

Caracterización de compost de residuos sólidos orgánicos urbanos de seis distritos de la provincia Leoncio Prado, Perú

Characterization of urban organic solid waste compost from six districts of the Leoncio Prado province, Peru

Emilio Anthony Ríos-Velasquez¹ , Nelino Florida-Rofner^{*1} 

¹Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Departamento de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua. Tingo María, Perú; e-mail: emilio.rios@unas.edu.pe; nelinof@hotmail.com

*autor de correspondencia: nelinof@hotmail.com

Cómo citar: Ríos-Velasquez, E.A.; Florida-Rofner, N. 2023. Caracterización de compost de residuos sólidos orgánicos urbanos de seis distritos de la provincia Leoncio Prado, Perú. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 26(1):e2371. <http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n1.2023.2371>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: octubre 19 de 2022 **Aceptado:** abril 25 de 2023 **Editado por:** Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

En Perú, al 2019, solo el 6,4 % de los distritos disponen sus residuos urbanos en rellenos sanitarios, los cuales, están en situación de colapso, lo que exige buscar alternativas para mejorar la gestión de estos residuos y, frente a ello, el compostaje se perfila como una tecnología simple y económica, empleada para el tratamiento del componente orgánico, para reducir daños a la salud y al ambiente, sin embargo, la falta de criterios técnicos en su aplicación está afectando la calidad del compost final. El objetivo de esta investigación fue evaluar los criterios técnicos de procesamiento y la calidad del compost, a través 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 y determinó la calidad con base en normas técnicas internacionales. Los resultados muestran que seis de diez distritos aplican el compostaje y los indicadores fisicoquímicos contrastados con los criterios de calidad de la norma técnica chilena (NCH 2880), colombiana 5167 y de la OMS, corresponden a compost de calidad intermedia (Clase B). Los compost evaluados no representan riesgo ambiental y pueden ser utilizados como enmienda en la mejora del suelo y los cultivos con algunas restricciones, por presentar valores elevados de humedad, pH y bajos niveles de P, Ca, Mg y K.

Palabras clave: Abonos orgánicos; Calidad compost; Caracterización fisicoquímica; Residuos domésticos; Tratamiento de desechos orgánicos.

ABSTRACT

At 2019, in Peru, only 6.4 % of the districts dispose of their urban waste in sanitary landfills, which are in a situation of collapse, therefore is needed looking for alternatives to improve the management of this waste, facing this, composting is emerging as a simple and economical technology used for the treatment of the organic component, thus, reducing damage to health and the environment, however, the lack of technical criteria in its application is affecting the quality of the final compost. The objective of this research was to evaluate the technical criteria for processing and the quality of compost based on municipal solid waste in the districts of Leoncio Prado province. The research identified the districts that apply composting to their waste and evaluated the processing technique, physicochemical indicators and determined the quality based on international technical standards. The results show that six out of ten districts apply composting, and the physicochemical indicators contrasted with the quality criteria of the Chilean technical standard (NCH 2880), Colombian 5167 and WHO, correspond to intermediate quality compost (Class B). The evaluated compost does not represent an environmental risk and can be used as an amendment in soil and crop improvement with some restrictions, since it has high moisture, pH and low levels of P, Ca, Mg and K.

Keywords: Compost quality; Domestic waste; Organic fertilizers; Organic waste treatment; Physicochemical characterization.

INTRODUCCIÓN

Las estadísticas del Ministerio del Ambiente MINAM (2021) del Perú reportan que la generación de residuos sólidos municipales al 2021 alcanzan las 8.214.355,9 t y solo el 54,94 % de estos residuos son dispuestos en rellenos sanitarios que, a su vez, presentan deficiencias en su funcionamiento y se encuentran en situación de colapso. Los residuos sólidos orgánicos municipales representan el 69,03 % del total de residuos sólidos generados (Quillos Ruiz *et al.* 2018) y su tratamiento, a través del compostaje, es realmente una alternativa viable y segura (Bailón-Rojas & Florida-Rofner, 2020).

El compostaje es la tecnología más empleada para tratar los residuos sólidos orgánicos urbanos; no obstante, su implementación es deficiente (Oviedo-Ocaña *et al.* 2017), a pesar de ser sencilla, económica y con capacidad de aprovechar diversos residuos biodegradables que, usualmente, se convierten en contaminantes (Florida Rofner & Reategui Díaz, 2019; Bailón-Rojas & Florida-Rofner, 2020). Este tipo de tratamiento genera empleos, ingresos monetarios, emprendimientos rentables y sostenibles, reducción del volumen de los residuos dispuestos en rellenos sanitarios al transformar los residuos orgánicos en un producto utilizable en la agricultura (Widman Aguayo *et al.* 2005; Huamaní Montesinos *et al.* 2020); sin embargo, el compost producido a base de residuos orgánicos urbanos genera debate respecto a su aplicación, por los posibles daños al suelo y a los cultivos por presencia de metales pesados y microorganismos patógenos (Rosal *et al.* 2007).

La provincia de Leoncio Prado del Perú tiene diez distritos en su jurisdicción geopolítica, de ellos, solo seis realizan el tratamiento de sus residuos orgánicos, a través del compostaje, el resto deposita sus residuos al río Huallaga, principal fuente hídrica de la región (Florida Rofner & Reategui Díaz, 2019), por lo que el estudio de la técnica de procesamiento, de caracterización y de determinación de la calidad del compost, permitirá optimizar la aplicación del

compostaje, como técnica de tratamiento de los residuos sólidos orgánicos municipales.

En este contexto, la investigación planteó como objetivo determinar los criterios técnicos de procesamiento y la calidad del compost, a base de residuos sólidos orgánicos urbanos en los distritos de la provincia Leoncio Prado, región Huánuco-Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación. La investigación se desarrolló entre diciembre del 2021 a mayo de 2022, en los distritos de Padre Felipe Luyando, Pucayacu, José Crespo y Castillo, Rupa Rupa, Mariano Damazo Beraun y Castillo Grande, todos pertenecientes a la provincia de Leoncio Prado, que utilizan el compostaje como técnica para el tratamiento a los residuos sólidos orgánicos recolectados en su jurisdicción; políticamente, la provincia de Leoncio Prado pertenece a la región Huánuco.

Características 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 septiembre) y régimen lluvioso (octubre a mayo). Además, de acuerdo con Holdridge (2000), el área se clasifica como bosque muy húmedo- Premontano Sub Tropical (bmh-PST) y según Pulgar Vidal (2014), se clasifica como ecorregión Rupa Rupa.

Características sociales. En la tabla 1, se muestra la población de los distritos y proyecta la generación de residuos con base en la generación diaria per cápita de la región Huánuco, de 0,7 kg hab⁻¹ día⁻¹ (MINAM, 2021). Además, los distritos con mayor población son los que están realizando el compostaje.

Tabla 1. Población distrital de la Provincia de Leoncio Prado, Perú, al 2017 y la generación de residuos estimada por distritos.

Distritos	Población	Producción de residuos estimada (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 Damazo 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	153 628	9 436,60	

*distritos evaluados; Fuente: Adaptado de INEI (2022).

Descripción del manejo aplicado en el proceso de compostaje.

Se visitaron los 10 distritos que conforman la provincia y se identificaron seis distritos que aplican la técnica del compostaje, entre ellos: Rupa Rupa (RR), José Crespo y Castillo (JCC), Padre Felipe Luyando (PFL), Mariano Dámaso Beraun (MDB), Castillo Grande (CG) y Pucayacu (PU). Con estos distritos, se realizaron las coordinaciones con los responsables (Gerentes de área) para visitar las plantas de procesamiento y se registró: descripción de la tecnología aplicada, los periodos de volteo y los tiempos de compostaje.

Determinación de indicadores fisicoquímicos. Se realizó el muestreo en pilas previamente compostadas, tamizadas y antes de ser colocadas en costales de 50 kg para su almacenamiento o distribución en cada distrito seleccionado. Se extrajeron cuatro muestras al azar y se colocaron en bolsas herméticas, las cuales, se enviaron al Laboratorio de suelos, agua y ecotoxicología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para los análisis correspondientes. Se evaluaron indicadores físicos: % de cenizas por calcinación y % de humedad por método gravimétrico. Indicadores químicos: pH, por método electrométrico; contenido de materia orgánica a base seca, por el método de digestión ácida (Walkley & Black, 1934); el fósforo (P_2O_5), por Metavanadato y lectura en espectro UV-Visible; nitrógeno (N), 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 Tapia (2017).

Calidad de compost. La investigación tomó como criterios de contraste los lineamientos y rangos de la Norma oficial chilena NCH 2880 (INN, 2004), la norma técnica colombiana NTC 5167 (ICONTEC, 2011) y, en el caso de los micronutrientes, se contrastó con la Norma Técnica Española, Real Decreto 824 (Ministerio de la Presidencia, 2005).

Análisis estadístico. El estudio se ajustó estadísticamente a un diseño completamente aleatorizado DCA, en donde los tratamientos lo constituyen los seis distritos que producen compost, con tamaño muestral $n= 24$ (cuatro 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.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Criterios técnicos aplicados 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 en coordinación con los responsables de las plantas de compostaje, se revisaron los registros del periodo de volteo, el tiempo de compostaje y aplicación de microorganismos eficientes (EM).

Todos los distritos aplican EM, preparados artesanalmente en las respectivas plantas y aplicadas en dosis aproximadas de 5-10 L de

Tabla 2. Criterios técnicos de procesamiento aplicados según distritos evaluados de la Provincia de Leoncio Prado, Perú.

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 eficientes, Ma/Me= manual/mecánico.

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 1 muestra la relación entre el periodo de volteo y el tiempo de procesamiento del compost. El distrito Castillo Grande aplica el

periodo más corto de volteo y presenta el tiempo de procesamiento más corto; por el contrario, Rupa Rupa presenta el periodo más amplio de volteo y, consecuentemente, un mayor tiempo de procesamiento, por lo tanto, proyectando una línea de tendencia, se puede evidenciar una relación directamente proporcional entre el periodo de volteo y el tiempo de procesamiento.

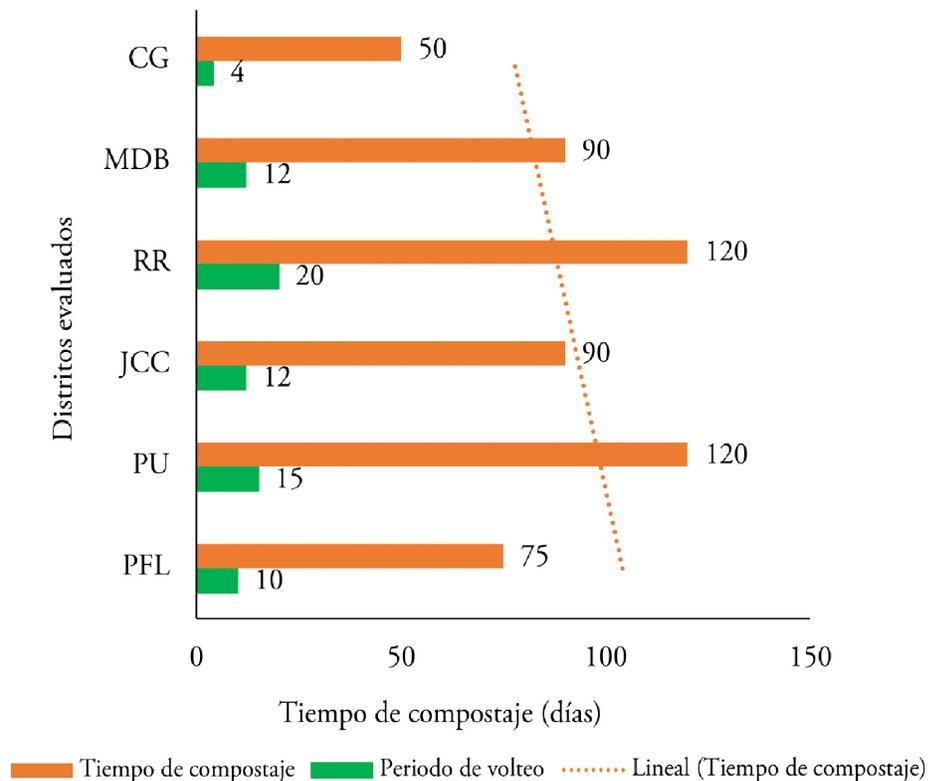


Figura 1. Valores de periodo de volteo y el tiempo de procesamiento del compost en Distritos evaluados de la Provincia de Leoncio Prado, Perú. PFL: Padre Felipe Luyando, PU: Pucayacu, JCC: José Crespo y Castillo, RR: Rupa Rupa, MDB: Mariano Dámaso Beraun, CG: Castillo Grande.

Estudios realizados por Florida Rofner & Reategui Díaz (2019) muestran periodos de volteos entre 5 a 6 días y el procesamiento duró 75 días, mientras que Bohórquez *et al.* (2015) emplearon un periodo de 7 días entre volteo y encontraron una mejor calidad del compost a los 90 días de procesamiento, 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.

Indicadores físicos en compost final

Contenido de humedad. La figura 2 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 NCH 2880 (INN, 2004).

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 se puede aplicar en la agricultura, Sin embargo, Bohórquez *et al.* (2015) advierten 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 alta 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 o número de plantas (Bailón-Rojas & Florida-Rofner, 2020). Por ello, Se sugiere disminuir a menos del 20 % el contenido de humedad, a través de tratamientos adicionales, como solarización (Bohórquez *et al.* 2015), 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 este trabajo, los contenidos de humedad están dentro de las exigencias de la NCH 2880 (INN, 2004) y son valores típicos en la mayoría de los reportes, entre ellos, el de Bohórquez *et al.* (2015), quienes encontraron medias entre 36,4-44,30 %, o los de Bailón-Rojas & Florida-Rofner (2020), con valores medios 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 (INN, 2004).

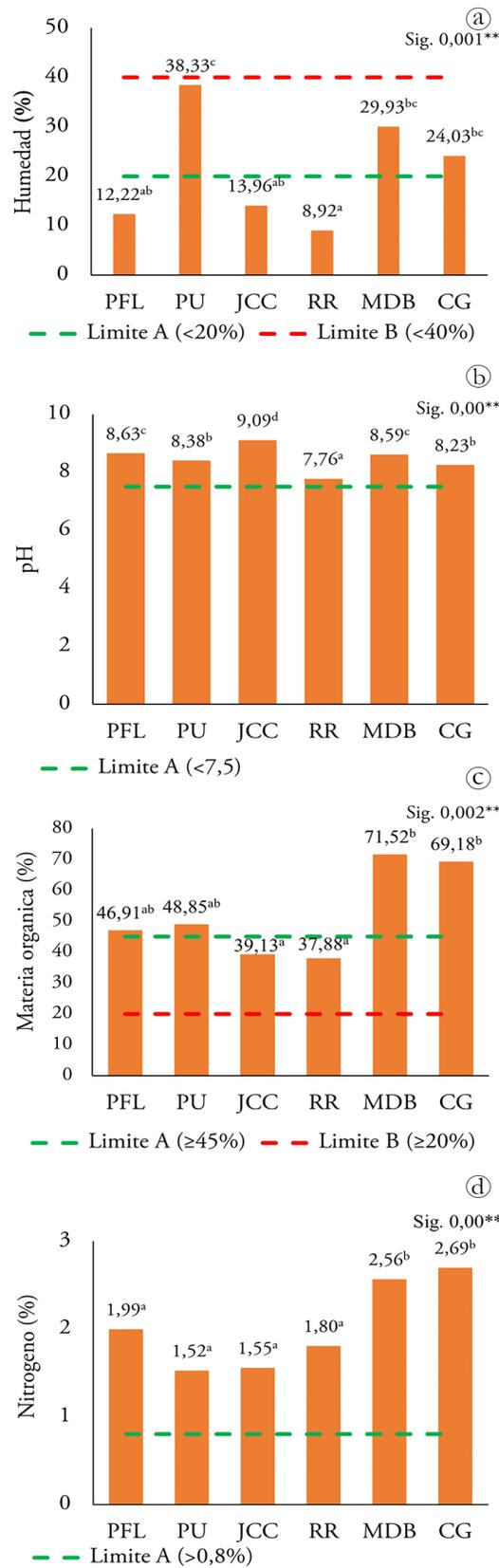


Figura 2. Valores de humedad, pH, MO y N en compost producidas en diferentes municipalidades de la Provincia de Leoncio Prado, Perú. PFL: Padre Felipe Luyando, PU: Pucayacu, JCC: José Crespo y Castillo, RR: Rupa Rupa, MDB: Mariano Dámaso Beraun, CG: Castillo Grande, Limite A: compost de alta calidad, Limite B: compost de mediana calidad, letras diferentes en la misma columna expresan diferencias estadísticas (Tukey; $p < 0,05$), Sig. significancia, ** altamente significativo.

Indicadores químicos en compost final

Potencial de hidrogeno (pH). La figura 2 muestra los valores medios de pH encontrados en el compost, 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 (INN, 2004).

Los valores de pH (7,76 a 9,09), se encuentran fuera del rango de un compost de alta calidad “Clase A”; por defecto, corresponde a un compost de calidad intermedia “clase B” y según la NCH 2880 (INN, 2004) 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 Céspedes *et al.* 2014; Barbaro *et al.* 2019; Florida Rofner & Reategui Díaz, 2019; Bailón-Rojas & Florida-Rofner, 2020). También, es conocido que los valores de pH tienden a ser bajos al inicio e incrementar hacia el final del proceso, variando entre 4 a 9 (Román *et al.* 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 menor concentración de iones intercambiables de hidrógeno y a una mayor concentración 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 recomendados por la NCH 2880 (INN, 2004) es necesario aplicar técnicas para corregir el pH, mediante la adición de azufre, sulfato ferroso, sulfato de aluminio u otros compuestos azufrados (Barbaro *et al.* 2019). Además, estos valores no solo se observan en compost a base de residuos municipales (García-Ramos *et al.* 2019), también se reportan en compost bajo otros residuos, como los encontrados en compost con base en la cáscara de cacao 8,1, estiércol de vacuno 8,33 y plumas de pollo de 7,79 (Florida Rofner & Reategui Díaz, 2019). En este contexto, los valores de pH encontrados requieren la aplicación de técnicas de corrección antes de ser utilizados como enmienda o sustrato.

Materia orgánica (MO) y Nitrógeno (N). La figura 2 muestra los valores medios de MO y 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) y calidad intermedia (Clase B), según la NCH 2880 (INN, 2004). Los valores de MO presentan diferencias altamente significativas, 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, en el rango de clase A o alta calidad, según la NCH 2880 (INN, 2004); estos últimos presentarían algunas restricciones de uso. Los valores de N presentan diferencias altamente significativas, 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 buen potencial como fertilizante.

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 (Román *et al.* 2013); por ello, es importante resaltar que los compost evaluados están dentro de los valores exigidos y presentan valores similares a los reportados en compost a base de residuos sólidos urbanos (Bailón-Rojas & Florida-Rofner, 2020) y a compost con otros residuos agrícolas (Hernández-Rodríguez *et al.* 2013) y pecuarios (Florida Rofner & Reategui Díaz, 2019); sin embargo, las diferencias encontradas entre los compost pueden estar relacionadas al volumen de la pila, el periodo entre volteos, la acción de los EM aplicados y el tiempo de compostaje y los valores bajos para los distritos JCC y RR se podrían mejorar aplicando estiércol de vacuno en un 20 %, como lo recomienda García-Ramos *et al.* (2019), quienes alcanzaron un nivel medio de 68,5 % de MO, con esta proporción.

El Nitrógeno es un macronutriente primario para la planta, debido a que está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo y en la absorción de otros nutrientes (Román *et al.* 2013). 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 (INN, 2004) exige valores de N total $\geq 0,8$ %, aunque, para Román *et al.* (2013) y la NTC 5167 (ICONTEC, 2011) un compost ideal debe tener medias >1 % de N, a base seca.

Los valores encontrados superan las exigencias de las normas técnicas y son valores similares en comparación con los resultados de Bailón-Rojas & Florida-Rofner (2020), quienes reportan medias de 1,43 % de N en compost producidas en el distrito de Rupa Rupa-Huánuco. Además, los resultados son similares en comparación con compost a base de otros residuos que se generan en la agricultura, como escobajo de palma, con 1,84 %, residuos de plátano, con 1,21 %, cáscaras de cacao, con 0,92 %, pulpa de café, con 1,92 % (Florida-Rofner *et al.* 2020) y en rastrojos de caña de azúcar, con 0,92 a 1,19 % (Pérez Méndez *et al.* 2011); sin embargo, ninguno de estos valores logra alcanzar lo reportado por Florida Rofner & Reategui Díaz (2019), quienes reportan un 4,8 % de N en pilas con 30 % de plumas de pollo y 70 % de estiércol de vacuno.

Niveles de fósforo (P). La figura 3 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 (INN, 2004). 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, no presentarían restricciones de uso y se pueden aplicar como enmienda en la agricultura, excepto los de PU, que corresponden a la clase B.

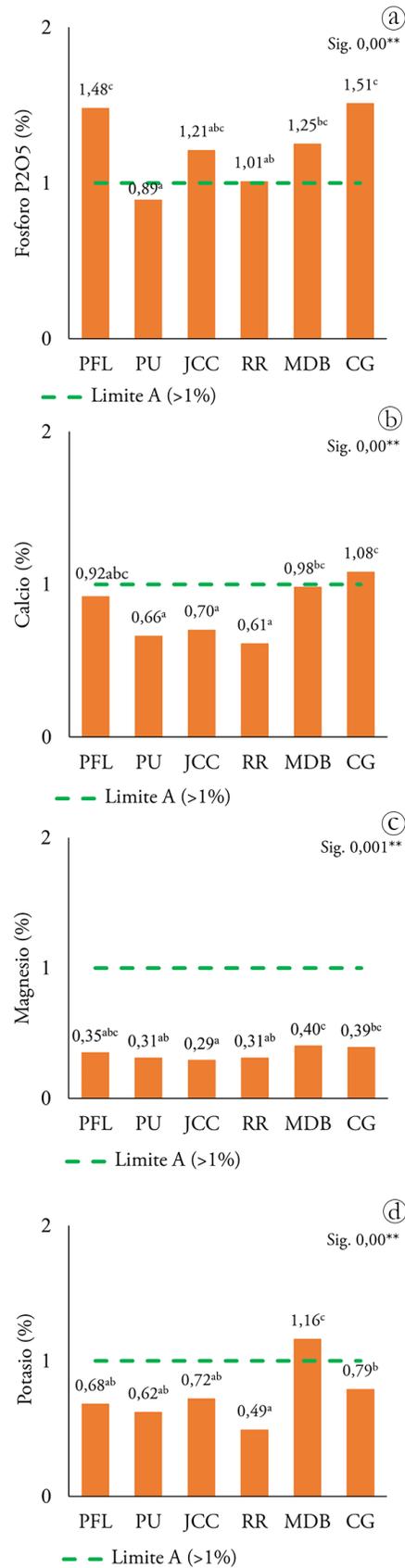


Figura 3. Niveles de P, Ca, Mg y K en compost producidas por diferentes municipalidades.

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.

El P es el segundo macronutriente primario para la planta involucrado en procesos de transferencia de energía, por lo que es esencial en la fotosíntesis (Román *et al.* 2013). La concentración de P es muy importante en el compost, a pesar de que la NCH 2880 (INN, 2004) no exige valores límites de P; sin embargo, la NTC 5167 (ICONTEC, 2011) considera que un compost ideal debe tener medias >1 % a base seca y la OMS sugiere valores entre 0,30 a 1,80 % (Florida Rofner *et al.* 2021). En tal sentido, los resultados de P cumplen con las normas citadas y presentan valores similares a los reportados por Bailón-Rojas & Florida-Rofner (2020), quienes encontraron una media de 1,57 % de P₂O₅ en compost de residuos municipales, con aplicación de microorganismos eficientes. Según Florida Rofner *et al.* (2021), los resultados presentan mayores contenidos en P que un compost a base de residuos de plumas y estiércol de vacuno, con 0,35 %, de residuos de plátano, con 0,44 % y de cáscara de cacao, con 0,03 %, pero menores a los compost con base en la pulpa de café, con 1,58 % y escobajo de palma, que tiene con 2,13 %.

Niveles de calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K). La figura 3 detalla 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 (INN, 2004). Los valores de Ca presentan diferencias altamente significativas y varían entre 0,61 a 1,08 %; todos los distritos se encuentran por debajo del rango de un compost de clase A (>1%), excepto CG. También, los contenidos de Mg presentan diferencias altamente significativas y varían entre 0,29 a 0,40 %; 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 %; para este indicador 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 se pueden aplicar como enmienda en la agricultura.

El Ca 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 y rajado de frutos (Román *et al.* 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 (Strawn *et al.* 2019).

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 (INN, 2004). Son valores típicos encontrados en compost a base de residuos urbanos, entre ellos. Barbaro *et al.* (2019) encontraron una media de 0,87 %, pero estos valores podrían mejorar si se combinan con otros residuos; Florida Rofner *et al.* (2021) sugieren el uso de pulpa de café y escobajo de palma, ya que el compost de estos residuos logra alcanzar medias de 3,15 y 2,90 % de Ca, respectivamente.

Respecto al Mg 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 Alemán *et al.* 2017), por ello, su concentración en niveles mayores a 1 % es exigida por la NCH 2880 (INN, 2004). En ningún caso, los compost evaluados alcanzaron este valor, por lo cual, corresponderían a compost de calidad intermedia o clase B, con una media relativamente baja; sin embargo, las referencias presentan valores muy variables en compost con base en el mismo tipo de residuo urbano, como el reportado por Bailón-Rojas & Florida-Rofner (2020), de 1,17 %. Este valor de Mg se podría mejorar combinando el residuo urbano con pulpa de café y escobajo de palma, para alcanzar valores entre 0,89 y 0,97 (Florida Rofner *et al.* 2021).

El K 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 (Román *et al.* 2013). De acuerdo con la NCH 2880 (INN, 2004), 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 bajos en comparación a los 4,47 de K, reportados por Bailón-Rojas & Florida-Rofner (2020).

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 la NCH 2880 (INN, 2004) exige valores mayores a 1 %, esto no afectaría su potencial uso en la agricultura y según Florida Rofner *et al.* (2021), los niveles de estos macronutrientes se podrían mejorar 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 mejorar el K.

Niveles de micronutrientes cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn) y manganeso (Mn). En la figura 4, se presentan los valores medios de Cu, Zn, Fe, y Mn, de 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 (INN, 2004).

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 se pueden aplicar 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 (Román *et al.* 2013). Por ello, es importante que los valores medios en un compost, según la NCH 2880 (INN, 2004), no debe

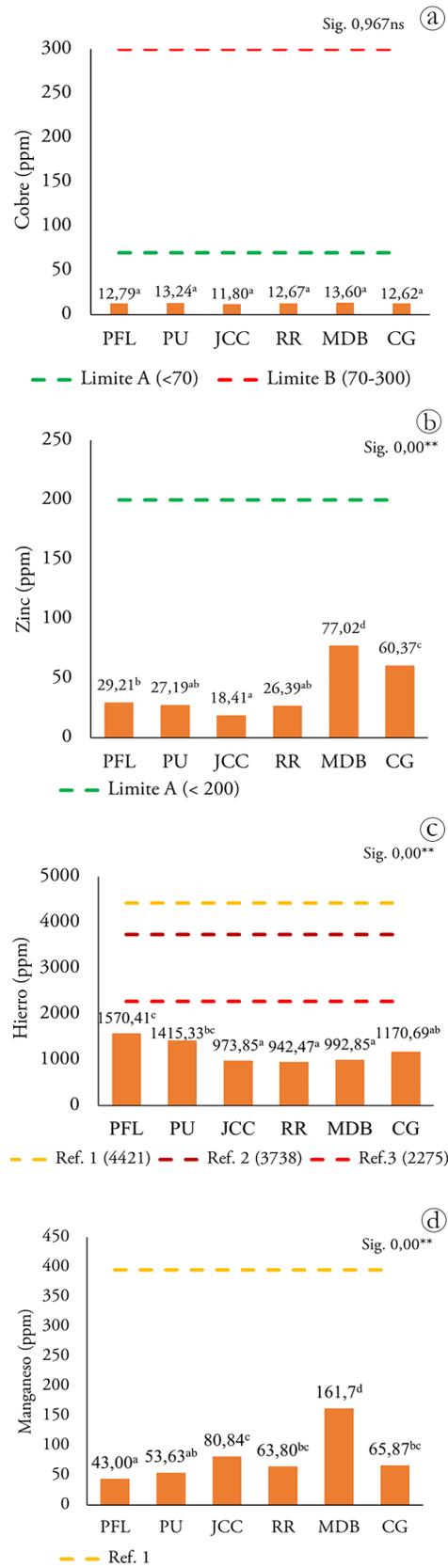


Figura 4. Concentración de Cu, Zn, Fe y Mn en compost producidas por diferentes municipalidades. PFL: Padre Felipe Luyando, PU: Pucayacu, JCC: José Crespo y Castillo, RR: Rupa Rupa, MDB: Mariano Dámaso Beraun, CG: Castillo Grande. Letras diferentes en la misma columna expresan diferencias estadísticas ($p < 0,05$), Sig. significancia, ns: no significativo.

superar valores de 70 y 200 ppm para Cu y Zn y para el caso de Fe y Mn, se utilizan otros resultados como referencia, toda vez que la NCH 2880 (INN, 2004) y las demás normas técnicas, como la NTC 5167 (ICONTEC, 2011) y el Real Decreto Español 824, no contemplan rangos para estos micronutrientes, por ello, los resultados son comparados con los reportes de Florida Rofner & Reategui Díaz (2019) y Bailón-Rojas & Florida-Rofner (2020). Para el Hierro, en todos los casos los resultados presentan valores menores a estas referencias.

El compost producido a base de residuos 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 (Bailón-Rojas & Florida-Rofner, 2020) y son menores a otros residuos compostados (Bohórquez *et al.* 2015; Jacobo Salcedo *et al.* 2017; Alvarez-Vera *et al.* 2019; Florida Rofner & Reategui Díaz, 2019).

Calidad del compost. El contraste de los indicadores físicos, macronutrientes y micronutrientes, con la NCH 2880 (INN, 2004), la NTC 5167 (ICONTEC, 2011) y el Real Decreto Español 824, 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 como fertilizante de los compost evaluados.

En este contexto, los compost 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 Agüero & Terry Alfonso, 2014; Florida Rofner & Reategui Díaz, 2019; García-Ramos *et al.* 2019) es necesario aplicar medidas correctivas antes de su procesamiento o aplicación en la agricultura, de acuerdo con 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 *et al.* 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 Rofner & Reategui Díaz, 2019), pulpa de café y escobajo de palma, para elevar los niveles de P, Ca y Mg y residuos de plátano, para elevar el K (Florida Rofner *et al.* 2021).

En general, el trabajo encontró seis distritos que utilizan el compostaje como técnica para tratar sus residuos orgánicos con aplicación de microorganismos eficientes y volteo de pilas en concentraciones y periodos variables, que repercute en el tiempo total de compostaje. Los indicadores fisicoquímicos presentaron diferencias altamente significativas entre los compost evaluados para humedad, pH, MO, N, P, Ca, Mg, K, Zn, Fe y Mn, excepto

el Cu; sin embargo, todos los compost son de calidad B o calidad intermedia, de acuerdo con los criterios de calidad de la NCH 2880 (INN, 2004), NTC 5167 (ICONTEC, 2011) y de la OMS, por lo cual, presentan algunas restricciones de uso al presentar valores elevados de humedad y pH y bajos niveles de P, Ca, Mg y K, sin que esto los descalifique para ser utilizados como enmienda en la mejora del suelo y los cultivos

Agradecimientos. A la Universidad Nacional Agraria de la Selva por su colaboración parcial y disposición para la ejecución de la propuesta de investigación. **Conflictos de intereses:** El artículo fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Contribución autores:** Emilio Anthony y Ríos-Velásquez realizaron los trabajos de campo, obtención y análisis formal de los datos para la escritura del borrador del manuscrito. Nelino Florida Rofner contribuyó con la asesoría de la investigación, la contextualización, la metodología, revisión y redacción del manuscrito. Todos los autores participaron en la redacción, revisión, edición del manuscrito y aprueban la versión final. **Financiación:** Este estudio fue financiado parcialmente con recursos del Fondo de Desarrollo Universitario (FEDU) asignados al presupuesto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para promover la Investigación Docente.

REFERENCIAS

1. ALVAREZ-VERA, M.; LARGO, A.; IGLESIAS-ABAD, 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>
2. BARBARO, L.; KARLANIAN, M.; RIZZO, P.; RIERA, N. 2019. Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. *Chilean Journal of Agriculture & Animal Sciences*. 35(2):126-136. <http://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902019005000309>
3. BAILÓN-ROJAS, M.R.; FLORIDA-ROFNER, 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>
4. BAZÁN TAPIA, R. 2017. Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego. INIA. Lima, Perú. 89p.
5. 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(1):73-81. http://doi.org/10.21930/rcta.vol15_num1_art:398

6. CARRIÓN, C.; ABAD, M.; FORNES, F.; NOGUERA, V.; PUCHADES, R.; MAQUIEIRA, A.; BOTELLA, S.; GARCÍA, R. 2008. Acidification of composts from agricultural wastes to prepare nursery potting mixtures. *Acta Horticulturae*. 779:333-340. <http://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.779.41>
7. FLORIDA ROFNER, N.; REATEGUI DÍAZ, F. 2019. Compost a base de plumas de pollos (*Gallus domesticus*). *Livestock Research for Rural Development*. 31:11.
8. FLORIDA-ROFNER, N.; LEVANO-CRISOSTOMO, J.D.; JACOBO-SALINAS, S. 2020. Effect of feather compost on soil chemical indicators in CCN-51 cocoa plantation (*Theobroma cacao L.*). *Producción + Limpia*. 15(1):25-34. <https://doi.org/10.22507/pml.v15n1a2>
9. FLORIDA ROFNER, N.; LEVANO CRISOSTOMO, J.D.; TRIGOSO BECERRIL, D. 2021. Plumasy residuos locales una alternativa para mejorar la calidad del compost y suelos en el trópico peruano. Editorial Eidec. Colombia. 64p. <https://doi.org/10.34893/8pf7-7h61>
10. GARCÍA-RAMOS, C.; AROZARENA-DAZA, N.J.; MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, F.; HERNÁNDEZ-GUILLÉN, M.; PASCUAL-AMARO, J.Á.; SANTANA-GATO, D. 2019. Obtención de compost mediante la biotransformación de residuos de mercados agropecuarios. *Cultivos Tropicales*. 40(2):e02.
11. GARCÍA CÉSPEDES, D.; LIMA CAZORLA, L.; RUÍZ GUTIÉRREZ, L.; CALDERÓN PEÑALAVAR, P. 2014. Métodos y parámetros para determinar la madurez en el compost a nivel de fincas. *Medio Ambiente y Desarrollo*. 14(26).
12. HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, O.A.; HERNÁNDEZ-TECORRAL, A.; RIVERA-FIGUEROA, C.; ARRAS-VOTA, A.M.; OJEDA-BARRIOS, D. 2013. Calidad nutrimental de cuatro abonos orgánicos producidos a partir de residuos vegetales y pecuarios. *Terra Latinoamericana*. 31(1):35-46.
13. HOLDRIDGE, L.R. 2000. *Ecología basada en zonas de vida*. Quinta reimpresión. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) San José, Costa Rica. 216p.
14. HUAMANÍ MONTESINOS, C.; TUDELA MAMANI, J.W.; HUAMANÍ PERALTA, 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>
15. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN - ICONTEC. 2011. Norma técnica colombiana 5167. Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. Segunda actualización. ICONTEC. Colombia. 10p.
16. INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN - INN. 2004. Norma oficial chilena 2880 (NCH 2880). Norma Chilena de Calidad de Compost. INN. Chile. 27p.
17. 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/>
18. JACOBO SALCEDO, M.D.R.; FIGUEROA VIRAMONTES, U.; MACIEL TORRES, S.P.; LÓPEZ ROMERO, L.L.; MUÑOZ VILLALOBOS, A. 2017. Elementos menores en composta producida a partir de estiércol de engorda y rastrojo de maíz. *Agrofaz*. 17(2):61-71.
19. MINISTERIO DEL AMBIENTE - MINAM. 2021. Estadística ambiental. Sistema nacional de información ambiental-SINIA. Disponible desde Internet en: <https://sinia.minam.gob.pe/informacion/tematicas?tematica=08>
20. MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA. 2005. Real decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes. Boletín Oficial del Estado BOE-A-2005-12378. España. 78p. Disponible desde Internet en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2005/07/08/824>
21. OVIEDO-OCAÑA, E.R.; MARMOLEJO-REBELLON, L.F.; TORRES-LOZADA, 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(1):31-42.
22. PÉREZ MÉNDEZ, M.A.; SÁNCHEZ HERNÁNDEZ, R.; PALMA LÓPEZ, D.L.; SALGADO GARCÍA, S. 2011. Caracterización química del compostaje de residuos de caña de azúcar en el sureste de México. *Interciencia*. 36(1):45-52.
23. PULGAR VIDAL, J. 2014. Las ocho regiones naturales del Perú. *Terra Brasilis*. 3. <https://doi.org/10.4000/terrabrasilis.1027>
24. QUILLOS RUIZ, S.A.; ESCALANTE ESPINOZA, N.J.; SÁNCHEZ VACA, D.A.; QUEVEDO NOVOA, L.G.; DE LA CRUZ ARAUJO, 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.
25. RAMOS AGÜERO, D.; TERRY ALFONSO, E. 2014. Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*. 35(4):2-59.

26. REYES ALEMÁN, M.D.R.; FRANCO MORA, O.; MORALES ROSALES, E.J.; PÉREZ LÓPEZ, D.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.
27. ROMÁN, P.; MARTÍNEZ, M.M.; PANTOJA, A. 2013. Manual de compostaje. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO. Santiago de Chile, Chile. Disponible desde Internet en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
28. ROSAL, A.; PÉREZ, J.P.; ARCOS, M.A.; DIOS, M. 2007. La incidencia de metales pesados en compost de residuos sólidos urbanos y en su uso agronómico en España. *Información tecnológica*. 18(6):75-82. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642007000600010>
29. SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ - SENAMHI. 2021. Descarga de datos meteorológicos a nivel nacional. Disponible desde Internet en: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>
30. STRAWN, D.G.; BOHN, H.L.; O'CONNOR, G.A. 2019. Soil chemistry. Quinta edición. Editorial Wiley-Blackwell. 356p.
31. WALKLEY, A.; BLACK, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Science*. 37(1):29-38. <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>
32. WIDMAN AGUAYO, F.; HERRERA RODRÍGUEZ, F.; CABAÑAS VARGAS, D.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.