	A	40,00	50,00
	M	52,00	67,00		M	62,00	68,00		M	51,00	47,00
	B	44,00	47,00		B	33,00	47,00		B	35,00	30,00
13	A	51,00	54,00	27	A	63,00	68,00	--	--	--	--
	M	55,00	61,00		M	65,00	55,00				
	B	46,00	53,00		B	35,00	35,00				
14	A	55,00	54,00	28	A	53,00	62,00	--	--	--	--
	M	62,00	52,00		M	36,00	48,00				
	B	43,00	44,00		B	35,00	40,00				

A muestreo en la parte alta de la pila, M muestreo en la parte media de la pila y B muestreo en la parte baja de la pila

Tabla 15. Temperatura en las pilas 3 y 4

Muestreo	Posición	T3	T4	Muestreo	Posición	T3	T4	Muestreo	Posición	T3	T4
1	A	42,00	51,00	17	A	52,00	69,00	33	A	63,00	44,00
	M	36,00	55,00		M	46,00	45,00		M	52,00	35,00
	B	38,00	46,00		B	37,00	32,00		B	46,00	32,00
2	A	45,00	66,00	18	A	57,00	68,00	34	A	54,00	42,00
	M	37,00	55,00		M	46,00	57,00		M	58,00	36,00
	B	39,00	46,00		B	36,00	38,00		B	47,00	34,00
3	A	48,00	71,00	19	A	63,00	71,00	35	A	41,00	48,00
	M	46,00	63,00		M	55,00	58,00		M	31,00	33,00
	B	44,00	48,00		B	44,00	48,00		B	34,00	34,00
4	A	62,00	50,00	20	A	62,00	65,00	36	A	48,00	45,00
	M	57,00	47,00		M	47,00	54,00		M	34,00	32,00
	B	55,00	39,00		B	36,00	34,00		B	34,00	30,00
5	A	60,00	58,00	21	A	66,00	50,00	37	A	58,00	47,00
	M	55,00	45,00		M	53,00	42,00		M	44,00	46,00
	B	46,00	54,00		B	40,00	32,00		B	37,00	38,00
6	A	57,00	72,00	22	A	69,00	40,00	38	A	55,00	43,00
	M	49,00	54,00		M	60,00	37,00		M	42,00	32,00
	B	45,00	48,00		B	43,00	35,00		B	36,00	33,00
7	A	48,00	65,00	23	A	75,00	53,00	39	A	47,00	62,00
	M	47,00	47,00		M	59,00	49,00		M	33,00	67,00
	B	38,00	38,00		B	43,00	48,00		B	34,00	44,00
8	A	56,00	70,00	24	A	65,00	65,00	40	A		54,00
	M	47,00	61,00		M	48,00	57,00		M		42,00
	B	53,00	50,00		B	35,00	33,00		B		35,00
9	A	56,00	60,00	25	A	74,00	56,00	41	A		48,00
	M	50,00	56,00		M	48,00	53,00		M		34,00
	B	42,00	54,00		B	59,00	33,00		B		33,00
10	A	54,00	58,00	26	A	46,00	62,00	42	A		63,00
	M	53,00	51,00		M	36,00	50,00		M		47,00
	B	47,00	41,00		B	34,00	35,00		B		39,00
11	A	62,00	67,00	27	A	64,00	59,00	43	A		70,00
	M	56,00	42,00		M	45,00	31,00		M		47,00
	B	52,00	51,00		B	36,00	34,00		B		34,00
12	A	59,00	61,00	28	A	64,00	58,00	44	A		60,00
	M	58,00	40,00		M	55,00	52,00		M		40,00
	B	39,00	42,00		B	45,00	45,00		B		33,00
13	A	72,00	50,00	29	A	76,00	48,00	45	A		46,00
	M	57,00	49,00		M	65,00	44,00		M		40,00
	B	48,00	43,00		B	47,00	40,00		B		42,00
14	A	70,00	54,00	30	A	71,00	38,00	46	A		40,00
	M	58,00	59,00		M	67,00	36,00		M		31,00
	B	46,00	47,00		B	34,00	33,00		B		33,00
15	A	47,00	69,00	31	A	45,00	37,00	--	--	--	--
	M	51,00	48,00		M	32,00	32,00				
	B	35,00	40,00		B	31,00	31,00				
16	A	51,00	65,00	32	A	61,00	38,00	--	--	--	--
	M	44,00	59,00		M	50,00	37,00				
	B	45,00	39,00		B	48,00	36,00				

A muestreo en la parte alta de la pila, M muestreo en la parte media de la pila y B muestreo en la parte baja de la pila

Tabla 16. pH en las pilas 1 y 2

Muestreo	Posición	pH1	pH2	Muestreo	Posición	pH1	pH2	Muestreo	Posición	pH1	pH2
1	A	4,90	4,80	15	A	5,60	5,60	29	A	6,00	6,90
	M	5,20	4,80		M	6,40	5,20		M	7,00	6,80
	B	4,50	4,50		B	4,50	5,20		B	7,20	7,00
2	A	5,20	5,50	16	A	4,50	5,20	30	A	7,00	7,00
	M	5,70	5,70		M	4,90	5,60		M	6,80	7,00
	B	4,50	4,50		B	4,50	5,20		B	7,00	7,00
3	A	5,40	5,40	17	A	5,30	5,30	31	A	6,50	7,00
	M	4,50	5,20		M	5,30	5,30		M	7,00	7,00
	B	5,20	5,20		B	5,20	5,20		B	7,00	7,00
4	A	5,60	5,60	18	A	5,20	5,20	32	A	6,50	7,00
	M	4,50	5,20		M	5,70	5,70		M	7,00	7,00
	B	4,50	4,50		B	4,90	5,20		B	7,20	7,00
5	A	6,40	6,40	19	A	5,20	5,60	33	A	6,80	6,90
	M	5,70	5,70		M	5,20	5,50		M	7,00	6,50
	B	5,20	5,20		B	5,20	5,60		B	7,20	7,00
6	A	4,90	6,00	20	A	5,30	5,60	34	A	7,00	7,00
	M	4,50	5,20		M	5,30	5,60		M	7,00	7,00
	B	5,20	5,20		B	5,30	5,60		B	7,20	7,00
7	A	4,90	5,60	21	A	5,50	6,00	35	A	7,00	7,00
	M	4,50	5,60		M	5,80	6,50		M	7,00	6,90
	B	5,60	5,20		B	6,00	6,50		B	7,00	7,00
8	A	5,60	4,60	22	A	6,30	6,50	36	A	6,50	7,00
	M	4,90	5,00		M	6,30	5,80		M	7,00	7,00
	B	4,50	5,00		B	6,30	6,50		B	7,00	7,00
9	A	5,60	5,60	23	A	6,50	6,80	37	A	6,80	7,20
	M	4,50	5,40		M	6,50	6,50		M	7,00	7,00
	B	4,50	5,20		B	6,50	6,50		B	7,20	7,00
10	A	4,50	5,20	24	A	6,50	6,80	38	A	7,20	7,00
	M	5,30	5,60		M	6,80	6,50		M	6,80	7,00
	B	5,20	5,20		B	6,80	6,50		B	7,00	7,00
11	A	4,90	5,70	25	A	6,10	6,80	39	A	7,00	7,00
	M	4,50	5,20		M	5,50	6,80		M	7,00	7,00
	B	5,20	5,20		B	6,60	6,50		B	7,00	7,00
12	A	4,50	5,80	26	A	6,20	6,80	40	A	7,00	7,00
	M	4,90	5,50		M	6,90	6,50		M	7,00	7,20
	B	4,70	5,50		B	6,50	6,80		B	7,00	7,20
13	A	4,50	5,20	27	A	6,50	6,90	--	--	--	--
	M	4,50	4,50		M	6,80	6,90				
	B	4,90	5,20		B	7,00	6,90				
14	A	5,60	5,30	28	A	7,00	6,90	--	--	--	--
	M	6,40	5,10		M	7,00	6,80				
	B	4,50	5,10		B	6,80	7,00				

A muestreo en la parte alta de la pila, M muestreo en la parte media de la pila y B muestreo en la parte baja de la pila

Tabla 17. pH en las pilas 3 y 4

Muestreo	Posición	pH3	pH4	Muestreo	Posición	pH3	pH4	Muestreo	Posición	pH3	pH4
	A	5,20	4,50		A	6,20	6,80		A	7,00	7,00
1	M	4,50	4,50	17	M	6,50	6,80	33	M	7,00	7,00
	B	4,50	4,50		B	6,50	6,80		B	7,00	7,00
	A	5,20	4,50		A	6,30	6,80		A	7,00	7,00
2	M	5,60	4,50	18	M	6,50	6,50	34	M	7,00	7,00
	B	4,50	4,50		B	6,50	6,80		B	7,00	7,00
	A	5,40	5,20		A	6,80	7,00		A	7,00	7,00
3	M	4,50	5,20	19	M	6,50	6,80	35	M	7,00	7,00
	B	5,20	5,20		B	6,80	6,80		B	7,00	7,00
	A	5,60	5,70		A	6,80	7,00		A	7,00	7,00
4	M	5,20	5,20	20	M	6,50	6,80	36	M	7,00	7,00
	B	5,20	5,20		B	6,50	6,80		B	7,00	7,00
	A	5,50	5,50		A	6,80	7,00		A	7,20	7,00
5	M	5,60	5,60	21	M	6,50	6,80	37	M	7,00	6,00
	B	5,20	5,20		B	6,50	6,80		B	7,00	7,00
	A	5,60	5,60		A	6,80	7,00		A	7,20	7,00
6	M	5,50	5,50	22	M	6,80	7,00	38	M	7,00	7,00
	B	5,20	5,20		B	6,20	6,80		B	7,00	7,00
	A	5,80	5,80		A	6,80	7,00		A	7,00	7,50
7	M	5,50	5,50	23	M	6,80	7,00	39	M	7,00	7,00
	B	5,50	5,50		B	6,80	7,00		B	7,00	7,00
	A	5,30	5,60		A	6,90	7,00		A	--	7,00
8	M	5,30	5,50	24	M	6,80	7,00	40	M	--	7,00
	B	5,30	5,50		B	6,80	7,00		B	--	7,50
	A	5,20	5,20		A	7,00	7,00		A	--	7,00
9	M	4,50	5,50	25	M	6,80	7,00	41	M	--	7,00
	B	4,80	5,80		B	6,80	7,00		B	--	7,00
	A	4,50	5,80		A	6,90	7,00		A	--	7,00
10	M	5,20	5,80	26	M	6,80	7,00	42	M	--	7,00
	B	5,20	5,60		B	6,80	7,00		B	--	7,00
	A	6,00	6,20		A	7,00	7,20		A	--	7,00
11	M	5,70	6,00	27	M	6,90	7,00	43	M	--	7,00
	B	5,20	6,00		B	6,80	7,00		B	--	7,00
	A	6,00	6,20		A	7,00	7,00		A	--	6,50
12	M	5,20	6,00	28	M	7,00	7,00	44	M	--	7,00
	B	5,20	6,00		B	7,00	7,00		B	--	7,00
	A	6,20	6,50		A	7,00	7,20		A	--	7,00
13	M	5,70	6,50	29	M	6,80	7,00	45	M	--	7,00
	B	5,20	6,50		B	7,00	7,00		B	--	7,20
	A	6,40	6,50		A	7,00	7,20		A	--	7,00
14	M	6,20	6,50	30	M	6,80	7,00	46	M	--	7,00
	B	5,60	6,50		B	7,00	7,00		B	--	7,00
	A	6,20	6,80		A	7,00	7,20	--	--	--	--
15	M	5,60	6,50	31	M	7,00	7,20		--	--	--
	B	5,20	6,50		B	7,00	7,20		--	--	--
	A	6,50	6,20		A	7,00	7,20		--	--	--
16	M	6,00	6,80	32	M	7,00	7,20	--	--	--	--
	B	6,00	6,80		B	7,00	7,20		--	--	--

Análisis estadístico

Tabla 18. Análisis de varianza para el indicador pH

Pruebas de efectos Inter sujetos					
Variable dependiente: pH					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	0,252 ^a	3	0,084	5,858	0,007
Intersección	1583,666	1	1583,666	110571,901	0,000
Pila	0,252	3	0,084	5,858	0,007
Error	0,229	16	0,014		
Total	1584,147	20			
Total, corregido	0,481	19			

a. $R^2 = 0,523$ (R^2 ajustada = 0,434)

Tabla 19. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador pH

Variable: pH			
HSD Tukey ^{a,b}			
Pila/tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
T4	5	8,7500	
T2	5	8,8840	8,8840
T1	5	8,8940	8,8940
T3	5		9,0660
Sig.		0,266	0,116

Tabla 20. Análisis de varianza para el indicador Humedad

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Humedad					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	4,542 ^a	3	1,514	0,100	0,959
Intersección	4065,526	1	4065,526	269,205	0,000
Pila	4,542	3	1,514	0,100	0,959
Error	241,632	16	15,102		
Total	4311,700	20			
Total, corregido	246,174	19			

a. $R^2 = 0,018$ (R^2 ajustada = 0,166)

Tabla 21. Análisis de varianza para el indicador MO

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: MO					
Origen	Suma de cuadrados	Gl.	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	147,404 ^a	3	49,135	1,643	0,219
Intersección	45234,316	1	45234,316	1512,212	0,000
Pila	147,404	3	49,135	1,643	0,219
Error	478,603	16	29,913		
Total	45860,323	20			
Total, corregido	626,007	19			
a. $R^2 = 0,235$ (R^2 ajustada = 0,092)					

Tabla 22. Análisis de varianza para el indicador % de cenizas

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Cenizas					
Origen	Suma de cuadrados	Gl.	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	147,404 ^a	3	49,135	1,643	0,219
Intersección	55004,316	1	55004,316	1838,829	0,000
Pila	147,404	3	49,135	1,643	0,219
Error	478,603	16	29,913		
Total	55630,323	20			
Total, corregido	626,007	19			
a. $R^2 = 0,235$ (R^2 ajustada = 0,092)					

Tabla 23. Análisis de varianza para el indicador N

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: N					
Origen	Suma de cuadrados	Gl.	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	3,246 ^a	3	1,082	98,402	0,000
Intersección	112,528	1	112,528	10234,441	0,000
Pila	3,246	3	1,082	98,402	0,000
Error	0,176	16	0,011		
Total	115,949	20			
Total, corregido	3,422	19			
a. $R^2 = 0,949$ (R^2 ajustada = 0,939)					

Tabla 24. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador N

Variable: N				
HSD Tukey ^{a,b}				
Pila / tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
T4	5	1,9500		
T2	5	2,0260		
T1	5		2,5880	
T3	5			2,9240
Sig.		0,668	1,000	1,000

Tabla 25. Análisis de varianza para el indicador P₂O₅

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: P2O5					
Origen	Suma de cuadrados	Gl.	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	0,485 ^a	3	0,162	41,550	0,000
Intersección	22,845	1	22,845	5868,155	0,000
Pila	0,485	3	0,162	41,550	0,000
Error	0,062	16	0,004		
Total	23,392	20			
Total, corregido	0,548	19			

a. R² = 0,886 (R² ajustada = 0,865)

Tabla 26. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador P₂O₅

Variable: P ₂ O ₅				
HSD Tukey ^{a,b}				
Pila / tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
T1	5	0,9358		
T4	5	0,9573	0,9573	
T2	5		1,0548	
T3	5			1,3271
Sig.		0,946	0,103	1,000

Tabla 27. Análisis de varianza para el indicador Ca

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Ca					
Origen	Suma de cuadrados	Gl.	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	0,088 ^a	3	0,029	20,123	0,000
Intersección	16,017	1	16,017	10992,139	0,000
Pila	0,088	3	0,029	20,123	0,000
Error	0,023	16	0,001		
Total	16,128	20			
Total, corregido	0,111	19			

a. $R^2 = 0,790$ (R^2 ajustada = 0,751)

Tabla 28. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador Ca

Variable: Ca			
HSD Tukey ^{a,b}			
Pila / tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
T4	5	0,8064	
T1	5	0,8598	
T2	5		0,9356
T3	5		0,9778
Sig.		0,162	0,333

Tabla 29. Análisis de varianza para el indicador Mg

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Mg					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	0,005 ^a	3	0,002	30,483	0,000
Intersección	1,238	1	1,238	22397,626	0,000
Pila	0,005	3	0,002	30,483	0,000
Error	,001	16	5,528		
Total	1,244	20			
Total, corregido	0,006	19			

a. $R^2 = 0,851$ (R^2 ajustada = 0,823)

Tabla 30. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador Mg

Variable: Mg				
HSD Tukey ^{a,b}				
Pila / tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
T1	5	0,2266		
T2	5		0,2428	
T3	5			0,2564
T4	5			0,2694
Sig.		1,000	1,000	0,060

Tabla 31. Análisis de varianza para el indicador K

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: K					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	0,015 ^a	3	0,005	31,777	0,000
Intersección	2,919	1	2,919	18731,114	0,000
Pila	0,015	3	0,005	31,777	0,000
Error	0,002	16	0,000		
Total	2,937	20			
Total, corregido	0,017	19			

a. $R^2 = 0,856$ (R^2 ajustada = 0,829)

Tabla 32. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador K

Variable: K				
HSD Tukey ^{a,b}				
Pila/tratam iento	N	Subconjunto		
		a	b	c
T4	5	0,3382		
T1	5		0,3802	
T2	5			0,4042
T3	5			0,4056
Sig.		1,000	1,000	0,998

Tabla 33. Análisis de varianza para el indicador Pb

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Pb					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	0,454 ^a	3	0,151	42,893	0,000
Intersección	26,954	1	26,954	7642,071	0,000
Pila	0,454	3	0,151	42,893	0,000
Error	0,056	16	0,004		
Total	27,464	20			
Total, corregido	0,510	19			

a. $R^2 = 0,889$ (R^2 ajustada = 0,869)

Tabla 34. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador Pb

Variable: Pb				
HSD Tukey ^{a,b}				
Pila/tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
T4	5	0,9296		
T3	5		1,1256	
T2	5			1,2786
T1	5			1,3098
Sig.		1,000	1,000	0,839

Tabla 35. Análisis de varianza para el indicador Cd

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Cd					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	0,002 ^a	3	0,001	8,710	0,001
Intersección	0,362	1	0,362	6265,789	0,000
Pila	0,002	3	0,001	8,710	0,001
Error	0,001	16	5,770		
Total	0,364	20			
Total, corregido	0,002	19			

a. $R^2 = 0,620$ (R^2 ajustada = 0,549)

Tabla 36. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador Cd

Variable: Cd			
HSD Tukey ^{a,b}			
Pila/tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
T4	5	0,1198	
T1	5		0,1370
T3	5		0,1386
T2	5		0,1424
Sig.		1,00	0,681

Tabla 37. Análisis de varianza para el indicador Cu

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Cu					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	169,952 ^a	3	56,651	43,317	0,000
Intersección	8235,305	1	8235,305	6296,911	0,000
Pila	169,952	3	56,651	43,317	0,000
Error	20,925	16	1,308		
Total	8426,183	20			
Total, corregido	190,878	19			

a. R² = 0,890 (R² ajustada = 0,870)

Tabla 38. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador Cu

Variable: Cu			
HSD Tukey ^{a,b}			
Pila/tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
T1	5	15,7280	
T4	5		20,0400
T2	5		21,8340
T3	5		23,5660
Sig.		1,000	0,102

Tabla 39. Análisis de varianza para el indicador Fe

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Fe					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	3649217,798 ^a	3	1216405,933	80,317	0,000
Intersección	328097710,735	1	328097710,735	21663,728	0,000
Pila	3649217,798	3	1216405,933	80,317	0,000
Error	242320,401	16	15145,025		
Total	331989248,934	20			
Total, corregido	3891538,199	19			

a. $R^2 = 0,938$ (R^2 ajustada = 0,926)

Tabla 40. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador Cu

Variable: Fe				
HSD Tukey ^{a,b}				
Pila/tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
T2	5	3624,0900		
T1	5	3666,0080		
T3	5		4265,7120	
T4	5			4645,3680
Sig.		0,948	1,000	1,000

Tabla 41. Análisis de varianza para el indicador Zn

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Zn					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	5645,751 ^a	3	1881,917	72,436	0,000
Intersección	201731,732	1	201731,732	7764,719	0,000
Pila	5645,751	3	1881,917	72,436	0,000
Error	415,689	16	25,981		
Total	207793,173	20			
Total, corregido	6061,440	19			

a. $R^2 = 0,931$ (R^2 ajustada = 0,919)

Tabla 42. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador Zn

Variable: Zn					
HSD Tukey ^{a,b}					
Pila/tratamiento	N	Subconjunto			
		a	b	c	d
T4	5	77,6140			
T1	5		93,9560		
T2	5			106,7880	
T3	5				123,3700
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Tabla 43. Análisis de varianza para el indicador Mn

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Mn					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	10322,101 ^a	3	3440,700	77,475	0,000
Intersección	436841,820	1	436841,820	9836,438	0,000
Pila	10322,101	3	3440,700	77,475	0,000
Error	710,569	16	44,411		
Total	447874,490	20			
Total, corregido	11032,670	19			

a. $R^2 = 0,936$ (R^2 ajustada = 0,924)

Tabla 44. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador Mn

Variable: Mn					
HSD Tukey ^{a,b}					
Pila/tratamiento	N	Subconjunto			
		a	b	c	d
T1	5	126,6108			
T2	5	131,5300			
T3	5		148,4760		
T4	5			184,5460	
Sig.		0,655	1,000	1,000	1,000

Trabajos de campo



Figura 10. Planta de compostaje Shapajilla



Figura 11. Caracterización de los residuos en la pila instalada



Figura 12. Evaluación de T° y pH



Figura 13. Volteo mecanizado de las pilas



Figura 14. Extracción de muestras para análisis fisicoquímico y microbiológico



Figura 15. Análisis microbiológico

Análisis de caracterización y microbiológico del compost



Universidad Nacional Agraria de la Selva
Departamento de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua
Tingo María

DIAGNÓSTICO MICROBIOLÓGICO

Muestra : Compost – Pila 1, 2, 3 y 4

Procedencia : Planta Santa Rosa de Shapajilla

Atención a : Lorena Raquel Garrido Acosta

Fecha recepción : 02 de junio de 2022

Análisis solicitados:

- Número más probable de *Escherichia coli* (NEc)
- Investigación de *Salmonella*

RESULTADOS:

Pila 1	Número más probable de <i>Escherichia coli</i>		Investigación de <i>Salmonella</i>	
	Valor obtenido	Valor referencial- Real Decreto 824	Valor obtenido	Valor referencial- Real Decreto 824
1*	Ausencia	< 1000 NMP g ⁻¹	Ausencia	Ausencia en 25 g
2*	Ausencia			
3*	Ausencia			
4*	Ausencia			

*Se evaluó 4 muestras por pila

CONCLUSIONES:

Las muestras procesadas (4 pilas y 4 repeticiones por pila) no presentan microorganismos de origen fecal.

Tingo María, 21 de junio del 2022

Dr. Nelino Florida Rofner
Asesor de la Tesis

Nota:

Los análisis fueron desarrollados por el tesista en el Laboratorio de Microbiología y Biotecnología, con asistencia del técnico del laboratorio Ing. Richard Sias Rodríguez y supervisadas por el Asesor de la tesis quien suscribe el reporte de análisis.



analisisdesuelosumas@hotmail.com

ANÁLISIS ESPECIAL

SOLICITANTE:		GARRIDO ACOSTA LORENA RAQUEL										PROCEDECENCIA:										HUANUCO									
DATOS DE LA MUESTRA		RESULTADOS EN BASE HUMEDA					RESULTADOS EN BASE SECA					RESULTADOS EN BASE SECA					RESULTADOS EN BASE SECA					RESULTADOS EN BASE SECA									
Código	Tipo	Referencia	PH 1:4	CE mS/cm	Humedad Hd (%)	Materia Organica (%)	Cenizas (%)	Materia Organica (%)	Cenizas (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Pb ppm	Cd ppm	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm										
E0273-1	COMPOST	T1 R1	8.79	2.98	16.29	38.51	45.19	46.01	53.99	2.63	0.9214	0.832	0.220	0.066	0.384	1.299	0.146	15.51	3638.86	94.13	121.624										
E0273-2	COMPOST	T1 R2	8.94	2.87	14.77	34.24	50.99	40.17	59.83	2.64	0.9855	0.888	0.238	0.061	0.381	1.324	0.133	17.46	3773.96	97.71	121.86										
E0273-3	COMPOST	T1 R3	8.96	3.55	13.94	32.87	53.20	38.19	61.81	2.56	0.9236	0.867	0.230	0.065	0.360	1.358	0.122	15.26	3658.86	90.14	132.30										
E0273-4	COMPOST	T1 R4	8.98	3.23	15.22	38.80	45.99	45.76	54.24	2.68	0.9294	0.825	0.210	0.060	0.389	1.321	0.147	14.53	3535.11	91.10	129.54										
E0273-5	COMPOST	T1 R5	8.80	2.94	8.09	46.33	45.58	50.41	49.59	2.43	0.9189	0.887	0.235	0.068	0.387	1.247	0.137	15.88	3723.25	96.70	127.73										
E0273-6	COMPOST	T2 R1	9.01	3.50	21.13	33.58	45.29	42.58	57.42	2.19	1.0526	0.965	0.245	0.068	0.408	1.311	0.148	22.22	3716.80	111.82	134.39										
E0273-7	COMPOST	T2 R2	8.89	3.66	12.92	43.36	43.72	49.79	50.21	1.97	1.1716	0.947	0.245	0.065	0.403	1.298	0.133	22.95	3718.59	102.88	131.75										
E0273-8	COMPOST	T2 R3	8.67	3.48	6.91	38.91	54.18	41.80	58.20	1.88	1.0030	0.924	0.243	0.062	0.400	1.368	0.139	20.11	3511.15	102.94	131.57										
E0273-9	COMPOST	T2 R4	8.83	3.58	8.83	51.55	39.61	56.55	43.45	1.89	1.0336	0.923	0.239	0.063	0.401	1.245	0.147	22.97	3521.46	107.22	138.85										
E0273-10	COMPOST	T2 R5	9.02	3.35	21.01	37.74	41.25	47.78	52.22	2.20	1.0132	0.919	0.242	0.064	0.409	1.171	0.145	20.92	3652.45	109.08	121.09										
E0273-11	COMPOST	T3 R1	8.92	3.73	12.18	40.57	47.25	46.20	53.80	2.81	1.2793	0.971	0.260	0.071	0.401	1.135	0.135	25.38	4072.40	125.77	146.30										
E0273-12	COMPOST	T3 R2	8.93	3.55	13.90	39.33	46.77	45.68	54.32	2.90	1.3962	1.021	0.265	0.072	0.406	1.214	0.141	23.12	4364.11	123.71	156.47										
E0273-13	COMPOST	T3 R3	9.16	2.82	15.73	43.39	40.89	51.48	48.52	2.91	1.4589	0.974	0.250	0.073	0.414	1.094	0.139	23.28	4072.47	123.54	147.58										
E0273-14	COMPOST	T3 R4	9.24	3.34	15.54	44.94	39.51	53.22	46.78	2.94	1.2592	0.957	0.255	0.071	0.403	1.140	0.145	22.52	4346.02	119.75	148.70										
E0273-15	COMPOST	T3 R5	9.08	3.22	17.62	50.88	31.49	61.77	38.23	3.06	1.2420	0.966	0.252	0.073	0.404	1.045	0.133	23.53	4473.56	124.08	143.33										
E0273-16	COMPOST	T4 R1	8.79	3.78	13.22	35.69	51.09	41.12	58.88	1.91	0.9293	0.890	0.266	0.065	0.357	0.931	0.121	19.52	4668.42	86.93	191.96										
E0273-17	COMPOST	T4 R2	8.76	4.16	15.63	43.63	40.74	51.71	48.29	1.98	0.9954	0.789	0.278	0.069	0.337	0.857	0.117	21.01	4704.44	70.05	192.24										
E0273-18	COMPOST	T4 R3	8.81	3.81	15.22	39.59	45.19	46.70	53.30	1.99	0.9486	0.826	0.268	0.063	0.336	0.896	0.108	21.10	4514.73	78.31	177.01										
E0273-19	COMPOST	T4 R4	8.80	3.49	13.33	38.75	47.91	44.72	55.28	1.94	0.9248	0.717	0.261	0.066	0.305	0.989	0.129	18.40	4593.66	67.92	171.97										
E0273-20	COMPOST	T4 R5	8.59	4.91	13.67	42.74	43.59	49.51	50.49	1.93	0.9885	0.810	0.274	0.061	0.356	0.975	0.124	20.17	4745.59	84.86	189.55										

MUESTREO PARA EL SOLICITANTE

RECIBO N° 001-0650935

Tingo Maria 15 de Junio 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo Maria



Dr. HUGO REFRIDO HUAMANI YUPANQUI
 jefe (e) Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología