

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL



**CALIDAD DE COMPOST A BASE DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA
PROVINCIA LEONCIO PRADO 2022**

Tesis

Para optar el Grado Académico de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA,

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

Presentado por:

EMILIO ANTHONY RÍOS VELASQUEZ

Tingo María – Perú.

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
UNIDAD DE POSGRADO
DIRECCIÓN



"AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL"

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS
Nro. 020-UPG-FRNR-UNAS

En la ciudad universitaria, siendo las 11:00 a.m. del lunes 7 de diciembre de 2022, reunidos virtualmente vía Microsoft Teams, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

"CALIDAD DE COMPOST A BASE DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA PROVINCIA LEONCIO PRADO 2022"

A cargo del candidato al Grado de Maestro en Ciencias en Agroecología, mención: Gestión Ambiental **EMILIO ANTHONY RÍOS VELÁSQUEZ**.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO** Acto seguido, a horas 12:30 p.m. el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

.....
Ing. MS.c. JOSE D. LEVANO CRISOSTOMO
Presidente del Jurado

.....
Ing. MS.c. FRANKLIN DIONISIO MONTALVO
Miembro del Jurado

.....
Ing. MS.c. JAVIER NAZAR CIPRIANO
Miembro del Jurado

.....
Dr. NELINO FLORIDA ROFNER
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL
(RIDUNAS)

Correo: repositorio@unas.edu.pe



“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 081 - 2023 - CS-RIDUNAS

El Coordinador de la Oficina de Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El trabajo de investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Facultad:

Escuela de Posgrado UNAS

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de investigación	
-------	---	--------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
CALIDAD DE COMPOST A BASE DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA PROVINCIA LEONCIO PRADO 2022	EMILIO ANTHONY RÍOS VELASQUEZ,	23% Veintitrés

Tingo María, 04 de abril de 2023


Mg. Ing. García Villegas, Christian
Coordinador del Repositorio Institucional
Digital (RIDUNAS)

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL



CALIDAD DE COMPOST A BASE DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA PROVINCIA LEONCIO PRADO 2022

Programa de investigación	: Gestión Ambiental Línea de
investigación	: Desarrollo sostenible Eje
temático	: Tratamiento de residuos
Autor	: Ing. RÍOS VELASQUEZ, Emilio Anthony
Asesor (es)	: Dr. FLORIDA ROFNER, Nelino
Lugar de ejecución	: Leoncio Prado
Duración	: 6 meses
Financiamiento	: S/. 10 294,0
FEDU	: No
Propio	: Si
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 mi madre Elvira Velásquez del Águila, por su apoyo incondicional y por ser mi fortaleza para lograr mis objetivos y metas. A mis hermanos Adrián Garay Velásquez y Cynthia Garay Velásquez porque me inspiraban cada día a seguir adelante porque eran y son mi motor y motivo para seguir cumpliendo mis metas.

A mis 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 Ing. M. Sc. José D. Lévano Crisóstomo, Ing. M. Sc. Franklin Dionisio Montalvo, Ing. M. Sc. Javier Cipriano Nazar, y al Ing. M. Sc. Roberto Obregón Peña, por sus aportes en las correcciones de la presente investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Hipótesis	2
1.2 Objetivos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Residuos sólidos municipales	3
2.2 Residuos sólidos en la región Huánuco	5
2.3 Compost	7
2.3.1. Compostaje como estrategia para tratar residuos sólidos orgánicos urbanos.....	8
2.3.2. Beneficios del compostaje de residuos sólidos orgánicos municipales	9
2.3.3. Residuos compostables.....	10
2.3.4. Facetas del compostaje.....	11
2.4 Normas técnicas para determinar la calidad del compost	13
2.5. Factores que influyen en la calidad del compost	13
2.6. Estado del arte	15
2.6.1 Antecedentes internacionales.	15
2.6.2. Antecedentes nacionales y locales	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS... ..	18
3.1 Ubicación	18
3.2 Características generales	24
3.2.1 Agroclimáticas.....	18
3.2.2 Sociales.....	19
3.3 Materiales y equipos	19
3.3.1 Materiales de campo	19
3.3.2 Materiales de laboratorio	19
3.3.3 Equipos de campo y laboratorio.	20
3.4 Criterio y análisis del estudio.....	20
3.4.1 Tipo y nivel de investigación.....	20
3.4.2 Diseño de la investigación... ..	20
3.5 Metodología	20
3.5.1. Descripción del manejo aplicado en el proceso de compostaje	20

3.5.2.	Determinación de indicadores fisicoquímicos en compost a base de residuos sólidos urbanos	21
3.5.3.	Determinar la calidad de compost en base a los criterios de la Norma Oficial Chilena 2880 y la Norma Técnica Española, Real Decreto 824	21
3.6	Análisis estadístico.....	21
3.7	Población y muestra	22
3.8	Variables... ..	22
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1.	Manejo Aplicado en el proceso de compostaje.....	23
4.2.	Indicadores fisicoquímicos en compost final	24
4.2.1	Contenido de humedad.....	24
4.2.2	Potencial de hidrogeno (pH).....	26
4.2.3	Materia orgánica (MO).....	27
4.2.4	Nitrógeno (N)	28
4.2.5	Niveles de fosforo (P_2O_5)	30
4.2.6	Niveles de calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K).....	31
4.2.7	Niveles de micronutrientes cobre, hierro , zinc y manganeso	34
4.3.	Calidad del compost.....	37
V.	CONCLUSIONES	39
VI.	PROPUESTAS A FUTURO	40
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
ANEXO...		46
	Normas técnicas de calidad del compost.....	46
	Análisis estadístico	47
	Trabajos de campo.....	56
	Reporte de análisis de los compost evaluados	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Población al 2017 y generación de residuos por distritos	19
2. Criterios técnicos de procesamiento aplicados según distritos.....	23
3. Determinación de la calidad de compost producidas por las diferentes municipalidades...	37
4. Principales indicadores de calidad en diferentes etapas del compostaje	46
5. Norma Oficial Chilena (NOCh) 2880	46
6. Real Decreto 824 sobre productos fertilizantes	47
7. Estadística descriptiva e inferencial general de los compost evaluados.....	47
8. Análisis de varianza del indicador pH.....	48
9. Análisis post-hoc de Tukey del indicador pH.....	48
10. Análisis de varianza del indicador humedad	48
11. Análisis post-hoc de Tukey del indicador humedad.....	49
12. Análisis de varianza del indicador cenizas	49
13. Análisis post-hoc de Tukey del indicador cenizas.....	49
14. Análisis de varianza del indicador MO	50
15. Análisis post-hoc de Tukey del indicador MO.....	50
16. Análisis de varianza del indicador N.....	50
17. Análisis post-hoc de Tukey del indicador N	51
18. Análisis de varianza del indicador P.....	51
19. Análisis post-hoc de Tukey del indicador P	51
20. Análisis de varianza del indicador Ca	52
21. Análisis post-hoc de Tukey del indicador Ca.....	52
22. Análisis de varianza del indicador Mg	52
23. Análisis post-hoc de Tukey del indicador Mg.....	53
24. Análisis de varianza del indicador K.....	53
25. Análisis post-hoc de Tukey del indicador K	53
26. Análisis de varianza del indicador Cu	54
27. Análisis de varianza del indicador Fe.....	54
28. Análisis post-hoc de Tukey del indicador Fe	54
29. Análisis de varianza del indicador Zn	55
30. Análisis post-hoc de Tukey del indicador Zn.....	55
31. Análisis de varianza del indicador Mn	55
32. Análisis post-hoc de Tukey del indicador Mn.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Generación total de residuos sólidos municipales	4
2. Residuos sólidos municipales dispuestos en rellenos sanitarios	4
3. Generación per cápita de residuos sólidos municipales.....	5
4. Generación total de residuos sólidos municipales en la región Huánuco	6
5. Residuos sólidos municipales dispuestos en rellenos sanitarios en la región Huánuco	6
6. Generación per cápita de residuos sólidos municipales en la región Huánuco.....	7
7. Proceso de degradación y formación de compost	8
8. Fases del compostaje y factores del proceso... ..	14
9. Localización geográfica del área de estudio.....	18
10. Proceso de degradación y formación de compost	24
11. Valores de humedad en compost producidas por diferentes municipalidades	25
12. Valores de pH en compost producidas por diferentes municipalidades.....	26
13. Niveles de MO en compost producidas por diferentes municipalidades.....	28
14. Niveles de N en compost producidas por diferentes municipalidades	29
15. Niveles de P ₂ O ₅ en compost producidas por diferentes municipalidades	30
16. Niveles de Ca en compost producidas por diferentes municipalidades.....	32
17. Niveles de Mg en compost producidas por diferentes municipalidades	33
18. Niveles de K en compost producidas por diferentes municipalidades	33
19. Niveles de Cu en compost producidas por diferentes municipalidades	34
20. Niveles de Zn en compost producidas por diferentes municipalidades.....	35
21. Niveles de Fe en compost producidas por diferentes municipalidades	35
22. Niveles de Mn en compost producidas por diferentes municipalidades	36
23. Planta de tratamiento de Padre Felipe Luyando (PFL).....	56
24. Planta de tratamiento de Castillo Grande (CG)	57
25. Planta de tratamiento de José Crespo y Castillo (JCC)	57
26. Planta de tratamiento de Mariano Dámaso Beraun (MDB)	58
27. Planta de tratamiento de Rupa Rupa (RR).....	58
28. Planta de tratamiento de Pucayacu (PU)	59

RESUMEN

Los residuos urbanos en Perú son dispuestos en rellenos sanitarios en situación de colapso y el compostaje es una tecnología simple y económica empleada para el aprovechamiento del componente orgánico, así, reducir daños a la salud y al ambiente. Por ello, la investigación evaluó la calidad del compost a base de residuos sólidos urbanos en los distritos de la provincia Leoncio Prado. La investigación identificó los distritos que aplican el compostaje a sus residuos y evaluó la técnica de procesamiento, indicadores fisicoquímicos del compost final y determinó la calidad en base a normas técnicas internacionales. Los resultados muestran que seis de diez distritos aplican el compostaje y los indicadores fisicoquímicos presentaron diferencias altamente significativas entre compost evaluados para humedad, pH, MO, N, P, Ca, Mg, K, Zn, Fe y Mn, excepto, el Cu no presentó diferencias. Se encontró altos valores de humedad, pH y MO y bajos niveles de P, Ca, Mg y K. Se concluye que los compost producidos por seis de los diez distritos son de calidad intermedia de acuerdo a los criterios de calidad de la norma técnica chilena (NCH 2880), colombiana 5167 y de la OMS, por presentar valores elevados de humedad, pH y a bajos niveles de Ca, Mg y K; sin embargo, estos pueden ser utilizados como enmienda en la mejora del suelo y los cultivos.

Palabras clave: alta calidad, macro y micronutriente, norma técnica, residuo municipal, tratamiento.

ABSTRACT

Urban solid waste in Peru is disposed of in landfills which are in a situation of collapsing, and composting is a simple and economic technology that can be used to take advantage of the organic component, thus, reducing harm to health and the environment. Due to this, in the research the quality of the compost from a base of urban solid waste in the Leoncio Prado province [of Peru] was evaluated. In the research, the districts which applied composting to their waste were identified and their techniques of processing, physicochemical indicators of the final compost, and quality based on international technical specifications were evaluated and identified. The results revealed that six of ten districts applied composting and the physicochemical indicators presented highly significant values between the composts, evaluated for humidity, pH, OM (MO in Spanish), N, P, Ca, Mg, K, Zn, Fe, and Mn, with the exception of the Cu, which did not present differences. High values of humidity, pH and OM and low levels of P, Ca, Mg, and K were found. It was concluded that the compost produced by six of the ten districts were of an intermediate quality, according to the quality criteria from the Chilean technical standards (NCH 2880), 5167 in Colombia, and the WHO (OMS in Spanish), due to presenting elevated humidity and pH values, and low levels of Ca, Mg, and K; nonetheless, these can be used as amendments in order to improve the soil and the crops.

Keywords: high quality, macro and micro nutrients, technical standards, municipal waste, treatment

I. INTRODUCCIÓN

Las estadísticas del Ministerio del Ambiente [MINAM], reportan que la generación de residuos sólidos municipales al 2020 alcanza los 7 905 118, 13 t y solo el 54,94 % son dispuestos en rellenos sanitarios, con deficiencias en su funcionamiento y en situación de colapso (MINAM, 2021). Los residuos sólidos orgánicos representan el mayor porcentaje del total de residuos generados. Por ello, el Decreto Legislativo 1278, en su Artículo 40 define al tratamiento como los procesos, métodos o técnicas que permiten modificar las características del residuo, para controlar potenciales daños a la salud y al ambiente, por lo que, el compostaje es una alternativa con potencial para formar parte del tratamiento de los residuos municipales.

El compostaje es la tecnología más empleada para tratar los residuos urbanos, no obstante, su implementación es deficiente (Oviedo et al., 2017) a pesar de ser sencilla, económica y con capacidad de aprovechar diversos residuos biodegradables que usualmente se convierten en contaminantes (Florida & Reategui, 2019; Bailón & Florida, 2020), también genera empleo, ingresos monetarios y emprendimientos altamente rentable y sostenible (Huamaní et al., 2020). Además, técnicamente el compostaje reduce el volumen de los residuos dispuestos en rellenos sanitarios, destruye microorganismos patógenos que causan enfermedades a plantas, animales y humanos, desactivar la capacidad germinativa de las semillas (malas hierbas) y transformar los residuos orgánicos en un producto utilizable en la agricultura.

En este contexto de la realidad problemática la investigación plantea como problema ¿Cuál es la calidad del compost a base de residuo sólidos urbanos, producido por las diferentes municipalidades distritales en la provincia de Leoncio Prado–2022?

La investigación se justifica en la necesidad de generar conocimiento sobre este tipo de compost que genera discusión respecto a su aplicación en las áreas de cultivos, por la posible presencia de sustancias fitotóxicas que pueden generar efectos perjudiciales a los agroecosistemas. En este contexto, evaluar los niveles de macro y micronutrientes, y la calidad de los compost producidos a base de residuo sólidos urbanos en los diferentes distritos de la provincia de Leoncio Prado, resulta de importancia social, ambiental y académico científico.

Los alcances del trabajo contribuirán con nuevos conocimientos para la comunidad científica, para estandarizar y mejorar las técnicas de procesamiento que presentan mejores resultados en los diferentes distritos, a los agricultores que aplican enmiendas orgánicas, las instituciones que promueven la agricultura orgánica como la Dirección Regional de Agricultura (DRA) y las asociaciones de productores locales.

1.1. Hipótesis

La calidad de los compost a base de residuo sólidos urbanos, producido por las diferentes municipalidades distritales en la provincia de Leoncio Prado, cumplen con los criterios de calidad de la Norma Oficial Chilena 2880 y otras Normas Técnicas complementarias.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la calidad del compost a base de residuos sólidos urbanos en la provincia Leoncio Prado, 2022.

1.2.2. Objetivos específicos

- Describir el manejo aplicado al proceso de compostaje en los diferentes distritos
- Determinar los indicadores fisicoquímicos: % humedad, % de cenizas, pH, MO, N, P, K, Ca, Mg, CIC, Mn, Zn, Fe y Cu, en compost a base de residuos sólidos urbanos.
- Determinar la calidad de compost en base a los criterios de la norma oficial de Chile (NCH 2880), Colombia (NTC 5167) y de España (Real Decreto 824).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.2. Residuos sólidos municipales

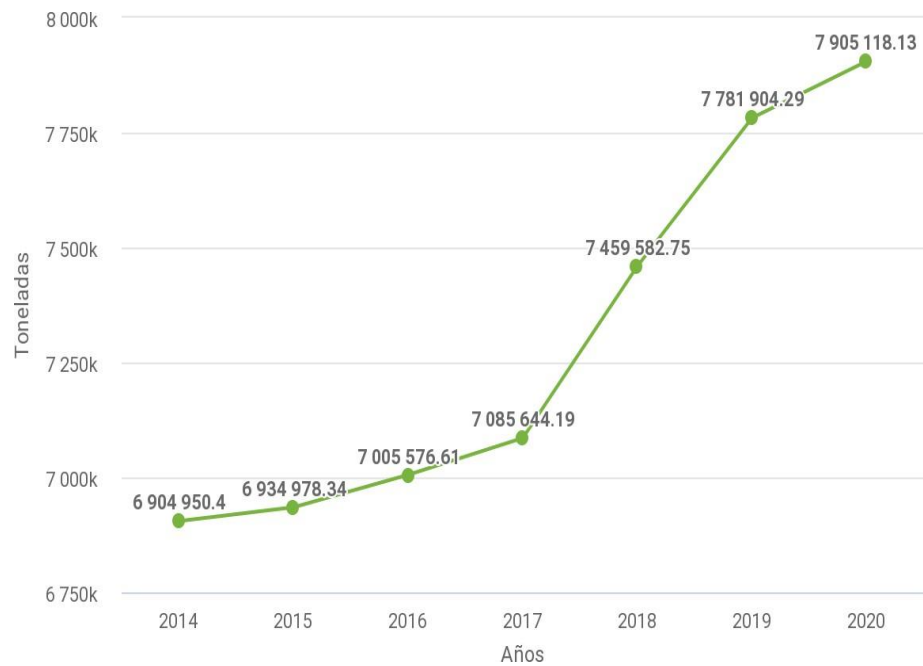
El DL N° 1278/2016, aprueba la ley de gestión integral de residuos sólidos, en su anexo define residuos sólidos municipales, a los generados en el ámbito de la gestión municipal, conformados por residuos domiciliarios y los resultantes del barrido y limpieza pública en el ámbito de su jurisdicción. Además, residuo sólido es cualquier objeto, material, sustancia o elemento resultante del consumo o uso de un bien o servicio, del cual su poseedor se desprenda para ser manejados priorizando la valorización y su disposición final. También, residuos son aquellos líquidos o gases contenidos en depósitos que van a ser desechados y no puedan ser ingresados en sistemas de tratamiento de emisiones y efluentes.

Finalmente, el artículo 32 señala que el manejo de los residuos incluye varias operaciones y el que concuerda con el trabajo es el literal h referido al tratamiento y disposición final (literal i). De estas operaciones, el tratamiento (literal h) es resaltado en el reciente Decreto Legislativo 1278, norma que deja sin efecto la Ley 27314, en su Artículo 40 define al tratamiento como procesos, métodos o técnicas que permiten modificar las características del residuo, para reducir o eliminar los daños potenciales a la salud y el ambiente, orientados a la disposición final segura.

Los residuos no tratados traen problemas para la salud y el ambiente, ya que, existen residuos con gran movilidad capaces de trasladarse grandes distancias. Además, se tiene una gran variedad de residuos urbanos con características fisicoquímicas complejas que complican su degradación natural. Esto, se ve favorecida por la deficiente cultura ambiental de la sociedad y los cambios en los hábitos de consumo, aspectos que dificultan la gestión de los residuos urbanos (Alcocer et al., 2019).

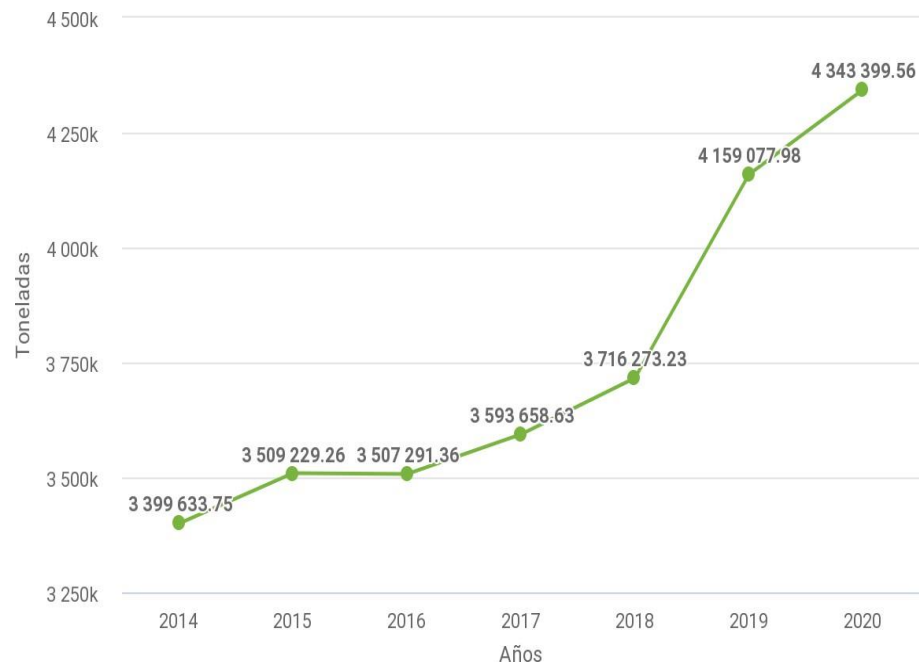
De acuerdo con las estadísticas del Ministerio del ambiente (Figura 1), la generación total de residuos sólidos municipales en Perú al 2020 alcanza una cifra de 7 905 118, 13 t, los residuos considerados en esta estadística incluyen todo desecho en fase sólida o semisólida. (MINAM, 2021).

Perú tiene muchas deficiencias en la gestión de sus residuos urbanos, prueba de ello, de la cifra total de los residuos sólidos municipales (Figura 1) son dispuestos en rellenos sanitarios, para el mismo año 2020, una cifra de 4 343 399 t (Figura 2), equivalente al 54,94 % del total producido, de este porcentaje no todos los residuos tienen un tratamiento adecuado y muchos de estos rellenos sanitarios están al punto del colapso (MINAM, 2021).



Fuente: MINAM (2021)

Figura 1. Generación total de residuos sólidos municipales

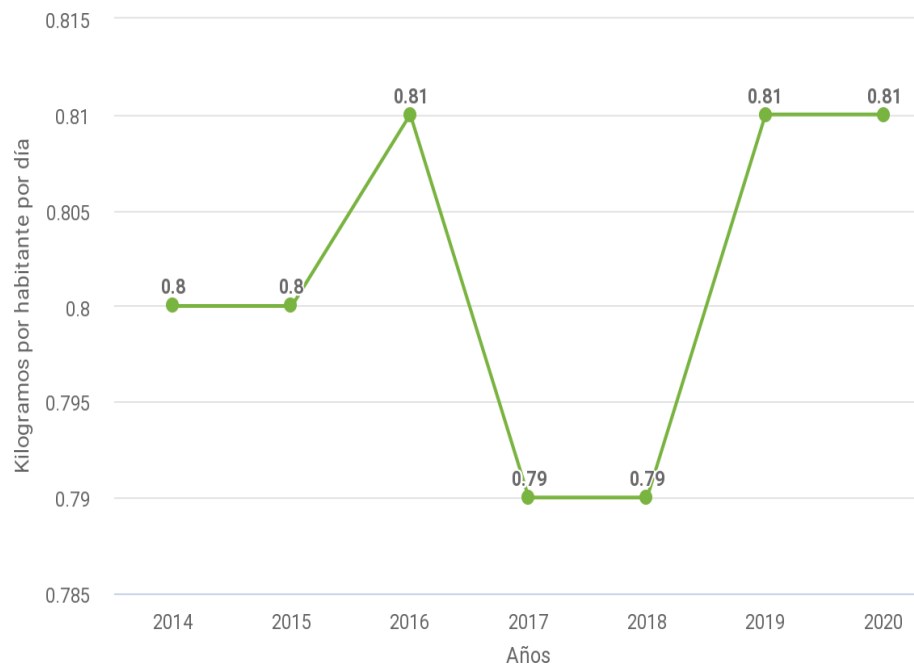


Fuente: MINAM (2021)

Figura 2. Residuos sólidos municipales dispuestos en rellenos sanitarios

También, como país presentamos una generación per cápita de 0.81 kg/hab/día, cercano a la media de América Latina (0,9 kg/hab/día) con baja recolección selectiva, no obstante, hay casos como Brasil, donde el 62 % de los municipios implementa programas de

recolección selectiva (Grau et al., 2015). Por el contrario, Perú tiene un pésimo sistema de gestión y aplicación de tecnologías inadecuadas, pues los sectores informales son muy frecuentes (Quillos et al., 2018)

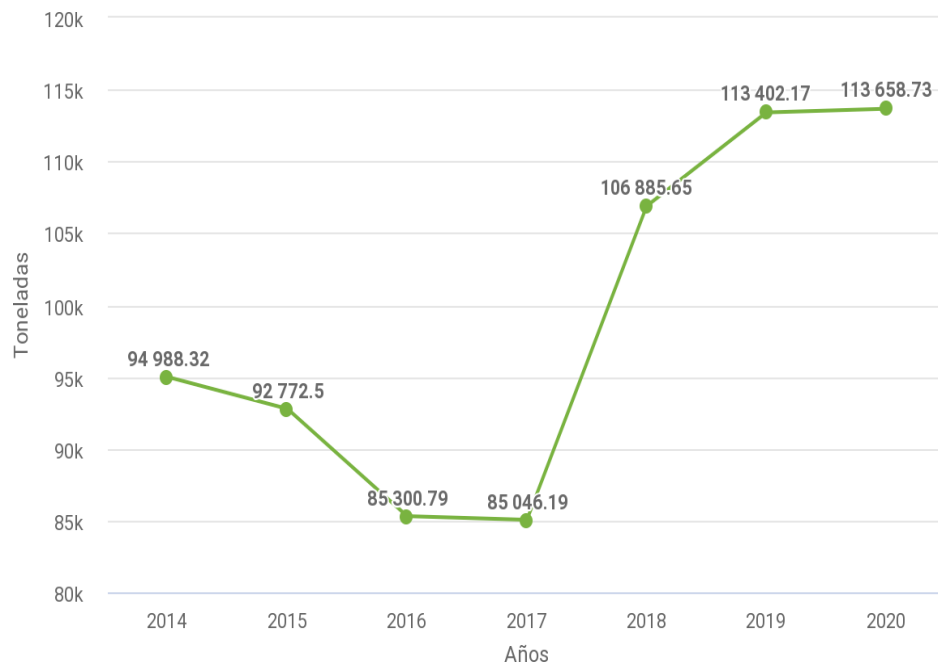


Fuente: MINAM (2021)

Figura 3. Generación per cápita de residuos sólidos municipales

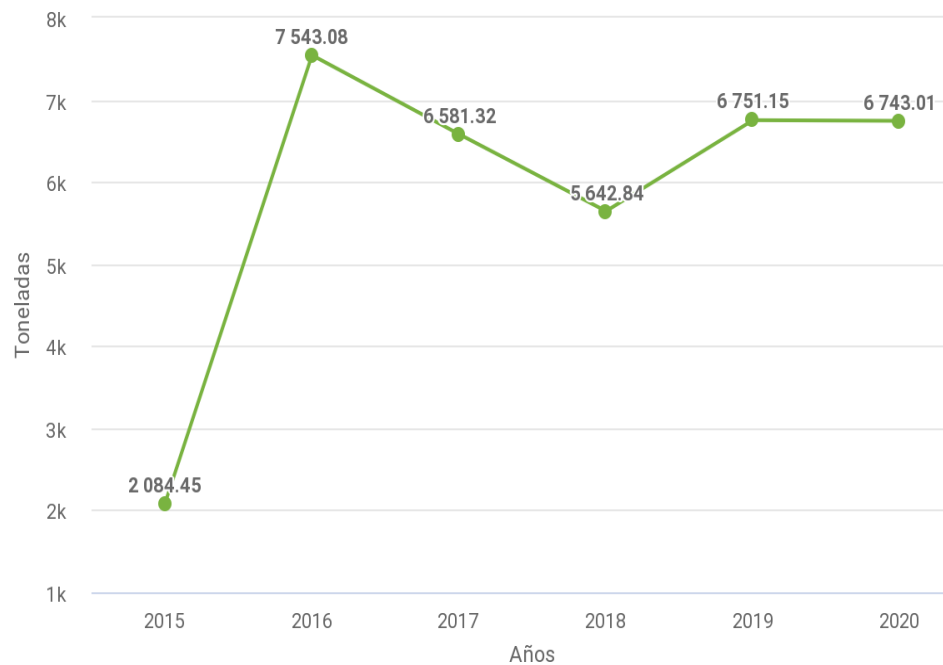
2.2. Residuos sólidos en la región Huánuco

Según las cifras del MINAM (2021), la región Huánuco al 2020 generó 113 658,73 t de residuos (Figura 4) y de ello solo 6 743,01 fueron dispuestos en un relleno sanitario (Figura 5). Esto representa el 5,93 % del total generado y evidencia una débil gestión de los residuos en nuestra región, en comparación al 54,94 % registrado a nivel nacional. Esta situación es preocupante, a pesar, de tener una generación per cápita de 0.7 (Figura 6), menor a la media nacional de 0.81 (MINAM, 2021), por lo que, demuestra que nuestra capacidad de recolectar y darle una disposición final segura a los residuos en la región Huánuco está en situación de emergencia.



Fuente: MINAM (2021)

Figura 4. Generación total de residuos sólidos municipales en la región Huánuco



Fuente: MINAM (2021)

Figura 5. Residuos sólidos municipales dispuestos en rellenos sanitarios en la región Huánuco



Fuente: MINAM (2021)

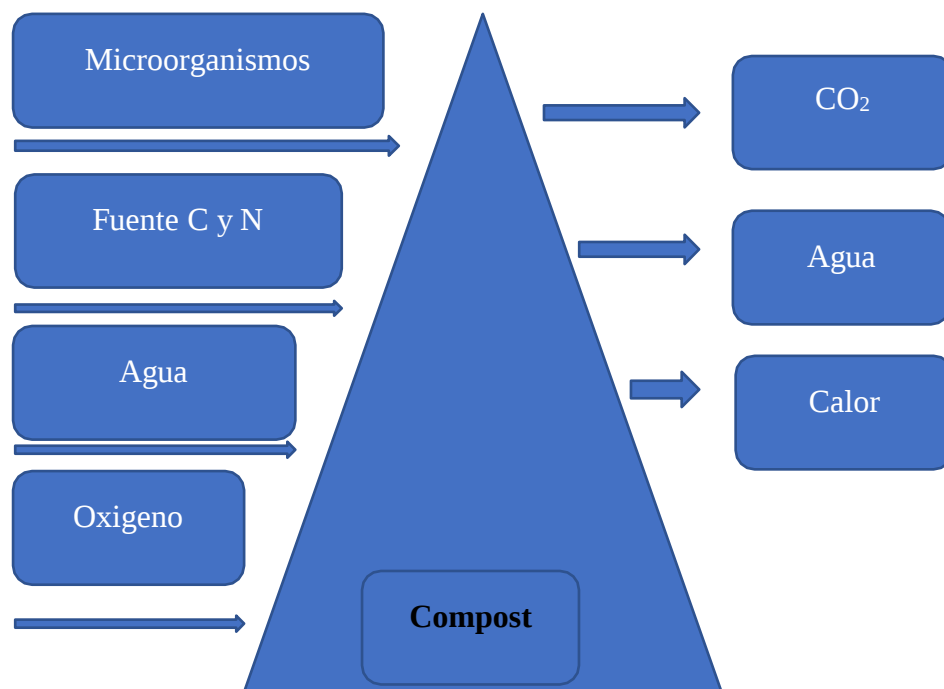
Figura 6. Generación per cápita de residuos sólidos municipales en la región Huánuco

2.3. Compost

Deriva del latín “componere”, que significa juntar. Es el resultado de la transformación de diversos materiales orgánicos, resultantes de actividades agroindustriales y de residuos urbanos, que sufren una transformación natural por acción microbiana en un ambiente adecuado y controlado para convertirlos en un producto estable para el uso agrícola (Hernández, 2003; Muñoz, 2005; Penagos et al., 2011; Olivares et al., 2012).

Penagos et al. (2011) señala que el compostaje es un proceso de biooxidación con intervención de diversos consorcios microbianos, aerobios y bajo condiciones de humedad controlada, sustratos orgánicos sólidos y fácilmente biodegradable, implica el paso por diferentes etapas del proceso (inicial, termófila, enfriamiento y maduración) hasta alcanzar una materia orgánica estable, libre de patógenos y contaminantes.

El procesamiento sin tecnología de microorganismos eficientes tarda aproximadamente 90 a 120 días en la primavera y el verano, que puede prolongarse hasta 180 días en invierno (Penagos et al., 2011), es el tiempo que tarda el compostaje para alcanzar la estabilización y la madures del producto final (Cabrera & Rossi, 2016).



Fuente: Adaptado de Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos -UAESP. (2014)

Figura 7. Proceso de degradación y formación de compost

2.3.1. Compostaje como estrategia para tratar residuos sólidos orgánicos urbanos

La tecnología más aplicada para el aprovechamiento de residuos urbanos es el compostaje, no obstante, su implementación en países en desarrollo es deficiente (Oviedo et al., 2017). Es una tecnología sencilla y económica para tratar y aprovechar residuos biodegradables que usualmente pasan a ser agentes de contaminación del ambiente (Florida & Reategui, 2019; Bailón & Florida, 2020). Por lo tanto, el tratamiento de los residuos a través de compostaje para su comercialización como insumos en la agricultura, son una oportunidad para generar trabajo, ingresos y emprendimientos empresariales rentables y sostenibles (Huamaní et al., 2020).

Las limitaciones de aplicar esta tecnología están relacionadas a la etapa de procesamiento, requiere control adecuado de agua, aire y calor (Penagos et al., 2011), esto, determina las características y el potencial fertilizante del compost para mejorar el suelo y los cultivos (Cabrera & Rossi, 2016). Además, los residuos orgánicos municipales representan el 69,03 % del total de residuos sólidos generados (Quillos et al., 2018), su tratamiento a través del compostaje es realmente una alternativa viable y segura.

La descomposición de residuos urbanos y en general de cualquier residuo no es una tarea sencilla, hay que lidiar con varios problemas, entre ellos, Penagos et al. (2011) y FAO (2013) y Florida et al. (2021) consideran:

- a) **Malos olores**
Se debe a falta de oxígeno, exceso de humedad, exceso de material verde, compactación de la pila y periodos muy amplios entre volteos de la pila.
- b) **Exceso de humedad**
Causado por exceso de lluvia o riego, agregar material seco y/o remover pueden ayudar.
- c) **Ausencia de fase termófila**
Se produce por las dimensiones de la pila (es pequeño) y por exceso de humedad, aspecto que se puede corregir dándole el volumen adecuado y reduciendo el riego e incrementando el volteo.
- d) **Presencia de moscas**
Se trata de residuos orgánicos urbanos, que traes una diversidad de materiales, una alternativa es cubrir dichos restos con tierra, hojas secas, compost estable, aserrín y estiércol de vacuno seco.

El control de estos factores permite optimizar el proceso de compostaje y obtener un compost de alta calidad.

2.3.2. Beneficios del compostaje de residuos sólidos orgánicos municipales

La UAESP (2014) señala que el aprovechamiento de residuos municipales genera diversos beneficios, además de disminuir los problemas sanitarios que pueden afectar las poblaciones adyacentes al relleno, los principales beneficios son:

a) Beneficios ambientales

- Reducción de residuos en relleno sanitario.
- Materia prima para fertilización conservacionista.
- Facilita la recuperación de suelos degradados.
- Promueve modelos de agricultura ecológica.
- Incentivan el aumento de la cobertura vegetal de la ciudad, al tener disponibilidad de sustratos para cultivar plantas.
- Sustituye el uso de tierra negra y el petróleo
- Regulan el pH del suelo y mejora el rendimiento de los cultivos.
- Reducen malos olores en los rellenos sanitarios.

b) Salud humana

- Produce alimentos orgánicos y libres de agroquímicos, fomentando la alimentación sana.
- Facilita el cultivo de plantas medicinales y/o de uso farmacológico.
- Previenen enfermedades, el buen manejo reduce la proliferación de vectores.

c) Económicos

- Consolidan proyectos con la producción de abonos y alimentos orgánicos.
- Minimizan costos al sustituir los agroquímicos, generando sostenibilidad, reducción de costos y autonomía al aprovechar los recursos locales para sus cultivos.

d) Soberanía alimentaria

- Producen alimentos de calidad y propicia la soberanía alimentaria.

e) Sociales

- Promueve la organización comunal a través de proyectos comunitarios.
- Permiten la recuperación de áreas degradadas.
- Generan valores y cambios culturales y ambientales.
- Genera integración de la comunidad y el intercambio de conocimientos.

2.3.3. Residuos compostables

Los residuos agrícolas son una de las fuentes más importantes, por los grandes volúmenes que se generan y la mayoría son compostables (Penagos et al., 2011; Ramos & Terry, 2014). Además, la NOCh 2880 (2004), la FAO (2013) y UAESP (2014), sugieren la siguiente lista de materiales compostables:

- Residuos sólidos orgánicos urbanos.
- Residuos agrícolas.
- Estiércoles diversos y camas de corral.
- Residuos de cocina.
- Alimentos en mal estado.
- Cáscaras de frutos.

- Aceites y grasas comestibles.
- Residuos madereros.
- Plumas, pelos y esquilado de animales.

Sin embargo, Penagos et al. (2011) no recomienda el uso de cáscaras de cítricos, debido a las sustancias nocivas que contienen. También, la NOCh 2880 (2004) sugiere que no se deben utilizar los siguientes materiales en un proceso de compostaje:

- Preservantes de madera.
- Residuos de productos anti manchas y anti sarro.
- Sustancias utilizadas en silos contaminados.

Finalmente, la FAO (2013) sugiere no incluir materiales como:

- Pegamentos, solventes, gasolina, petróleo, aceites sintéticos, pinturas.
- Plásticos, vidrios y metales.
- Especies vegetales con sustancias alelopáticas.
- Detergentes, insecticidas, antibióticos y otros.
- Animales muertos.

2.3.4. Faces del compostaje

La calidad del compost final es el resultado de un proceso controlado de factores ya descritos y estos deben permitir que durante el procesamiento de la pila instalada presente diferentes fases o etapas (Figura 8), diferenciadas por la temperatura, al respecto, la FAO (2013), cuando se trate de residuos generales procedente de la agricultura y UAESP (2014), para procesar residuos sólidos municipales, precisan que deben presentarse las siguientes fases:

a). Fase mesófila o fase I

El procesamiento inicia a temperatura ambiente y en pocos días la temperatura alcanza los 40°C, resultado de la actividad microbiana, que en esta fase utilizan las fuentes sencillas de carbono y nitrógeno produciendo calor. La descomposición de los azúcares en esta fase genera ácidos orgánicos que reducen los niveles de pH en la pila.

b). Fase termófila o fase II

También conocida como fase de higienización, las altas temperaturas eliminan microorganismos de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* Fase determinante en el compostaje de residuos urbanos, por su elevada carga de estos microorganismos de origen fecal, además, temperaturas mayores a 55°C eliminan huevos de helmintos, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas. Si esta fase se produce de manera adecuada se garantiza un producto higienizado y estable.

c). Fase de enfriamiento o fase III

Agotadas las fuentes de carbono y nitrógeno fácilmente degradable, la temperatura desciende a valores similares a la etapa inicial 40-45°C. Esta fase permite la degradación de polímeros más complejos como celulosa, hemicelulosa, etc., y aparecen costras de hongos visibles. Esta condición permite que los microorganismos mesófilos reinician su actividad, esta fase requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración.

d). Fase de maduración o fase IV

Período que puede tardar meses a temperatura ambiente, en esta fase se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización para la formación de ácidos húmicos (FAO, 2013). Además, recomienda monitorear los diferentes indicadores dentro de rangos en cada etapa del proceso (Tabla 4) para garantizar la calidad y la higienización del compost.

2.4. Normas técnicas para determinar la calidad del compost

El control de calidad en los abonos orgánicos tipo compost es importante para garantizar efectos positivos en el suelo y en los cultivos. Los potenciales efectos negativos (fitotóxicos) de un compost se producen por altos contenidos de amonio, ácidos volátiles, metales y sales, que pueden afectar el desarrollo radicular; por ello, antes de aplicar un compost es necesario contrastar la calidad con las normas técnicas disponibles (García et al., 2014). Además, la presencia de microorganismos de origen fecal puede contaminar los alimentos, y afectar la salud de las personas, particularmente por el consumo de hortalizas, que están expuestos a contaminación de tipo biológico (Rivera et al., 2009)

Definir la calidad es una acción necesaria, para identificar el estado de atributos importantes como: inocuidad, madurez, capacidad fertilizante, efectos residuales y fitotóxicos. En este sentido, contrastar los diferentes parámetros con las Normas Técnicas permitirán

clasificar, categorizar y determinar la calidad del compost (Rafael, 2015). Para García et al. (2014) los parámetros a considerar en un compost están relacionada con:

- Parámetros físicos: granulometría, humedad, partículas extrañas y olor.
- Químicos: MO, macro y micronutrientes.
- Biológicos: semillas no deseables y coliformes de origen fecal.

El compost presenta importantes cantidades de MO, N y macro y microelementos (Ramos & Terry, 2014), sin embargo, para constatar los niveles debe contrastarse con los rangos establecidos en las principales normas técnicas de calidad. Perú no dispone de Norma Técnica, por ello, este trabajo toma los lineamientos del Instituto Nacional de Normalización de la República de Chile-NCH 2880 (Tabla 5), Norma usada por las instituciones peruanas y recomendada por Bailón & Florida (2020). Además, se tienen otras Normas Técnicas, entre ellas: la de Colombia (NTC 5167) y la Norma Española-RD 824 (Tabla 6), Normas Técnicas que cubren algunos vacíos en cuanto al establecimiento de rangos para algunos parámetros.

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, frente a ello, la Norma Española (Tabla 3), fija para productos fertilizantes de origen orgánico valores para metales y microorganismos por gramo de producto elaborado.

2.5. Factores que influyen en la calidad del compost

Son factores que deben ser monitoreados para garantizar un producto final de buena calidad (Figura 8), estos factores son:

a). Temperatura

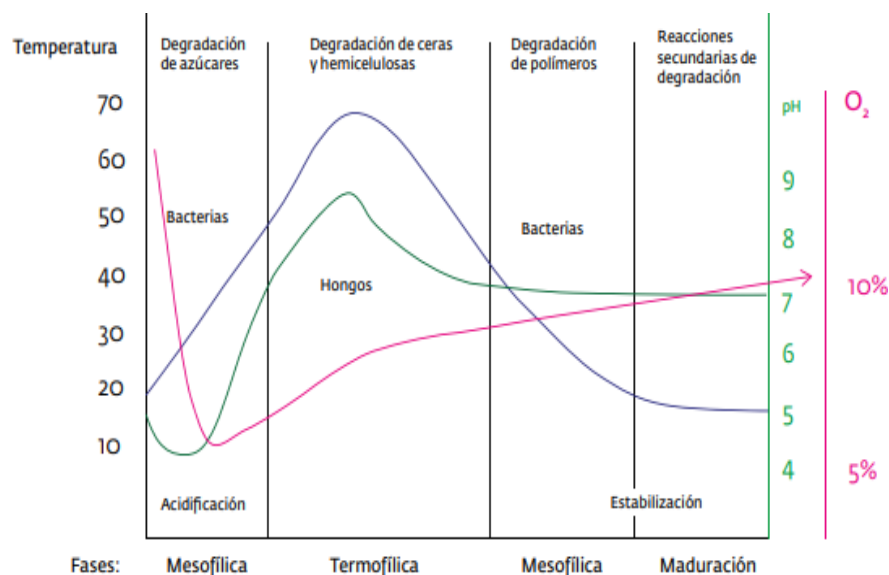
Los cambios de la temperatura (Figura 8) es consecuencia de procesos bio-oxidativos, producidos por microorganismos (Hernández, 2020). Además, las variaciones durante el procesamiento definen las diferentes etapas del compostaje. En la primera etapa la pila en cuestión de días alcanza valores superiores a los 45 °C, luego en la segunda un poco más prolongada la pila se mantiene en condiciones termófilas con medias de hasta 65 °C, en la tercera inicia un proceso lento de enfriamiento de las pilas descendiendo hasta la temperatura ambiente y finalmente es necesario dejar un periodo adicional denominado de maduración para permitir que la pila alcance la estabilización completa del producto final (FAO, 2013).

b). Humedad

Indicador importante del procesamiento que debe controlarse para garantizar un compost de calidad, se recomienda mantener entre 50- 55 % independientemente de la granulometría de los materiales y tamaño de las pilas y del sistema diseñado para el procesamiento. Contenidos menores a 45 % afecta sobre el metabolismo microbiano, alterando la calidad final, sin embargo, contenidos mayores de > 60 %, reducen el espacio aéreo y el oxígeno en el sistema, ambas condiciones impiden que las pilas alcancen las fases correspondientes (FAO, 2013).

c). Potencial de hidrogeno (pH)

El pH varía durante el compostaje influenciado por el tipo de residuo y la liberación de ácidos orgánicos por la biodegradación en la etapa inicial (Figura 8), por lo que normalmente baja al inicio y se incrementa al final (entre 4,50 a 8,50). En las fases iniciales el pH tiende a acidificar, en la segunda fase el pH tiende a incrementarse por la transformación del amonio en amoníaco, en la tercera fase y cuarta el pH del medio se estabiliza cercanos al neutro o ligeramente alcalino (FAO, 2013).



Fuente: UAESP (2014)

Figura 8. Fases del compostaje y factores del proceso

d). Oxígeno

El compostaje se produce en presencia de oxígeno, por ello, debe manejar adecuadamente la pila para mantener un nivel óptimo de oxigenación, para favorecer el desarrollo microbiano. Además, las pilas deben mantener entre 5-10 % de oxígeno (Figura 8). Valores superiores al 10 % reduce la temperatura y elimina humedad por evaporación, esto detiene la actividad microbiana por deficiencia de agua. Valores menores al 5% reduce la evaporación de agua, generando un ambiente anaeróbico con olores fétidos y acidificación en las pilas, por formación del ácido acético, sulfhídrico y metano (FAO, 2013).

e). Relación carbono-nitrógeno (C/N)

Debe fluctuar en 30 al inicio y en 15 al final del proceso (Hernández, 2020). La composición y proporción de los residuos compostados determina la relación C/N (FAO, 2013),

El carbono puede encontrarse en residuos con altos contenidos de carbohidratos, entre estos están aserrín, hojarasca, cascarilla de arroz, paja, papel, etc., y el N de las proteínas, ambos determinan el desarrollo de los microorganismos responsables del proceso de compostaje (UAESP, 2014)

2.6. Estado del arte

2.6.1. Antecedentes internacionales

Vargas et al. (2019), analizaron la pérdida de alimentos en la central de abastos del municipio de Acacias, Colombia y evaluaron el sistema de compostaje como alternativa de gestión ambiental. Encontraron un rendimiento del proceso de 61.7 %, y niveles de pH de 5,6, MO 27 %, P 1,19, Mg 1,26 y K 3,9 %. Concluyen, el compostaje permite reducir volúmenes de residuos urbanos y aprovechar el compost como un subproducto con alto valor agregado.

Alcocer et al. (2019) diseñaron un modelo matemático con un enfoque multiobjetivo que permita mejorar la gestión integral de la cadena de suministros del proceso de recolección de residuos sólidos urbanos en el cantón de Quevedo-Ecuador. Diseñaron la cadena de suministro para la gestión de residuos sólidos urbanos logrando minimizar el costo, maximizar el ahorro del impacto ambiental y maximizar la satisfacción del cliente.

Armitano et al. (2016) realizaron el diagnóstico de las situaciones socioambientales a través de los subsistemas natural, humano y construido para identificar y jerarquizar los impactos socioambientales por acumulación de residuos sólidos domésticos. Establecieron medidas preventivas, mitigantes y correctivas contempladas en el programa de

aprovechamiento y tratamiento de los residuos a través de campañas educativas para su recolección selectiva, orientado al tratamiento y aprovechamiento con tecnologías alternativas como el compostaje.

Widman et al. (2005) evaluaron el comportamiento agronómico de diferentes cultivos con aplicación de composta elaborado a partir 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.

2.6.2. Antecedentes nacionales y locales

Bailón & Florida (2020), evaluaron los indicadores fisicoquímicos y determinaron la calidad de los composts. No encontraron diferencias en los indicadores fisicoquímicos, excepto para N, y según la NTC 5167 y las recomendaciones de la OMS, corresponden a compost de buena calidad, mientras que la NCH 2880 los clasifica como compost de calidad intermedia.

Huamaní et al. (2020) caracterizaron los factores, condiciones de manejo, posibilidad de reutilización y costos e ingresos generados por la gestión de residuos sólidos. La generación, clasificación y venta de compost y residuos inorgánicos produjeron rentabilidad positiva en el 2017, Se generaron 75 000 t anuales de residuos; de ellas 72% fueron aprovechables. Los residuos de papel-cartón, plásticos, vidrio, metales incluyendo la producción de compost puede contribuir a la sostenibilidad de la gestión de los residuos urbanos.

Del Castillo (2019), evaluó el efecto del compost en el rendimiento del cultivo del maíz. El compost produjo cambios físicos, químicos y biológicos del suelo; disminuye la densidad aparente y mejora el color del suelo, eleva el pH, eleva el contenido de MO, N, P y K, al igual que la composición biológica del suelo, estos cambios favorecieron en altura, tamaño de mazorca, diámetro de tallo, peso de mazorca y rendimiento del maíz.

Vargas (2017) determinó la calidad del compost a partir de residuos sólidos orgánicos municipales en el Centro de Protección Ambiental “Santa Cruz”, Concepción-Huancayo. La calidad del compost se clasificó como Clase B. Según las características químicas la conductividad eléctrica lo clasifica como Clase B; mientras que el N, Cd, Cu, Pb, Zn, K, C/N y las características microbiológicas clasificaron como Clase B. La

calidad del compost por sus características físicas, químicas y microbiológicas se clasifica como Clase B.

Cabrera & Rossi (2016), evaluó a escala piloto la elaboración de compost a partir de residuos vegetales de las áreas verdes públicas del distrito de Miraflores. Sus resultados muestran que el compost final obtenido, se clasifican como clase B según la Norma Oficial Chilena NOCh 2880 y concluyen que la producción de compost a base de estos residuos es viable económica y técnicamente, tratando 230 Mg/mes de residuos.

Mendoza (2012), realizó una propuesta de tratamiento para los residuos vegetales generados en el campus de la Universidad de Piura, a través del compostaje y aplicaciones de EM. 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. 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.

Rivera et al. (2009) determinaron el nivel de coliformes fecales y la frecuencia de *Escherichia coli* en 85 muestras de hortalizas, obtenidas de manera aleatoria y expandidas en los principales mercados de Cajamarca. El 40% de muestras presentaron coliformes fecales, con elevado número más probable por gramo (NMP/g) e importante frecuencia de *E. coli* en perejil y lechuga. El análisis revela un alto nivel de contaminación fecal, un estado sanitario inaceptable y riesgo potenciales para la salud.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

La investigación se desarrolló en los distritos de Padre Felipe Luyando, Pucayacu, José Crespo y Castillo, Rupa Rupa, Daniel Alomía Robles y Castillo Grande, todos pertenecientes a la provincia de Leoncio Prado que aplican el compostaje como tratamiento a los residuos sólidos orgánicos recolectados en su jurisdicción (Figura 1), políticamente la provincia de Leoncio Prado pertenece a la región Huánuco.

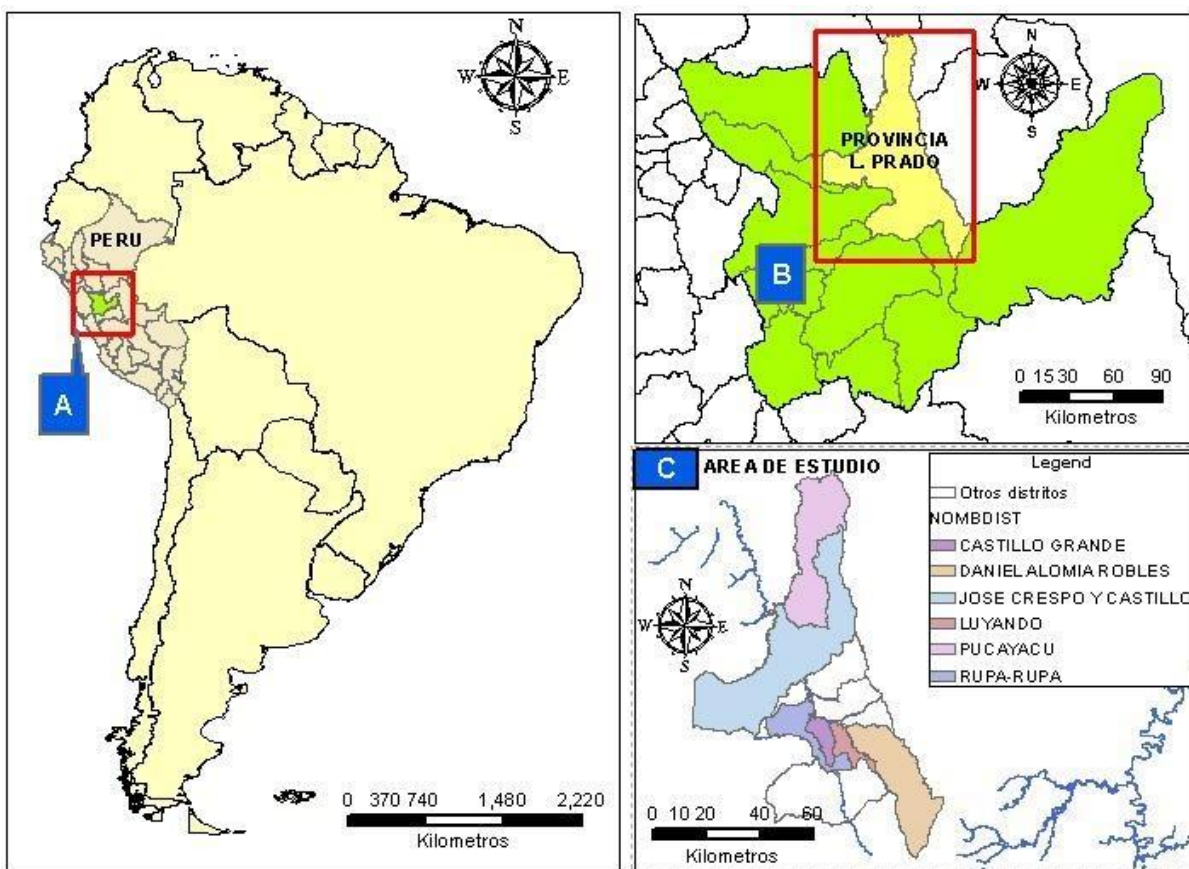


Figura 9. Localización geográfica del área de estudio

3.2. Características generales

3.2.1. Agroclimáticas

Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú- SENAMHI (2021), Leoncio Prado presenta régimen climático bimodal con medias de: 24,5 °C de temperatura, 84 % de humedad relativa y 3 400 mm de precipitación; régimen seco (junio a setiembre) y régimen lluvioso (octubre a mayo). Además, Holdridge (2000), clasifica el área

como bosque muy húmedo- Premontano Sub Tropical (bmh-PST), y Pulgar (2014) lo clasifica como ecorregión Rupa Rupa.

3.2.2. Sociales

La **Tabla 1** muestra la población a nivel de distritos y proyecta la generación de residuos en base a la generación diaria per cápita de la región Huánuco, de 0,7 Kg/hab/día (MINAM, 2021). Además, los distritos con mayor población son los que están aplicando el compostaje.

Tabla 1. Población al 2017 y generación de residuos por distritos

Distritos	Población	Producción de residuos (Kg)	Aplican compostaje
Rupa-Rupa	51 415	35 990,50	Si
Daniel Alomía Robles	7 965	5 575,50	No
Hermilio Valdizán	4 042	2 829,40	Si
José Crespo y Castillo	25 256	17 679,20	Si
Padre Felipe Luyando	10 020	7 014,00	Si
Mariano Damaso Beraún	9 379	6 565,30	Si
Pucayacu	4 762	3 333,40	No
Castillo Grande	13 332	9 332,40	Si
Pueblo Nuevo	5 712	3 998,40	No
Santo Domingo de Anda	3 745	2 621,50	No
Leoncio Prado	135 628	94 939,60	

Fuente: adaptado de INEI (2022)

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 y matraces 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.

3.3.3. Equipos de campo y laboratorio

Cámara fotográfica, navegador GPS, balanza gramera y analítica, estufa, mufla, pH metro, 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, biológicas y ambientales para evaluar el problema de la calidad del compost a base de residuos sólidos orgánicos municipales. Además, corresponde a un nivel de investigación descriptiva comparativa, porque se comparó indicadores físicos, concentración de macroelementos y metales, y se contrastó con las Normas Técnicas de calidad de los abonos orgánicos producidos en la provincia.

3.4.2 Diseño de la investigación

Corresponde a una investigación no experimental mixta, incluye una parte descriptiva y otra comparativa, con ajuste estadístico de diseño completamente aleatorizado (DCA), donde los tratamientos lo constituyeron los compost producidos en los diferentes distritos de la provincia: distrito Rupa Rupa (T1), Castillo Grande (T2), Padre Felipe Luyando (T3), José Crespo y Castillo (T4), Pucayacu (T5) y Daniel Alomía Robles (T6). 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 entre los macros y microelementos de los abonos evaluados.

3.5. Metodología

3.5.1. Descripción del manejo aplicado en el proceso de compostaje

Para cumplir con este objetivo la investigación realizó lo siguiente:

- a).** Se visitó los 10 distritos que conforman la provincia: Rupa Rupa, José Crespo y Castillo, Mariano Dámaso Beraún, Padre Felipe Luyando, Daniel Alomía Robles, Hermilio Valdizán, Castillo Grande, Pucayacu, Santo Domingo de Anda y Pueblo Nuevo.
- b).** Se identificó a los distritos que aplican la técnica del compostaje entre ellos: Rupa Rupa, José Crespo y Castillo, Padre Felipe Luyando, Daniel Alomía Robles, Castillo Grande y Pucayacu.

- c). Se realizó la coordinación respectiva con los responsables (Gerentes de área) para visitar las plantas de procesamiento y se registró: descripción de la tecnología aplicada, periodos de volteo y tiempo de compostaje.

3.5.2. Determinación de indicadores fisicoquímicos en compost a base de residuos sólidos urbanos

Para cumplir con este objetivo la investigación realizó lo siguiente:

- a). Se realizó el muestreo en pilas previamente compostadas y listas para ser distribuidas en cada distrito seleccionado. Se extrajo 5 muestras al azar y se colocó en bolsas herméticas y se enviaron al laboratorio de suelos, Agua y Ecotoxicología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para los análisis correspondientes.
- b). Se evaluaron indicadores (Tabla x) fisicoquímicos en compost producidos por cada municipalidad distrital identificada. Los diferentes indicadores se evaluaron a través de: pH por método electrométrico, contenido de Materia Orgánica en base seca por el método de digestión ácida (Walkley y Black), las cenizas por calcinación, el P_2O_5 por Metavanadato y lectura en espectro UV-Visible, N_2 con el método Kjendhal, Ca, Mg, K y Na por Acetato de amonio y lectura en espectrofotómetro de absorción atómica (EAA), además, los metales Cu, Fe, Mn y Zn por extracción con solución nítrico perclórico 4:1 y lectura en EAA (método EPA 200.7-1994), protocolos descritos en Bazán (2017).

3.5.3. Determinar la calidad de compost en base a los criterios de la Norma Oficial Chilena 2880 y la Norma Técnica Española, Real Decreto 824

La investigación tomó como criterios de contraste los lineamientos y rangos del Instituto Nacional de Normalización de la República de Chile, Norma Técnica N° 2880 aprobada en 2004 (Tabla 2), y en el caso de los micronutrientes (metales) se contrastó con la Norma Técnica Española (Tabla 3), Real Decreto 824 (2005).

3.6. Análisis estadístico

El diseño utilizado es completamente aleatorizado DCA en donde los tratamientos lo constituyen los distritos que producen compost, con tamaño muestral $n = 24$ (4 muestras por distrito). 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 fisicoquímicos entre los compost evaluados. Para el procesamiento se utilizó el software IBM-SPSS 25.

3.7. Población y muestra

La población estuvo constituida por 10 distritos que conforman la provincia. La muestra lo constituyen los distritos que aplican el proceso de compostaje como tratamiento a sus residuos sólidos orgánicos que se generan en su jurisdicción, el tipo de muestra es sistemática, porque, todos los distritos que aplican el tratamiento de sus residuos a través del compostaje fueron tomadas como parte de la muestra.

3.8. Variables en estudio

- Técnica de procesamiento
- Indicadores fisicoquímicos (N, P, K, Ca, Mg, Na, Cu, Zn, Mn y Fe) del compost
- Calidad del compost (A, B y C)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Manejo Aplicado en el proceso de compostaje

La **Tabla 2**, muestra los distritos que aplican el compostaje como técnica para el tratamiento de los residuos orgánicos de su respectiva jurisdicción. Además, de la verificación en campo y coordinación con los responsables de las plantas de compostaje se registra el periodo de volteo, el tiempo de compostaje y aplicación de EM.

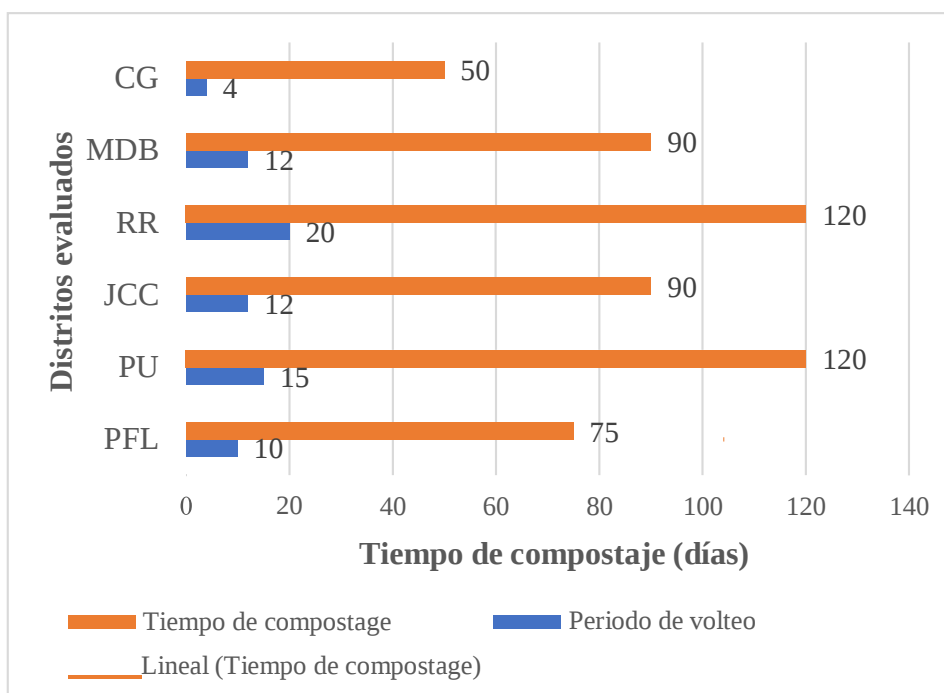
Tabla 2. Criterios técnicos de procesamiento aplicados según distritos

Distrito	Tecnología aplicada			Criterio de volteo		Tiempo de compostaje (días)
	Volumen de pila (M ³)	Tradicional + EM	Ma/Me	Nº veces	Periodicidad (días)	
Padre Felipe Luyando (Naranjillo)	5	Si	Ma	7	10	75
Pucayacu	5	Si	Ma	7	15	120
José Crespo y Castillo (Aucayacu)	7	Si	Ma	7	12	90
Rupa Rupa (Tingo María)	25	Si	Me	6	20	120
Mariano Dámaso Beraún (Las Palmas)	5	Si	Ma	7	12	90
Castillo Grande	7	Si	Ma	12	4	50

EM microorganismos eficiente, Ma/Me manual/mecánico.

Todos los distritos aplican microorganismos eficientes (EM), preparados artesanalmente en las respectivas plantas y aplicadas en dosis aproximada de 5-10 L de EM activado/pila, en tres momentos (inicio, intermedio y previo al enfriamiento), aspecto que requiere mayores estudios para determinar su dosificación, momento de aplicación y efecto sobre el tiempo de procesamiento y calidad del compost final.

La **Figura 10** muestra una relación interesante entre el periodo de volteo y el tiempo de procesamiento del compost, el distrito Castillo Grande aplica el periodo más corto de volteo (4 días) y presenta el tiempo de procesamiento mas corto (50 días), por el contrario Rupa Rupa presenta el periodo mas amplio de volteo (15-20 días) y consecuentemente un mayor tiempo de procesamiento (120 días); por lo tanto, proyectando una línea de tendencia en la Figura x podemos evidenciar una relación directamente proporcional entre el periodo de volteos y el tiempo de procesamiento.



PFL Padre Felipe Luyando, PU Pucayacu, JCC José Crespo y Castillo, RR Rupa Rupa, MDB Mariano Dámaso Beraun, CG Castillo Grande

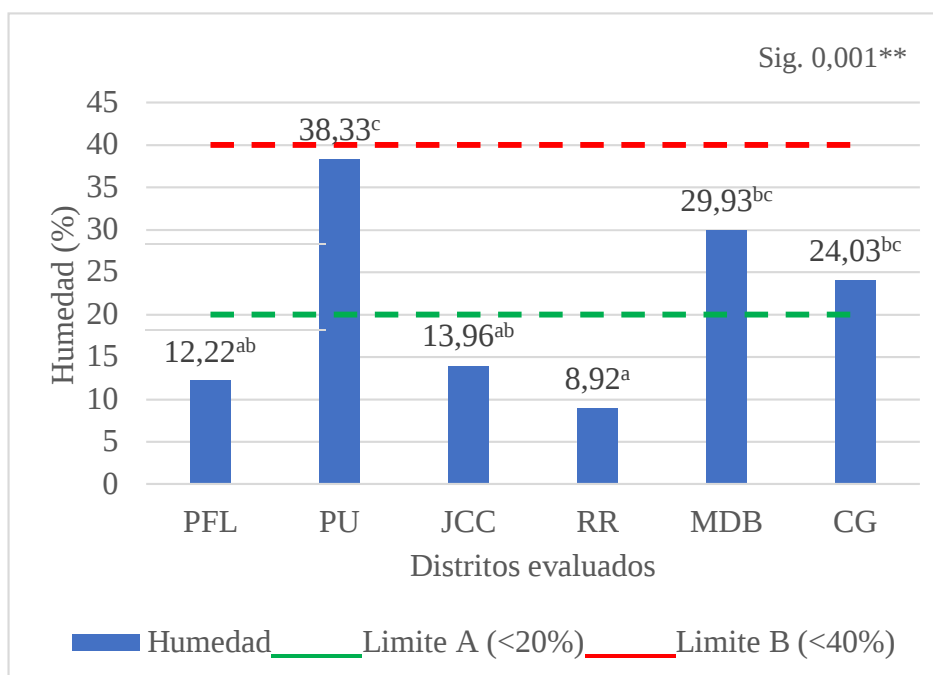
Figura 10. Valores de pH en compost producidas por diferentes municipalidades

Las referencias consultadas permiten contrastar este comportamiento, entre ellos, Florida & Reategui (2019) muestran periodos de volteos entre 5 a 6 días y el procesamiento duro 75 días; Bohórquez et al. (2019) aplicó un periodo de 7 días entre volteo y encontró mejor calidad del compost a los 90 días de procesamiento, y Castillo (2020) en compost obtenido a partir de residuos orgánicos y microorganismos eficaces (EM) en el distrito de Huayucachi, Huancayo, aplicó periodos de volteo de 15 días y el proceso duró 3 meses. Por tanto, la relación identificada es contrastada con las referencias y es necesario abordar este tema con nuevas evaluaciones para optimizar el tiempo de procesamiento, evitar mayores costos de procesamiento y mejorar la calidad del producto.

4.2. Indicadores fisicoquímicos en compost final

4.2.1. Contenido de humedad

La **Figura 11** muestra los valores medios, la desviación estándar, la prueba post-hoc de Tukey y las diferencias estadísticas entre los compost producidos en los diferentes distritos. Además, se comparan los valores medios con los rangos límites de compost de alta calidad (clase A) y de calidad media (clase B) establecido en la norma oficial chilena (NCH 2880).



PFL Padre Felipe Luyando, PU Pucayacu, JCC José Crespo y Castillo, RR Rupa Rupa, MDB Mariano Dámaso Beraun, CG Castillo Grande, letras diferentes en la misma columna expresan diferencias estadísticas ($p < 0,05$), Sig. significancia, ** altamente significativo

Figura 11. Valores de humedad en compost producidas por diferentes municipalidades

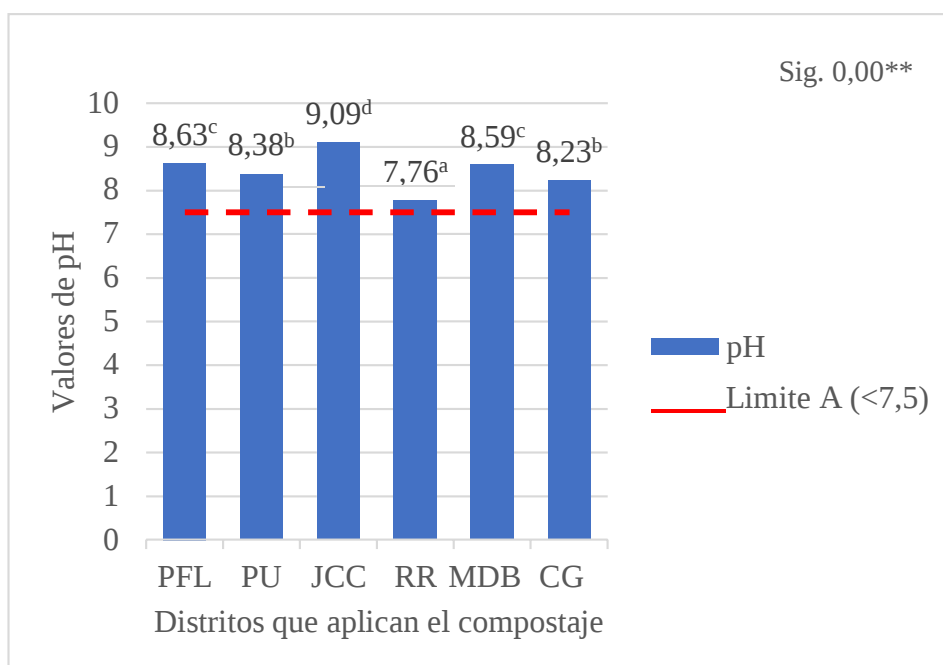
Los resultados muestran diferencias estadísticas entre los compost evaluados para el indicador humedad y corresponden a compost de clase A para los distritos PFL, JCC y RR, y en la clase B para PU, MDB y CG. Ambos grupos están dentro del rango de un compost que puede aplicarse en la agricultura. Sin embargo, Bohórquez et al. (2015) advierte correlación negativa con la mayoría de los nutrientes, entre ellos, N, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn, lo que evidencia la importancia del control de la humedad para obtener un compost de calidad, además, el exceso de humedad tiene repercusión directa sobre el potencial fertilizante de un compost que compromete el peso del producto y puede afectar los cálculos de la cantidad efectiva a aplicar por unidad de área y/o número de plantas (Bailón & Florida, 2020). Por ello, Bohórquez et al. (2015) sugiere disminuir el contenido de humedad a través de tratamientos adicionales, como solarización en condiciones controladas para deshidratar y quitar humedad al producto final antes de ser utilizado en campo, o en su defecto reducir los periodos de volteos de las pilas compostadas.

En general el contenido de humedad está dentro de las exigencias de la norma técnica 2880 y son valores típicos en la mayoría de reportes, entre ellos Castillo (2020) encontró valores medios entre 27,17- 40,59 %, Bohórquez et al. (2015) encontró medias entre

36,4-44,30%, también, Bailón & Florida (2020) encontró valor medio para compost municipal de 32.28%. Por tanto, los resultados presentan valores típicos y solo los distritos de PU, MDB y en menor medida CG requieren de tratamiento previo de deshidratación para optimizar su aplicación y alcanzar la Clase A (<20% de humedad) establecida por la NCH 2880.

4.2.2. Potencial de hidrogeno (pH)

La **Figura 12** muestra los valores medios de pH encontrados según los distritos evaluados, además, el análisis post-hoc de Tukey para identificar los subgrupos homogéneos y las diferencias estadísticas entre distritos. También, se muestra el valor referencial de un compost de alta calidad (Clase A) según la NCH 2880.



PFL Padre Felipe Luyando, PU Pucayacu, JCC José Crespo y Castillo, RR Rupa Rupa, MDB Mariano Dámaso Beraun, CG Castillo Grande, letras diferentes en la misma columna expresan diferencias estadísticas ($p < 0,05$), Sig. significancia, ** altamente significativo

Figura 12. Valores de pH en compost producidas por diferentes municipalidades

Los valores de pH (7,76 a 9,09) se encuentran fuera del rango de un compost de alta calidad o Clase A, por defecto corresponde a un compost de clase B o calidad intermedia y según la NCH 2880 presentaría algunas restricciones de uso. Además, el pH elevado al parecer es independiente al periodo de volteo y el tiempo de compostaje y más bien respondería a los materiales sometidos al proceso (García et al., 2014; Barbaro, 2019; Florida & Reategui, 2019; Bailón & Florida, 2020). También, es conocido que los valores tienden a ser bajos al inicio e incrementar hacia el final del proceso, variando entre 4 a 9 (FAO, 2013).

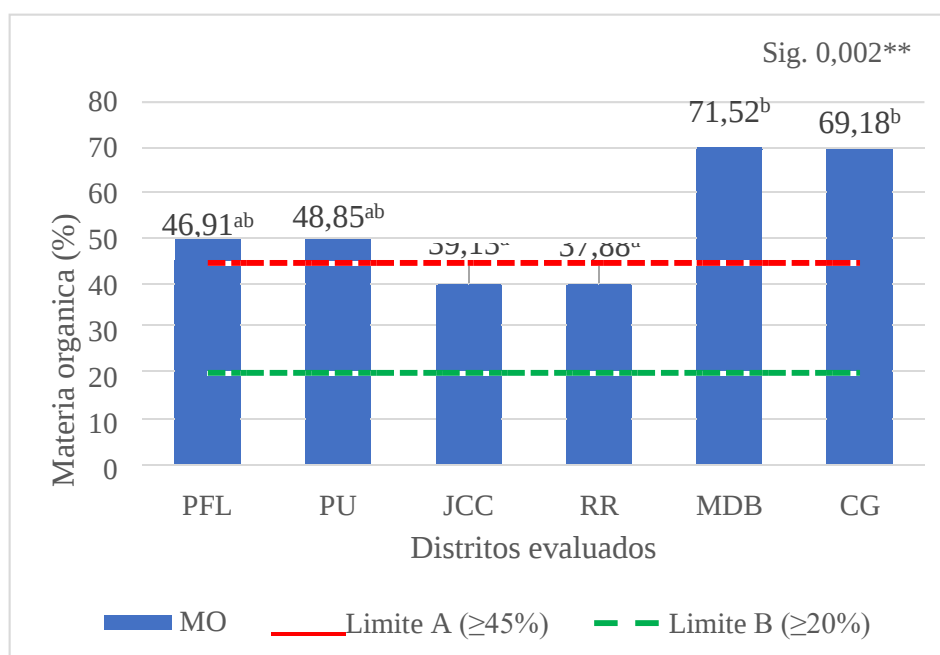
Los valores medios de pH corresponden a un nivel de ligeramente alcalino a alcalino en todos los distritos. Según Carrión et al. (2008) se debe a una concentración menor de iones intercambiables de hidrógeno y mayor de calcio, magnesio y sodio, en este caso el pH tiene gran influencia sobre la disponibilidad de los nutrientes, por ello, para alcanzar los valores recomendado por la norma 2880 es necesario aplicar técnicas para corregir el pH mediante la adición de azufre, sulfato ferroso, sulfato de aluminio u otros compuestos azufrados (Barbaro, 2019). Además, los resultados encontrados son similares a lo reportados por La Cruz (2019), utilizando residuos orgánicos de la Municipalidad de Chilca-Huancayo, también, Vargas (2017) en residuos sólidos orgánicos de la ciudad de Concepción-Huancayo, donde el pH vario de 8,85 a 8,95. Sin embargo, estos valores no solo se observan en compost a base de residuos municipales, también, se reportan en compost a base de otros residuos, entre ellos, Bailón & Florida (2019) encontraron en compost a base de cascara de cacao (8,1), residuo municipal (8,13) y estiércol de vacuno (8,33); también, Florida & Reategui (2019) encontraros valores entre 7,79 a 8,32 en compost de plumas de pollo y estiércol de vacuno. En este contexto, los valores de pH encontrados son típicos según las referencias y requieren la aplicación de técnicas de corrección antes de ser utilizados como enmienda o sustrato.

4.2.3 Materia orgánica (MO)

La **Figura 13**, muestra los valores medios de MO encontrados según los distritos evaluados, además, el análisis post-hoc de Tukey para identificar los subgrupos homogéneos y las diferencias estadísticas entre distritos. También, se muestra el valor referencial de un compost de alta calidad (Clase A) y calidad intermedia (Clase B) según la NCH 2880. Los valores de MO presentan diferencias altamente significativas y varían entre 37,88 a 71,52 %, de ellos, los distritos JCC y RR se encuentran dentro del rango de un compost de calidad intermedia o Clase B, y los valores de MO para PFL, PU, MDB y CG se encuentran en el rango de un compost de clase A o alta calidad, según la NCH 2880, estos últimos presentarían algunas restricciones de uso.

La MO resulta de un proceso de descomposición en el que se transforman los residuos orgánicos a su forma inorgánica una vez alcanzado el máximo grado de descomposición, estos compuestos son altamente estables y de lenta degradación, que al ser aplicados al suelo mejoran las condiciones fisicoquímicas y aportan carbono para mantener la biodiversidad del agroecosistema (FAO, 2013); por ello, es importante resaltar que los compost evaluados están dentro de los valores exigidos y presentan valores similares a los reportado en compost a base de residuos solidos urbanos (Vargas, 2017; Bailón & Florida, 2019; La Cruz,

2019) y a compost en base a otros residuos agrícolas (Mendoza, 2012; Hernández et al., 2013; Florida et al., 2016) y pecuarios (Rafael, 2015; Florida & Reategui, 2019). Sin embargo, las diferencias encontradas entre los compost pueden estar relacionadas al volumen de la pila, el periodo entre volteos y el tiempo de compostaje, y los valores bajos para los distritos JCC y RR podrían mejorarse aplicando estiércol de vacuno en un 20 %, como lo recomienda García et al. (2019) quienes alcanzaron un nivel medio de 68,5 % de MO con esta proporción.



PFL Padre Felipe Luyando, PU Pucayacu, JCC José Crespo y Castillo, RR Rupa Rupa, MDB Mariano Dámaso Beraun, CG Castillo Grande, letras diferentes en la misma columna expresan diferencias estadísticas ($p < 0,05$), Sig. significancia, ** altamente significativo

Figura 13. Niveles de MO en compost producidas por diferentes municipalidades

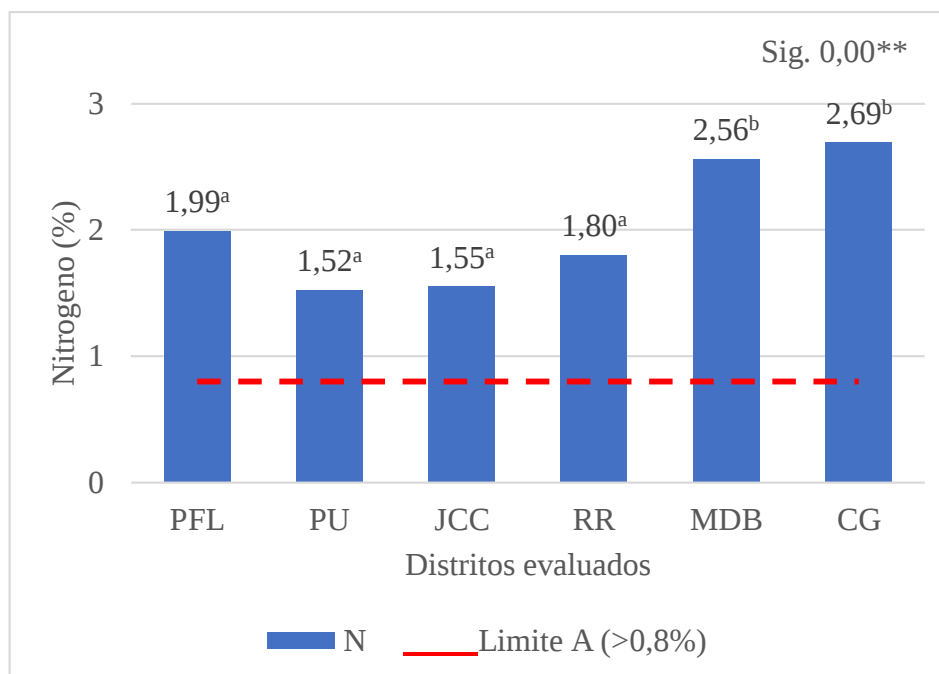
4.2.4 Nitrógeno (N)

La **Figura 14** muestra los valores medios de N encontrados según los distritos evaluados, además, el análisis post-hoc de Tukey para identificar los subgrupos homogéneos y las diferencias estadísticas entre distritos. También, se muestra el valor referencial de un compost de alta calidad (Clase A) según la NCH 2880. Los valores de N presentan diferencias altamente significativas y varían entre 1,52 a 2,69 %, donde, todos los distritos se encuentran dentro del rango de un compost de clase A o alta calidad, estos no presentarían restricciones de uso y muestran a estos compost con buen potencial fertilizante.

El Nitrógeno es un macronutriente primario para la planta ya que está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo y en la absorción de otros nutrientes

(FAO, 213). La concentración de N es muy importante en el compost, en cierta medida define su potencial para ser usado como una enmienda, por ello, la NCH 2880 exige valores de N total $\geq 0.8 \%$, aunque, para la FAO (2013) y la NTC 5167 (2011) un compost ideal debe tener medias $>1 \%$ de N en base seca.

Los valores encontrados superan las exigencias de las normas técnicas y son valores típicos en comparación con otros resultados de compost a base de residuos sólidos urbanos, entre ellos, Bailón & Florida (2019) reporta media de 1.43% de N en compost producidas en el distrito de Rupa Rupa-Huánuco; también, La Cruz, (2019) encontró medias entre 0.98 a 1.36% en el distrito de Chilca – Huancayo, Vargas (2017) en Concepción-Huancayo encontró un valor medio de 0.73% a 120 días de procesamiento. Además, los resultados son similares en comparación con compost a base de otros residuos que se generan en la agricultura como escobajo de palma (1.84%), residuos de plátano (1.21%), cascaras de cacao (0.92%) y 1.92% con pulpa de café (Florida et al., 2021), y 0.92 a 1.19% de N en rastrojos de caña de azúcar (Pérez et al., 2011); sin embargo, ninguno de estos valores logra alcanzar lo reportado por Florida & Reategui (2019) de 4.8% de N en pilas con 30% de plumas de pollo y 70% de estiércol de vacuno.

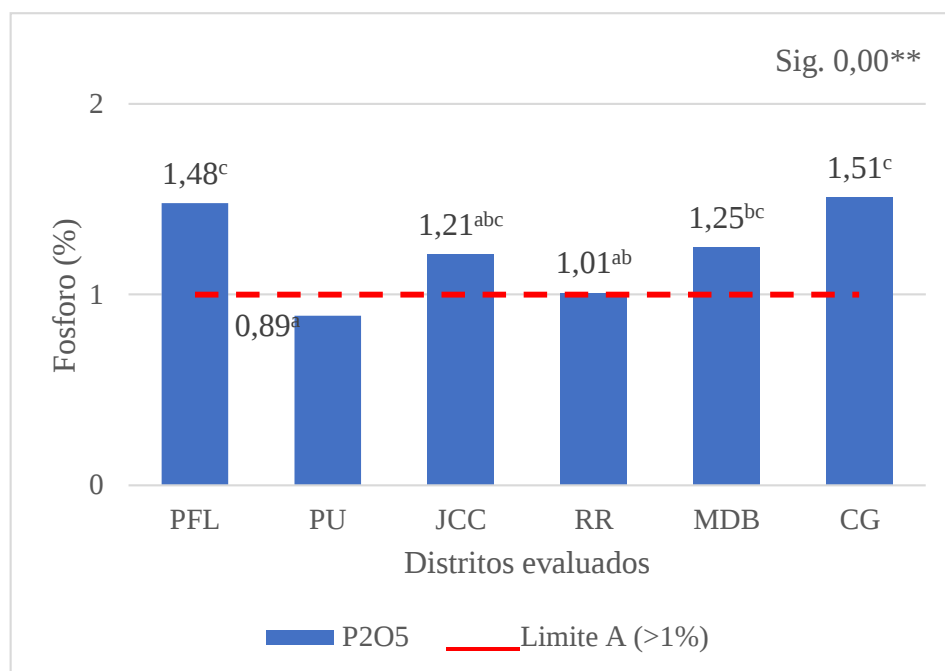


PFL Padre Felipe Luyando, PU Pucayacu, JCC José Crespo y Castillo, RR Rupa Rupa, MDB Mariano Dámaso Beraun, CG Castillo Grande, letras diferentes en la misma columna expresan diferencias estadísticas ($p < 0,05$), Sig. significancia, ** altamente significativo

Figura 14. Niveles de N en compost producidas por diferentes municipalidades

4.2.5 Niveles de fósforo (P_2O_5)

La **Figura 15** muestra los valores medios de P según los distritos evaluados, además, el análisis post-hoc de Tukey para identificar los subgrupos homogéneos y las diferencias estadísticas entre distritos. También, se muestra el valor referencial de un compost de alta calidad (Clase A) según la NCH 2880. Los valores de P presentan diferencias altamente significativas y varían entre 0,89 a 1,51 %, donde, todos los distritos se encuentran dentro del rango de un compost de clase A o alta calidad, excepto PU, estos no presentarían restricciones de uso y pueden aplicarse como enmienda en la agricultura.



PFL Padre Felipe Luyando, PU Pucayacu, JCC José Crespo y Castillo, RR Rupa Rupa, MDB Mariano Dámaso Beraun, CG Castillo Grande, letras diferentes en la misma columna expresan diferencias estadísticas ($p < 0,05$), Sig. significancia, ** altamente significativo

Figura 15. Niveles de P_2O_5 en compost producidas por diferentes municipalidades

El fósforo es el segundo macronutriente primario para la planta ya que está involucrado en procesos de transferencia de energía, por lo que es esencial en la fotosíntesis (FAO, 213). La concentración de P es muy importante en el compost, a pesar que la NCH 2880 no exige valores límites de P, sin embargo, la NTC 5167 (2011) consideran que un compost ideal debe tener medias >1 % en base seca y la OMS sugiere valores entre 0,30 a 1,80 % (Soriano, 2016). En tal sentido, los resultados de P cumplen con las normas citadas y presentan valores similares a los reportados por Castillo (2020) medias entre 1,27 a 1,54 %, y Bailón & Florida (2019) encontraron una media de 1,57 % de P_2O_5 en compost de residuos municipales con aplicación de microorganismos eficientes. Además, según Florida et al. (2021) los resultados presentan mayores contenidos en P que un compost a base de residuos de plumas y

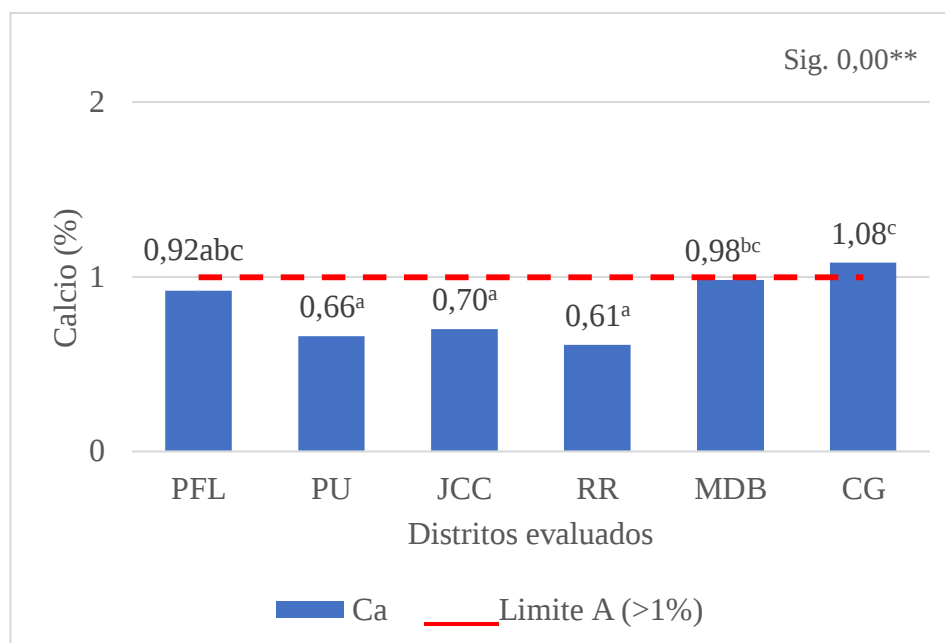
estiércol de vacuno (0,35 %), de residuos de plátano (0,44 %) y de cascara de cacao (0,03 %), sin embargo, serían menores a los compost a base de pulpa de café (1,58 %) y escobajo de palma que tiene en promedio 2,13 % de P_2O_5 .

4.2.6 Niveles de calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K)

La **Figura 16, 17 y 18** muestran los valores medios de Ca, Mg y K según los distritos evaluados, además, el análisis post-hoc de Tukey para identificar los subgrupos homogéneos y las diferencias estadísticas entre distritos. También, se muestra el valor referencial de un compost de alta calidad (Clase A) según la NCH 2880. Los valores de Ca presentan diferencias altamente significativas y varían entre 0,61 a 1,08 %, donde, todos los distritos se encuentran por debajo del rango de un compost de clase A, excepto CG. También, los contenidos de Mg presentan diferencias altamente significativas y varían entre 0,29 a 0,40 %, donde, todos los distritos no alcanzan el rango de clase A, y en el caso del K los valores presentan diferencias altamente significativas y varían entre 0,49 a 1,16 %, donde, todos los distritos se encuentran por debajo del rango de un compost de clase A, excepto MDB. En general, estos no presentarían restricciones de uso y pueden aplicarse como enmienda en la agricultura.

El Ca (**Figura 16**) es un macronutriente secundario y es un componente estructural importante de las células vegetales, relacionada directamente con el crecimiento de la raíz y la calidad de los frutos. Su deficiencia provoca trastornos en la raíz, hojas, tamaño de frutos, rajado de frutos, etc., (FAO, 2013). Además, altas concentraciones en los suelos indica pH neutro deseable para la mayoría de los cultivos, es común encontrar deficiencias en condiciones de suelos ácidos, por ello, es conveniente mantener o mejorar los niveles de Ca para una buena nutrición y control de elementos tóxicos como Al en suelos ácidos y Na en suelos alcalinos (Bohn, 1993).

Los resultados de Ca muestran que solo el distrito de CG presenta un valor medio $>1\%$, lo que corresponde a un compost de alta calidad, el resto no logra alcanzar esta cifra exigida por la NCH 2880. Son valores típicos encontrados en compost a base de residuos urbanos, entre ellos tenemos a Vargas (2017) encontró en promedio 0,273 % de Ca, Barbaro et al. (2019) media de 0,87 %; sin embargo, estos valores podrían mejorar si se combinan con otros residuos, así, La Cruz (2019) alcanza medias 4,5 a 5,5 % al combinar residuos urbanos, aserrín y poda de jardín en proporción 3-2-1, también, Florida et al. (2021) sugiere el uso de pulpa de café y escobajo de palma ya que el compost de estos residuos logran alcanzar medias de 3,15 % y 2,90 % de Ca respectivamente.

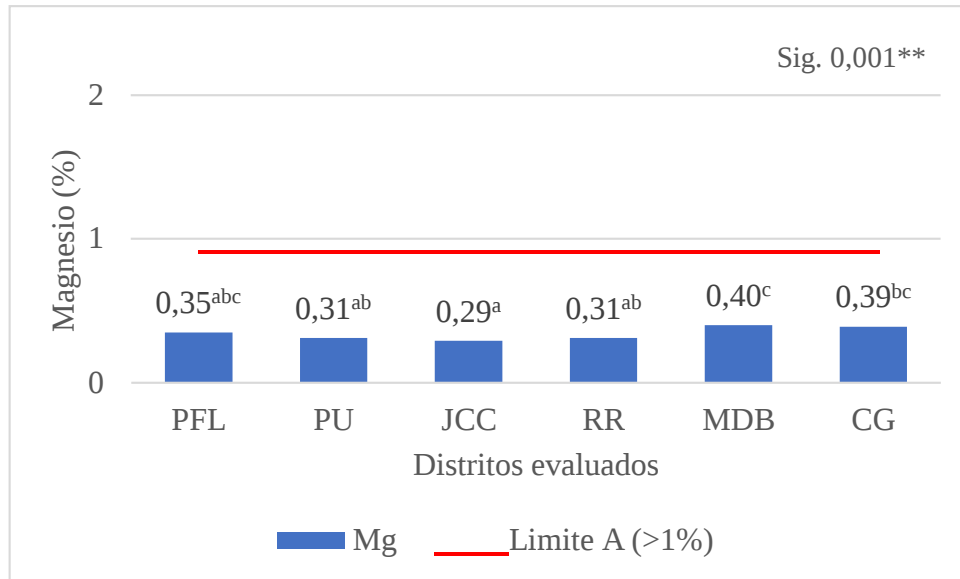


PFL Padre Felipe Luyando, PU Pucayacu, JCC José Crespo y Castillo, RR Rupa Rupa, MDB Mariano Dámaso Beraun, CG Castillo Grande, letras diferentes en la misma columna expresan diferencias estadísticas ($p < 0,05$), Sig. significancia, ** altamente significativo

Figura 16. Niveles de Ca en compost producidas por diferentes municipalidades

Respecto al Mg (**Figura 17**) es un macronutriente secundario componente básico de la clorofila y está involucrado directamente en el proceso de fotosíntesis, metabolismo de glucídico y activación de enzimas que intervienen en la síntesis de los ácidos nucleicos y proteínas en la planta (Reyes et al. 2017), por ello, su concentración en niveles mayores a 1% es exigida por la NCH 2880, que en ningún caso los compost evaluados alcanzan este valor.

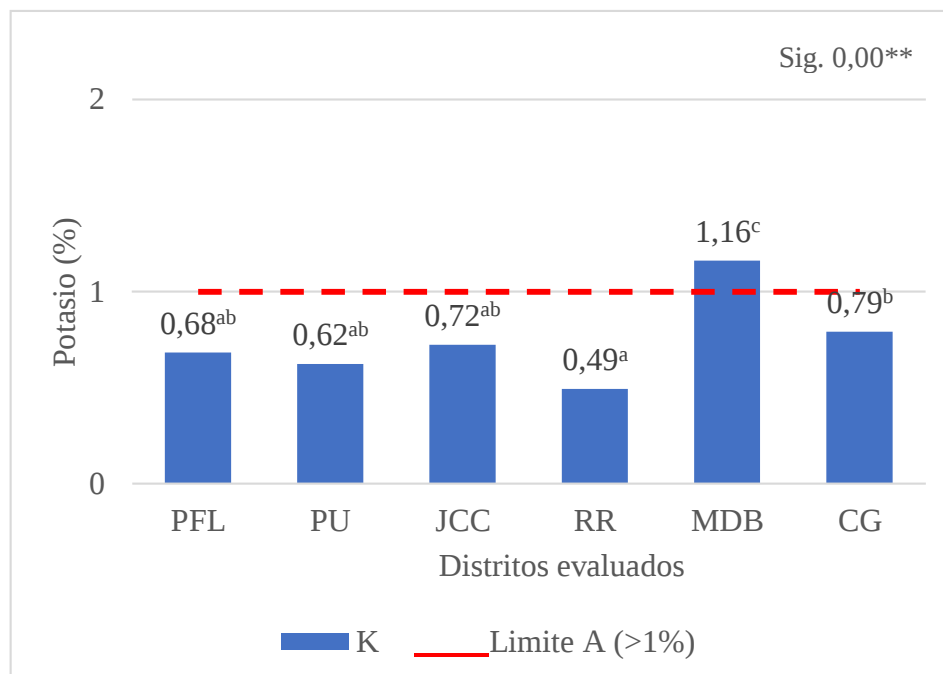
Los resultados corresponden a compost de calidad intermedia o clase B, con una media relativamente baja, sin embargo, las referencias presentan valores muy variables en compost a base del mismo tipo de residuo urbano, como el reportado por Vargas (2017) con promedio de 0,114 % de Mg, Bailón & Florida (2020) de 1.17 % también Castillo (2020) un promedio de 0,903 %, esto podría mejorarse combinando el residuo urbano con pulpa de café y escobajo de palma, que en compost final pueden alcanzar valores de 0,97 y 0,89 % de Mg (Florida et al., 2021).



PFL Padre Felipe Luyando, PU Pucayacu, JCC José Crespo y Castillo, RR Rupa Rupa, MDB Mariano Dámaso Beraun, CG Castillo Grande, letras diferentes en la misma columna expresan diferencias estadísticas ($p < 0,05$), Sig. significancia, ** altamente significativo

Figura 17. Niveles de Mg en compost producidas por diferentes municipalidades

El K (**Figura 18**) es un macronutriente primario, juega un papel vital en la síntesis de carbohidratos, proteínas y forma parte de la estructura vegetal; es responsable de la tolerancia a sequías, heladas, salinidad y resistencia al ataque de enfermedades (FAO, 2013).



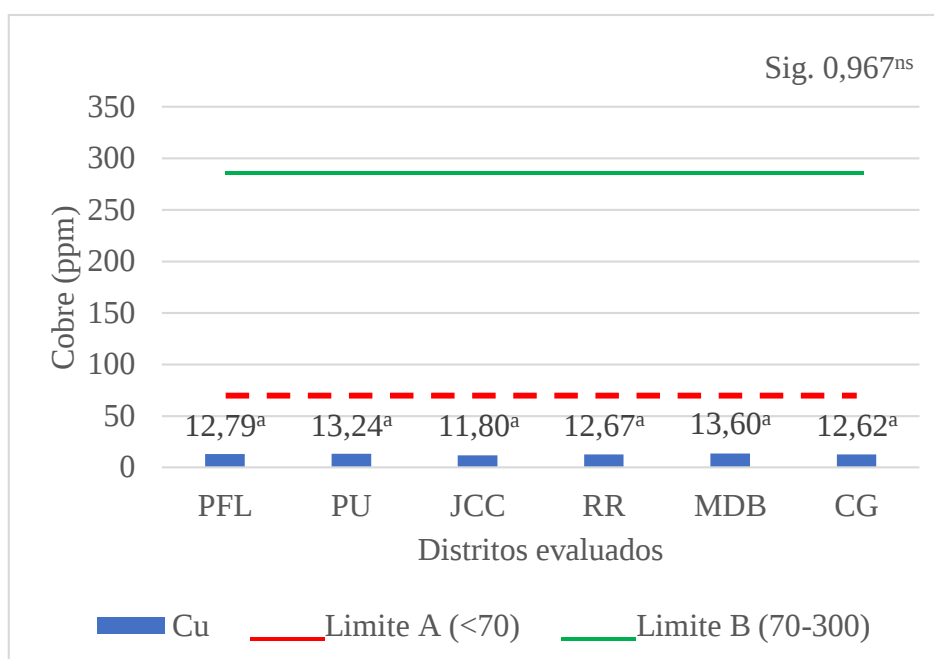
PFL Padre Felipe Luyando, PU Pucayacu, JCC José Crespo y Castillo, RR Rupa Rupa, MDB Mariano Dámaso Beraun, CG Castillo Grande, letras diferentes en la misma columna expresan diferencias estadísticas ($p < 0,05$), Sig. significancia, ** altamente significativo

Figura 18. Niveles de K en compost producidas por diferentes municipalidades

De acuerdo a la NCH 2880 el distrito MDB es el único compost que supera el valor límite de un compost de alta calidad, el resto corresponde a calidad intermedia. Sin embargo, los valores encontrados son similares a los de Castillo (2020) promedio de 0,51 % y bajos en comparación a La Cruz (2019) 1,8%, Vargas (2017) de 1, 85% y Bailón & Florida (2020) con promedio de 4,47 de K. En general, los valores de Ca, Mg y K son relativamente bajos y corresponden a compost de calidad media, excepto para Ca en compost de CG y K en MDB. Los resultados son típicos para compost a base de residuos urbanos y si bien para la norma NCH 2880 exige valores mayores a 1 % esto no afectaría su potencial uso en la agricultura, y según Florida et al. (2021) los niveles de estos macronutrientes podrían mejorarse combinando los residuos urbanos con residuos de cosecha de la región como la pulpa de café y escobajo de palma para mejorar Ca, Mg y K, y residuos de plátano para K.

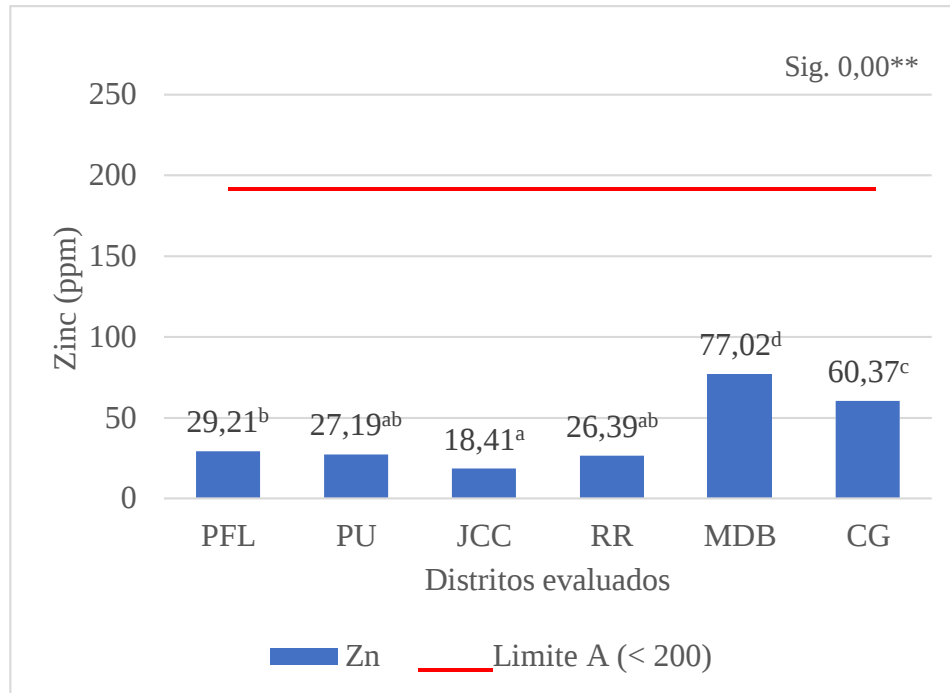
4.2.7 Niveles de micronutrientes cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn) y manganeso (Mn)

La **Figura 19, 20, 21 y 22** muestran los valores medios de Cu, Zn, Fe, y Mn según los distritos evaluados, además, el análisis post-hoc de Tukey para identificar los subgrupos homogéneos y las diferencias estadísticas entre distritos. También, se muestra el valor referencial de un compost de alta calidad (Clase A) según la NCH 2880.



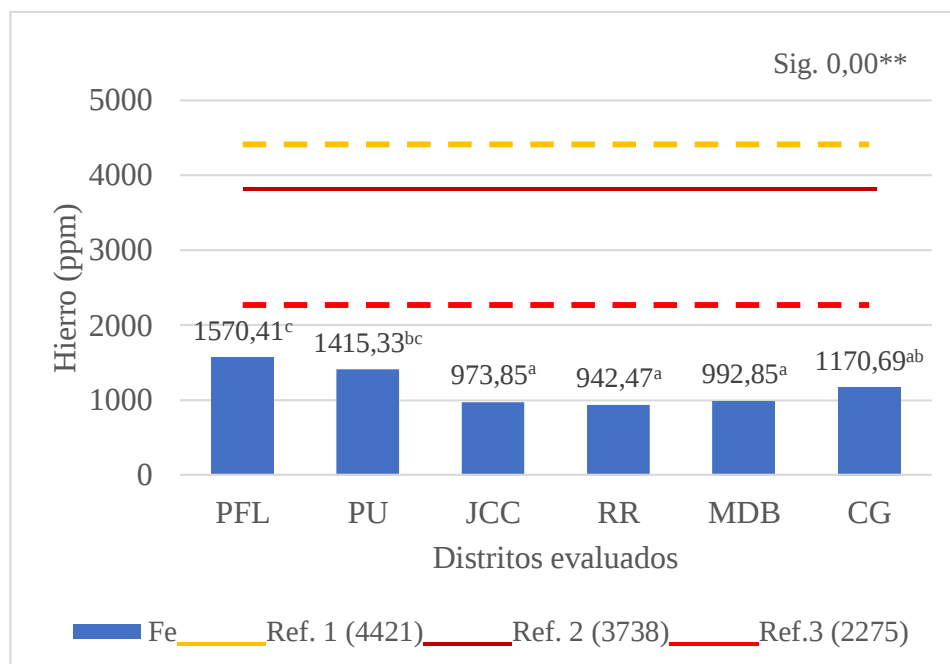
PFL Padre Felipe Luyando, PU Pucayacu, JCC José Crespo y Castillo, RR Rupa Rupa, MDB Mariano Dámaso Beraun, CG Castillo Grande, letras diferentes en la misma columna expresan diferencias estadísticas ($p < 0,05$), Sig. significancia, ns no significativo

Figura 19. Niveles de Cu en compost producidas por diferentes municipalidades



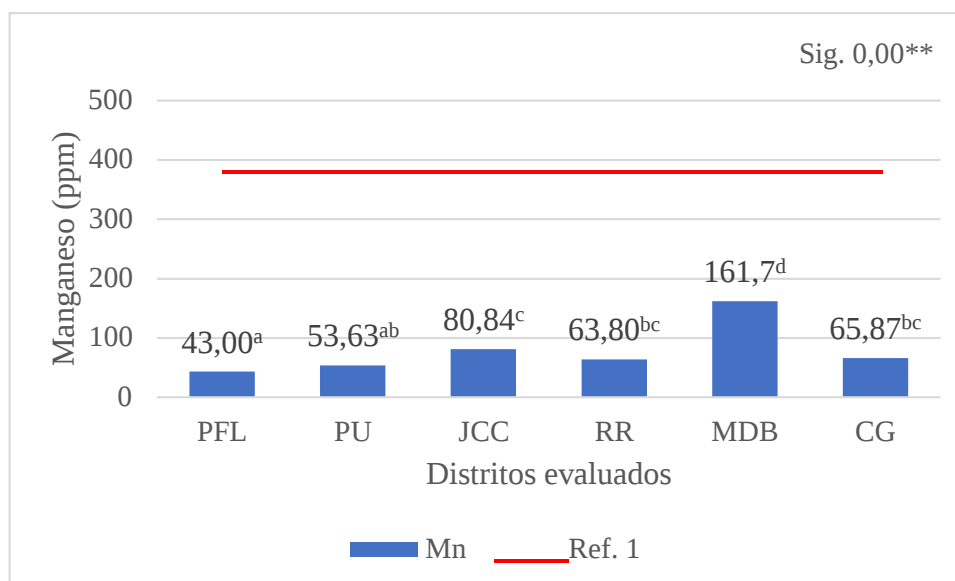
PFL Padre Felipe Luyando, PU Pucayacu, JCC José Crespo y Castillo, RR Rupa Rupa, MDB Mariano Dámaso Beraun, CG Castillo Grande, letras diferentes en la misma columna expresan diferencias estadísticas ($p < 0,05$), Sig. significancia, ** altamente significativo

Figura 20. Niveles de Zn en compost producidas por diferentes municipalidades



PFL Padre Felipe Luyando, PU Pucayacu, JCC José Crespo y Castillo, RR Rupa Rupa, MDB Mariano Dámaso Beraun, CG Castillo Grande, letras diferentes en la misma columna expresan diferencias estadísticas ($p < 0,05$), Sig. significancia, ** altamente significativo, Ref.1 Bailón & Florida (2020), Ref. 2 Florida & Reategui (2019), Ref. 3 Rafael (2015)

Figura 21. Niveles de Fe en compost producidas por diferentes municipalidades



PFL Padre Felipe Luyando, PU Pucayacu, JCC José Crespo y Castillo, RR Rupa Rupa, MDB Mariano Dámaso Beraun, CG Castillo Grande, letras diferentes en la misma columna expresan diferencias estadísticas ($p < 0,05$), Sig. significancia, ** altamente significativo, Ref.1 Rafael (2015)

Figura 22. Niveles de Mn en compost producidas por diferentes municipalidades

Los valores de Cu no presentan diferencias significativas, sin embargo, los contenidos de Fe, Zn y Mn presentan diferencias altamente significativas y todos los compost evaluados están dentro del rango de clase A. En general, estos son valores bajos y no presentarían restricciones de uso y pueden aplicarse como enmienda en la agricultura.

El Cu, Fe, Zn y Mn son micronutrientes requeridos en cantidades muy pequeñas, pero importantes para el metabolismo vegetal y animal (FAO, 2013). Por ello, es importante que los valores medios en un compost según la NCH 2880 no debe superar valores de 70 y 200 par Cu y Zn, y para el caso de Fe y Mn se utilizan otros resultados como referencia, toda vez que la NCH 2880 y las demás normas técnicas como la NTC 5167 y el Real Decreto Español 824 no contemplan rangos para estos micronutrientes, por ello, los resultados son comparados con los reportes de Rafael (2015), Florida & Reategui (2019) y Bailón & Florida (2020) para el Hierro, y Rafael (2015) para Mn, en todos los casos los resultados presenta valores menores (Figura 20 y 22) a estas referencias.

El compost producido a base de residuo orgánicos urbanos genera debate respecto a su aplicación por los posibles daños al suelo y a los cultivos por presencia de micronutrientes o metales pesados, que en elevadas concentraciones pueden afectar negativamente los agroecosistemas (Rosal et al., 2007). Estos resultados demuestran que los compost de este tipo cumplen las normativas y son similares a los niveles reportados para compost a base de residuos urbanos (Vargas, 2017; La Cruz, 2019; Bailón & Florida, 2020;

Castillo, 2020) y a otros residuos compostados (Bohórquez et al., 2015; Jacobo, 2017; Alvarez et al., 2019; Florida & Reategui, 2019).

4.3. Calidad del compost

La **Tabla 3** muestra el contraste de los indicadores físicos, macronutrientes y micronutrientes, con la norma técnica chilena NCH 2880, colombiana 5167 y de la OMS para determinar la calidad del compost producido por los distritos evaluados.

Tabla 3. Determinación de la calidad de compost producidas por las diferentes municipalidades

Indicador	NOCh. 2880		Tratamientos											
	Clase A	Clase B	PFL		PU		JCC		RR		MDB		CG	
pH	5-7,5	<5 y >7.5	8.63	B	8.38	B	9.09	B	7.76	B	8.59	B	8.23	B
Humedad	<25%	25-40%	12.22	A	38.33	B	13.96	A	8.92	A	29.93	B	24.03	A
MO	> 45 %	25-45 %	53.10	A	51.15	A	60.87	A	62.13	A	28.48	B	30.82	B
Cenizas**	Max.		46.91	A	48.85	A	39.13	A	37.88	A	71.52	B	69.18	B
N	> 0.8%		1.99	A	1.52	A	1.55	A	1.80	A	2.56	A	2.69	A
P ₂ O ₅	0,3-1,8*		1.48	A	0.89	A	1.21	A	1.01	A	1.25	A	1.51	A
Ca	>1%		0.92	B	0.66	B	0.70	B	0.61	B	0.98	B	1.08	A
Mg	>1%		0.35	B	0.31	B	0.29	B	0.31	B	0.40	B	0.39	B
K	>1%		0.68	B	0.62	B	0.72	B	0.49	B	1.16	A	0.79	B
Cu (ppm)	<100	100-1000	12.79	A	13.24	A	11.80	A	12.67	A	13.60	A	12.62	A
Fe (ppm)	--	--	1570.41	--	1415.33	--	973.85	--	942.47	--	992.85	--	1170.69	--
Zn (ppm)	<200	200-2000	29.21	A	27.19	A	18.41	A	26.39	A	77.02	A	60.37	A
Mn (ppm)	--	--	43.00	--	53.63	--	80.84	--	63.80	--	161.70	--	65.87	--
Calidad de la pila			B		B		B		B		B		B	

NOCh. Norma oficial chilena, PFL Padre Felipe Luyando, PU Pucayacu, JCC José Crespo y Castillo, RR Rupa Rupa, MDB Mariano Dámaso Beraun, CG Castillo Grande, * Límites de calidad OMS, ** Norma técnica colombiana NTC 5167

Los resultados contrastados con las normas citadas corresponden a clase B que representa a compost de calidad intermedia. Esta determinación se debe a valores elevados de pH que supera los 7,5 (8,23 a 9,09), y a los bajos niveles de Ca, Mg y K que no superan el 1 %, exigido, excepto K en MDB y los niveles de Ca en CG, aspecto que comprometen el potencial fertilizante de los compost evaluados. Sin embargo, existen trabajos que contrastan este comportamiento entre ellos Vargas (2017) reporta bajos niveles de calcio (0.27 %), magnesio (0.11 %), también Castillo (2020) encontró 0,57 % de K, y García et al. (2019) reporta valores de 0,10 a 0,47 % de Mg.

En este contexto, los compost a base de residuos sólidos orgánicos urbanos producidos por 6 de los 10 distritos que conforman la provincia de Leoncio Prado, son de calidad B o calidad intermedia, por lo que de acuerdo a la NCH 2880 estos presentarían algunas

restricciones de uso, y teniendo en cuenta que la calidad final de un compost está vinculada a la composición de los residuos compostados (Ramos & Terry, 2014; Florida & Reategui, 2019; García et al. 2019) es necesario aplicar medidas correctivas antes de su procesamiento y/o aplicación en la agricultura, de acuerdo a las referencias consultadas estas consistirían en: *a*) solarización en condiciones controladas, para disminuir el contenido de humedad antes de ser utilizado en campo (Bohórquez et al., 2015), *b*) corrección del pH mediante la adición de azufre, sulfato ferroso, sulfato de aluminio u otros compuestos azufrados (Barbaro, 2019), y *c*) mejorar los macronutrientes combinando los residuos urbanos con residuos agroindustriales, entre ellos, plumas de pollo broiler para elevar los niveles de N (Florida & Reategui, 2019), pulpa de café y escobajo de palma para elevar los niveles de P, Ca y Mg y residuos de plátano para K (Florida et al., 2021).

V. CONCLUSIONES

1. Se evaluó diez distritos que conforman la provincia de Leoncio Prado, de ellos, solo seis utilizan el compostaje como técnica para tratar los residuos orgánicos de su jurisdicción, además, todos aplican microorganismos eficientes y volteo de pilas en concentraciones y periodos variables, que repercute en el tiempo total de compostaje.
2. Los indicadores fisicoquímicos presentaron diferencias altamente significativas entre compost evaluados para humedad, pH, MO, N, P, Ca, Mg, K, Zn, Fe y Mn, sin embargo, el Cu no presentó diferencias. Se encontró altos valores de humedad, pH y MO y bajos niveles de los macro y micronutrientes.
3. Los compost a base de residuos sólidos orgánicos urbanos producidos por seis de los diez distritos que conforman la provincia de Leoncio Prado, son de calidad B o calidad intermedia de acuerdo a los criterios de calidad de la norma técnica chilena (NCH 2880), colombiana 5167 y de la OMS, que presentan algunas restricciones de uso por presentar valores elevados de humedad, pH y a bajos niveles de Ca, Mg y K; sin embargo, esto no los descalifica para ser utilizado como enmienda en la mejora del suelo y los cultivos.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Se recomienda el uso de los compost a base de residuos orgánicos urbanos producidas por las diferentes comunas para cultivos permanentes y como parte de sustratos, por los altos valores de pH y bajos niveles de macronutrientes.
2. Realizar investigación para determinar el periodo optimo de volteo, para reducir el tiempo de compostaje y obtener un compost de alta calidad.
3. Investigar el efecto de la combinación de residuos urbanos y agroindustriales para reducir el pH y elevar los niveles de macronutrientes (N, P, Ca, Mg y K).
4. Evaluar el efecto de la aplicación de técnicas correctivas de la humedad (solarización) y del pH (aplicación de ácidos) en la calidad final del compost a base de residuos orgánicos urbanos

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcocer, P.R., Cevallos, O. & Knudsen, J. (2019). Mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en el cantón de Quevedo, Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 11(5),362-367.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202019000500362&lng=es&tlng=es.
- Alvarez, M., Largo, A., Iglesias, S., & Castillo, J. (2019). Calidad de compost obtenido a partir de estiércol de gallina, con aplicación de microorganismos benéficos. *Scientia Agropecuaria*, 10(3), 353-361. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.03.05>
- Armitano, A., García, G., Liscano, P., López, I., Moreno, R., Pacheco, C. & Ramírez, P. (2016). Programa de aprovechamiento y tratamiento de los residuos sólidos doméstico del sector Care de Guatire, Estado Miranda, Venezuela. *Multiciencias*, 16(3), 248-258.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90453464003>
- Barbaro, L., Karlanian, M., Rizzo, P., & Riera, N. (2019). Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. *Chilean J. Agric. Anim. Sci., ex Agro-Ciencia*. 35(2), 126-136. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/chjaasc/v35n2/0719-3890-chjaasc-00309.pdf>
- 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>
- Bazán, R. (2017). Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego. Repositorio INIA, http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/504/1/BazanManual_de_procedimientos_de_los.pdf
- Bohórquez, A., Puentes, Y. J., & Menjivar, J. C. (2015). Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 15(01), 73-81.
http://doi.org/10.21930/rcta.vol15_num1_art:398
- 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>
- Carrión, C., Abad, M., Fornes, F., Noguera, V., Puchades, R., Maquieira, A., Botella, S. and García, R. (2008). Acidification of composts from agricultural wastes to prepare nursery

potting mixtures. Acta Hortic. 779, 333-340.
<http://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.779.41>

- Castillo, L.C. (2020). *Evaluación de la calidad del compost obtenido a partir de residuos orgánicos y microorganismos eficaces (EM) en el distrito de Huayucachi, Huancayo*. [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio UC. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8245/3/IV_FIN_107_TE_Castillo_Huaman_2020.pdf
- Congreso del Perú. (20 de julio de 2000). Ley N° 27314. Ley General de Residuos Sólidos. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-general-residuos-solidos>
- Congreso del Perú. (23 de diciembre del 2016). Decreto Legislativo N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, establece la derogatoria de la Ley N° 27314, Ley General de Residuo sólidos. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Decreto-Legislativo-N%C2%B0-1278.pdf>
- Del Castillo, A.F. (2020). *Efecto del compost de residuos sólidos biodegradables, obtenidos del comedor universitario de la unas en el rendimiento del cultivo de maíz (Zea mays L.) variedad marginal 28 – T*. [Tesis pregrado. Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS, <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1434>
- 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., Levano, J. D., & Trigoso, D. (2021). Plumasy residuos locales una alternativa para mejorar la calidad del compost y suelos en el trópico peruano. Editorial Eidec. <https://doi.org/10.34893/8pf7-7h61>
- 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.
- Grau, J., Terraza, H., Rodríguez, D.M., Rihm, A. & Sturzenegger, G. (2015). Situación de la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. <https://publications.iadb.org/es/situacion-de-la-gestion-de-residuos-solidos-en-america-latina-y-el-caribe>
- 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>

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>

Huamaní, C., Tudela, J.W. & Huamaní, A. (2020). Gestión de residuos sólidos de la ciudad de Juliaca - Puno - Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(1), 106- 115.
<https://dx.doi.org/10.18271/ria.2020.541>

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) 2022. Estadísticas de población y vivienda según departamento. <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/poblacion-y-vivienda/>

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

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]. (2021). Estadística ambiental. Sistema Nacional de Información Ambiental-SINIA. <https://sinia.minam.gob.pe/informacion/tematicas?tematica=08>

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. <http://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/download/11742/12290>

Norma Oficial Chilena - 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>
- Oviedo, E.R., Marmolejo, L.F., Torres, P. (2017). Avances en investigación sobre el compostaje de biorresiduos en municipios menores de países en desarrollo. Lecciones desde Colombia. *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, 18(01), 31-42. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40449649003>
- Penagos, J.W. Adarraga, J., Aguas, D. & Molina, E. (2011). Reducción de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia por medio del Compostaje Líquido. *INGENIARE*, 6(11), 37-44. <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.11.643>
- 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>
- Quillos, S.A., Escalante, N.J., Sánchez, D.A., Quevedo, L.G. & De La Cruz, R.A. (2018). Residuos sólidos domiciliarios: caracterización y estimación energética para la ciudad de Chimbote. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 84(3), 322-335. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2018000300006&lng=es&tlng=es
- 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>
- Reyes, M. R., Mora, O. F., Morales, E. J., & Pérez, D. J. (2017). Influencia del magnesio y zinc en la altura de planta y verdor de hojas en *Lilium* Investigación y Ciencia, 25(70), 31-37. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67451351004>
- 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>
- Soriano, J. (2016). *Tiempo y calidad del compost con aplicación de tres dosis de “microorganismos eficaces”- concepción*. [Tesis de pregrado. Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP, <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3487/Soriano%20Vilcahuman.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos-UAESP. (2014). Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura. https://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf
- Vargas, O.I., Trujillo, J.M. & Torres, M.A. (2019). El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento. *ORINOQUIA*, 23(02), 123-129. <http://doi.org/10.22579/20112629.575>
- 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

Normas técnicas de calidad del compost

Tabla 4. Principales indicadores de calidad en diferentes etapas del 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)

Tabla 5. Norma Oficial Chilena (NCH 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: • Para clase A < 20% • Para clase B entre 25-40% * Contenido de materia orgánica • Clase A, $\geq 45\%$ • Clase B, $\geq 20\%$ * N total $\geq 0.8\%$ * Relación C/N • -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.	* Capacidad de intercambio catiónico, no especifica * pH • Clase A, 5-7.5 • Clase B, <5 y >7.5
	B, calidad intermedia, presenta algunas restricciones de uso.	
	C, compost que no ha alcanzado la etapa de maduración. No apto para uso agrícola	* metales pesados mg/Kg (base seca) As 15 (A), 20 (B) Cd 2 (A), 8 (B) Cr 120 (A), 600 (B) Hg 1 (A), 4 (B) Ni 20 (A), 80 (B) Pb 100 (A), 300 (B) Cu 100 (A), 1000 (B) Zn 200 (A), 2000 (B)

Fuente: NCH 2880 (2004)

Tabla 6. Norma técnica española sobre productos fertilizantes.

Metal	Límites de concentración Sólidos: mg/kg de materia seca		
	mg/kg de materia seca		
	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

Fuente: Real Decreto 824 (2005)

Análisis estadístico**Tabla 7.** Estadística descriptiva e inferencial general de los compost evaluados

Indicador	Tratamientos						Estadísticos	
	PFL	PU	JCC	RR	MDB	CG	F	Sig
pH	8,63±0,05	8,38±0,11	9,09±0,07	7,76±0,07	8,59±0,10	8,23±0,11	105,89	0,00
Humedad	12,22±0,44	38,33±22,31	13,96±0,52	8,92±0,81	29,93±1,42	24,03±0,77	6,329	0,001
Cenizas	53,10±3,48	51,15±13,86	60,87±1,44	62,13±18,36	28,48±17,49	30,82±2,70	6,029	0,002
MO	46,91±3,48	48,85±13,86	39,13±1,44	37,88±18,37	71,52±17,50	69,18±2,70	6,029	0,002
N	1,99±0,26	1,52±0,18	1,55±0,12	1,80±0,19	2,56±0,29	2,69±0,31	18,321	0,00
P ₂ O ₅	1,48±0,12	0,89±0,10	1,21±0,23	1,01±0,13	1,25±0,16	1,51±0,16	10,340	0,00
Ca	0,92±0,23	0,66±0,19	0,70±0,09	0,61±0,05	0,98±0,11	1,08±0,06	7,764	0,00
Mg	0,35±0,01	0,31±0,02	0,29±0,05	0,31±0,03	0,40±0,06	0,39±0,03	6,609	0,001
K	0,68±0,08	0,62±0,12	0,72±0,08	0,49±0,08	1,16±0,22	0,79±0,10	13,531	0,000
Cu	12,79±0,26	13,24±0,44	11,80±0,30	12,67±0,34	13,60±5,00	12,62±5,05	0,178	0,967
Fe	1570.41±166.22	1415.33±239.30	973.85±174.99	942.47±19.91	992.85±101.10	1170.69±145.46	11,138	0,000
Zn	29.21±3.79	27.19±3.90	18.41±3.46	26.39±2.38	77.02±4.51	60.37±5.53	132,840	0,000
Mn	43,00±0,90	53.63±4.10	80.84±9.15	63.80±12.24	161.70±12.53	65.87±7.53	94,757	0,000

Tabla 8. Análisis de varianza del indicador pH

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: pH					
Origen	Suma de cuadrados	Gl.	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	3,944 ^a	5	0,789	105,896	0,00
Intersección	1712,139	1	1712,139	229860,213	0,00
Tratamiento	3,944	5	0,789	105,896	0,00
Error	,134	18	0,007		
Total	1716,217	24			
Total, corregido	4,078	23			
a. $R^2 = 0,967$ (R^2 ajustada = 0,958)					

Tabla 9. Análisis post-hoc de Tukey del indicador pH

Variable: pH					
HSD Tukey ^{a,b}					
Tratamiento	N	Subconjunto			
		a	b	c	d
RR (T4)	4	7,7625			
CG (T6)	4		8,2250		
PU (T2)	4		8,3825		
MDB (T5)	4			8,5925	
PFL (T1)	4			8,6275	
JCC (T3)	4				9,0875
Sig.		1,000	0,153	0,992	1,000

Tabla 10. Análisis de varianza del indicador humedad

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Humedad					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	2645,610 ^a	5	529,122	6,329	0,001
Intersección	10819,657	1	10819,657	129,419	0,000
Tratamiento	2645,610	5	529,122	6,329	0,001
Error	1504,833	18	83,602		
Total	14970,101	24			
Total, corregido	4150,443	23			
a. $R^2 = 0,637$ (R^2 ajustada = 0,537)					

Tabla 11. Análisis post-hoc de Tukey del indicador humedad

Variable: Humedad				
HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
RR (T4)	4	8,9225		
PFL (T1)	4	12,2225	12,2225	
JCC (T3)	4	13,9600	13,9600	
CG (T6)	4	24,0300	24,0300	24,0300
MDB (T5)	4		29,9300	29,9300
PU (T2)	4			38,3300
Sig.		0,230	0,115	0,280

Tabla 12. Análisis de varianza del indicador cenizas

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Cenizas					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	4307,069 ^a	5	861,414	6,029	0,002
Intersección	54734,871	1	54734,871	383,097	0,000
Tratamiento	4307,069	5	861,414	6,029	0,002
Error	2571,747	18	142,875		
Total	61613,687	24			
Total, corregido	6878,817	23			
a. $R^2 = 0,626$ (R^2 ajustada = 0,522)					

Tabla 13. Análisis post-hoc de Tukey del indicador cenizas

Variable: Cenizas			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
MDB (T5)	4	28,4825	
CG (T6)	4	30,8175	
PU (T2)	4	51,1475	51,1475
PFL (T1)	4	53,0950	53,0950
JCC (T3)	4		60,8675
RR (T4)	4		62,1250
Sig.		0,084	0,782

Tabla 14. Análisis de varianza del indicador MO

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: MO					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	4307,005 ^a	5	861,401	6,029	0,002
Intersección	65507,498	1	65507,498	458,497	0,000
Tratamiento	4307,005	5	861,401	6,029	0,002
Error	2571,741	18	142,874		
Total	72386,244	24			
Total, corregido	6878,746	23			
a. $R^2 = 0,626$ (R^2 ajustada = 0,522)					

Tabla 15. Análisis post-hoc de Tukey del indicador MO

Variable: MO			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
RR (T4)	4	37,8750	
JCC (T3)	4	39,1325	
PFL (T1)	4	46,9065	46,9065
PU (T2)	4	48,8525	48,8525
CG (T6)	4		69,1825
MDB (T5)	4		71,5175
Sig.		0,782	0,084

Tabla 16. Análisis de varianza del indicador N

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: N					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	5,022 ^a	5	1,004	18,321	0,000
Intersección	97,808	1	97,808	1784,057	0,000
Tratamiento	5,022	5	1,004	18,321	0,000
Error	,987	18	,055		
Total	103,817	24			
Total, corregido	6,009	23			
a. $R^2 = 0,836$ (R^2 ajustada = 0,790)					

Tabla 17. Análisis post-hoc de Tukey del indicador N

Variable: N			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
PU (T2)	4	1,5200	
JCC (T3)	4	1,5525	
RR (T4)	4	1,8000	
PFL (T1)	4	1,9925	
MDB (T5)	4		2,5575
CG (T6)	4		2,6900
Sig.		0,093	0,964

Tabla 18. Análisis de varianza del indicador P

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: P2O5					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1,238 ^a	5	,248	10,340	0,000
Intersección	35,917	1	35,917	1499,495	0,000
Tratamiento	1,238	5	,248	10,340	0,000
Error	,431	18	,024		
Total	37,587	24			
Total, corregido	1,670	23			
a. $R^2 = 0,742$ (R^2 ajustada = 0,670)					

Tabla 19. Análisis post-hoc de Tukey del indicador P

Variable: P ₂ O ₅				
HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
PU (T2)	4	,8850		
RR (T4)	4	1,0050	1,0050	
JCC (T3)	4	1,2125	1,2125	1,2125
MDB (T5)	4		1,2500	1,2500
PFL (T1)	4			1,4800
CG (T6)	4			1,5075
Sig.		,072	,269	,125

Tabla 20. Análisis de varianza del indicador Ca

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Ca					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	0,754 ^a	5	0,151	7,764	0,000
Intersección	16,253	1	16,253	836,745	0,000
Tratamiento	0,754	5	0,151	7,764	0,000
Error	0,350	18	0,019		
Total	17,356	24			
Total, corregido	1,104	23			
a. $R^2 = 0,683$ (R^2 ajustada = 0,595)					

Tabla 21. Análisis post-hoc de Tukey del indicador Ca

Variable: Ca				
HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
RR (T4)	4	0,6050		
PU (T2)	4	0,6600		
JCC (T3)	4	0,6975	0,6975	
PFL (T1)	4	0,9150	0,9150	0,9150
MDB (T5)	4		0,9825	0,9825
CG (T6)	4			1,0775
Sig.		0,053	0,087	0,579

Tabla 22. Análisis de varianza del indicador Mg

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Mg					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	0,045 ^a	5	0,009	6,609	0,001
Intersección	2,754	1	2,754	2029,588	0,000
Tratamiento	0,045	5	0,009	6,609	0,001
Error	0,024	18	0,001		
Total	2,823	24			
Total, corregido	0,069	23			
a. $R^2 = 0,647$ (R^2 ajustada = 0,549)					

Tabla 23. Análisis post-hoc de Tukey del indicador Mg

Variable: Mg				
HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
JCC (T3)	4	0,2850		
RR (T4)	4	0,3050	0,3050	
PU (T2)	4	0,3075	0,3075	
PFL (T1)	4	0,3475	0,3475	0,3475
CG (T6)	4		0,3875	0,3875
MDB (T5)	4			0,4000
Sig.		0,208	0,051	0,372

Tabla 24. Análisis de varianza del indicador K

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: K					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1,025 ^a	5	0,205	13,531	0,000
Intersección	13,165	1	13,165	868,652	0,000
Tratamiento	1,025	5	0,205	13,531	0,000
Error	,273	18	0,015		
Total	14,463	24			
Total, corregido	1,298	23			
a. $R^2 = 0,790$ (R^2 ajustada = 0,731)					

Tabla 25. Análisis post-hoc de Tukey del indicador K

Variable: K				
HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
RR (T4)	4	0,4875		
PU (T2)	4	0,6213	0,6213	
PFL (T1)	4	0,6800	0,6800	
JCC (T3)	4	0,7150	0,7150	
CG (T6)	4		0,7850	
MDB (T5)	4			1,1550
Sig.		0,144	0,444	1,000

Tabla 26. Análisis de varianza del indicador Cu

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Cu					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	7,560 ^a	5	1,512	0,178	0,967
Intersección	3922,949	1	3922,949	461,200	0,000
Tratamiento	7,560	5	1,512	0,178	0,967
Error	153,107	18	8,506		
Total	4083,616	24			
Total, corregido	160,667	23			
a. R ² = 0,047 (R ² ajustada = -0,218)					

Tabla 27. Análisis de varianza del indicador Fe

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Fe					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1367179,590 ^a	5	273435,918	11,138	0,000
Intersección	33281825,792	1	33281825,792	1355,746	0,000
Tratamiento	1367179,590	5	273435,918	11,138	0,000
Error	441876,985	18	24548,721		
Total	35090882,366	24			
Total, corregido	1809056,574	23			
a. R ² = 0,756 (R ² ajustada = 0,688)					

Tabla 28. Análisis post-hoc de Tukey del indicador Fe

Variable: Fe				
HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
RR (T4)	4	942,4725		
JCC (T3)	4	973,8500		
MDB (T5)	4	992,8525		
CG (T6)	4	1170,6850	1170,6850	
PU (T2)	4		1415,3325	1415,3325
PFL (T1)	4			1570,4100
Sig.		0,350	0,281	0,727

Tabla 29. Análisis de varianza del indicador Zn

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Zn					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	10866,627 ^a	5	2173,325	132,840	0,000
Intersección	37946,944	1	37946,944	2319,424	0,000
Tratamiento	10866,627	5	2173,325	132,840	0,000
Error	294,489	18	16,361		
Total	49108,060	24			
Total, corregido	11161,116	23			
a. $R^2 = 0,974$ (R^2 ajustada = 0,966)					

Tabla 30. Análisis post-hoc de Tukey del indicador Zn

Variable: Zn					
HSD Tukey ^{a,b}					
Tratamiento	N	Subconjunto			
		a	b	c	d
JCC (T3)	4	18,4075			
RR (T4)	4	26,3925	26,3925		
PU (T2)	4	27,1925	27,1925		
PFL (T1)	4		29,2050		
CG (T6)	4			60,3650	
MDB (T5)	4				77,0175
Sig.		0,062	0,917	1,000	1,000

Tabla 31. Análisis de varianza del indicador Mn

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Mn					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	36724,948 ^a	5	7344,990	94,757	0,000
Intersección	146539,068	1	146539,068	1890,485	0,000
Tratamiento	36724,948	5	7344,990	94,757	0,000
Error	1395,252	18	77,514		
Total	184659,268	24			
Total, corregido	38120,201	23			
a. $R^2 = 0,963$ (R^2 ajustada = 0,953)					

Tabla 32. Análisis post-hoc de Tukey del indicador Mn

Variable: Mn					
HSD Tukey ^{a,b}					
Tratamiento	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
PFL (T1)	4	43,0000			
PU (T2)	4	53,6325	53,6325		
RR (T4)	4		63,8000	63,8000	
CG (T6)	4		65,8675	65,8675	
JCC (T3)	4			80,8375	
MDB (T5)	4				161,7000
Sig.		0,544	0,398	0,116	1,000

Trabajos de campo**Figura 23.** planta de tratamiento de Padre Felipe Luyando (PFL)



Figura 24. planta de tratamiento de Castillo Grande (CG)



Figura 25. planta de tratamiento de José Crespo y Castillo (JCC)



Figura 26. planta de tratamiento de Mariano Dámaso Beraun (MDB)



Figura 27. planta de tratamiento de Rupa Rupa (RR)



Figura 28. planta de tratamiento de Pucayacu (PU)

Reporte de análisis de los compost evaluados



ANÁLISIS ESPECIAL

SOLICITANTE:			EMILIO ANTHONY RIOS VELASQUEZ																		
DATOS DE LA MUESTRA				RESULTADOS EN BASE HUMEDA					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 (%)	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm		
E0472	COMPOST	M1 LUYANDO	8.60	5.01	12.82	41.81	45.37	47.96	52.04	1.61	1.414	0.776	0.343	0.156	0.625	12.897	1579.464	30.229	42.950		
E0472-2	COMPOST	M1 PUCAYACU	8.30	2.19	40.14	35.06	24.81	58.56	41.44	1.68	1.032	0.469	0.292	0.113	0.469	13.072	1586.619	29.633	55.111		
E0472-3	COMPOST	M1 AUCAYACU	9.00	10.27	14.59	31.72	53.69	37.14	62.86	1.38	1.299	0.729	0.265	0.107	0.638	11.713	914.930	14.020	77.049		
E0472-4	COMPOST	M1 LEONCIO PRADO	7.70	3.18	10.03	9.46	80.51	10.52	89.48	1.93	0.970	0.639	0.271	0.068	0.417	12.584	956.391	25.151	50.436		
E0472-5	COMPOST	M1 LAS PALMAS	8.50	8.84	29.39	68.77	1.85	97.38	2.62	2.85	1.444	0.945	0.404	0.233	1.008	15.180	1134.213	83.456	151.804		
E0472-6	COMPOST	M1 CASTILLO GRANDE	8.10	3.78	24.76	55.09	20.15	73.22	26.78	2.83	1.645	1.163	0.419	0.262	0.913	15.428	1368.652	61.457	66.392		
E0472-7	COMPOST	M2 LUYANDO	8.69	5.14	12.19	37.28	50.53	42.46	57.54	2.17	1.576	0.830	0.339	0.146	0.644	12.428	1801.977	33.550	42.652		
E0472-8	COMPOST	M2 PUCAYACU	8.54	2.14	28.38	26.76	44.86	37.36	62.64	1.33	0.810	0.920	0.326	0.108	0.762	13.100	1653.489	29.097	49.534		
E0472-9	COMPOST	M2 AUCAYACU	9.12	10.31	14.11	33.90	51.99	39.47	60.53	1.56	1.488	0.748	0.332	0.126	0.773	11.430	789.535	21.065	69.695		
E0472-10	COMPOST	M2 LEONCIO PRADO	7.86	3.23	8.63	43.58	47.79	47.70	52.30	1.53	1.189	0.576	0.306	0.110	0.494	12.334	922.600	24.738	64.912		
E0472-11	COMPOST	M2 LAS PALMAS	8.73	8.74	28.26	44.30	27.44	61.76	38.24	2.50	1.060	0.950	0.344	0.183	1.075	17.514	907.313	76.353	179.610		
E0472-12	COMPOST	M2 CASTILLO GRANDE	8.35	3.63	22.95	52.29	24.77	67.86	32.14	2.83	1.635	1.065	0.394	0.199	0.755	14.182	1048.862	62.456	76.274		
E0472-13	COMPOST	M3 LUYANDO	8.64	5.07	12.11	40.77	47.12	46.39	53.61	2.10	1.580	0.794	0.352	0.145	0.659	13.054	1439.425	24.435	44.249		
E0472-14	COMPOST	M3 PUCAYACU	8.37	2.21	16.34	30.57	53.09	36.54	63.46	1.41	0.877	0.633	0.299	0.101	0.612	12.902	1241.589	21.365	58.687		
E0472-15	COMPOST	M3 AUCAYACU	9.15	10.23	13.79	34.99	51.22	40.59	59.41	1.62	1.099	0.749	0.231	0.140	0.804	12.090	1206.922	17.256	89.195		
E0472-16	COMPOST	M3 LEONCIO PRADO	7.74	3.15	8.11	40.44	51.45	44.01	55.99	1.83	0.906	0.546	0.337	0.125	0.592	13.133	928.371	29.898	79.796		
E0472-17	COMPOST	M3 LAS PALMAS	8.55	8.87	31.53	45.86	22.61	66.97	33.03	2.70	1.235	1.155	0.482	0.270	1.483	15.455	995.004	75.227	160.871		
E0472-18	COMPOST	M3 CASTILLO GRANDE	8.27	3.81	24.94	51.17	24.50	67.62	32.38	2.22	1.403	1.007	0.398	0.229	0.804	15.770	1189.807	65.136	61.395		
E0472-19	COMPOST	M4 LUYANDO	8.58	5.17	11.77	44.83	43.40	50.81	49.19	2.09	1.350	1.255	0.355	0.183	0.797	12.784	1460.778	28.606	42.149		
E0472-20	COMPOST	M4 PUCAYACU	8.32	2.20	68.46	19.85	11.69	62.95	37.05	1.66	0.815	0.616	0.306	0.103	0.645	13.882	1179.633	28.665	51.199		
E0472-21	COMPOST	M4 AUCAYACU	9.08	10.29	13.35	34.08	52.57	39.33	60.67	1.65	0.962	0.557	0.322	0.118	0.652	11.952	984.007	21.295	87.396		
E0472-22	COMPOST	M4 LEONCIO PRADO	7.75	3.15	8.92	44.88	46.20	49.27	50.73	1.91	0.953	0.648	0.303	0.097	0.455	12.619	962.534	25.781	60.052		
E0472-23	COMPOST	M4 LAS PALMAS	8.59	8.91	30.54	41.65	27.81	59.96	40.04	2.18	1.297	0.893	0.384	0.206	1.055	6.257	934.888	73.033	154.517		
E0472-24	COMPOST	M4 CASTILLO GRANDE	8.18	3.65	24.07	51.65	24.28	68.03	31.97	2.88	1.338	1.074	0.341	0.175	0.669	5.113	1075.416	52.405	59.410		

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

RECIBO N° OOOO0351

Tingo María 27 de julio 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

