

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



CALIDAD DE COMPOST DE RESIDUOS ORGÁNICOS URBANOS PRODUCIDO
EN LA PLANTA DE VALORIZACION DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE
LEONCIO PRADO

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

JANYRA GREHISY AGUIRRE ILLATOPA

Tingo María – Perú

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María – Perú

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°38 -2023-FRNR-UNAS

Los que suscriben, miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 02 de mayo del 2023 a horas 10:00 a.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

“CALIDAD DE COMPOST DE RESIDUOS ORGÁNICOS URBANOS PRODUCIDO EN LA PLANTA DE VALORIZACION DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE LEONCIO PRADO”

Presentado por la Bachiller: **JANYRA GREHISY AGUIRRE ILLATOPA**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENO”**.

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

Tingo María, 22 de mayo de 2023

**Dr. ROBERTO OBREGON PEÑA
PRESIDENTE**



**Ing. M.Sc. JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO
MIEMBRO**

**Ing. JAIME TORRES GARCIA
MIEMBRO**

**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° 152 - 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:

Facultad de Recursos Naturales Renovables

Tipo de documento:

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

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
“CALIDAD DE COMPOST DE RESIDUOS ORGÁNICOS URBANOS PRODUCIDO EN LA PLANTA DE VALORIZACION DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE LEONCIO PRADO	Aguirre Illatopa Janyra Grehisy	24% Veinticuatro

Tingo María, 13 de junio de 2023


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

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



CALIDAD DE COMPOST DE RESIDUOS ORGÁNICOS URBANOS PRODUCIDO
EN LA PLANTA DE VALORIZACION DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE
LEONCIO PRADO

Autor : Janyra Grehisy Aguirre Illatopa
Asesor (es) : Dr. Nelino Florida Rofner
Programa de investigación : Manejo y conservación de suelos
Línea de Investigación : Física y química de suelo
Eje Temático : Manejo de abonos orgánicos
Lugar de ejecución : Leoncio Prado
Duración de trabajo : Siete meses
Financiamiento : S/ 4 308

Tingo María -Perú

2023

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
OFICINA DE INVESTIGACION**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
**REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCION DEL
TITULO UNIVERSITARIO, INVESTIGACIÓN DOCENTE
Y TESISISTA**

(Resol. N° 113-2019-CU-R-UNAS)

I. Datos Generales de Pregrado

Universidad : Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad : Facultad de Recursos Naturales Renovables
Título de la tesis : Calidad de compost de residuos orgánicos urbanos producido en la planta de valorización de la municipalidad provincial de Leoncio Prado.
Autor : Bach. Aguirre Illatopa Janyra Grehisy
Asesor (es) : Dr. Florida Rofner, Nelino
Escuela Profesional : Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua
Programa de Investigación : Manejo y conservación de suelos
Línea de Investigación : Física y química de suelo
Eje Temático : Manejo de abonos orgánicos
Lugar de Ejecución : Leoncio Prado
Duración : Fecha de inicio : Mayo 2022
: Fecha de término : Diciembre 2022
Financiamiento : Propio : S/. 4 308,00

Tingo María Perú, marzo 2023

.....
Aguirre Illatopa Janyra Grehisy
Tesisista

.....
Dr. Nelino, Florida Rofner

DEDICATORIA

A Dios quien fue mi guía y mi fuerza quien hizo de mí una persona de valor y durante mi formación como profesional puso en mi camino a amistades únicos me dio conocimiento de las cosas estuvo conmigo en los momentos malos haciendo que todos mis sueños su cumplan.

A mis padres Carmen Sánchez Ortiz y Silvestre Aguirre Loarte que constituyen la fuerza y motivo para seguir adelante como profesional confiando en mí que si podía lograr a ser una gran profesional. A mis hermanos Erick Aguirre Jáuregui Alex Aguirre Sánchez Nykoll Aguirre Sánchez y Jhordy Aguirre Sánchez porque me apoyaron y me motivaron cada día a avanzar a cumplir uno de mis mayores sueños de ser profesional.

A una persona especial Gerson Soto Sabino y su familia, por su apoyo y consideración durante mi formación profesional.

El autor

AGRADECIMIENTO

- A Dios quien estuvo conmigo siempre y me ha guiado dándome sabiduría y fortaleza para seguir adelante ayudándome a cumplir mis sueños de ser una profesional.
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables a la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua, que contribuyó en mi formación personal y académico por formarme y llenarme de conocimientos previos en la materia junto a mis docentes en toda mi carrera profesional que me inculcaron y motivaron a ser profesional.
- A mi asesor Dr. Nelino Florida Rofner por su orientación profesional, respaldo y sobre todo su comprensión durante el presente trabajo de investigación.
- A los miembros integrantes del jurado de tesis Dr. Roberto Obregón Peña; Ing. MSc. Juan Pablo Rengifo Trigozo; Ing. Jaime Torres García; Ing. MSc. José Quiroz Ramírez por su orientación, sugerencias y observaciones que han contribuido en el presente trabajo.
- A mis amistades más cercanas por los valores inculcados, comprensión y estímulo constante ya que ellos me motivaron de poder desarrollarme como profesional.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCION	1
1.1. Objetivo General	2
1.2. Objetivo específico	2
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1. Antecedentes	3
2.1.1. Antecedentes internacionales	3
2.1.2. Antecedentes nacionales	3
2.1.3. Antecedentes locales	4
2.2. Residuos solidos urbanos	4
2.2.1. Caracterización de los residuos sólidos urbanos	6
2.3. El compost.....	6
2.3.1. Etapas del compostaje	7
2.4. Procesos del compostaje.....	8
2.4.1. Proceso biológico de compostaje	9
2.4.2. Manejo del proceso de compostaje	9
2.4.2.1. Mezcla revuelta y movimiento	9
2.4.2.2. Humedecimiento o riego	9
2.4.3. Factores que influyen en el proceso de compostaje	9
2.4.3.1. Humedad	9
2.4.3.2. Conductividad	10
2.4.3.3. Aireación	10
2.4.3.4. Tamaño de partícula	10
2.4.3.5. Microorganismos.....	11
2.4.3.6. Nitrógeno.....	11
2.4.3.7. Temperatura	11
2.4.3.8. pH.....	12
2.4.3.9. Materia orgánica.....	12
2.4.4. Clasificación del compost	12
2.4.4.1. Compost fresco.....	13
2.4.4.2. Compost maduro	13
2.4.4.3. Compost curado.....	13

2.5.	Calidad de compost	13
2.5.1.	Normas para determinar la calidad de compost	13
2.5.1.1.	Norma chilena 2880	13
2.5.1.1.	Norma Técnica Colombiana 5167.....	14
2.6.	Métodos y parámetros para evaluar la madurez del compost.....	15
2.6.1.	Métodos de observación directa	15
2.6.2.	Método químico	15
2.6.3.	Métodos biológicos	15
III.	MATERIALES Y METODOS	17
3.1.	Ubicación de la zona de trabajo.....	17
3.1.1.	Ubicación política	18
3.2.	Características generales del área de estudio.....	17
3.2.1.	Del área de estudio... ..	17
3.2.2.	De las pilas compostadas	18
3.3.	Materiales, equipos e insumos.....	18
3.3.1.	Materiales de campo.....	18
3.3.2.	Materiales de laboratorio.....	18
3.3.3.	Insumo biológico.....	18
3.3.4.	Equipo de gabinete	18
3.4.	Criterios de análisis	18
3.4.1.	Tipo y nivel de investigación	18
3.4.2.	Diseño de investigación.....	18
3.4.	Metodología.....	18
3.5.1.	Caracterización de los residuos y control de bioindicadores del procesamiento (T° y pH).ipo y nivel de investigación	18
3.5.2.	Determinación de indicadores físicos y químicos del compost.....	20
3.5.3.	Determinación de la calidad del compost a través de NTC 5167 y NOCh 2880	20
3.6.	Población y muestra	21
3.7.	Análisis estadístico	21
3.7.1.	Análisis de varianza.....	21
3.8.	Variables en estudio	22
IV.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	23
4.1.	Caracterización de los residuos orgánicos urbanos	23

4.2. Bioindicadores del procesamiento.....	23
4.2.1. Temperatura	25
4.2.2. Potencial de hidrogeno (pH)	27
4.3. Indicadores físicos y químicos del compost final.....	23
4.3.1. Contenido de humedad.....	29
4.3.2. Cenizas (%)	31
4.3.3. Conductividad eléctrica (uS/cm).....	32
4.3.4. Potencial de hidrogeno (pH)	34
4.3.5. Materia orgánica (MO).....	36
4.3.6. Nitrógeno (N)	38
4.3.7. Niveles de Fósforo (P)	40
4.3.8. Niveles de Calcio (Ca)	41
4.3.9. Niveles de Magnesio (Mg).....	43
4.3.10. Niveles de potasio (K).....	45
4.3.11. Niveles de cobre (Cu).....	47
4.3.12. Niveles de zinc (Zn)	49
4.2. Calidad de compost	51
V. CONCLUSIONES	50
VI. PROPUESTAS A FUTURO	51
VII. REFERENCIAS.....	52
VIII. ANEXOS	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Caracterización de residuos aprovechables	6
2. Rangos adecuados de pH.....	12
3. Valores permitidos de las características químicas en compost.....	14
4. Parámetros fisicoquímicos que garantizar según la NTC 5167 de abonos o fertilizantes orgánicos sólidos	14
5. Tiempo de procesamiento en pilas evaluadas	20
6. Indicadores físicos, químicos y microbiológicos evaluados	20
7. Estructura de tabla de datos con DCA	21
8. Descripción de la caracterización de residuos compostados.....	23
9. Evaluación de la temperatura (°C) en las diferentes pilas procesadas	25
10. Evaluación del pH en las diferentes pilas procesadas	27
11. Análisis de varianza para el contenido de humedad.....	30
12. Análisis de varianza de Cenizas	32
13. Análisis de varianza de Conductividad eléctrica.....	33
14. Análisis de varianza para los niveles de pH	35
15. Prueba post-hoc de Tukey para los niveles de pH	35
16. Análisis de varianza para los niveles de MO	37
17. Análisis de varianza para los niveles de N	39
18. Prueba post-hoc de Tukey para los niveles de N	39
19. Análisis de varianza para los niveles de fósforo (P)	41
20. Análisis de varianza para los niveles de calcio (Ca)	42
21. Prueba post-hoc de Tukey para los niveles de Ca.....	43
22. Análisis de varianza para los niveles de magnesio (Mg)	44
23. Análisis de varianza para los niveles de K.....	46
24. Prueba post-hoc de Tukey para los niveles de Ca.....	46
25. Análisis de varianza para los niveles de Cu	48
26. Prueba post-hoc de Tukey para los niveles de Cu.....	48
27. Análisis de varianza para los niveles de Zn	49
28. Prueba post-hoc de Tukey para los niveles de Zn.....	50
29. Calidad de compost final producidas en diferentes pilas	51
30. Principales indicadores de calidad en diferentes etapas del compostaje	60
31. Norma Oficial Chilena (NCH 2880)	60

32. Datos generales de Temperatura (T°)	61
33. Datos generales de pH evaluados en las diferentes pilas	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Residuos sólidos domiciliarios urbanos al 2020	5
2. Residuos sólidos dispuestos en rellenos sanitarios	5
3. Evolución de la temperatura y el pH durante las diferentes etapas del compostaje	11
4. Localización geográfica del área de estudio de la planta de valorización en Santa Rosa de Shapajilla	17
5. Criterios de evaluación de T° y pH durante el procesamiento	19
6. Caracterización de residuos orgánicos sometidos a compostaje según pila.....	24
7. Comportamiento de la temperatura durante el procesamiento	26
8. Comportamiento del pH durante el procesamiento	29
9. Variación de la humedad del compost final en las diferentes pilas.....	30
10. Variación del % de cenizas del compost final en las diferentes pilas	31
11. Valores de conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) comparada con la NOCh2880.....	33
12. Variación del pH del compost en las diferentes pilas	34
13. Variación de la MO del compost en las diferentes pilas	37
14. Variación del N en las diferentes pilas	38
15. Variación del fósforo en las diferentes pilas	65
16. Variación del Ca en las diferentes pilas	65
17. Variación del Mg en las diferentes pilas	66
18. Variación del K en las diferentes pilas	66
19. Variación del Cu en las diferentes pilas	47
20. Variación del Zn en las diferentes pilas	67
21. Planta de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado	67
22. Preparación de microorganismos eficientes a utilizar dentro del proceso de compostaje	68
23. Pesaje del material de residuos sólidos orgánicos que ingresa a la planta.....	69
24. Pilas de los residuos orgánicos que van a empezar su proceso de compostaje.....	
25. Aireación de las pilas del compost con ayuda de maquinaria.....	70
26. Extracción y rotulación de muestras según los tratamientos.....	70
27. Encostalado y almacenamiento del producto final.....	71

RESUMEN

El trabajo evaluó la calidad de compost de residuos sólidos orgánicos urbanos de la ciudad de Tingo María y procesadas en la planta de valorización “Santa Rosa de Shapajilla”, administrada por la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado. Investigación descriptiva con ajuste estadístico de Diseño Completo al Azar (DCA), en el que los tratamientos lo constituyen 5 pilas (con cinco repeticiones) sometidas a compostaje; para ello, se evaluó indicadores físicos y químicos del compost final, como pH, conductividad eléctrica (CE), % de humedad, materia orgánica (MO), % de cenizas, nitrógeno (N), potasio (K), fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), cobre (Cu), y zinc (Zn). La calidad se evaluó basado en la norma colombiana (NTC5167) y chilena (NCH2880). Los resultados muestran diferencia significativa para pH, N, Ca, K, Cu y Zn; contrariamente la MO, el % de cenizas, CE, Na y P no mostraron diferencias, siendo lo más destacado los altos niveles de pH (>9). Además, La calidad del compost producido es de “Clase B” según la NCH2880. En conclusión, los compost evaluados son de Clase B y presentan restricciones para su uso en la agricultura por los altos niveles de pH.

Palabras clave: Enmienda orgánica, normas técnicas, parámetros fisicoquímicos, Clase “B”

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the quality of the compost from urban organic solid waste produced in the city of Tingo Maria and processed in the recycling plant located in Santa Rosa de Shapajilla, [Peru], managed by the Leoncio Prado Provincial Municipality. The research [was] descriptive and comparative, statistically fitting a completely randomized design (CRD; DCA in Spanish), where the treatments were made up of five pile (with five repetitions) which were submitted to composting. In order to do this, the physical and chemical indicators of the final compost such as the pH, electrical conductivity (EC; CE in Spanish), percentage of humidity, organic matter (OM; MO in Spanish), percent of ash, nitrogen (N), potassium (K), phosphorous (P), calcium (Ca), magnesium (Mg), sodium (Na), copper (Cu), and zinc (Zn) were evaluated. The quality was evaluated based on the Colombian technical standard (NTC5167) and the official Chilean standard (NOCh2880). The results showed a significant difference for the pH, N, Ca, K, Cu, and Zn; on the contrary, for the OM, % of ash, EC, Na, and P, no differences were seen, with the pH being that which stood out with the highest levels (>9). Moreover, the quality of the compost that was produced was “Class B,” according to NOCh2880. In conclusion, the compost evaluated was of an average quality (Class B), and presented restrictions in its use in agriculture, due to the high pH levels.

Keywords: organic compost, technical standards, physicochemical parameters, Class “B”

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional de los últimos años está directamente asociado a una cultura consumista causando el incremento acelerado de los residuos sólidos como consecuencia los grandes problemas ambientales. En nuestro país y de acuerdo con los reportes anuales emitidos por la autoridad ambiental se genera un aproximado de 20 mil toneladas de residuos de la categoría municipal de forma diaria (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2019), los mismos que requieren de un manejo y gestión adecuada, cuando ésta no se lleva de forma correcta es que surgen lo que ya conocemos como problemáticas ambientales.

La municipalidad desde el año 2011 realiza el programa de segregación en la fuente y recolección selectiva en el distrito de Rupa Rupa cuyo nombre es “VECS”, evitando así el arrojado de residuos sólidos al río Huallaga u otra disposición final. Esta técnica del compostaje permite que el proceso de biodegradación se lleve a cabo de forma controlada de residuos y subproductos orgánicos, transformándose en un producto final llamada compost que son fuentes de vida bacteriana para el suelo y muy necesarios para la nutrición de las plantas.

El compost sin un control de calidad de una autoridad competente puede generar efectos negativos al medio ambiente muy perjudiciales al agroecosistema y la economía de los productores si se posee una baja capacidad fertilizante o por elevadas concentraciones de sustancias fitotóxicas. Por tanto, su uso puede ser muy peligrosa en la aplicación de los cultivos de la zona; frente a ello, se debe hacer la comparación de las características y composición del compost con normativa como la Norma Técnica Colombiana (NTC5167) y la Norma Chilena (NCH2880).

En el contexto de la realidad problemática descrita se plantea la interrogante: ¿Cuál es la calidad del compost de residuos sólidos orgánicos producidas en la planta de valorización “Santa Rosa de Shapajilla” administrada por la Municipalidad provincial de Leoncio Prado, 2021-2022?.

La investigación se justifica en la necesidad de generar información sobre la calidad del compost, evaluando los indicadores fisicoquímicos, considerando que las municipalidades según la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (Decreto Legislativo N°1278) están aplicando la técnica de compostaje como tratamiento de residuos sólidos orgánicos, sin embargo no se han realizado trabajos para demostrar la calidad del compost producido, en ese sentido se aplica la NCH2880 y NTC5167 para determinar la calidad del compost en el distrito Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, Perú, debido a la importancia que

tiene en la aplicación y uso de áreas verdes, espacios públicos e incluso la agricultura a menor o mayor escala.

La investigación contribuye con información científica sobre la calidad del compost y sus potenciales riesgos para su aplicación en la agricultura en el ámbito local y regional, la misma que servirá a las entidades públicas como las municipalidades provinciales y distritales y otras instituciones que impulsan el desarrollo de la agricultura orgánica local y regional

Por lo tanto, la investigación logró contrastar la hipótesis; La calidad de compost producido con residuos sólidos orgánicos en la planta de valorización en Santa Rosa de Shapajilla de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado, cumplen con los criterios de calidad de la Norma Colombiana (NTC5167) y chilena (NCH2880) y corresponden a compost de calidad B.

1.1. Objetivos

1.2.1. General

Evaluar la calidad de compost de residuos orgánicos urbanos producidos en la planta de valorización Santa Rosa de Shapajilla de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado.

1.2.2. Objetivo específico

- Caracterizar los residuos y evaluar los bioindicadores del procesamiento (temperatura y pH).
- Determinar los indicadores físicos y químicos de la calidad de los compost producidos en la planta de valorización ubicado en Santa Rosa de Shapajilla.
- Determinar la calidad de compost a través de las normas técnica colombiana NTC5167 y chilena NCH2880.

I. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Goyoaga et al. (2004) en su investigación titulada “Actividad respiratoria, amonificante y degradación de celulosa en el proceso de producción de compost a partir de diferentes mezclas de aserrín y estiércol”. Determinó la actividad respiratoria y amonificante a partir de la celulosa, mediante la aplicación de un proceso de compostaje en diferentes mezclas de aserrín y estiércol. Concluyendo con la actividad respiratoria y amonificante presentó su mayor actividad entre los 17 y 34 días de incubación, encontrándose la mayor actividad respiratoria en el tratamiento que contenía aserrín al 100% (1063 mg CO₂/L), seguido por el tratamiento que contenía aserrín y fuente carbonada (778mgCO₂/L).

Tighe et al. (2014) en la publicación que lleva por título “Caracterización de compost a base de espinillo en relación a la norma chilena NOCh2880”, tuvo como objetivo caracterizar la calidad de compost producido a partir de espinillo en relación a la norma chilena N°2880 concluyendo que los tratamientos con *Ulex europaeus* (100%) sin acelerador de compostaje y con aceleración de compostaje presentaron mayor porcentaje de materia orgánica, nitrógeno total y relación C/N que T2 (*U. europaeus* (78%)+ estiércol de bovino (22%) sin A.C), y T4 (*U. europaeus* (78%) + estiércoles de bovino (22%) con A.C. y *U. europaeus* (100%) sin AC) presentó un menor %C y T2 menor pH en comparación al resto de los tratamientos.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Zenón et al. (2009) en su investigación titulada “Determinación de la calidad de compost, elaborado a partir de residuos sólidos orgánicos en el municipio de Puerto Mayor Carabuco, provincia Camacho”, tuvo por objetivo determinar cuál era la calidad de compost elaborado a partir de residuos sólidos orgánicos en el municipio Puerto Mayor Carabuco, de tal forma que pudo concluir que las diferencias significativas en todos los tratamientos estuvo presente, debido a la variabilidad que poseían la composición de los residuos orgánicos, solo un tratamiento se encontró dentro de los estándares de calidad, siendo este el tratamiento T3, presentando una mezcla de residuos de jardinería, estiércol de ovino y bovino, en porcentajes que varían del 40 y 30% respectivamente. Por el contrario, el T4 cuyos contenidos de residuos de estiércol y de jardinería se encontraban entre 20 y 18% presentó una baja calidad, principalmente en el contenido de nutrientes y por lo tanto una de las combinaciones no recomendables. Por otro lado, cabe mencionar también que existen diferencias significativas en el rendimiento, temperatura y pH. Con respecto a los costos

económicos parciales de los cuatro tratamientos, existen diferencias significativas. El tratamiento T3, su beneficio / costo fue el mayor de 2.10, en comparación con los demás tratamientos, por el contrario, el T1 mostró una relación B / C bajo con 1.94 Bs.

2.1.3. Antecedentes locales

Beteta et al. (2016) en la investigación titulada “Reactividad del compost producido a partir de residuos sólidos urbanos de las municipalidades de Leoncio Prado, Concepción y José Crespo y Castillo”, tuvo por finalidad determinar la reactividad del compost producido a partir de residuos sólidos urbanos de las municipalidades indicadas líneas arriba, concluyendo que existe una diferencia estadísticamente significativa, en el aspecto de reactividad y en comparación con la normativa técnica australiana no superan el límite establecido de 7 mgO₂/gMS, por otro lado se determinó las características fisicoquímicas y biológicas del compost que fueron obtenidos de las muestras de la ciudad de concepción fueron las mejores sin embargo, la radioactividad que presentan no sería adecuada para su uso en la agricultura, pudiendo optarse por utilizarse como material de cobertura en áreas de disposición final de residuos sólidos.

Bailón & Florida et al. (2020) en la investigación titulada “Caracterización y calidad de los compost producidos y comercializados en Rupa Rupa-Huánuco”, se tuvo como objetivo caracterizar la calidad de los compost producidos y comercializados en Rupa Rupa, donde se evaluaron indicadores físicos (humedad) y químicos (cenizas, pH, MO, N, P₂O₅, K, Ca, Mg, Na, Cu, Fe, Mn y Zn) y se determinó la calidad según la norma técnica colombiana (NTC 5167), la Norma Oficial Chilena (NOCh 2880), identificando que todos las muestras comparadas con la normativa colombiana se calificaron como “buena calidad”.

María et al (2019) en su investigación titulada “Calidad de compost elaborado a partir de residuos sólidos orgánicos producidos en el caserío de Marona, Tingo María – Región Huánuco”, identificó que, bajo la interpretación de las propiedades físicas y químicas, la calidad del compost de Marona fue de calidad A, sin embargo, dicho producto no podría utilizarse con fines agrícolas debido a la presencia de cadmio que superó los límites máximos permisibles. Por otro lado, en el análisis biológico no se detectó la presencia de ninguna bacteria que pueda comprometer su calidad, obteniendo la calificación de compost de categoría A por la ausencia de coliformes fecales y *Salmonella sp.*

2.2. Residuos sólidos urbanos

La Figura 1 muestra la generación total de residuos sólidos orgánicos en Perú al 2020 (553 358 269 t), la estadística incluye todo desecho sólido o semisólido. Además, los residuos dispuestos en rellenos sanitarios (Figura 2) para el mismo año alcanza 4 343 399 t,

equivalente al 0,78 % del total producido. Estos residuos presentan un 57% de sólidos orgánicos con potencial para ser compostados (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2021).

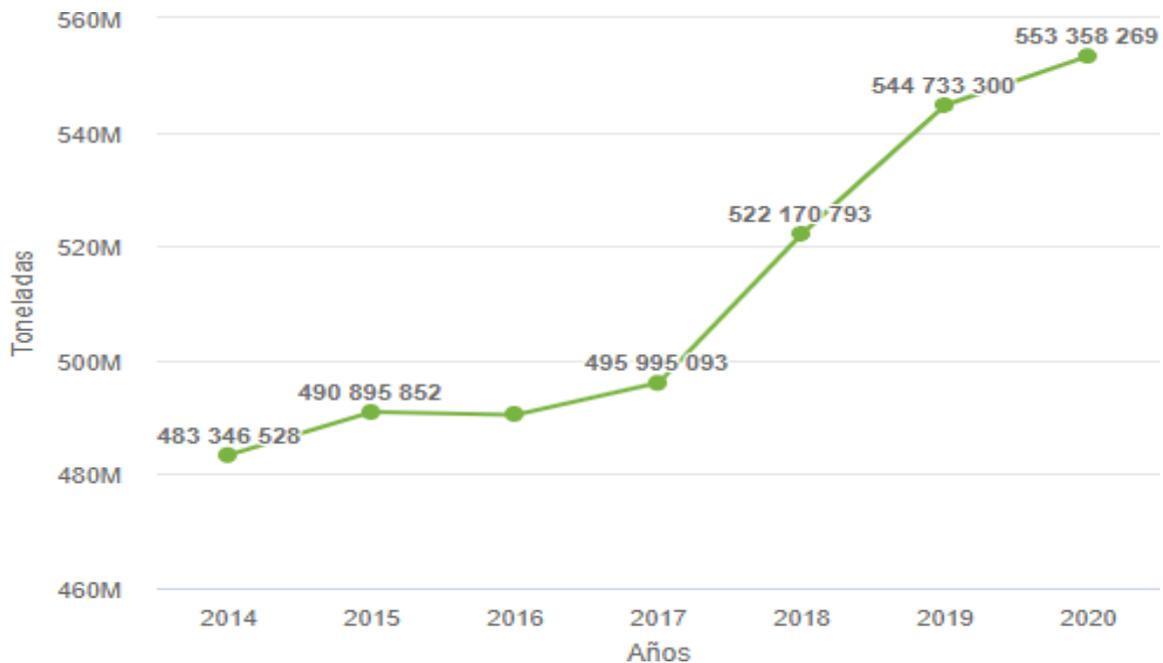


Figura 1. Residuos sólidos domiciliarios urbanos al 2020.

Fuente: MINAM (2021)

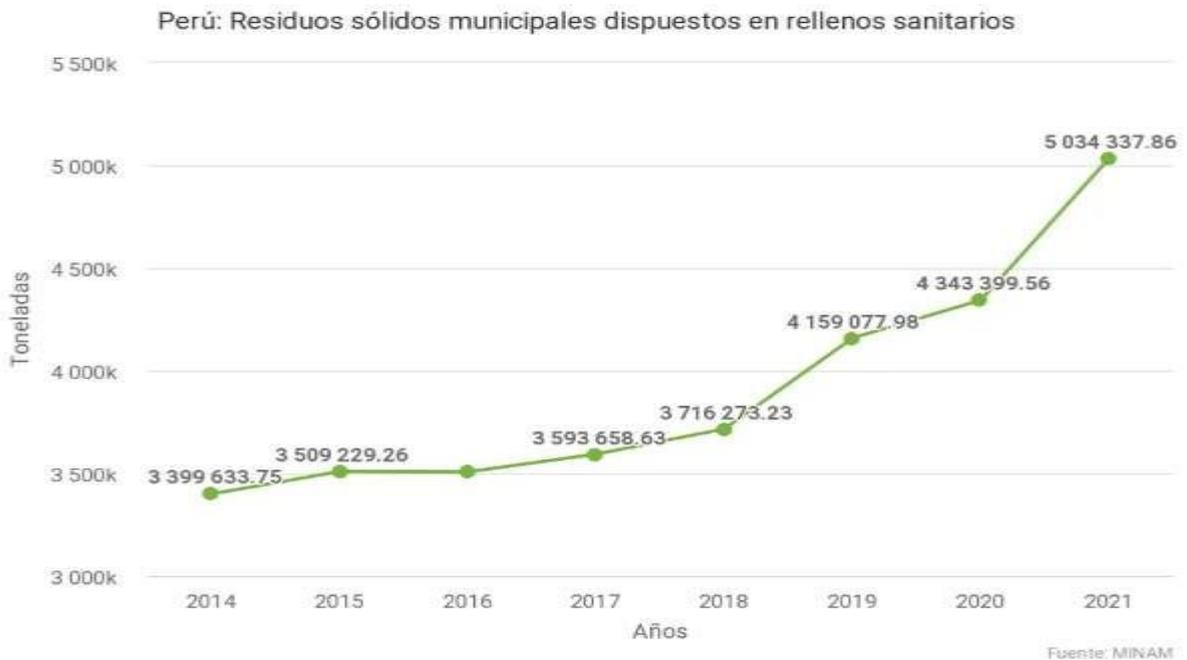


Figura 2. Residuos sólidos dispuestos en rellenos sanitarios.

Fuente: MINAM (2021)

En Perú, al 2019, solo el 6,4% de distritos (119 de 1 874) disponen sus residuos en infraestructuras autorizadas; sin embargo, estos distritos, producen el 49,16% del total de residuos sólidos municipales generados (MINAM, 2019)

2.2.1. Caracterización de los residuos sólidos urbanos

Hoy en Perú y los demás países de la región presentan diversos problemas asociados a la gestión de sus residuos sólidos urbanos, atribuidos fundamentalmente a: deficiente información básica sobre generación y origen del residuo, caracterización, y desconocimiento de tecnologías de tratamiento apropiadas a la realidad local; aplicándose técnicas improvisadas y poco eficiente para el tratamiento. Frente a esta problemática el MINAM ha emitido regulaciones, a través, de la Resolución Ministerial N° 457-2018-MINAM, en ella se establecen los criterios y metodologías para la caracterización, como información base para el diseño y manejo adecuado de los residuos, además, busca optimizar los servicios de recolección y disposición final (MINAM, 2018).

Los residuos sólidos urbanos pueden caracterizarse teniendo en cuenta la guía metodológica aprobada mediante Resolución Ministerial N° 457-2018-MINAM, específicamente el numeral 8.2.3 en el literal C (composición de los residuos). Además, la tabulación de los datos se describe en el numeral 1.1 (residuos orgánicos) de la tabla 23 (MINAM, 2018).

Tabla 1. Caracterización de residuos aprovechables.

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

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

2.3. El compost

Resultado del proceso que se conoce como biodegradación de los residuos orgánicos, ya sean vegetales o animales, para lo que se necesita la participación de la microflora y microfauna (Ruiz, 2002). En el proceso los residuos sufren una serie de cambios condicionados por la temperatura y la humedad, su función principal es mejorar la calidad del suelo para potenciar su fertilidad. Otras definiciones según Soto (2003), indican que el compost es el resultado de las transformaciones que sufre la materia orgánica cuando ésta pasa a ser

humus por la actividad de los microorganismos, pero siempre debe preservar características que lo califiquen en la calidad para poder ser utilizada con un fin en específico.

Uribe et al (2003), indica que la calidad que tiene el compost puede variar en función de la materia originaria que se utiliza así como de los diferentes parámetros que intervienen en las fases de maduración y fermentación, dentro de estos parámetros se pueden indicar a la temperatura, el contenido de carbono, nitrógeno, sodio, potasio, así como el pH, la conductividad eléctrica, porcentaje de cenizas e incluso la relación que existe con otros compuestos orgánicos e inorgánicos y la ausencia o presencia de bacterias que condicionan el uso del producto final.

2.3.1. Etapas del compostaje

El compostaje se divide en cuatro etapas esto es de acuerdo con la evolución de la temperatura y es proporcional a la actividad biológica durante su proceso, a medida que aumenta la temperatura de la taza metabólica de cada pila; siendo la temperatura un factor muy importante determinante de la actividad metabólica. La interacción entre calor y temperatura es la clave el adecuado proceso de compostaje (Pase, et. al. 2007). Las etapas del compostaje se detallan a continuación:

a). Etapa mesofílica

La etapa mesofílica se considera como la etapa de inicio del proceso, cuando la temperatura se encuentra a condiciones del ambiente lo cual va a facilitar el desarrollo de ciertos microorganismos que descomponen aquellos residuos orgánicos que sean biodegradables, una vez que empiece la fase de degradación el pH va a disminuir debido a la acidificación de la materia que proviene de compuestos naturales como las proteínas, llevando a la aparición de los hongos mesofílicos y al incremento de temperatura de 40°C lo que ya daría inicio a la siguiente etapa (Chávez, et. al. 2015).

Cabe resaltar que en esta etapa inicial resalta la importancia de la relación que existe del carbono y nitrógeno, debido a la necesidad de los microorganismos de estos compuestos para que puedan llevar a cabo las actividades metabólicas y sinterización de otras. El valor ideal de esta relación debe oscilar entre 30, si existiera un exceso la actividad metabólica disminuiría y si es menor provocaría la acumulación de amoníaco, tóxico para la población bacteriana, deteniendo el proceso (Gálea, 2013).

b). Etapa termofílica

Debido al incremento de la temperatura que supera los 40°C, esta fase se denomina termofílica, lo que da lugar a la aparición de hongos y bacterias que toleran las temperaturas, que van a degradar el contenido ácido que se había producido por la

degradación de la materia orgánica en la etapa anterior, de tal forma que el pH se vuelve a estabilizar con valores cercanos a 7. Debido a las altas temperaturas se eliminan los agentes patógenos o semillas de malas hierbas que pudieran contener los materiales de partida, de manera aislada o con casos excepcionales pueden permanecer ciertas bacterias que toleren las altas temperaturas, sin embargo, no son capaces de mantener la actividad metabólica y la temperatura empieza a caer entrando en una nueva fase mesofílica o de enfriamiento (Gálea, 2013).

c). Etapa de enfriamiento

En la etapa de enfriamiento el descenso de la temperatura permite que similar a la etapa inicial, puedan aparecer microorganismos mesofílicos, destacan principalmente hongos que provienen de las esporas que ha dejado la etapa anterior, así como, solo quedan lignina, celulosa y biomasa de microorganismos debido a que la materia orgánica ya ha sido asimilada y, por lo tanto, la actividad metabólica se ha ralentizado (Gálea, 2013).

d). Etapa de maduración

Debido a la ralentización de la actividad metabólica, el pH y la temperatura también se estabilizan, y por lo tanto empieza a predominar la humificación con reacciones de policondensación y polimerización, además empiezan a predominar los actinomicetos que a su vez van a producir el antibiótico que inhibirá el crecimiento de bacterias y patógenos. Por último, cuando el proceso haya culminado quedará un producto estable y maduro, en el que la descomposición microbiana es casi inexistente o se hace de forma muy lenta (Galea, 2013).

2.4. Procesos del compostaje

Lidema et al. (2003) señalan que el compostaje es la transformación de los residuos orgánicos como restos vegetales, hojas, cascaras, restos de jardinería en un producto muy parecido ya favorable para la tierra; este proceso de transformación puede demorar varios meses uno de los factores determinantes de su proceso es el clima del lugar. Roben et al. (2002) el proceso de compostaje es una de las técnicas sencillas y económicas que aprovecha los restos biodegradables con ayuda de microorganismos y/o lombrices su producto final será la obtención de compost.

2.4.1. Proceso biológico de compostaje

Fuentes (2000), indica que la primera fase del proceso de compostaje es la pre- fermentación. Que es el comienzo bajo el impacto de bacterias mesófilas, en esta fase la temperatura del material aumenta de manera muy rápida, dando comienzo así su proceso de biodegradación; en este proceso la temperatura se incrementa hasta llegar a 75° el cual equivale

a 1 grado de madurez, por su parte el autor menciona su fermentación principal en la segunda fase, la actividad microbiológica mantendrá la temperatura en un nivel alto, la fase biodegradación es producida y realizada por bacterias termófilos (grado 2 – 3 de madurez). Para el autor la fase principal del compostaje puede durar entre 2 a 4 semanas en plantas mecanizadas mientras la duración en plantas manuales puede ser el doble de duración. Esto también depende de la tecnología utilizada.

2.4.2. Manejo del proceso de compostaje

2.4.2.1. Mezcla revuelta y movimiento

Cabrera et al. (2001), Asegura que el inicio del proceso de compostaje el material originario que proviene de los residuos sólidos orgánicos está compuesto por poros y material heterogénea debido a una mezcla de diversos residuos orgánicos, lo que facilita el ingreso del aire por las aberturas lo que en consecuencia a ello puede ocurrir condiciones anaeróbicas en lugares con alta densidad y poros pequeños.

2.4.2.2. Humedecimiento o riego

De acuerdo con Cisterna et al. (2004), la humedad necesaria a estar presente en un proceso de compostaje debe ser de 40 – 60 % para asegurar así una biodegradación óptima; si el material es muy seco entonces el proceso de biodegradación tiende a parar, y si es demasiado húmedo se transforma el proceso de putrefacción anaeróbica incontrolada. El humedecimiento se puede llevar a cabo de forma manual o mecánica, en algunas ocasiones incluso se puede dejar las pilas de compost para que la lluvia pueda proporcionar el agua necesario, siempre y cuando no supere el límite máximo necesario, de tal manera que el exceso podría ser no favorable para el desarrollo de las bacterias.

2.4.3. Factores que influyen en el proceso de compostaje

2.4.3.1. Humedad

Según Madrid et al. (2001), la humedad es uno de los parámetros más importantes y que además requiere ser controlado, ya que si el contenido de humedad supera el 50% el agua podría desencadenar un proceso anaeróbico por falta de oxígeno llegando a producir compuestos tóxicos que no serían posibles de utilizar con fines de aprovechamiento, además de la generación de malos olores. Por lo tanto, se requiere en cantidades adecuadas para que faciliten el crecimiento de los microorganismos ya que si el contenido se encontrará por debajo del 30% podría ralentizar o limitar la acción de los microorganismos, pero si descendiera por debajo del 12% cesaría toda actividad biológica.

2.4.3.2. Conductividad Eléctrica

El parámetro de conductividad eléctrica es uno de los indicadores más representativos del compostaje que proviene de los residuos orgánicos, debido al alto

contenido de sales y minerales que presenta la materia originaria, a su vez, es un parámetro que debe ser controlado debido a que un exceso de salinidad puede generar un crecimiento retardado de vegetales ya sea por la relación osmótica y/o por los iones específicos, por lo tanto, es un parámetro que debe controlarse durante el compostaje y principalmente en el producto final que se desee obtener, considerando que el intervalo comprendido entre el tipo de enmienda orgánica dependerá de la norma técnica escogida para análisis de calidad (Mohedo, 2002).

2.4.3.3. Aireación

Bajo condiciones aerobias, el compostaje se desarrolla en condiciones bio-oxidativas lo que significa que los microorganismos son capaces de oxidar la materia orgánica, si las condiciones cambian y se ausenta el oxígeno, el proceso cambia a una forma anaerobia y por lo tanto el proceso sufriría una serie de afectaciones en el desarrollo de microorganismos que evitan la proliferación de bacterias, por el contrario, un exceso de aireación podría enfriar el producto final, de modo que no se podría alcanzar una temperatura necesaria para poder combatir los patógenos (Mohedo, 2002).

2.4.3.4. Tamaño de partícula

La actividad microbiana se relaciona directamente con el tamaño de la partícula, debido a que toda la actividad se realiza sobre la superficie de la materia originaria. Por lo tanto, la relación se torna directamente proporcional y por ende la descomposición también se acelera. Así mismo, la porosidad también se ve afectada con esta propiedad ya que un producto que no tenga espacio suficiente para la aireación impediría un resultado de calidad. Algunas variables pueden afectar el tamaño de las partículas como el tipo y tamaño de pila, frecuencia con la cual se realice el volteo, el tipo de sistema escogido; el tamaño del mismo puede variar entre 1 y 5 cm (Kiehl, 1985).

Las partículas que tengan un diámetro por debajo de 0.5 mm pueden originar cambios en las propiedades físicas del sustrato, originando una mezcla de partículas de diferentes tamaños; Por lo tanto, también se relaciona con otros parámetros como espacio del poro, densidad aparente, el aire y capacidad de retención de agua (Bures et al. 1997).

2.4.3.5. Microorganismos

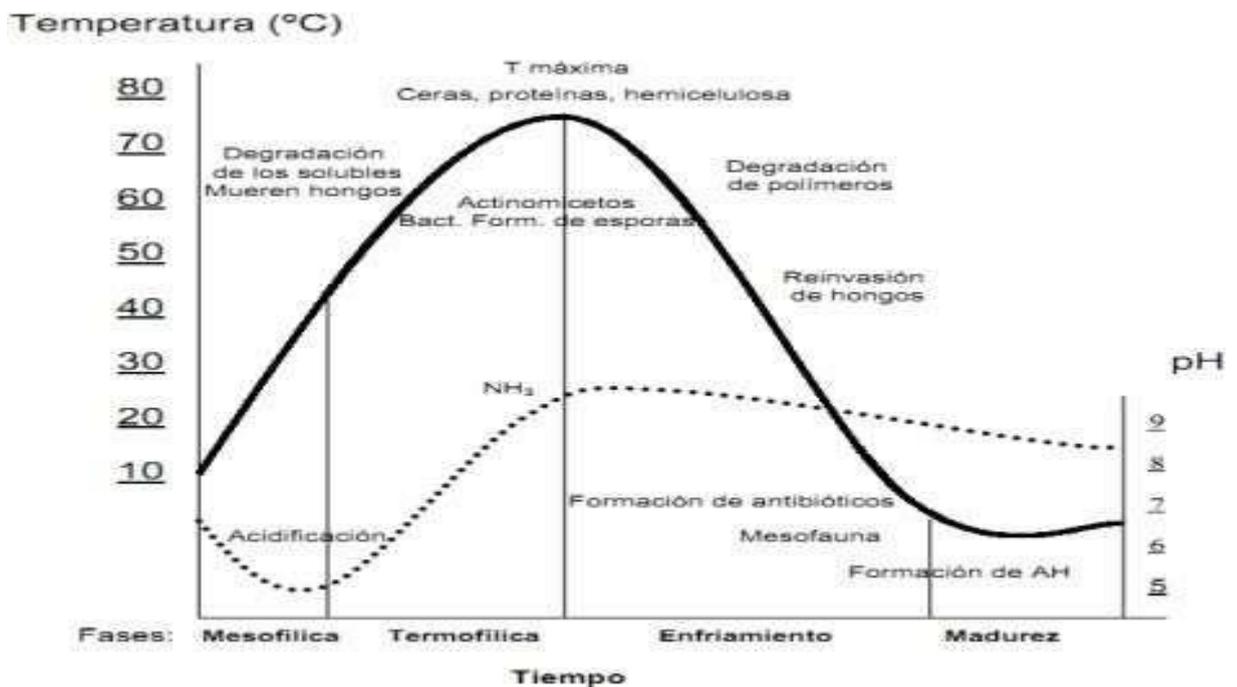
Nogales et al. (1993), indica que existen muchos microorganismos que pueden intervenir en el proceso de compostaje tales como bacterias, hongos, actinomicetos, estas poblaciones fluctúan en números grandes mediante su función en las fases del compostaje teniendo en consideración también otro parámetro como pH, temperatura y materia orgánica.

2.4.3.6. Nitrógeno

De acuerdo con lo que indica Nogales et al. (1993), el contenido de nitrógeno en compost que proviene de residuos sólidos orgánicos municipales varía entre 0,4 y 1,8%. Se debe tener en cuenta que, si el porcentaje es muy bajo, pueden originar inmovilización de este nutriente en el suelo, por ello, para reducir los efectos sobre los cultivos, derivados de esta inmovilización, se sugiere aplicar el compost con antelación al requerimiento del cultivo (más de 3 meses) o suplir con fertilizante nitrogenado (Madrid et al., 2000).

2.4.3.7. Temperatura

La cantidad de materia orgánica constituye un volumen significativo del proceso del compostaje, los microorganismos que lo descomponen pueden utilizar hidratos de carbono, proteínas y azúcares, todas éstas actividades generan un exceso de calor por lo que la temperatura puede incrementar, no obstante la actividad microbiana varía de acuerdo a la fase que se desarrollan por lo tanto, las variaciones de temperatura también se presentan durante toda la elaboración del producto final, a continuación se presenta un esquema de variación de ésta (Mohedo, 2002).



Fuente: Dalzell (1981)

Figura 3. Evolución de la temperatura y el pH durante las diferentes etapas del compostaje

En la etapa mesofílica, la temperatura comienza con valores del ambiente, como también por el incremento de la actividad microbiana, ésta puede incrementar hasta los 40°C, en la etapa termofílica la temperatura sigue en crecimiento para poder eliminar las bacterias patógenas, alcanzando valores entre los 80°C, al final de la etapa cuando ya se ha consumido los materiales que sean de fácil degradación la masa empieza a enfriarse dando lugar

a la etapa de enfriamiento, puesto que desciende alrededor de unos veinte grados, momento en el que empieza el ataque a la celulosa dando lugar a la última fase, denominada maduración, donde ya la temperatura se ha estabilizado con valores que sean cercanos al ambiente, en la siguiente figura se pueden apreciar las variaciones de temperatura según el detalle anterior.

2.4.3.8. pH

Otro de los parámetros fundamentales dentro del proceso del compostaje es el pH, ya que nos puede indicar cuál es el proceso de degradación de la materia orgánica, durante la primera etapa del proceso, el pH se torna ligeramente ácido con valores cercanos a 5 (etapa mesofílica) para luego al final del mismo poder estabilizarse con valores que llegan entre 7 y 8 cuando ya el pH se encuentra en fase de maduración, en la siguiente tabla se presentan los valores aproximados de pH en cada una de las etapas del compost, no obstante estos valores pueden variar en función de la materia orgánica inicial, la cantidad de volumen y factores geográficos o meteorológicos, entre otros (Huerta, 2010).

Tabla 2. Rangos adecuados de pH

Fases de compostaje	Valores de pH
F. Mesófila	4.5 - 7.0
F. Termófila	4.5 - 8.5
F. Enfriamiento	8.5 - 6.5
F. Maduración	6.5 - 8.5

Fuente: FAO (2013)

2.4.3.9. Materia orgánica

De acuerdo a Madrid et al. (2001), Las variaciones de materia orgánica se pueden presentar a lo largo de todo el proceso, el mismo que puede ser mejorado si se aplica un proceso de segregación efectivo, ya que el contenido es importante para determinar la calidad del compost, en el caso específico de aquellos que provienen de residuos sólidos orgánicos, su porcentaje varía entre 20% y 60%, conocer el contenido exacto es importante para poder reconocer su calidad agronómica (Kiehl et al., 1985).

Según Arca et al. (1970), la materia orgánica puede relacionarse de forma inversamente proporcional con la temperatura, específicamente con 10°C, ya que un incremento en valores.

2.4.4. Clasificación del compost

En el proceso de clasificación del compost, éste puede variar de acuerdo con la etapa en la que se encuentre, según lo que se detalla a continuación (Madrid et al. 1999).

2.4.4.1. Compost fresco

Existe un proceso de eliminación de patógenos sin embargo no ha habido estabilización del producto, por lo que una vez que puede añadirse al suelo no puede aplicarse de forma directa al mismo.

2.4.4.2. Compost maduro

Es aquel material final que ha cumplido con todas las fases del proceso de compostaje, dependiendo de su calidad podrá ser utilizado con fines agrícolas, sin embargo, se debe considerar un análisis de los parámetros que tenga y de esta forma determinar la mejor metodología para aplicarse en los cultivos (Madrid et al. 1999).

2.4.4.3. Compost curado

En el caso del compost curado, además del proceso de maduración al cual se somete, también requiere de un proceso de mineralización por lo tanto los parámetros se encuentran totalmente estabilizados, en este caso en particular si se puede aplicar a los cultivos como sustrato, e incluso se podría aplicar de forma directa en las raíces de las plantas (Madrid et al. 1999).

2.5. Calidad de compost

Cualquiera que sea su clasificación, el material compostado en la mayoría de los casos se utiliza como enmienda orgánica de los suelos, de tal manera que puede potenciar la producción de los sistemas agrícolas, por ende, debe cumplir con estándares de calidad que aseguren el correcto funcionamiento de dichos sistemas y a su vez, del producto final, cumpliendo con las necesidades de nutrición que vayan a tener los suelos e incluso los mismos cultivos (Madrid et al. 1999).

2.5.1. Normas para determinar la calidad de compost

2.5.1.1. Norma chilena 2880

Norma oficial de la República de Chile, según lo dispuesto en su Decreto Exento N°89 del Ministerio de Agricultura en el año 2005, dicha norma tiene como objetivo principal poder establecer los requisitos bajo los cuáles el compost tiene la calidad suficiente para fines agroindustriales, agrícolas, ganaderos, de mantenimiento de áreas verdes, entre otros, cabe precisar que el origen del material orgánico son los residuos sólidos urbanos. La norma chilena se divide en dos tipos, Clase A y Clase B en función del cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos de la enmienda orgánica:

Clase A: Clasificado como un producto de alto nivel que cumple con todos los parámetros establecidos en la norma y con las concentraciones por debajo de los límites para metales pesados, en el caso de su aplicación, puede ser utilizado con diferentes fines ya que no presenta restricciones de uso.

Clase B: Clasificado como una enmienda orgánica que posee un nivel de calidad “intermedio”, cumple con lo establecido por la normativa, pero presenta ciertas restricciones de uso de acuerdo con el análisis que presente, en la siguiente tabla se detallan los valores.

Tabla 3. Valores permitidos de las características químicas en compost.

Parámetro	Expresado como	Unidades	NCH2880 Enmienda orgánica tipo “B”
Nitrógeno	N total	%	>0.8
Fósforo	P ₂ O ₅	%	< 5
Potasio	K	%	> 1.0
Sodio	Na	%	<1
Calcio	Ca	%	>1
Magnesio	Mg	%	>1
Zinc	Zn	ppm	200
Humedad	Humedad	%	<25
pH	pH		5 a 7.5
Conductividad	Conductividad	ms / cm	
			<=5000
Materia orgánica	M.O	%	25-45%
Cenizas	Cenizas	%	-

Fuente: NCh2880 (2003)

2.5.1.2. Norma técnica colombiana 5167

La norma fue publicada en el año 2011, en la cual se contemplan los requisitos mínimos que se deben tomar en consideración para la aplicación de los productos utilizados como abonos orgánicos o materiales similares, de tal manera que las exigencias sean fijadas para nutrientes y otros compuestos como patógenos. Aquellos que se encuentren dentro de los límites establecidos por la normativa podrán ser empleados en los sistemas agrícolas según sus necesidades (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificaciones-NTC, 2011).

Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos que garantizar según la NTC5167 de abonos o fertilizantes orgánicos sólidos

Parámetro	Expresado como	Unidades	NTC 5167 Enmienda orgánica
Nitrógeno	N total	%	>1.0
Fósforo	P ₂ O ₅	%	> 1.0
Potasio	K	%	> 1.0
Sodio	Na	%	-
Calcio	Ca	%	>1
Magnesio	Mg	%	>1

Parámetro	Expresado como	Unidades	NTC 5167 Enmienda orgánica
Zinc	Zn	ppm	-
Humedad	Humedad	%	Máximo 20-35
Ph	pH		4 a 9
Conductividad	Conductividad	ms / cm	-
Materia orgánica	M.O	%	Mínimo 15
Cenizas	Cenizas	%	Máximo 60

Fuente: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificaciones (2011)

2.6. Métodos y parámetros para evaluar la madurez del compost

Existen muchos métodos para poder evaluar el grado de madurez del compost y de esta forma determinar si ya se encuentran listos para poder ser empleados en los diferentes sistemas económicos, a continuación, se detallan algunos:

2.6.1. Métodos de observación directa

Dentro del método de observación directa se toman en consideración los parámetros organolépticos, como el olor y el color, en el caso del primer parámetro, el olor desaparece casi al final del proceso de maduración y el color se suele encontrar entre un marrón oscuro y un negro, otro parámetro a considerar dentro de éste método es la temperatura, la cual es necesario la lectura de temperatura al compost y ser comparada con la temperatura ambiente para determinar la estabilización del compost en su proceso. Por último, se puede incluir el análisis de la densidad aparente, ya que indica el volumen de los poros que tiene el compost y de esta manera la aireación, oxigenación y humedad serán los ideales. El nivel óptimo de densidad aparente para sustratos de cultivo se encuentra en $< 0.4 \text{ g/cm}^3$ según Ansorena et al. (1994).

2.6.2. Método químico

En el caso del método químico, se requieren analizar los parámetros de pH, cuyo valor se encuentra cerca a la neutralidad cuando el proceso de compostaje está llegando a su etapa final de maduración, en el caso de la relación de C/N, éste disminuye a medida que el proceso avanza, parámetros como la demanda química de oxígeno (DQO) de los extractos acuosos también son analizados, de tal manera que un compost maduro se encuentra ya estable cuando la DQO de su extracto acuoso es inferior a $700 \text{ mg O}_2/100\text{g}$, aunque éstos valores pueden variar. (Mohedo, 2002).

2.6.3. Métodos biológicos

Si para el método químico se emplean parámetros químicos, en el caso de los métodos biológicos se identifica y analiza la actividad microbiana en el proceso de descomposición de la materia original, ya que a medida que el compost empieza su proceso de maduración la actividad va cesando (Mohedo et al. 2002).

Existen otros métodos que también pueden ser empleados en el proceso de identificación y análisis del compost maduro, como el método respirométrico, el cual consiste en medir el consumo de O_2 dentro de las actividades de los microorganismos, o el método bioquímico de la biomasa del compost, en el cual se considera el proceso de fermentación y enfriamiento del material y por último, el método de estabilidad biológica, humificación y madurez en el cual al inicio del proceso de compostaje van a resaltar las reacciones enzimáticas degradativas pero en la fase de maduración resaltan las reacciones de condensación y polimerización que se asemejan a un proceso de humificación tal cual como se daría en condiciones naturales del ambiente (García, 1999).

II. MATERIALES Y METODOS

3.1. Zona de trabajo

El procesamiento y estudio de caracterización del compost se realizó en la planta de procesamiento de residuos sólidos orgánico Shapajilla (**Figura 4**) administrada por la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado. La zona de estudio se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas 09°14'00'' latitud sur y 75°59'30'' de longitud oeste, a una altitud aproximada de 700 msnm.

3.1.1. Ubicación política

Región : Huánuco
Provincia : Leoncio Prado
Distrito : Rupa Rupa
Caserío : Santa Rosa de Shapajilla

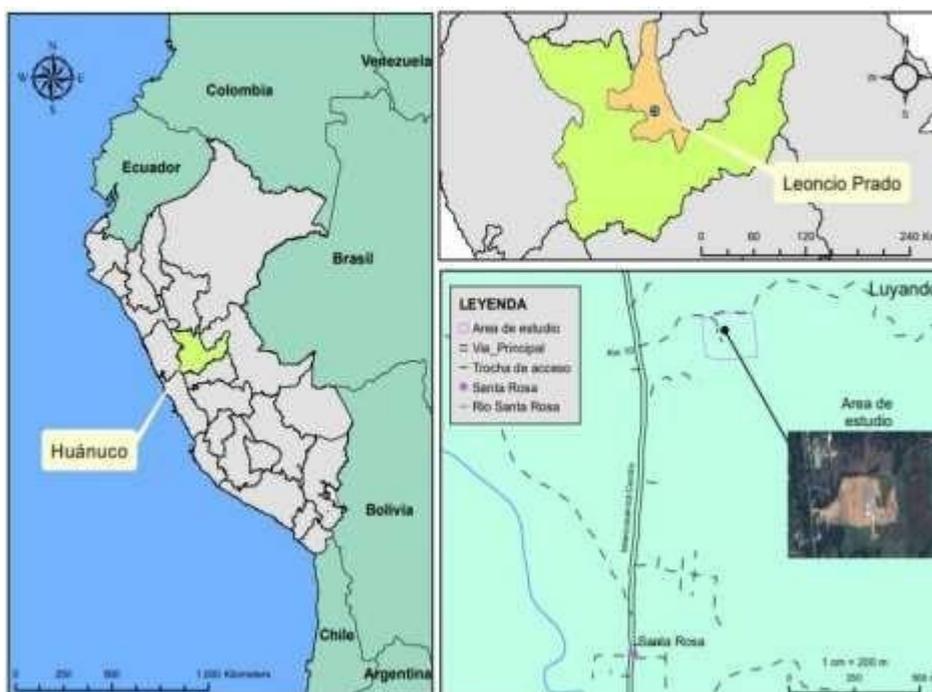


Figura 4. Localización geográfica del área de estudio de la planta de valorización “Santa Rosa de Shapajilla”

3.2. Características generales

3.2.1. Del área de estudio

La característica climática de la zona es de tipo Sub Tropical, cuya temperatura promedio oscila entre los 25°C – 27°C, además presenta una precipitación anual de 3714 mm, cuyos meses de mayor volumen se encuentran entre noviembre hasta febrero y de zonas de poca lluvia se presentan de mayo a julio, por otro lado, presenta una humedad relativa

superior al 80% según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú SENAMHI (2020).

3.2.2. De las pilas compostadas

Las pilas compostadas estaban compuestas por residuos sólidos orgánicos recolectadas de la zona urbana de la ciudad de Tingo María, distrito capital de la provincia Leoncio Prado. Los residuos se acopiaron durante 07 días para tener un volumen aproximado de 20 m³, a partir de allí se iniciaron las evaluaciones. Además, durante el compostaje en el primer y cuarto volteo de las pilas se aplicó Microorganismos Eficientes (EM), 40 L por pila a una concentración de 10% de EM activado. Los EM son preparados de manera artesanal por personal de la planta, usando como principal insumo la melaza de caña, leche fresca, levadura y cepa madre de los EM; este producto es utilizado de manera permanente y en las mismas concentraciones para el compostaje de todas las pilas.

3.3. Materiales, equipos e insumos

3.3.1. Materiales de campo

Se utilizaron materiales como palana, machete, 2 baldes de 18 litros, carretillas, wincha, mochila de fumigar de 20 litros, guantes, mascarillas, manguera, libreta de apuntes, etiquetas para las muestras de compost, equipo de protección, cámara fotográfica y GPS marca GARMIN MAP 60 CSx.

3.3.2. Materiales de laboratorio

Se utilizaron termómetro, pH-metro, balanza y nylon negro (cubierta).

3.3.3. Insumo biológico

Se ha requerido agua libre de cloro, 2,5 litros de leche fresca, 2 tapas de chancaca y agua destilada.

3.3.4. Insumo de gabinete

Se ha utilizado papel bond A4 de 80g y lapiceros.

3.4. Criterios de análisis

3.4.1. Tipo y nivel de investigación

Investigación de tipo básica, porque se recurrió a conocimientos establecidos en las ciencias agrícolas para la evaluación de la calidad del compost a base de residuos sólidos orgánicos urbanos, este proyecto pertenece a un nivel de investigación descriptiva comparativa porque se evaluó y comparó los parámetros físicos y químicos de los diferentes compost según la norma técnica colombiana (NTC5167) y chilena (NCH2880) producido en la planta de Shapajilla.

3.4.2. Diseño de investigación

Corresponde a una investigación no experimental mixta, por que abarca la parte descriptiva y comparativa, ajustada a un diseño estadístico completamente aleatorizado (DCA), donde los tratamientos la constituyeron las diferentes pilas de compost producidos: Pila 1 (P1), Pila 2 (P2), Pila 3 (P3), Pila 4 (P4) y Pila 5 (P5), con cinco repeticiones cada uno; los siguientes datos se sujetaron al análisis de Varianza (ANOVA) y las correspondientes pruebas post-hoc de Tukey con un nivel de confianza al 95% para la comparación de medias de los parámetros físicos y químicos entre tratamientos.

3.5. Metodología

3.5.1 Caracterización de los residuos y control de bioindicadores del procesamiento (T° y pH).

La caracterización de los materiales que se sometieron al compostaje fue realizada de acuerdo con los lineamientos de la guía metodológica, consignada en la Resolución Ministerial N° 457-2018-MINAM, específicamente se aplicó el numeral 8.2.3 literal C (composición de los residuos). Además, se consideró solo el numeral 1.1 que corresponde a residuos orgánicos de la tabla 23 de la Resolución (MINAM, 2018).

La caracterización se aplicó al inicio del proceso y en cada pila compostada, metodológicamente se extrajo 3 muestras por pila con volumen determinado por un balde de 6 litros de capacidad, esto fue pesado y sometido a separación de los diferentes residuos contenidos y se pesó de manera individual según tipo de residuo; los datos fueron tabulados y presentados porcentualmente. Estas actividades fueron supervisadas por el supervisor de la planta de Valorización (Ing. Abdiel Martín Calixto).

Respecto a los bioindicadores del procesamiento, se ha realizado la evaluación de la temperatura y el pH por recomendaciones de la FAO (2013) y Hernández (2020), en cada fase del compostaje. Las lecturas de temperatura se realizaron a través de un geotermómetro digital Soil-Meter, y el pH con pH-metro Three-Way Meter, ambos con varillas de 0,30 m. Las lecturas de T° y pH fueron realizadas cada tres días y en tres posiciones diferentes (**Figura 5**) en cada pila evaluada.

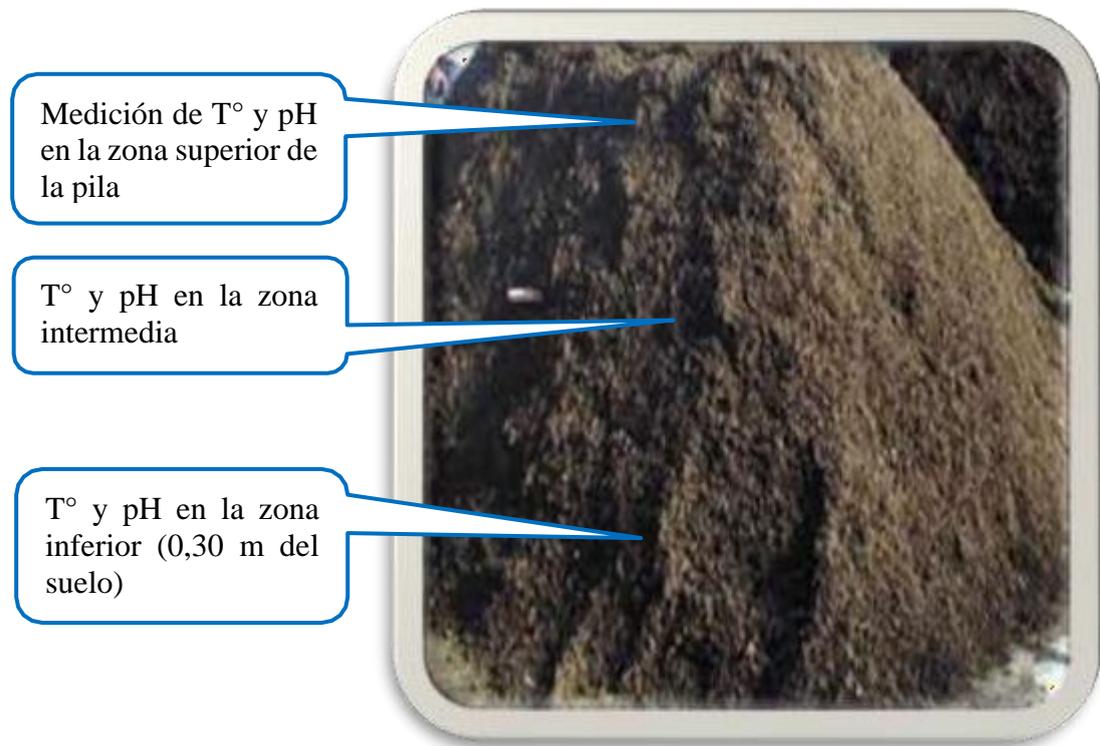


Figura 5. Criterios de evaluación de T° y pH durante el procesamiento

La **Tabla 5**, muestra el tiempo de procesamiento que recibieron las diferentes pilas, así como, el número de evaluaciones para cada bioindicador de procesamiento.

Pila	Periodo de compostaje			
	Inicio de evaluación	Termino de evaluación	Total (días)	N° de Evaluaciones
P1	15/11/2021	16/03/2022	118	41
P2	29/11/2021	28/03/2022	118	41
P3	13/12/2021	07/04/2022	115	41
P3	27/12/2021	13/05/2022	136	41
P5	10/01/2022	20/05/2022	136	37

P= Pilas del proceso de compostaje

3.5.2 Determinación de indicadores físicos y químicos del compost

Culminado el procesamiento de los RSO se realizó el tamizado de las pilas para retirar los fragmentos gruesos, que por su naturaleza no culminaron la biodegradación. Para el muestreo correspondiente a cada pila, se extrajo 5 muestras de 0,50 a 1,00 Kg de compost con disposición aleatorias en diferentes puntos en cada pila, para la caracterización fisicoquímica correspondiente. La **Tabla 6** muestra la lista de parámetros fisicoquímicos evaluados y metodologías aplicadas.

Tabla 6. Indicadores físicos, químicos y microbiológicos evaluados

Indicadores	Método de análisis
% de humedad	Gravimétrico
MO(%)	Walkley y Black
pH	Electrométrico
N(%)	Micro Kjeldahl
P(%)	Olsen modificado
K(%)	
Ca(%)	Acetato de amonio
Mg(%)	
CE(μ S/cm)	Electrométrico
CIC(Cmol ⁽⁺⁾ /Kg)	Acetato de amonio
Pb, Cd, Fe, Mn, Zn y Cu (ppm)	Espectro de Absorción Atómica

3.5.3 Determinación de la calidad del compost a través de NTC5167 y NCH2880

Culminado el proceso, el compost maduro de cada pila fue sometida a un proceso de tamizado, donde las partículas o desechos orgánicos grandes fueron separados y utilizados como cubrimiento en las pilas frescas evitando la presencia de moscas etc.

Los resultados de los diferentes indicadores fisicoquímicos determinados en el laboratorio fueron comparados con la norma técnica colombiana (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación-NTC-5167, 2011); y la chilena (Instituto Nacional de Normalización-NOCh-2880, 2004) para clasificar la calidad del compost elaborado.

3.6. Población y muestra

La población está conformada por lotes de compost producidos en las plantas de compostaje de Shapajilla y las muestras a analizar fueron conformadas por 5 muestras conteniendo cada una 1 muestra de 1 kg de compost (5 repeticiones por muestra).

Tabla 7. Estructura de tabla de datos con DCA

Tratamiento	Repeticiones					Media
P1	y 1,1	y 1,2	y 1,3	y 1,4	y 1,5	\bar{y}_1
P2	y 2,1	y 2,2	y 2,3	y 2,4	y 2,5	\bar{y}_2
P3	y 3,1	y 3,2	y 3,3	y 3,4	y 3,5	\bar{y}_3
P4	y 4,1	y 4,2	y 4,3	y 4,4	y 4,5	\bar{y}_4
P5	y 5,1	y 5,2	y 5,3	y 5,4	y 5,5	\bar{y}_5

P= Pilas del proceso de compostaje, y= Muestras de 1 kilo de compost producido

3.7. Análisis estadístico

3.7.1. Análisis de varianza

Se utilizó el diseño estadístico completamente aleatorizado DCA donde los tratamientos la constituyen las diferentes pilas de compost producidos en la planta de tratamiento. Con tamaño de muestra; $n=25$ donde muestra (5 muestras por cada pila de compost que se produce) el análisis de varianza se sometió a la prueba de Tukey con un rango de confianza del 95% para los análisis de los indicadores físicos y químicos de cada compost evaluado cuando son datos paramétricos, para aquellos datos no paramétricos se utilizó la prueba de Friedman, a través del software IBM-SPSS para obtener el análisis estadístico, tablas y gráficos necesarios del experimento. Partiendo de la hipótesis de trabajo:

Ho: “La calidad compost producidos de residuos sólidos orgánicos en la planta de valorización no cumplen con los criterios de calidad de la Norma Técnica Colombiana NTC 5167 y la Norma Oficial Chilena (NOCh) 2880.”

Ha: “La calidad compost producidos de residuos sólidos orgánicos en la planta de valorización cumplen con los criterios de calidad de la Norma Técnica Colombiana NTC 5167 y la Norma Oficial Chilena (NOCh) 2880.”

Ho: $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_t$ (No existe efecto de tratamiento).

Ha: $\mu_i \neq \mu_j$, para toda $i \neq j$; $i, j = 1, 2, 3, \dots, t$ (Al menos dos tratamientos son diferentes).

3.8. Variables en estudio

a). Independiente

- Compost de residuos sólidos orgánicos urbanos

b). Dependiente

- Indicadores físicos de compost
- Indicadores químicos de compost
- Calidad del compost

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de los residuos orgánicos urbanos

Previo al inicio de las evaluaciones se realizó la caracterización de los residuos orgánicos de cada pila que se sometió a compostaje. La **Tabla 8**, muestra los valores medios, la desviación estándar, la prueba post-hoc de Tukey que evidencia los subgrupos homogéneos, y las diferencias significativas a través de ANOVA, entre pilas para los diferentes tipos de residuos clasificados. No se observa diferencias en todos los tipos de residuos, excepto para las pepas, quien presenta diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre las pilas evaluadas. Además, los residuos identificados de mayor a menor proporción corresponden a restos de comida, frutas, cascaras, pepas, estiércol y huesos respectivamente.

Tabla 8. Descripción de la caracterización de residuos compostados

Pila	Muestra	Restos de comida (g)	Restos de frutas (g)	Cascaras (g)	Pepas (g)	Estiércol y huesos (g)	Peso de muestra (g)
P1	1	2300.00	600.00	2230.00	300.00	100.00	5530.00
	2	2100.00	680.00	1950.00	280.00	20.00	5030.00
	3	2210.00	620.00	2120.00	240.00	105.00	5295.00
	Media	2203.33±100.17a	633.33±41.63a	2100±141.07a	273.33±30.55ab	75±47.69a	5318.33±201.02a
P2	1	2090.00	650.00	2100.00	280.00	150.00	5270.00
	2	2150.00	660.00	2150.00	290.00	100.00	5350.00
	3	2040.00	740.00	2200.00	275.00	130.00	5385.00
	Media	2093.33±55.08a	683.33±49.32a	2150±50a	281.67±7.64ab	126.67±25.17a	5335±58.95a
P3	1	2200.00	650.00	1900.00	300.00	130.00	5180.00
	2	2120.00	710.00	2130.00	325.00	95.00	5380.00
	3	2340.00	680.00	1900.00	280.00	120.00	5320.00
	Media	2220±111.36a	680±30	1976.67±132.79a	301.67±22.55b	115±18.03a	5293.33±102.63a
P4	1	2150.00	700.00	2040.00	250.00	100.00	5240.00
	2	2230.00	680.00	1910.00	230.00	50.00	5100.00
	3	2050.00	730.00	2090.00	240.00	110.00	5220.00
	Media	2143.33±90.19a	703.33±25.16a	2013.33±92.92a	240±10a	86.67±32.15a	5201.67±50.08a
P5	1	2480.00	680.00	2050.00	260.00	130.00	5600.00
	2	2340.00	730.00	1940.00	300.00	120.00	5430.00
	3	2180.00	620.00	1990.00	260.00	100.00	5150.00
	Media	2333.33±150.11a	676.67±55.08a	1993.33±55.08a	273.33±23.09ab	116.66±15.28a	5393±227.23a
	F	2.189	1.132	1.623	3.482	1.614	0.678
	Sig.	0.144ns	0.395ns	0.243ns	0.05*	0.245ns	0.622ns

F función de probabilidad, Sig. Significancia, * significativo $p < 0.05$, letras diferentes en la columna expresa diferencias significativas

La composición de este tipo de residuos está sujeta a diversos factores como estacionalidad, clima, ubicación geográfica, etc., y está constituido principalmente de 30 a 69% de carbohidratos (almidón, celulosa y hemicelulosas), 5 - 10% de proteínas y 10 a 40% de lípidos aproximadamente (Nuñez et al., 2023), convirtiéndolo en un material altamente biodegradable y adecuado para el compostaje (López, et al., 2019), pues incluye restos de alimentos y cocina, estiércol, poda de árboles, barrido de calles, ramas, paja y plantas (Hernández et al., 2018). Por lo que, es importante conocer la composición de los residuos para optimizar su tratamiento a través del compostaje y obtener fertilizantes orgánicos de buena calidad (Cerdeira et al., 2019).

La caracterización de los residuos se realizó en base a la guía metodológica consignada en la Resolución Ministerial N° 457-2018-MINAM, descrita en el numeral 8.2.3 (procedimiento para el análisis de muestras), literal C (composición de los residuos) y tomando como guía el numeral 1.1 (residuos orgánicos) de la tabla 23 de la mencionada Resolución (MINAM, 2018). En general los restos de comida, cascara y frutas representan entre 92-93% del total y la Tabla 7 muestra que los tipos de residuos orgánicos incorporadas a cada pila son similares, al no presentarse diferencias significativas en los residuos de mayor proporción, por lo que, es de esperarse homogeneidad en la calidad del compost final para todas las pilas.

4.2. Bioindicadores del procesamiento

4.2.1. Temperatura

La **Tabla 9** presenta la media y desviación estándar de la T° tomada con los criterios señalados en la Figura 5. La T° es un indicador importante que permite diferenciar si las pilas alcanzaron las diferentes etapas del proceso (FAO, 2013). Puede observarse comportamientos de incremento y disminución en cada volteo que se aplicó en cada pila, además, todas las pilas alcanzaron la fase termófila durante el procesamiento.

Tabla 9. Evaluación de la temperatura (°C) en las diferentes pilas procesadas

Evaluación	Tratamientos (Pilas evaluadas)				
	T° P1	T° P2	T° P3	T° P4	T° P5
1	35.33±2.08	36.67±2.08	43.00±2.65	50.67±4.51	42.33±2.08
2	39.00±2.65	38.33±3.51	48.00±4.58	53.33±6.43	48.33±5.03
3	44.67±3.79	45.33±4.51	54.67±8.74	60.67±11.68	59.00±11.36
4	48.00±2.00	48.00±4.00	54.67±5.86	44.00±4.36	53.33±3.43
5	46.33±4.04	49.67±4.51	58.67±6.66	54.33±3.51	52.67±6.51
6	47.00±3.46	48.67±7.02	58.67±6.11	54.67±7.02	56.67±3.06
7	48.67±4.04	50.00±6.00	57.33±9.50	59.67±9.07	56.00±6.93
8	51.33±4.04	52.00±5.57	61.00±8.19	59.00±7.00	57.67±7.77
9	53.00±4.36	53.00±3.61	59.00±10.00	58.33±5.51	59.67±11.02
10	41.00±5.29	50.00±4.00	64.67±15.63	41.33±4.16	61.67±9.45
11	44.00±7.55	41.00±3.00	63.67±15.95	49.33±6.66	50.67±5.13

12	49.33±4.62	60.33±11.55	47.00±2.00	51.67±6.03	48.67±4.16
13	52.00±5.20	59.33±5.69	62.33±14.57	56.67±8.96	60.00±13.53
14	51.67±7.57	53.33±10.07	61.33±8.08	61.00±9.54	62.33±10.02
15	55.67±10.21	58.00±7.00	53.33±8.02	65.67±9.45	59.67±11.02
16	57.33±13.28	63.67±6.43	45.67±6.51	56.67±7.57	60.00±9.54
17	57.00±14.80	63.67±8.39	47.00±1.00	53.33±6.03	62.33±12.42
18	63.00±14.73	57.67±9.07	51.33±4.93	55.00±3.46	60.67±7.51
19	53.67±9.07	55.00±6.08	60.33±9.87	54.67±6.66	60.00±9.64
20	52.33±12.01	57.33±6.11	60.33±10.02	59.00±3.61	56.00±13.75
21	58.33±14.22	48.67±19.86	55.33±8.62	57.67±8.08	36.67±4.73
22	61.00±13.00	60.33±12.42	53.67±12.86	56.00±10.44	46.33±7.77
23	58.33±15.89	52.00±16.82	45.00±3.61	45.33±3.51	54.00±8.72
24	59.00±15.52	42.00±9.85	53.00±13.00	58.67±10.21	54.00±8.89
25	60.33±9.02	58.67±8.50	57.33±13.20	62.33±12.50	51.67±6.51
26	53.33±17.67	62.00±11.53	62.00±14.00	64.33±13.87	52.33±8.14
27	56.33±18.58	52.67±16.62	64.67±19.86	61.00±15.72	49.00±7.00
28	38.00±4.36	54.33±12.90	62.33±6.81	55.00±10.54	54.00±6.08
29	51.00±16.70	50.00±15.72	56.33±9.61	48.00±5.29	49.00±6.24
30	55.33±19.86	50.00±9.54	54.00±9.17	37.33±2.08	39.00±4.58
31	61.67±13.80	43.00±4.36	56.33±8.62	56.67±7.77	45.00±8.54
32	62.00±11.36	45.00±8.19	36.33±2.52	56.67±7.23	55.67±7.09
33	56.67±11.15	63.67±13.65	55.00±9.00	54.00±11.53	54.00±9.17
34	50.67±10.07	57.67±17.62	55.67±11.02	56.33±11.50	50.00±8.19
35	52.33±14.05	35.00±1.00	63.33±15.18	58.67±13.65	48.33±7.64
36	48.67±14.19	47.67±15.31	49.00±1.73	55.00±11.27	43.67±4.93
37	49.33±5.69	49.67±17.47	52.33±8.50	51.00±7.00	38.00±2.65
38	48.67±4.04	45.33±8.50	49.67±1.53	45.33±8.62	---
39	41.67±8.08	46.33±7.64	42.33±4.04	44.33±5.51	---
40	38.67±3.21	37.00±7.00	39.67±5.13	36.67±5.51	---
41	37.67±4.51	35.67±6.03	37.33±4.16	35.00±4.36	---

P= Pilas compostadas, --- no evaluado

Los cambios de T° definen las etapas del proceso, resultado de las reacciones exotérmicas generada en los procesos biooxidativos, por ello Hernández (2020) lo considera como bioindicador del procesamiento. Además, el proceso inicia con temperatura ambiente y dura de 2 a 8 (fase I o mesófila), la etapa termófila (45 a 65°C), segunda etapa que dura de 2 a 5 semanas, la fase III o de enfriamiento o estabilización y maduración (3 a 6 meses) la pila retorna a temperatura ambiente, el enfriamiento no debe confundirse con la maduración (FAO (2013)).

Los resultados muestran que todas las pilas en los primeros 3 días superaron los 45 °C, esto porque las pilas ya tenían un periodo mínimo de una semana de acopio para tener un volumen apropiado, también, la etapa termofílica alcanzo temperaturas medias de hasta 68 °C y se extendió entre 90 y 105 días aproximadamente y partir de allí inicia el enfriamiento de las pilas. Los resultados se encuentran dentro de los periodos de cada fase señaladas por la FAO (2013), sin embargo, las pilas no pasaron por la fase de maduración, este

aspecto es contrario a los criterios técnicos establecidos para un procesamiento óptimo y probablemente afecte algunos indicadores de calidad del compost final, como el pH (Dalzell, 1981; Florida & Reategui, 2019).

Algunas investigaciones contrastan con los resultados de este trabajo, entre ellos, La Cruz (2019), utilizando residuos orgánicos del distrito de Chilca en Huancayo, encontró temperatura promedio de 62,63 °C (entre 43 a 85 días), contrario a esta referencia el trabajo alcanzo estos niveles de temperatura antes de 10 de procesamiento; atribuimos este comportamiento a factores climáticos locales, las características de las pilas y los microorganismos eficientes aplicados durante el proceso. Las variaciones de la T° tienen el mismo patrón respecto a otros tipos de residuos compostados en el ámbito local, entre ellos compost de estiércol de vacuno y plumas de pollo (Florida & Reategui, 2019) y en compost de diversos residuos orgánicos locales (Florida et al., 2016).

4.2.2. Potencial de hidrogeno (pH)

La Tabla 10 muestra que el pH en todas las pilas al primer día de evaluación son valores bajos (4,30 a 4,67), contrario a lo señalado por Dalzell (1981) los valores de pH al inicio son relativamente altos (Figura 3) y desciende rápidamente en la etapa mesofílica, para elevarse a medida que la pila incrementa su temperatura y pasa a la fase termofílica, luego se estabiliza en pH altos en la fase de enfriamiento y finalmente desciende ligeramente en la última fase de madurez.

Tabla 10. Evaluación del pH en las diferentes pilas procesadas

medicion	Tratamientos				
	pHP1	pHP2	pHP3	pHP4	pHP5
1	4.50±0.10	4.67±0.15	4.53±0.15	4.53±0.06	4.30±0.20
2	4.57±0.06	5.27±0.59	4.83±0.12	4.60±0.26	4.50±0.44
3	4.70±0.20	5.27±0.21	5.13±0.12	4.60±0.17	4.70±0.44
4	4.67±0.23	5.17±0.45	5.07±0.23	4.47±0.25	4.90±0.35
5	4.70±0.10	5.70±0.40	5.30±0.00	4.50±0.00	5.00±0.26
6	4.80±0.10	5.63±0.59	4.87±0.35	4.53±0.21	5.10±0.17
7	4.77±0.12	5.57±0.35	5.03±0.29	4.53±0.25	5.20±0.20
8	4.90±0.10	5.20±0.35	5.07±0.21	4.63±0.21	5.27±0.25
9	4.93±0.15	5.40±0.20	5.07±0.15	4.63±0.15	5.47±0.06
10	4.97±0.15	5.43±0.21	5.17±0.25	4.67±0.25	5.50±0.10
11	4.97±0.21	5.43±0.25	5.27±0.25	4.73±0.25	5.50±0.30
12	5.10±0.20	5.53±0.25	5.33±0.21	4.80±0.20	5.60±0.20
13	4.97±0.12	4.97±0.40	5.43±0.21	4.87±0.21	5.63±0.23
14	5.13±0.15	5.27±0.21	5.43±0.25	4.93±0.23	5.63±0.32
15	5.23±0.12	5.33±0.23	5.43±0.21	4.97±0.31	5.70±0.26
16	5.23±0.25	5.57±0.35	5.37±0.42	5.10±0.36	5.77±0.31
17	5.30±0.10	5.40±0.26	5.43±0.21	5.37±0.29	5.83±0.31
18	5.17±0.25	5.57±0.32	5.53±0.25	5.37±0.25	5.97±0.31

19	5.27±0.12	5.57±0.21	5.57±0.23	5.50±0.20	6.00±0.30
20	5.30±0.20	5.73±0.15	5.53±0.32	5.60±0.26	6.17±0.25
21	5.37±0.12	6.07±0.21	5.60±0.26	5.93±0.23	6.03±0.06
22	5.50±0.10	6.23±0.23	5.67±0.23	6.10±0.36	6.03±0.23
23	5.53±0.15	6.33±0.15	5.70±0.20	6.13±0.32	6.13±0.25
24	5.70±0.17	6.47±0.15	5.77±0.21	6.67±0.32	6.27±0.31
25	5.80±0.26	6.63±0.15	6.00±0.36	6.63±0.32	6.33±0.15
26	6.07±0.12	6.70±0.15	6.03±0.29	6.73±0.31	6.33±0.25
27	6.13±0.12	6.83±0.12	6.03±0.25	7.00±0.35	6.50±0.30
28	6.17±0.21	6.87±0.06	6.07±0.25	7.07±0.40	6.57±0.25
29	6.40±0.17	6.90±0.10	6.17±0.35	7.33±0.29	6.63±0.31
30	6.40±0.20	6.97±0.06	6.17±0.25	7.23±0.25	6.73±0.25
31	6.63±0.21	7.07±0.12	6.43±0.40	7.43±0.31	7.00±0.20
32	6.70±0.26	7.07±0.31	6.60±0.26	7.50±0.26	7.13±0.31
33	6.77±0.25	7.47±0.45	6.77±0.25	7.53±0.25	7.53±0.35
34	6.77±0.21	7.23±0.58	6.97±0.25	7.77±0.21	7.77±0.25
35	6.90±0.10	7.13±0.32	6.83±0.21	7.67±0.29	8.17±0.21
36	7.00±0.20	7.43±0.45	7.13±0.55	7.93±0.15	8.27±0.21
37	7.10±0.20	7.63±0.51	7.17±0.35	7.93±0.25	8.57±0.15
38	7.23±0.25	8.07±0.32	7.37±0.35	8.03±0.15	---
39	7.63±0.25	8.23±0.12	7.67±0.29	8.03±0.23	---
40	8.23±0.29	8.30±0.17	8.13±0.15	8.37±0.12	---
41	8.60±0.10	8.33±0.15	8.10±0.35	8.53±0.06	---

P= Pilas compostadas, --- no evaluado

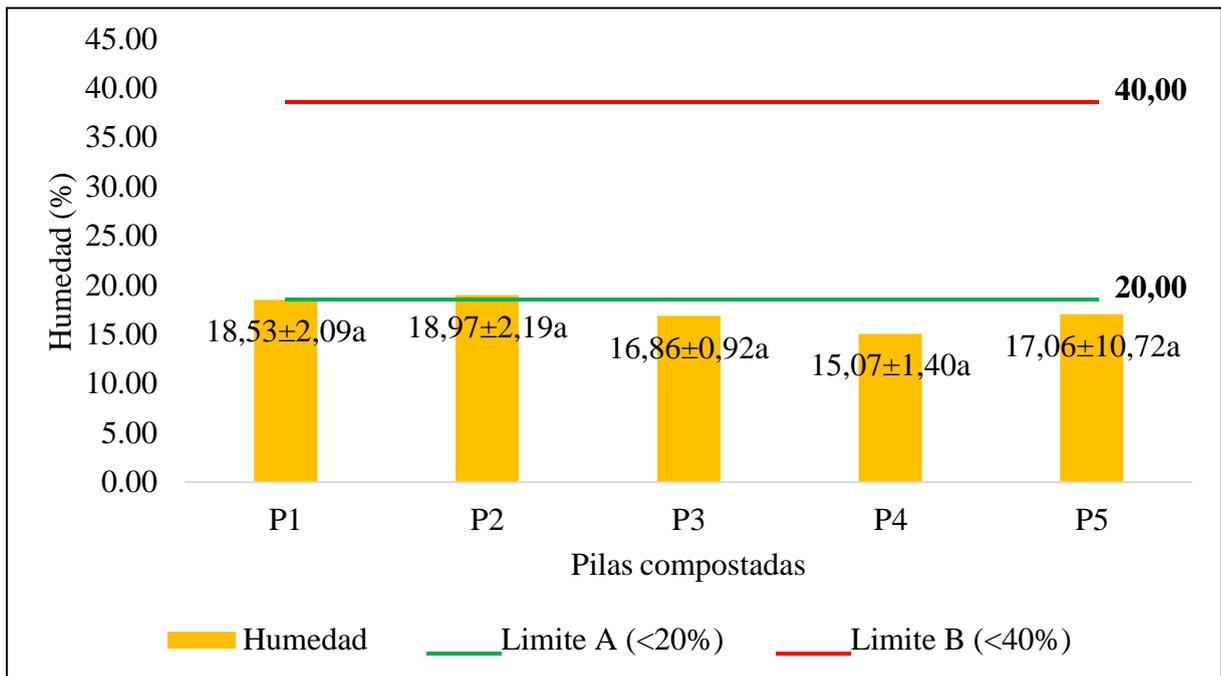
Los resultados de pH no son incoherentes ya que las pilas se reúnen progresivamente durante una o dos semanas para alcanzar el volumen adecuado y recién se inició las evaluaciones, es decir la pila ya había pasado la fase inicial o fase mesófila, por ello los niveles bajos de pH en todos los casos. La explicación a este descenso del pH es resultado de procesos biooxidativos de los azúcares en la primera fase, produciendo ácidos orgánicos que provocan reducción del pH (4,0 a 4,5), sin embargo, esta rápida utilización de los compuestos solubles genera la fase termogénica (FAO, 2013), muy importante tanto para la degradación como para la higienización (FAO, 2013; Florida & Reategui, 2019).

El comportamiento de los resultados también es señalado por Garrido (2022), quien encontró valores bajos de pH (fuertemente ácidos) al inicio y aumento sostenido hasta los días 70 a 85, para luego detenerse en valores cercanos 8 (alcalino) hasta la finalización de las evaluaciones (115 a 136 días). También, La Cruz (2019) en Chilca-Huancayo, encontró valores menores a 7 al inicio del proceso e incrementos hasta los 85 días de procesamiento. Engeneral, los resultados están dentro de los valores de pH señaladas por la FAO (2013), con niveles bajos al inicio y altos hacia el final del proceso.

4.3. Indicadores físicos y químicos del compost final

4.3.1. Contenido de humedad

La **Figura 6** muestra las variaciones de la media, desviación estándar y los subconjuntos homogéneos determinados por Tukey, este último presenta un solo subconjunto homogéneo, lo que indica, que no existe diferencias estadísticas ($p < 0,05$) del % de humedad entre compost final producidos en las diferentes pilas. También, la figura muestra el contraste de los valores medios del % de humedad con la norma chilena (NCH2880).



P1, ..., P5 Pilas compostadas, letras diferentes en las diferentes columnas expresan diferencias estadísticas ($p < 0,05$).

Figura 6. Variación de la humedad del compost final en las diferentes pilas

La **Tabla 11** muestra el análisis del modelo lineal general univariado. El valor de la significancia (0,757) indica que no existe diferencias estadísticas por presentar valores de $p > 0,05$; por lo que, estadísticamente se interpreta que los valores medios del % de humedad entre las pilas de compost evaluadas son similares.

Tabla 11. Análisis de varianza para el contenido de humedad

Pruebas inter-sujetos: Humedad					
Origen	\sum de cuadrados	Gl.	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	47,772 ^a	4	11,943	0,470	0,757
Intersección	7482,596	1	7482,596	294,635	0,000
Pila	47,772	4	11,943	0,470	0,757 ^{ns}
Error	507,923	20	25,396		
Total	8038,291	25			

Total, corregido	555,695	24
a. $R^2 = 0,09$ (R^2 ajustada = -0,10)		

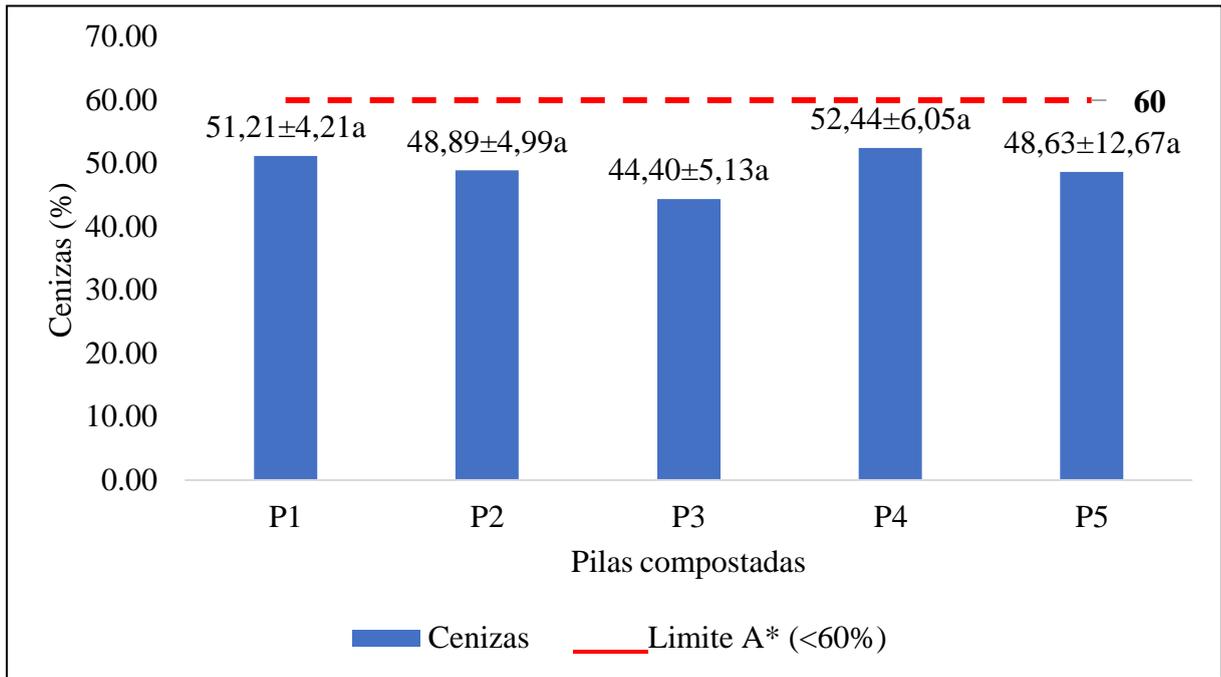
Gl grados de libertad, F funcion de probabilidad, Sig significativo, ns no significativo

Los resultados sugieren en primera instancia que las condiciones de procesamiento fueron homogéneas. Además, la **Figura 6** demuestra que el % de humedad (< 20%) en las diferentes pilas corresponden a compost de clase A, según la NCOh2880. Este indicador es importante para establecer los criterios de aplicación en la agricultura, teniendo en cuenta que el % de humedad del producto tiene correlación negativa con la mayoría de los nutrientes, entre ellos, N, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn (Bohórquez et al., 2015), por ello, es importante el control de humedad, ya que el exceso puede comprometer el peso total y puede afectar los cálculos de aplicación (Bailón & Florida, 2020).

En general, se tiene un adecuado % de humedad en todas las pilas y pertenece a compost de clase A según la NOCh 2880 y son valores más bajos en comparación a los resultados de Castillo (2020), encontró medias entre 27,17 a 40,59%, Bohórquez et al. (2015) entre 36,4 a 44,30%, también, Bailón & florida (2020) encontró valor medio de 32.28%; sin embargo, son muy similares a los reportados por Garrido (2022), reporta medias entre 13,66 a 14,99%. Por tanto, son resultados típicos considerados de alta calidad (Clase A <20% de humedad por la NOCh 2880) y no requieren tratamiento previo para optimizar su aplicación en la agricultura.

4.3.2. Cenizas (%)

La **Figura 7**, muestra la media, desviación estándar y la prueba de Tukey para determinar los subgrupos homogéneos entre las pilas evaluadas. Se encontró valor medio mínimo de 44,40% y máximo de 52,44%; la prueba de Tukey muestra un solo subgrupo homogéneo lo que indica que no existe diferencias para el % de cenizas entre las pilas evaluadas.



*Norma técnica colombiana NTC5167

Figura 7. Variación del % de cenizas del compost final en las diferentes pilas

La **Tabla 12** muestra el análisis del modelo lineal general univariado. El valor de la significancia (0,493) indica que no existe diferencias estadísticas por presentar valores de $p > 0,05$; por lo que, estadísticamente se interpreta que los valores medios del % de cenizas entre las pilas de compost evaluadas son similares.

Tabla 12. Análisis de varianza de Cenizas

Pruebas inter-sujetos: Cenizas					
Origen	\sum de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	189,563 ^a	4	47,391	0,880	0,493
Intersección	60303,643	1	60303,643	1120,123	0,000
Pila	189,563	4	47,391	0,880	0,493ns
Error	1076,732	20	53,837		
Total	61569,937	25			
Total, corregido	1266,295	24			

a. $R^2 = 0,15$ (R^2 ajustada = -0,02)

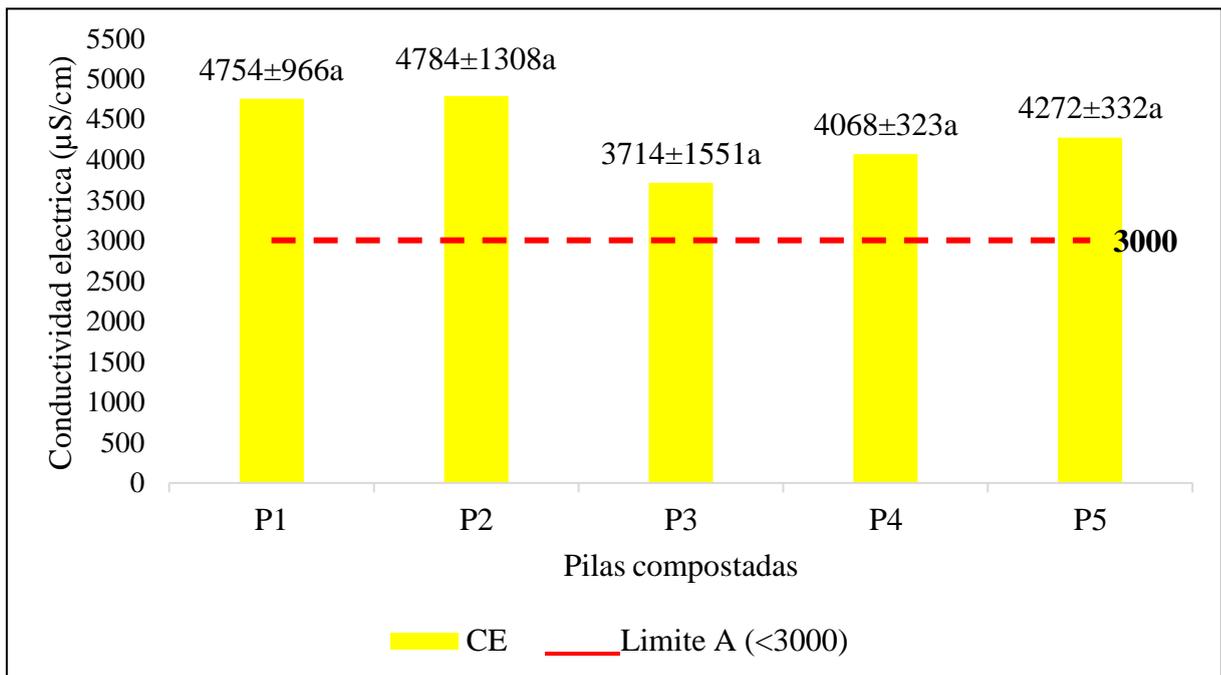
Gl grados de libertad, F función de probabilidad, Sig significativo, ns no significativo

El % de cenizas fue comparada con la NTC 5167, según la **Figura 7** todas las muestras analizadas se encuentran dentro de lo establecido por la normativa colombiana y corresponden a un compost de alta calidad o clase A, porque está por debajo del límite máximo (máximo 60%) exigida por la NTC 5167. El porcentaje de ceniza encontrado no muestran diferencias estadísticas significativas (**Tabla 12**) entre las pilas evaluadas, probablemente está relacionada con la homogeneidad de los restos identificados en la caracterización de los materiales compostados, sin embargo, los valores medios están próximos al límite (60%) lo que

indicarían la presencia de sales minerales, entendiendo que los residuos sólidos orgánicos urbanos contienen alta concentración de sales por su aplicación en la preparación de alimentos procesados con importantes contenidos de sal (Iñiguez et al. 2006); también, es posible que las pilas al estar en contacto con el suelo estas pueden ser incorporadas durante las actividades de volteo de las pilas, en ambos casos los valores del % de cenizas no repercute sobre las funciones del compost como sustrato o enmienda (Bailón & Florida, 2020), al menos no se han encontrado referencias que afirmen lo contrario, y que la calidad este comprometida frente a valores altos de este indicador.

4.3.3. Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

La **Figura 8**, muestra la media de la CE, desviación estándar y la prueba de Tukey para determinar los subgrupos homogéneos entre las pilas evaluadas. Se encontró valor medio mínimo de 3714 y máximo de 4754 $\mu\text{S}/\text{cm}$; la prueba de Tukey muestra un solo subgrupo homogéneo lo que indica que no existe diferencias para la conductividad eléctrica entre las pilas evaluadas.



P1, ..., P5 Pilas compostadas, letras diferentes en las columnas expresan diferencias estadísticas ($p < 0,05$).

Figura 8. Valores de conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) comparada con la NOCh2880

La **Tabla 13** muestra el análisis del modelo lineal general univariado. El valor de la significancia (0,434) indica que no existe diferencias estadísticas por presentar valores de $p > 0,05$; por lo que, estadísticamente se interpreta que los valores medios de la conductividad eléctrica entre las pilas de compost evaluadas son similares.

Tabla 13. Análisis de varianza de Conductividad eléctrica

Pruebas inter-sujetos: CE					
Origen	\sum de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	4183416,000 ^a	4	1045854,000	0,993	0,434
Intersección	466214464,00 0	1	466214464,00 0	442,860	0,000
Pila	4183416,000	4	1045854,000	0,993	0,434ns
Error	21054720,000	20	1052736,000		
Total	491452600,00 0	25			
Total, corregido	25238136,000	24			

a. $R^2 = 0,17$ (R^2 ajustada = -0,001)

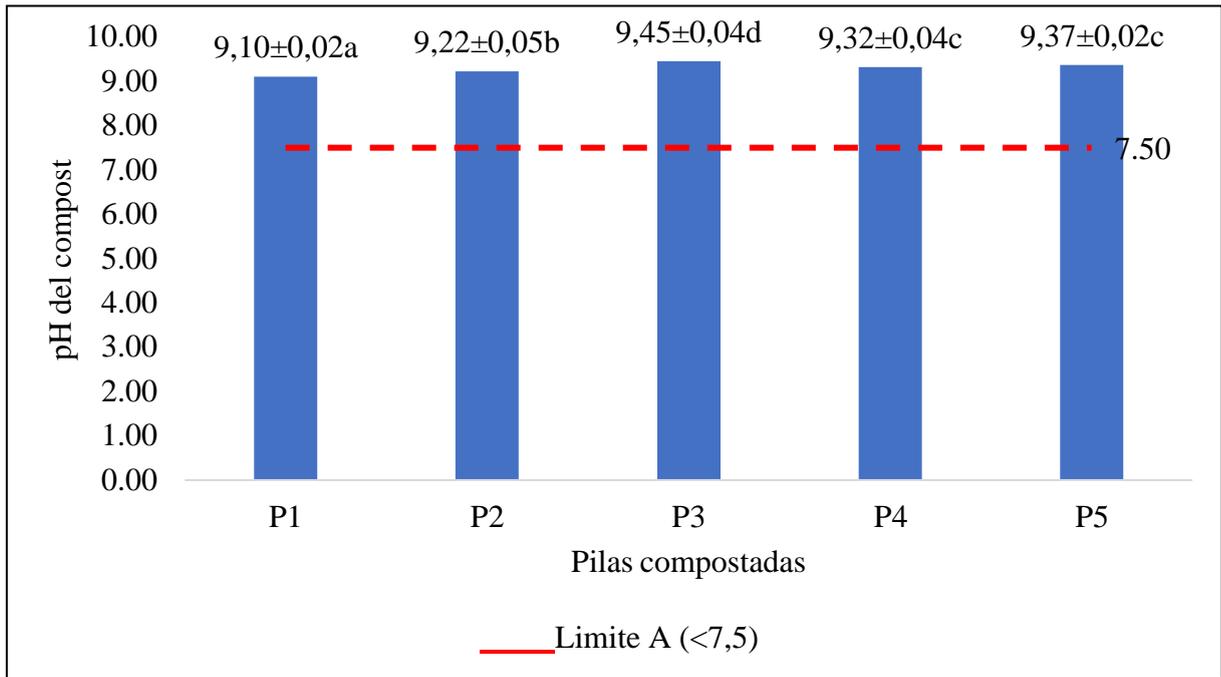
Gl grados de libertad, F función de probabilidad, Sig significativo, ns no significativo

La conductividad eléctrica fue comparada con la NOCH2880, según la **Figura 8** todas las muestras analizadas se encuentran dentro de lo establecido por esta normativa y corresponden a un compost de calidad media o clase B, porque está por encima del límite de la clase A (<3 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Los valores medios encontrados no muestran diferencias estadísticas significativas (**Tabla 13**) entre las pilas evaluadas, probablemente como en los casos anteriores está relacionada con la homogeneidad y composición de los restos compostados, la presencia de iones amonio o nitrato formados durante el proceso, concentración de sales y al procedimiento similar aplicado durante el procesamiento. Los valores medios están dentro de la clase B (3 000-8 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) lo que indicarían algunas restricciones para ser utilizado en la agricultura, según la NCH2880.

La CE es determinada por la concentración de sales que pueden inhibir la germinación de las semillas (Rivas & Silva, 2020). En particular el compost a base de residuos sólidos orgánicos urbanos, generan altos valores en CE (Rawat et al., 2013), por lo que su aplicación en campo debe tomarse en cuenta para evitar una posible salinización del suelo o problemas de fitotoxicidad (Jaramillo, 2002), las altas cantidades de sales en el suelo reduce la absorción de agua por las plantas, restringiendo condiciones sólo a un número reducido de especies tolerante a estas condiciones (Sánchez, et al., 2001).

4.3.4. Potencial de hidrogeno (pH)

La **Figura 9**, muestra la media de pH, desviación estándar y la prueba de Tukey para determinar los subgrupos homogéneos entre las pilas evaluadas. Se encontró valor medio mínimo de 9,10 y máximo de 9,45 de pH; la prueba de Tukey muestra cuatro subgrupos homogéneos lo que indica que existe diferencias de los valores medios de pH entre las pilas evaluadas.



P1, ..., P5 Pilas compostadas, letras diferentes en las diferentes columnas expresan diferencias estadísticas ($p < 0,05$).

Figura 9. Variación del pH del compost en las diferentes pilas

La **Tabla 14** muestra el análisis del modelo lineal general univariado. El valor de la significancia (0,000) indica que existe diferencias estadísticas altamente significativas, por presentar valores de $p < 0,01$; por lo que, estadísticamente se interpreta que los valores medios del pH entre las pilas de compost evaluadas son diferentes.

Tabla 14. Análisis de varianza para los niveles de pH

Pruebas inter-sujetos: pH					
Origen	\sum de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	0,359 ^a	4	0,090	69,949	0,00
Intersección	2158,346	1	2158,346	1683577,039	0,00
Pila	0,359	4	0,090	69,949	0,00**
Error	0,026	20	0,001		
Total	2158,730	25			
Total, corregido	0,384	24			

a. $R^2 = 0,93$ (R^2 ajustada = 0,92)

gl grados de libertad, F función de probabilidad, Sig significativo, ** altamente significativo ($p < 0,01$)

La **Tabla 15** muestra las diferencias a través del análisis de Tukey ($p < 0,05$), en el que se identifican cuatro subgrupos (a, b, c, y d); esto, demuestra una alta variabilidad de los valores medios de pH entre las pilas evaluadas.

Tabla 15. Prueba post-hoc de Tukey para los niveles de pH

HSD Tukey ^{a,b}		Subconjunto			
Pila	N	a	b	c	d
P1	5	9,102			
P2	5		9,224		
P4	5			9,316	
P5	5			9,366	
P3	5				9,450
Sig.		1,00	1,00	0,217	1,00

a. Media armónica = 5,00; b. Alfa = 0,05

Los valores de pH en compost final fueron comparadas con la NCH2880, en la cual se determinó que todas las muestras analizadas se encuentran por encima de los valores establecidos por las normativas, con un valor mínimo de 9.10 y un máximo de 9.45, en todos los casos estarían fuera de los rangos, tanto para la Norma Técnica Peruana (Resolución Directoral N° 017-2021-INACAL/DN) emitida por el Instituto Nacional de Calidad -INACAL (2021) que fija rangos entre 7,50 – 8,50 y para la NCH2880 de 5 a 7,5; or lo que, los valores de pH corresponden a compost de clase B.

Los residuos orgánicos urbanos se caracterizan por tener alto contenido de proteínas los que al descomponerse pueden incrementar el valor del pH (Chang & Hsu, 2008). Lo que se vio reflejado en valores del pH por encima de 9,10 fuera de lo establecido por las normativas de un compost de alta calidad (A), caracterizados por presentar algunas limitaciones de uso. Además, los resultados evidencian que los altos niveles de pH son independientes al periodo de volteo y tiempo de compostaje, estos, se deben al tipo de residuo sometido al proceso (García et al., 2014; Florida & Reategui, 2019; Bailón & Florida, 2020). También, los niveles tienden a ser ácidos al inicio y alcalino al final del proceso, variando entre 4 a 9 (FAO, 2013).

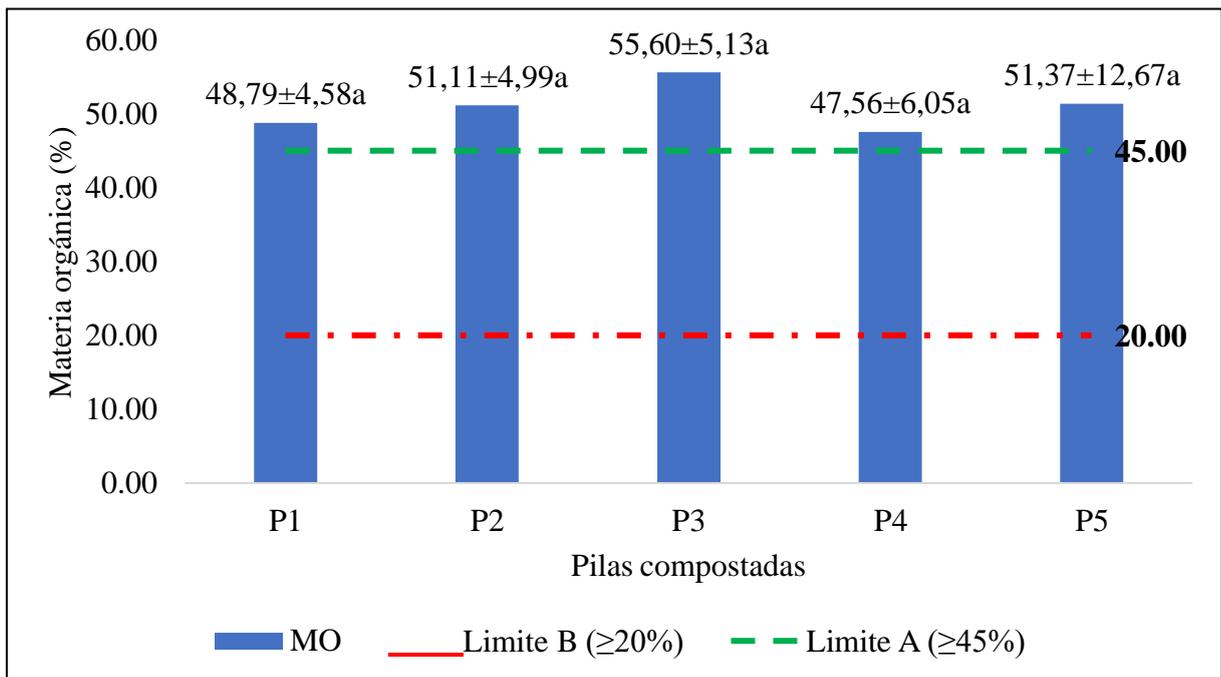
Los valores medios corresponden a un nivel de pH fuertemente alcalino en todas las pilas evaluadas, probablemente por una concentración baja de iones hidrógeno y mayor de calcio, magnesio y sodio (Carrión et al., 2008). En este caso se advierte potenciales riesgos sobre la disponibilidad de los nutrientes, por ello, para alcanzar los valores recomendado por las principales normas de calidad es necesario aplicar técnicas para corregir el pH mediante la adición de azufre, sulfato ferroso, sulfato de aluminio u otros compuestos azufrados (Barbaro, 2019).

Los resultados de pH no son los adecuados, sin embargo, son similares a los resultados de La Cruz (2019), en Chilca-Huancayo; Vargas (2017) en la Concepción-Huancayo, encontró medios de 8,85 a 8,95 para pH. 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) encontraron 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 similares a las referencias y requieren la aplicación de técnicas de corrección antes de ser utilizados como enmienda o sustrato.

4.3.5. Materia orgánica (MO)

La **Figura 10**, presenta la media de los contenidos de MO encontrados según las pilas evaluadas, además, el análisis de Tukey y las diferencias entre pilas. Además, presenta el valor crítico de un compost de Clase A y B, según la NCH2880. Las medias de MO no presentan diferencias a un valor de $p < 0,05$ y varían entre 47,56 a 55,60%, todas las pilas se encuentran dentro del rango de un compost de Clase A, según la NCH2880, estos son valores apropiados y no existen restricciones de uso.



P1, ..., P5 Pilas compostadas, letras diferentes en las diferentes columnas expresan diferencias estadísticas ($p < 0,05$).

Figura 10. Variación de la MO del compost en las diferentes pilas

La **Tabla 16**, muestra el análisis del modelo lineal general univariado. El valor de la significancia (0,493) indica que no existe diferencias estadísticas significativas, por presentar valores de $p > 0,05$; por lo que, estadísticamente se interpreta que los valores medios del MO entre las pilas de compost evaluadas son similares.

Tabla 16. Análisis de varianza para los niveles de MO

Pruebas inter-sujetos: MO					
Origen	Σ de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	189,563 ^a	4	47,391	0,880	0,493
Intersección	64735,643	1	64735,643	1202,447	0,000
Pila	189,563	4	47,391	0,880	0,493 ^{ns}
Error	1076,732	20	53,837		
Total	66001,937	25			
Total, corregido	1266,295	24			

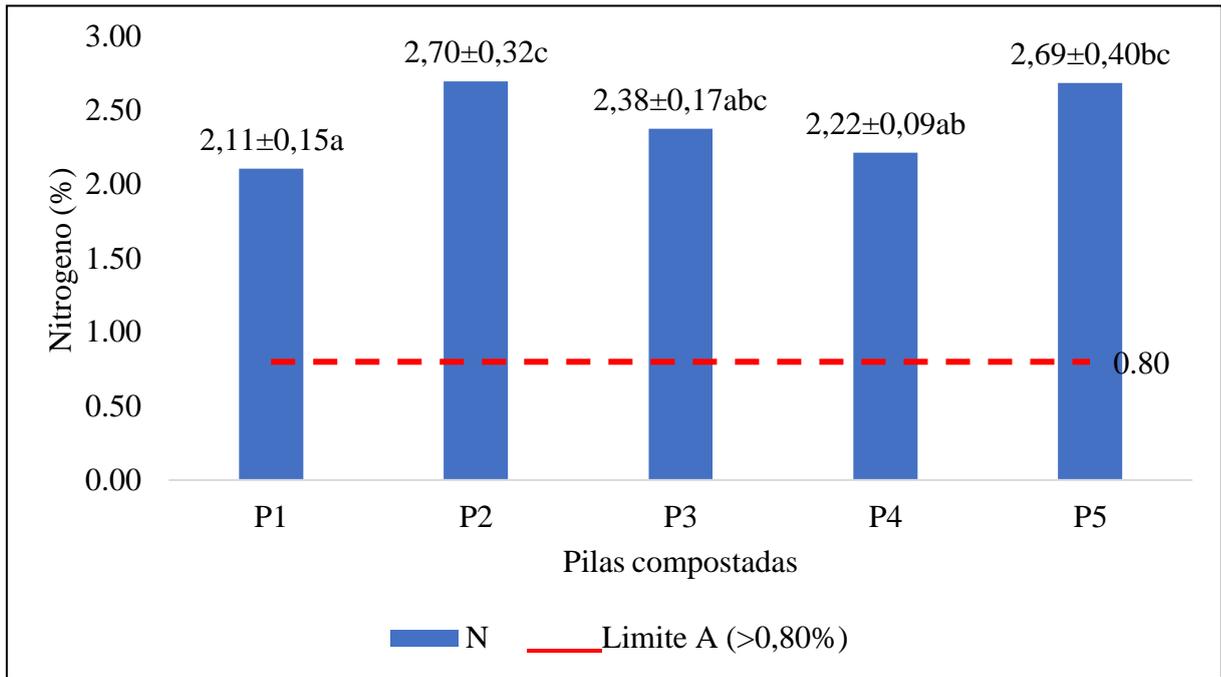
a. $R^2 = 0,15$ (R^2 ajustada = -0,02)

Gl grados de libertad, F función de probabilidad, Sig significativo, ns no significativo

La MO con alto grado de descomposición son muy estables y de lenta mineralización, al aplicarse al suelo afectan positivamente las propiedades fisicoquímicas y aportan carbono para sostener la biodiversidad del sistema (FAO, 2013); en este sentido, los resultados de MO están dentro de los valores exigidos para compost de Clase A, y presentan valores similares a los encontrados por Vargas (2017), Bailón & Florida (2019), La Cruz (2019) y Garrido (2022). También, se han encontrado resultados similares en compost en base a otros residuos agrícolas (Hernández et al., 2013; Florida et al., 2016; Florida et al., 2021) y pecuarios (Florida & Reategui, 2019).

4.3.6. Nitrógeno (N)

La **Figura 11**, presenta la media de N, el análisis de Tukey para identificar los subgrupos y las diferencias entre pilas. También, se presenta el valor crítico de un compost de Clase A, según la NCH 2880. Los resultados presentan diferencias a un valor de $p < 0,01$ y varían entre 2,11 a 2,70%, todas las pilas corresponden a compost de Clase A, según la NCH 2880, estos son valores apropiados y no existen restricciones de uso y muestran a estos compost con buen potencial fertilizante.



P1, ..., P5 Pilas compostadas, letras diferentes en las diferentes columnas expresan diferencias estadísticas ($p < 0,05$).

Figura 11. Variación del N en las diferentes pilas

La **Tabla 17**, muestra el análisis del modelo lineal general univariado. El valor de la significancia (0,003) indica que existe diferencias estadísticas altamente significativas, por presentar valores de $p < 0,01$; por lo que, estadísticamente se interpreta que los valores medios de N entre las pilas de compost evaluadas son diferentes.

Tabla 17. Análisis de varianza para los niveles de N

Pruebas inter-sujetos: N					
Origen	\sum de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1,456 ^a	4	0,364	5,688	0,003
Intersección	146,023	1	146,023	2281,753	0,000
Pila	1,456	4	0,364	5,688	0,003**
Error	1,280	20	0,064		
Total	148,759	25			
Total, corregido	2,736	24			

a. $R^2 = 0,532$ (R^2 ajustada = 0,439)

gl grados de libertad, F función de probabilidad, Sig significativo, ** altamente significativo ($p < 0,01$)

La **Tabla 18**, muestra las diferencias a través del análisis de Tukey ($p < 0,05$), quien identifica tres subgrupos homogéneos (a, b y c); esto, demuestra una alta variabilidad de los valores medios de N entre las pilas evaluadas.

Tabla 18. Prueba post-hoc de Tukey para los niveles de N

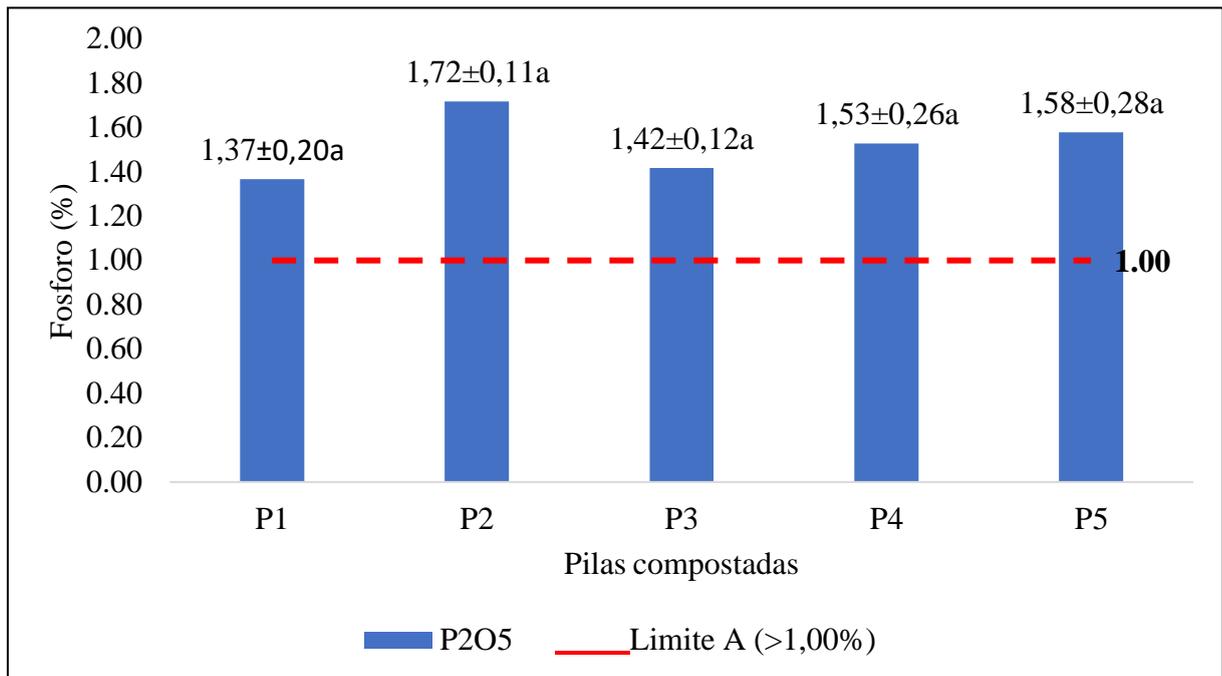
HSD Tukey ^{a,b}				
Pila	N	Subconjunto		
		a	b	c
P1	5	2,106		
P4	5	2,216	2,216	
P3	5	2,376	2,376	2,376
P5	5		2,688	2,688
P2	5			2,698
Sig.		0,463	0,055	0,296

a. Media armónica = 5,00 b. Alfa = 0,05

El N es un macronutriente primario involucrado en diversos procesos de desarrollo y absorción de otros nutrientes (FAO, 2013), por ello, los niveles de N en una enmienda orgánica son muy importante y determina su potencial para ser usado como enmienda o mejorador, por esta razón la NCH2880 exige valores $\geq 0,8\%$, aunque, la FAO (2013) y la NTC5167 (2011) exige medias $>1\%$ de N. Los resultados superan estos valores de referencia y colocan a todas las pilas como compost de Clase A, y son valores similares a otros resultados en compost de residuos sólidos urbanos, entre ellos, Bailón & Florida (2019) reporta media de 1.43 % de N; La Cruz, (2019) encontró medias entre 0,98 a 1,36%; sin embargo, valores medios más bajo son reportados por Vargas (2017) medias de 0,73% a 120 días de procesamiento. Además, los resultados son similares en comparación con compost a base de otros residuos como escobajo de palma (1,84%), residuos de plátano (1,21 %), y 1,92% con pulpa de café (Florida et al., 2021); sin embargo, ninguno de estos valores logra alcanzar los 4,8% de N reportado por Florida & Reategui (2019) en compost de plumas de pollo y estiércol de vacuno.

4.3.7. Niveles de fosforo (P)

La **Figura 12**, presenta la media, el análisis de Tukey para identificar los subgrupos y las diferencias entre pilas. También, presenta el valor referencial de un compost de Clase A según la NCH2880. Los valores medios de P no presentan diferencias a un valor de $p < 0,05$ y varían entre 1,37 a 1,72%, todas las pilas se encuentran dentro del rango de un compost de Clase A ($>1,00\%$) según la NCH2880, estos son valores apropiados y no existen restricciones de uso y muestran a estos compost con buen potencial fertilizante.



P1, ..., P5 Pilas compostadas, letras diferentes en las diferentes columnas expresan diferencias estadísticas ($p < 0,05$).

Figura 12. Variación del fósforo en las diferentes pilas

La **Tabla 19**, muestra el análisis del modelo lineal general univariado. El valor de la significancia (0,092) indica que no existe diferencias estadísticas significativas, por presentar valores de $p > 0,05$; por lo que, estadísticamente se interpreta que los valores medios de P entre las pilas de compost evaluadas son similares.

Tabla 19. Análisis de varianza para los niveles de fósforo (P)

Pruebas inter-sujetos: P					
Origen	\sum de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	0,386 ^a	4	0,096	2,321	0,092
Intersección	57,851	1	57,851	1392,194	0,000
Pila	0,386	4	0,096	2,321	0,092 ^{ns}
Error	0,831	20	0,042		
Total	59,068	25			
Total, corregido	1,217	24			

a. $R^2 = 0,317$ (R^2 ajustada = 0,18)

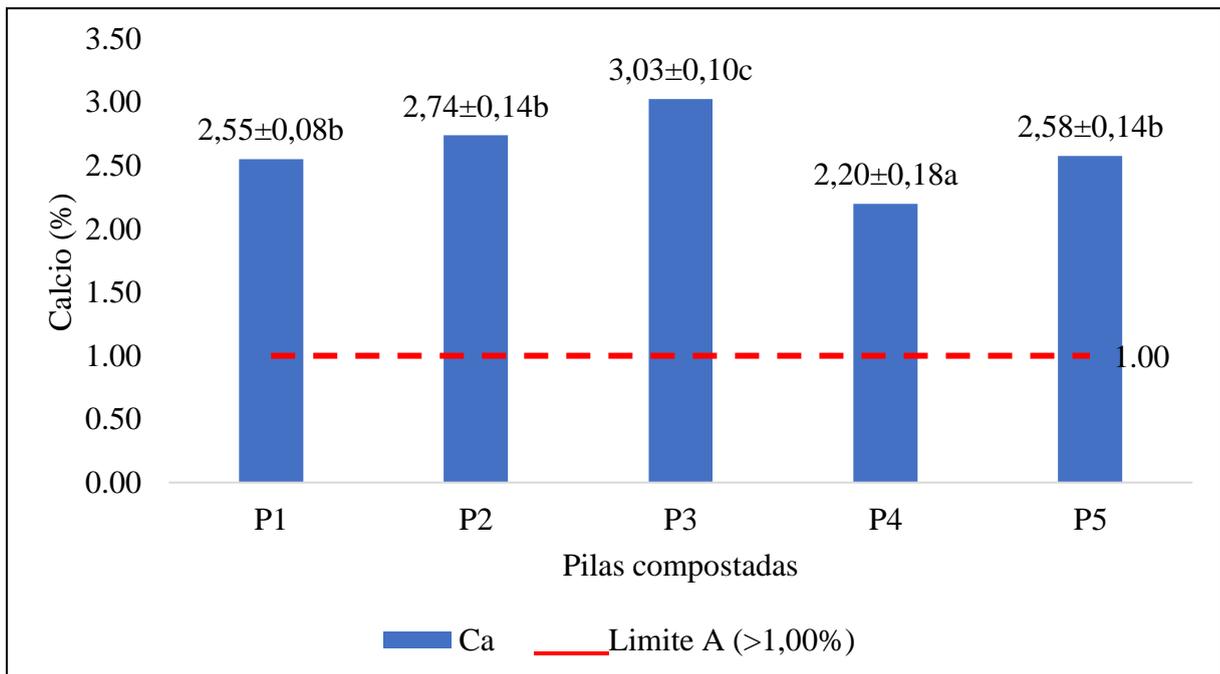
gl grados de libertad, F función de probabilidad, Sig significancia, ns no significativo

Segundo macronutriente para los vegetales, involucrado en la transferencia de energía y fotosíntesis (FAO, 2013). Los niveles en una enmienda son importantes, la NTC5167 consideran compost ideal si el valor medio de P supera 1% y la OMS entre 0,30 a 1,80% (Soriano, 2016). Por lo tanto, los resultados corresponden a compost de clase A, y presentan valores similares a los reportados por Castillo (2020) medias entre 1,27 a 1,54%, y Bailón & Florida (2019) media de 1,57% de P_2O_5 . Además, según Florida et al. (2021) los resultados presentan contenidos similares en P que un compost a base de residuos de pulpa

de café (1,58%) y menores a lo reportado en escobajo de palma que tiene en promedio 2,13% de P_2O_5 .

4.3.8. Niveles de calcio (Ca),

La **Figura 13**, presenta la media, el análisis de Tukey para identificar los subgrupos y las diferencias entre pilas. Además, se presenta el valor crítico de un compost de Clase A según la NCH 2880. Los resultados presentan diferencias a un valor de $p < 0,01$ y varían entre 2,30 a 3,05%, todas las pilas corresponden a compost de Clase A ($> 1,00\%$ de Ca) según la NCH2880, estos son valores apropiados y no existen restricciones de uso y muestran a estos compost con buen potencial fertilizante.



P1, ..., P5 Pilas compostadas, letras diferentes en las diferentes columnas expresan diferencias estadísticas ($p < 0,05$).

Figura 13. Variación del Ca en las diferentes pilas

La **Tabla 20**, muestra el análisis del modelo lineal general univariado. El valor de la significancia (0,000) indica que existe diferencias estadísticas altamente significativas, por presentar valores de $p < 0,01$; por lo que, estadísticamente se interpreta que los valores medios de Ca entre las pilas de compost evaluadas son diferentes.

Tabla 20. Análisis de varianza para los niveles de calcio (Ca)

Pruebas inter-sujetos: Ca					
Origen	\sum de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1,810 ^a	4	0,453	26,389	0,00
Intersección	171,767	1	171,767	10016,750	0,00
Pila	1,810	4	0,453	26,389	0,00**
Error	0,343	20	0,017		

Total	173,920	25
Total, corregido	2,153	24
a. $R^2 = 0,841$ (R^2 ajustada = 0,809)		

gl grados de libertad, F función de probabilidad, Sig significancia, ** altamente significativo ($p < 0,01$)

La **Tabla 21**, muestra las diferencias a través del análisis de Tukey ($p < 0,05$), en el que identifica tres subgrupos homogéneos (a, b y c); esto, muestra alta variabilidad de los valores medios de Ca entre las pilas evaluadas, donde las pilas P1, P2 y P5 (b) presentan medias similares, contrariamente P4 (a) y P3 (c) son diferentes entre sí y con las pilas del subgrupo b.

Tabla 21. Prueba post-hoc de Tukey para los niveles de Ca

HSD Tukey ^{a,b}				
Pila	N	Subconjunto		
		a	b	c
P4	5	2,202		
P1	5		2,554	
P5	5		2,580	
P2	5		2,742	
P3	5			3,0280
Sig.		1,00	0,196	1,00

a. Media armónica = 5,00. b. Alfa = 0,05

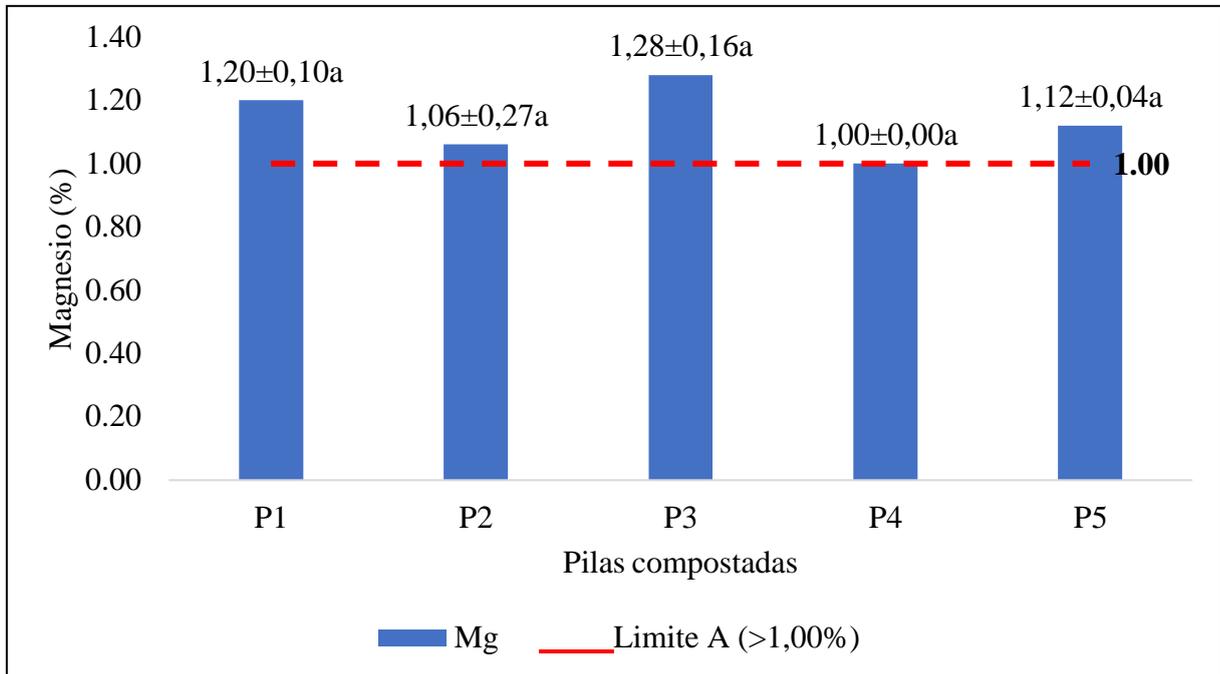
Es un macronutriente estructural, forma parte de la estructura de la pared de las células vegetales y cumple un rol determinante en el crecimiento radicular e influye en la calidad de los frutos (FAO, 2013). Niveles altos en los suelos son deseable para la mayoría de los cultivos, sin embargo, es típico encontrar niveles bajos en condiciones de suelos ácidos, por ello, es necesario asegurar niveles apropiados de Ca en las enmiendas, que, a través de la aplicación controlar elementos tóxicos como Al en suelos tropicales (Bohn, 1993).

Los resultados (**Figura 13**), muestran que todas las pilas presentan valores $>1\%$, que corresponde a compost de Clase A y son valores mayores a los reportados por Vargas (2017) encontró medias de 0,273 % de Ca, Barbaro et al. (2019) media de 0,87 %; sin embargo, combinar residuos urbanos con aserrín y poda de jardín se podrían alcanzar medias de 4,5 a 5,5% (La Cruz, 2019), también, Florida et al. (2021) sugiere el uso de pulpa de café y escobajo de palma ya que se pueden alcanzar medias de 3,15 y 2,90 % de Ca respectivamente.

4.3.9. Niveles de magnesio (Mg)

La **Figura 14**, presenta la media, la prueba de Tukey para identificar los subgrupos y las diferencias entre pilas. También, se consigna el valor crítico de un compost de Clase A según la NCH 2880. El Mg no presentan diferencias a un valor de $p < 0,05$ y varían entre 1,00 a 1,28%, todas las pilas se encuentran dentro del rango de un compost de Clase A

(>1,00% de Mg) según la NCH2880, estos son valores apropiados y no existen restricciones de uso y muestran a estos compost con buen potencial fertilizante.



P1, ..., P5 Pilas compostadas, letras diferentes en las diferentes columnas expresan diferencias estadísticas ($p < 0,05$).

Figura 14. Variación del Mg en las diferentes pilas

La **Tabla 22**, muestra el análisis del modelo lineal general univariado. El valor de la significancia (0,057) indica que no existe diferencias estadísticas significativas, por presentar valores de $p > 0,05$; por lo que, estadísticamente se interpreta que los valores medios de Mg entre las pilas de compost evaluadas son similares.

Tabla 22. Análisis de varianza para los niveles de magnesio (Mg)

Pruebas inter-sujetos: Mg					
Origen	\sum de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	0,246 ^a	4	0,062	2,750	0,057
Intersección	32,036	1	32,036	1430,161	0,000
Pila	0,246	4	0,062	2,750	0,057 ^{ns}
Error	0,448	20	0,022		
Total	32,730	25			
Total, corregido	0,694	24			

a. $R^2 = 0,355$ (R^2 ajustada = 0,226)

gl grados de libertad, F función de probabilidad, Sig significativo, ns no significativo

El Mg (**Figura 14**), es un componente básico de la clorofila, por tanto, determina la 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, niveles mayores a 1% es exigida por la NCH2880, en este caso todas las pilas evaluadas alcanzaron y superaron este valor.

Los resultados corresponden a compost de alta calidad o clase A, 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, valor muy bajo en comparación a los resultados; sin embargo, concuerdan con Bailón & Florida (2020) de 1,17% y Castillo (2020) un promedio de 0,903 % de Mg. Además, los resultados son similares a los valores encontrados en compost a base de otros residuos entre ellos 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).

4.3.10. Niveles de potasio (K)

La **Figura 15**, presenta la media, la prueba de Tukey para identificar los subgrupos y las diferencias entre pilas. También, se muestra el valor crítico de un compost de Clase A según la NCH2880. Los niveles de K presentan diferencias a un valor de $p < 0,01$ y varían entre 2,28 a 3,15%, todas las pilas se encuentran dentro del rango de un compost de Clase A ($> 1,00\%$ de K) según la NCH2880, estos son valores apropiados y no existen restricciones de uso y muestran a estos compost con buen potencial fertilizante.

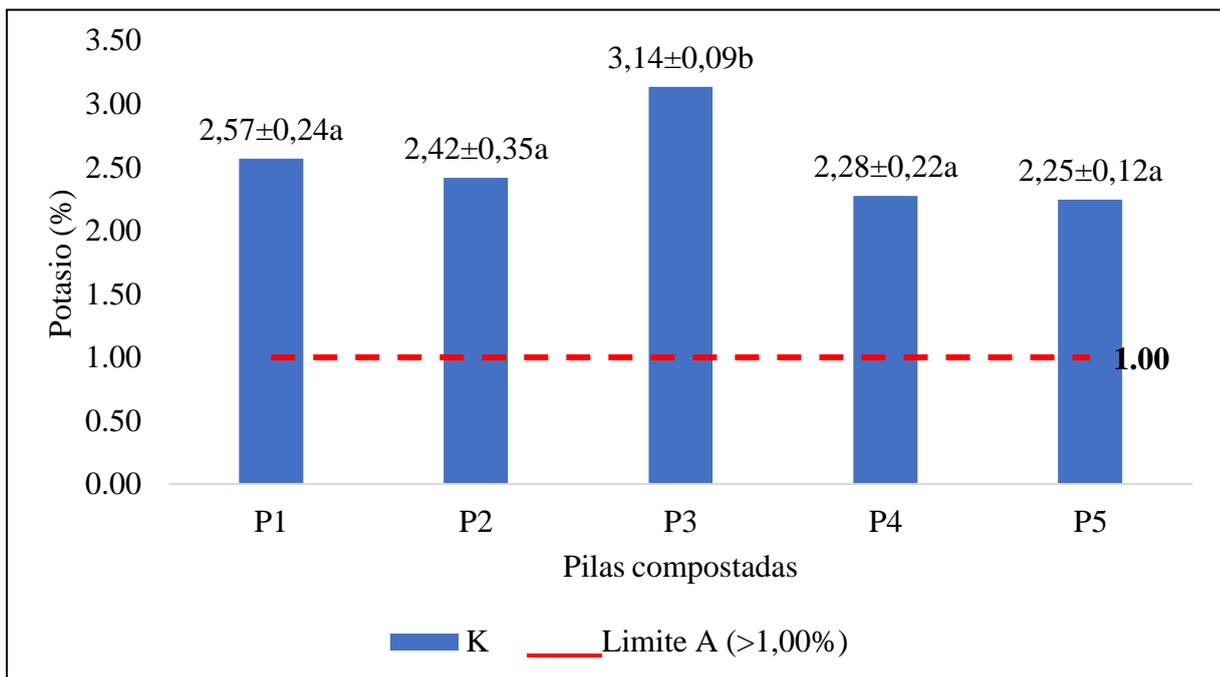


Figura 15. Variación del K en las diferentes pilas

La **Tabla 23**, muestra el análisis del modelo lineal general univariado. El valor de la significancia (0,000) indica que existe diferencias estadísticas altamente significativas, por presentar valores de $p < 0,01$; por lo que, estadísticamente se interpreta que los valores medios de K entre las pilas de compost evaluadas son diferentes.

Tabla 23. Análisis de varianza para los niveles de K

Pruebas inter-sujetos: K					
Origen	Σ de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	2,638 ^a	4	0,66	13,015	0,00
Intersección	159,972	1	159,972	3156,385	0,00
Pila	2,638	4	0,66	13,015	0,00**
Error	1,014	20	0,051		
Total	163,624	25			
Total, corregido	3,652	24			

a. R al cuadrado = 0,722 (R al cuadrado ajustada = 0,667)

gl grados de libertad, F función de probabilidad, Sig significativo, ** altamente significativo (p< 0,01)

La **Tabla 24**, muestra las diferencias a través del análisis post hoc de Tukey (p<0,05), quien establece los subgrupos homogéneos y en el que se identifican dos subgrupos homogéneos (a y b); esto, demuestra la variabilidad de los valores medios de K entre las pilas evaluadas, donde las pilas P1, P2, P4 y P5 (a) presentan medias similares, contrariamente P3 (b) son diferentes con las pilas del sub grupo a.

Tabla 24. Prueba post-hoc de Tukey para los niveles de K

HSD Tukey ^{a,b}			
Pila	N	Subconjunto	
		A	b
P5	5	2,248	
P4	5	2,276	
P2	5	2,418	
P1	5	2,568	
P3	5		3,138
Sig.		0,203	1,000

a. Media armónica = 5,00 b. Alfa = 0,05

El K (Figura 15) 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). De acuerdo con la NCH2880 todos los compost superan el valor límite de un compost de alta calidad. Además, los valores son similares a los de La Cruz (2019) 1,8%, Vargas (2017) de 1, 85% y Bailón & Florida (2020) con promedio de 4,47% de K; contrariamente, son mayores a lo encontrado por Castillo (2020) con media de 0,51 % y Garrido (2022) valor medio de 0,34 a 0,40% de K, considerada bajos o de clase B según la NCH2880.

4.3.11. Niveles de cobre (Cu)

La **Figura 16**, muestra los valores medios de la concentración de Cu (ppm) según pilas evaluados, además, el análisis post-hoc de Tukey para identificar los subgrupos homogéneos y las diferencias estadísticas entre pilas. También, se muestra el valor referencial de un compost de Clase A y Clase B según la NCH2880.

Los valores medios de Cu presentan diferencias altamente significativas a un valor de $p < 0,01$ y varían entre 17,01 a 23,01%, todas las pilas se encuentran dentro del rango de un compost de Clase A (< 70 ppm Cu) según la NCH2880, estos son valores apropiados, sin restricciones de uso y no presentarían problemas de fitotoxicidad.

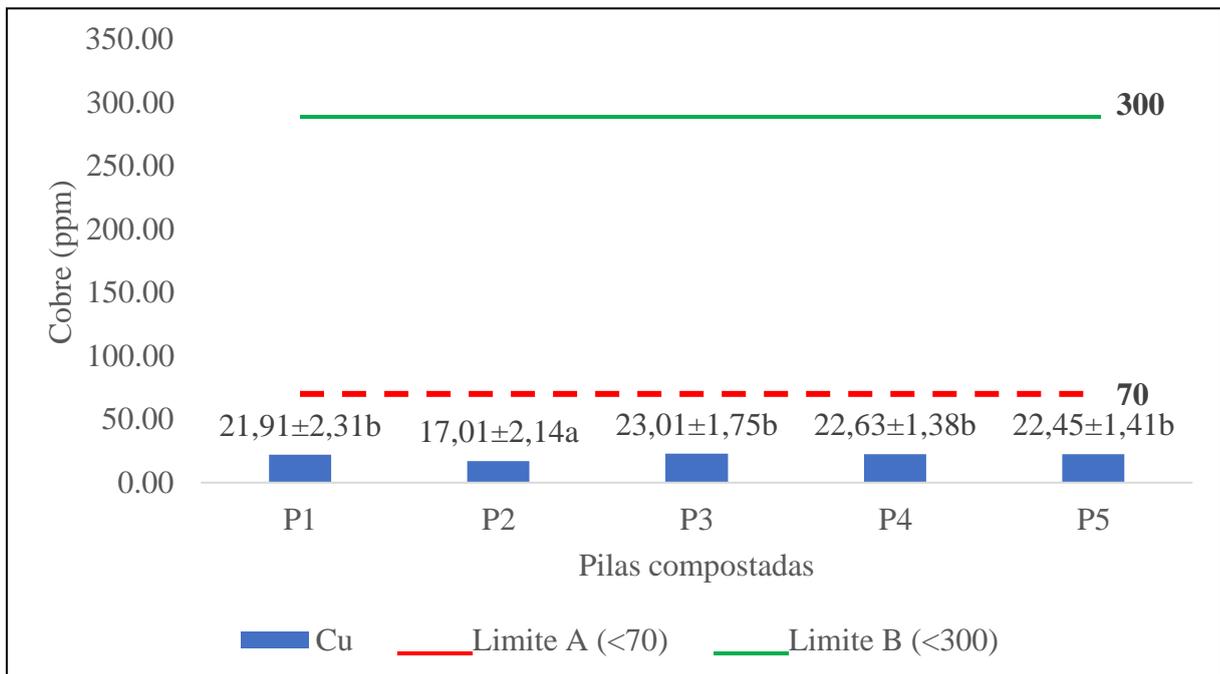


Figura 16. Variación del Cu en las diferentes pilas

La **Tabla 25**, presenta el análisis del modelo lineal general univariado. El valor de la significancia (0,000) indica que existe diferencias estadísticas altamente significativas, por presentar valores de $p < 0,01$; por lo que, estadísticamente se interpreta que los valores medios de Cu entre las pilas de compost evaluadas son diferentes.

Tabla 25. Análisis de varianza para los niveles de Cu

Pruebas inter-sujetos: Cu					
Origen	Σ de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	123,588 ^a	4	30,897	9,136	0,000
Intersección	11451,996	1	11451,996	3386,341	0,000
Pila	123,588	4	30,897	9,136	0,000**
Error	67,636	20	3,382		
Total	11643,220	25			

Total, corregido	191,224	24
a. $R^2 = 0,646$ ($R^2 = 0,576$)		

gl grados de libertad, F función de probabilidad, Sig significativo, ** altamente significativo ($p < 0,01$)

La **Tabla 26**, muestra las diferencias a través de la prueba de Tukey ($p < 0,05$), quien identifica dos sub grupos homogéneos (a y b); esto, demuestra la variabilidad de los valores medios de Cu entre las pilas evaluadas, donde las pilas P1, P3, P4 y P5 (b) presentan medias similares, contrariamente P2 (a) presenta la menor concentración y son diferentes con las pilas del sub grupo a.

Tabla 26. Prueba post-hoc de Tukey para los niveles de Cu

HSD Tukey ^{a,b}			
Pila	N	Subconjunto	
		a	b
P2	5	17,0120	
P1	5		21,914
P5	5		22,452
P4	5		22,630
P3	5		23,006
Sig.		1,000	0,878

a. Media armónica = 5,00 b. Alfa = 0,05

El Cu es un micronutriente requerido 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 NCH2880 no debe superar valores de 70 ppm de Cu. Además, el Cu es considerado metal pesado por tener una densidad $\geq 5 \text{ g cm}^{-3}$ y número atómico > 20 en su forma elemental, excluyendo a los metales alcalinos y alcalinos térreos (EPA, 2017), estos, pueden ser beneficiosos y necesarios para los organismos. Sin embargo, pueden ser muy peligrosos por su capacidad de bioacumulación y biomagnificación en los sistemas vivos (Vargas, 2017).

En general los resultados (**Figura 16**) son valores bajos en comparación a lo encontrado por Vargas (2017), reporta valores de 214,05 a 152,20 ppm de Cu, en muestreos a cuatro y cinco meses del compostaje. Por lo tanto, los resultados son menores a las establecidas en las normas técnicas y a las referencias.

4.3.12. Niveles de zinc (Zn)

La **Figura 17**, presenta la media de Zn (ppm), la prueba de Tukey para identificar los subgrupos y las diferencias entre pilas. También, se muestra el valor referencial de un compost de alta calidad (Clase A) según la NCH2880. Los valores medios de Zn presentan diferencias altamente significativas a un valor de $p < 0,01$ y varían entre 67,09 a 86,17 ppm, todas las pilas se encuentran dentro

del rango de un compost de Clase A (< 200 ppm Zn) según la NCH2880, estos son valores apropiados, sin restricciones de uso y no presentarían problemas de fitotoxicidad.

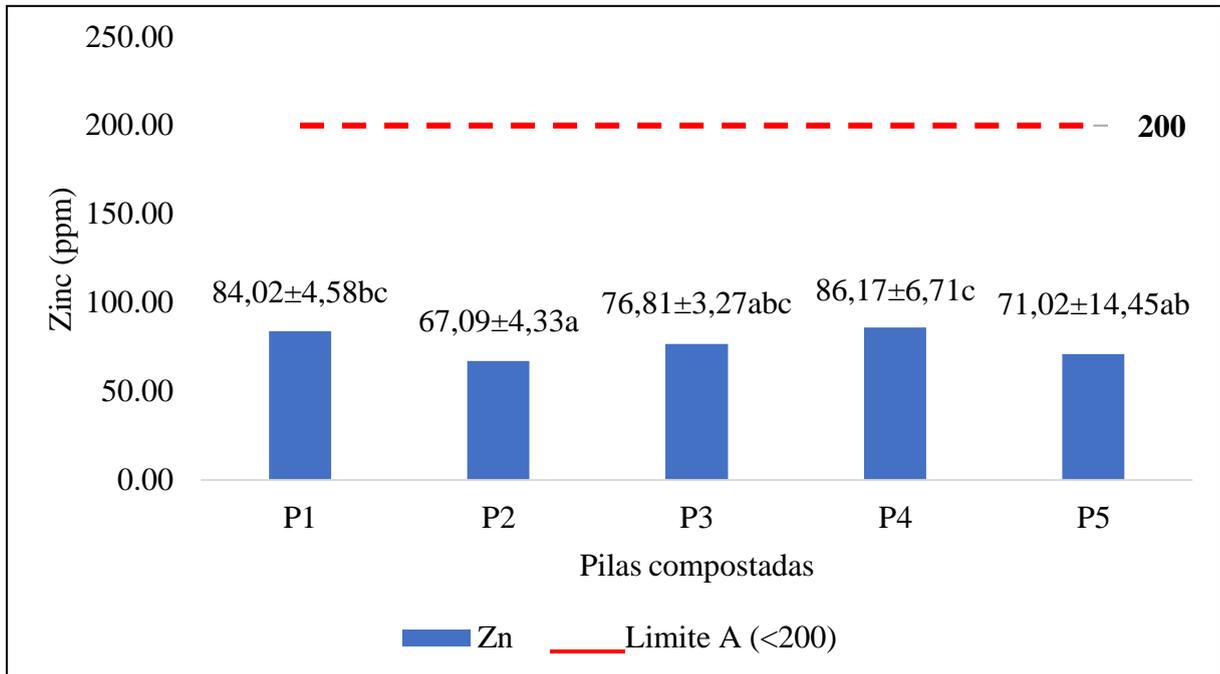


Figura 17. Variación del Zn en las diferentes pilas

La **Tabla 27**, muestra el análisis del modelo lineal general univariado. El valor de la significancia (0,004) indica que existe diferencias estadísticas altamente significativas, por presentar valores de $p < 0,01$; por lo que, estadísticamente se interpreta que los valores medios de Zn entre las pilas de compost evaluadas son diferentes.

Tabla 27. Análisis de varianza para los niveles de Zn

Pruebas inter-sujetos: Zn					
Origen	Σ de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1336,552 ^a	4	334,138	5,493	0,004
Intersección	148315,874	1	148315,874	2438,339	0,000
Pila	1336,552	4	334,138	5,493	0,004**
Error	1216,532	20	60,827		
Total	150868,958	25			
Total, corregido	2553,084	24			

a. $R^2 = 0,524$ (R^2 ajustada = 0,428)

gl grados de libertad, F función de probabilidad, Sig significativo, ** altamente significativo ($p < 0,01$)

La **Tabla 28**, muestra las diferencias a través de la prueba de Tukey ($p < 0,05$), quien establece tres sub grupos homogéneos (a, b y c); esto, demuestra la variabilidad de los valores medios de Zn entre las pilas evaluadas, donde las pilas P2 (a), P4 (c) son medias diferentes con las demás pilas, en el caso de P3 presenta media semejante al sub grupo a, b y c, en caso de P1 es semejante a las medias del sub grupo b y c; obteniendo la media más alta P2.

Tabla 28. Prueba post-hoc de Tukey para los niveles de Zn

HSD Tukey ^{a,b}				
Pila	N	Subconjunto		
		a	b	c
P2	5	67,094		
P5	5	71,024	71,024	
P3	5	76,806	76,806	76,806
P1	5		84,022	84,022
P4	5			86,172
Sig.		0,316	0,101	0,350

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5, b. Alfa = 0,05

Los resultados de Zn (**Figura 17**) son valores bajos y no presentarían restricciones de uso y pueden aplicarse como enmienda en la agricultura. El Zn es otro micronutriente requerido 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 NCH2880 no debe superar valores de 200 ppm de Zn. Este elemento también es considerado como metal pesado por tener densidad $\geq 5 \text{ g cm}^{-3}$, número atómico > 20 en su forma elemental (EPA, 2017), que pueden ser muy peligrosos por su capacidad de bioacumulación y biomagnificación en los sistemas vivos (Vargas, 2017), por ello, en elevadas concentraciones pueden afectar negativamente a los seres vivos. Los resultados demuestran que los compost cumplen las normativas y son similares a los niveles reportados para compost a base de residuos sólidos orgánicos urbanos (Vargas, 2017; La Cruz, 2019; Bailón & Florida, 2020; Castillo, 2020; Garrido, 2022) y a otros residuos compostados (Bohórquez et al., 2015; Jacobo, 2017; Alvarez et al., 2019; Florida & Reategui, 2019).

En general los valores bajos en Cu y Zn pueden deberse a la naturaleza de los residuos compostados o a un adecuado procesamiento, ya que para Wang et al. (2021) después que el compost alcanza la madurez los niveles de Cu, Zn y otros microelementos es bajo. Además, todas las pilas presentan adición de microorganismos eficientes (EM), para Lalas et al. (2017) la adición de agentes microbianos contribuye la pasivación de metales pesados, acelerando la degradación y formación de ácidos húmicos y fúlvicos, este último, con gran capacidad para unirse a los iones metálicos. La inactivación de metales pesados en compost se debe a factores fisicoquímicos, microbianos y componentes orgánicos (Song et al., 2021). La combinación de los componentes húmicos y metales pesados (Cu y Zn) es fuerte e irreversible, existiendo una correlación positiva para la inmovilización de metales pesados (Cao et al., 2021). Esto explicaría los bajos niveles encontrados.

4.3. Calidad del compost

La **Tabla 29**, muestra el contraste de los indicadores físicos, macronutrientes y micronutrientes, con la norma técnica chilena NCH2880 y colombiana 5167 para determinar la calidad del compost en diferentes pilas evaluadas.

Tabla 29. Calidad de compost final producidas en diferentes pilas

Indicador	NOCh 2880		Tratamientos				
	Clase A	Clase B	P1	P2	P3	P4	P5
pH	5-7,5	<5 y >7.5	9.10 B	9.22 B	9.45 B	9.32 B	9.37 B
Humedad	<25%	25-40%	18.53 A	18.97 A	16.86 A	15.07 A	17.06 A
MO	> 45 %	25-45 %	48.79 A	51.11 A	55.60 A	47.56 A	51.37 A
Cenizas**	Max. 60%		51.21 A	48.89 A	44.40 A	52.44 A	48.63 A
N	> 0.8%		2.11 A	2.70 A	2.38 A	2.22 A	2.69 A
P ₂ O ₅	>1 %		1.37 A	1.72 A	1.42 A	1.53 A	1.58 A
Ca	>1%		2.55 A	2.74 A	3.03 A	2.20 A	2.58 A
Mg	>1%		1.20 A	1.06 A	1.28 A	1.00 A	1.12 A
K	>1%		2.57 A	2.42 A	3.14 A	2.28 A	2.25 A
Cu (ppm)	<100	100-1000	21.91 A	17.01 A	23.01 A	22.63 A	22.45 A
Zn (ppm)	<200	200-2000	84.02 A	67.09 A	76.81 A	86.17 A	71.02 A
Calidad final según pila			B	B	B	B	B

NOCh. Norma oficial chilena, P1 al P5 pilas compostadas, ** Norma técnica colombiana NTC 5167

Es importante aprovechar este recurso rico en proteínas y minerales basado en las propiedades de sus parámetros físicos y químicos (Liao et al., 2013), sin embargo, los resultados contrastados con las normas citadas corresponden a compost clase B, que representa a compost de calidad intermedia. Esta determinación se debe a valores elevados de pH que supera los 7,50 (9,10 a 9,45), aspecto que comprometen el potencial fertilizante de los compost evaluados.

En este contexto, los compost a base de residuos sólidos orgánicos urbanos producidos en la Planta Shapajilla, provincia de Leoncio Prado, son de calidad B o calidad intermedia, por su alto niveles de pH, de acuerdo con 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). Además, el pH es un indicador fundamental que definen la reactividad y una serie de procesos químicos que definen en gran medida la calidad del compost (Rafael, 2015; Cabrera & Rossi, 2016; Florida & Reategui, 2019; Bailón & Florida 2020), esta es la razón para categorizarlo como Clase B, a pesar de que el resto de los indicadores corresponden a Clase A. Por lo tanto, es necesario aplicar medidas correctivas antes de su procesamiento y/o aplicación en la agricultura, de acuerdo con las referencias consultadas estas consistirían en corrección del pH mediante la adición de azufre, sulfato ferroso, sulfato de aluminio u otros compuestos azufrados (Barbaro, 2019).

IV. CONCLUSIONES

1. La caracterización de los residuos sólidos orgánicos compostados, son en mayor proporción, restos de comidas, frutas y cascaras, que representan más del 92%, los mismos que no presentan diferencias estadísticas significativas entre pilas sometidas a compostaje entre pilas evaluadas, dando condiciones homogéneas a las pilas compostadas. Respecto a los bioindicadores del procesamiento, la temperatura en las pilas alcanzó las etapas señaladas por la FAO (2013), fase I en los primeros 7 días, la fase II entre 7 a 90 días, la fase III de 90 a 140 días, las pilas no pasaron por la fase de maduración. Respecto a los valores medios de pH en las pilas fueron bajos al inicio y altos al final de las evaluaciones.
2. Los indicadores físicos (% de humedad, % de cenizas) se encuentran dentro de los rangos de compost Clase A y no se encontró diferencias estadísticas significativas para estos indicadores. Los indicadores químicos CE, MO, N, P, K, Ca, Mg, y los metales pesados Zn y Cu se encuentran dentro del rango de un compost Clase A según las normas técnicas, excepto el pH corresponde a Clase B. Además, se encontró diferencias significativas para para los indicadores pH, N, Ca, K, Cu y Zn
3. Los compost de las diferentes pilas evaluadas y contrastadas con de la norma oficial chilena 2880 y la norma colombiana 5167 son de Clase B o calidad intermedia, a pesar de tener niveles adecuados de nutrientes y contenidos bajos en metales pesados (Cu y Zn), los valores altos de pH comprometen negativamente la calidad. Por lo que, los compost producidos pueden ser utilizado en la agricultura con algunas medidas a considerar para reducir los altos niveles de pH.

V. PROPUESTAS A FUTURO

1. Utilizar como sustrato en áreas verdes y como enmienda en la agricultura local los compost producidos en la planta de planta de valorización “Santa Rosa de Shapajilla”, por presentar calidad intermedia (Clase B), adecuadas condiciones fisicoquímicas dentro de los parámetros de calidad fijado por la Norma técnica chilena, colombiana y otras normas de referencia. La única restricción a tener en cuenta son los altos niveles de pH observados y que pueden corregirse adicionando azufre, sulfato ferroso, sulfato de aluminio u otros compuestos azufrados.
2. Realizar estudios de inocuidad y fitotoxicidad en las especies vegetales en las cuáles se utilizó la enmienda orgánica producida en la planta valorización de residuos sólidos orgánicos en Santa Rosa de Shapajilla, para contrastar la calidad y sus efectos, resultado de su aplicación en los cultivos.
3. Proponer una mejora a la norma técnica peruana, elaborada por el Instituto Nacional de Calidad en el 2021, para poder comparar y clasificar adecuadamente la calidad de los compost que se produzcan a base de diferentes tipos de residuos a nivel nacional.
4. Realizar estudios para determinar la presencia de microorganismos de origen fecal y los niveles de metales pesados, que garanticen niveles adecuados y su posibilidad de uso del compost final como sustrato o enmienda en el ámbito local.

VI. REFERENCIAS

- 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>
- Ansorena, J. (1994). *Sustratos. Propiedades y caracterización*. Ediciones Mundi-Prensa Libros. Madrid. Pp. 172.
https://books.google.com.cu/books/about/Sustratos.html?id=RU3OAQAACAAJ&redir_esc=y
- Bailón, M. R., & Florida, N. (2020). Caracterización y calidad de los compost producidos y comercializados en Rupa Rupa-Huánuco. *Enfoque UTE*, 12(01), 1-11 DOI: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.644>
- Bárbaro, L., Karlanian, M., Rizzo, P., & Riera, N. (2019). Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 35(2), 126- 136. <https://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902019005000309>
- 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
- Cao, Y., Wang, X., Zhang, X., Misselbrook, T., Bai, Z., & Ma, L. (2021). An electric field immobilizes heavy metals through promoting combination with humic substances during composting. *Bioresource Technology*, 330(February)
- 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
- Chang, J., & Hsu, T. (2008). Effects of compositions on food waste composting. *Bioresource Technology*. 99 (17), 8068-8074.
- 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>

- Diario oficial El Peruano. (2021). *Generación de residuos sólidos*. Editorial Perú.
 Disponible en: <https://elperuano.pe/noticia/120825-peruanos-generamos-21-mil-toneladas-diarias-de-basura>
- DNP (Departamento Nacional de Planeación). (2009). *Política nacional para la racionalización del componente de costos de producción asociado a los fertilizantes en el sector agropecuario*. Conpes 3577. Bogotá.
- EPA (Environmental Protection Agency). (2017). Metales pesados. s. d. t: EPA. Recupera do de: www.epa.gov
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (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>
- Florida, N., Reátegui, F., & Pocomucha, V. (2016). Caracterización del compost a base de plumas de pollos (*Gallus domesticus*) y otros insumos. *Investigación y Amazonía* 6(2), 1-5
- 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, C., Arozarena, N.J., Martínez, F., Hernández, M., Pascual, J. Á. Santana, D. (2019). Obtención de compost mediante la biotransformación de residuos de mercados agropecuarios. *Cultivos Tropicales*, 40(2), e02. <https://www.redalyc.org/journal/1932/193262825002/html/>
- Garrido, L.R. (2022). Metales pesados, microorganismos patógenos y calidad en compost a base de residuos sólidos urbanos en Tingo María – Leoncio Prado. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva- Perú]. Repositorio UNAS, <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/2227>
- Goyoaga N., & Leconte M. (2004). *Actividad respiratoria amoníficamente y degradación de celulosa en el proceso de producción de compost a partir de diferentes mezclas de aserrín y estiércol corrientes*. Argentina 2004, 4 p.
- Huerta, O., Martínez, X., Gallart, M., Soliva, M. y López, M. 2010. *El uso de compost de residuos sólidos municipales como enmienda orgánica: aportaciones de diferentes*

- componentes según origen.* Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia (DEAB), Escola Superior. Barcelona
- INACAL (Instituto Nacional de Calidad). (2021). Compost a partir de residuos sólidos orgánicos municipales. NTP 201.208:2021 FERTILIZANTES. 1ª Edición. <https://www.actualidadgubernamental.pe/norma/resolucion-directoral-017-2021-inacal-dn/2af43b28-962d-4f8f-999e-80b254aefcbe>
- Iñiguez, G., Parra., J. y Velasco P. 2006. Utilización de subproductos de la industria tequilera. parte 8. Evolución de algunos constituyentes de la mezcla de biosólidos-bagazo de agave durante el compostaje. *Rev. Int. Contam. Ambient* 22 (2): 83-93.
- 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.
- Jaramillo, D. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Medellín, Colombia. 619p
- La Cruz, H. V. (2019). Calidad de compost de residuos sólidos orgánicos domiciliarios utilizando aserrín de *Eucalyptus globulus* Labill y restos de poda jardín Chilca – Huancayo. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5442/T010_20079183_T.pdf?sequence=1
- Lalas, S., Athanasiadis, V., & Dourtoglou, V. G. (2017). Humic and Fulvic Acids as Potentially Toxic Metal Reducing Agents in Water Department of Food Technology , Technological Educational Institute of Thessaly, Karditsa, Department of Oenology & Beverage Technology , Technological Educational Institute of. November, 1-13
- Liao Q., Huang D. & Jiang Z. (2013). Estimation of production amount of livestock and poultry manure and environmental impact assessment in Guangxi. *Asian Agric. Res.* 5, 93-96.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). (2018). Resolución ministerial N° 457-2018-MINAM por el cual establece la Guía para la caracterización de residuos sólidos municipales. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-guia-caracterizacion-residuos-solidos-municipales>
- MINAM (Ministerio del Ambiente). (2019). Informe nacional sobre el estado del ambiente, Consultado en línea el 03 de noviembre de 2022. https://sinia.minam.gob.pe/inea/wp-content/uploads/2021/07/INEA-2014-2019_red.pdf

- MINAM (Ministerio del Ambiente). (2021). Estadística ambiental. Sistema Nacional de Información Ambiental-SINIA. <https://sinia.minam.gob.pe/informacion/temáticas?temática=08>
- Mohedo, J. 2002. *Estudio de la estabilidad durante el compostaje de residuos municipales*. Tesis doctoral. Córdoba. Universidad de Córdoba. 175p
- NOCh (Norma Chilena Oficial). (2004). Norma Chilena de Calidad de Compost (NOCh 2880). Instituto Nacional de Normalización. <https://edoc.pub/nch2880-norma-chilena-de-calidad-de-compost-pdf-free.html>
- Nogales, R.; Gallardo-Lara, F. & Delgado, M. (1982). *Aspectos físico-químicos y microbiológicos del compost de basura urbana*. *Anal. Edaf. Y Agrobiol.* 41: 1159-1174.
- NTC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación). (2011). Productos para la industria agrícola: Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo (Norma Técnica Colombiana 5167). Segunda actualización. p.10.
- Núñez, W. E., Sotomayor, D. A., Ballardo, C. V., & Herrera, E. (2023). Potencial de la biomasa fúngica: producción y mecanismos de biorremediación de metales pesados del compost de residuos sólidos orgánicos municipales. *Scientia Agropecuaria*, 14(1), 79-91. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.008>
- 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.
- Rawat, M., Ramanathan, Al. and Kuriakose, L. (2013). Characterization of Municipal Solid Waste Compost (MSWC) from Selected Indian Cities—A Case Study for Its Sustainable Utilization. *J. of Environmental Protection*. 4, 163-171. doi: /10.4236/jep.2013.42019
- Rivas, M., & Silva, R. (2020). Calidad física y química de tres compost, elaborados con residuos de jardinería, pergamino de café y bora (*Eichhornia Crassipes*). *Revista Ciencia UNEMI*. 13(32), 87-100.
- Ruiz, A. (2002). *Compostación de los residuos sólidos orgánicos generados en la Universidad de Piura*. Tesis, Universidad de Piura - Facultad de ingeniería, Piura - Perú.
- Sánchez, M. A., Roig, A., Paredes, C., & Bernal M. P. (2001). Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Biores. Technol.*, 78 (3): 301-308.
- Song, C., Zhao, Y., Pan, D., Wang, S., Wu, D., et al. (2021). Heavy metals passivation driven by the interaction of organic fractions and functional bacteria during

biochar/montmorillonite-amended composting. *Bioresource Technology*, 329(February).

Tighe Nr. Leonelli., Cg. Montalva Nr., Cavieres Ar. and Morales Ud. (2014). *Caracterización de compost a base de espinillo en relación a la norma chilena N°2880 Tenuco*. p. 10

Vargas, Y. (2017). Calidad de los compost producidos a partir de residuos sólidos orgánicos municipales en el centro de protección ambiental “Santa Cruz”, ciudad de Concepción [Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP: <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4145/Ytavclerh%20Vargas.pdf?sequence=1>

Wang, L., Liu, H., Prasher, S. O., Ou, Y., Yan, B., & Zhong, R. (2021). Effect of inorganic additives (rock phosphate, PR and boron waste, BW) on the passivation of Cu, Zn during pig manure composting. *Journal of Environmental Management*, 285(February), 112101

VII. ANEXOS

Normas técnicas de calidad del compost final

Tabla 30. 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 31. 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	<ul style="list-style-type: none"> *Contenido de cenizas no especifica * Contenido de humedad: <ul style="list-style-type: none"> • Para clase A < 20% • Para clase B entre 25-40% * Contenido de materia orgánica <ul style="list-style-type: none"> • Clase A, ≥ 45% • Clase B, ≥ 20% * N total ≥ 0.8% * Relación C/N <ul style="list-style-type: none"> • -Clase A, 10 y 25 • -Clase B, 10 y 40 • -Clase C, 10 y 50
	Clase: A, no presenta restricción de uso, producto de alta calidad.	<ul style="list-style-type: none"> * Capacidad de intercambio catiónico, no especifica * pH <ul style="list-style-type: none"> • 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	<ul style="list-style-type: none"> * 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)

Indicadores del proceso

Tabla 32. Datos generales de Temperatura (T°)

Evaluación	Posición	Pilas compostadas				
		T1	T2	T3	T4	T5
1	1	33,00	39,00	45,00	51,00	44,00
	2	36,00	36,00	44,00	55,00	40,00
	3	37,00	35,00	40,00	46,00	43,00
2	1	42,00	42,00	53,00	58,00	53,00
	2	38,00	38,00	47,00	56,00	49,00
	3	37,00	35,00	44,00	46,00	43,00
3	1	49,00	50,00	62,00	71,00	67,00
	2	43,00	45,00	57,00	63,00	64,00
	3	42,00	41,00	45,00	48,00	46,00
4	1	50,00	52,00	59,00	46,00	58,00
	2	48,00	48,00	57,00	47,00	60,00
	3	46,00	44,00	48,00	39,00	48,00
5	1	51,00	54,00	66,00	54,00	59,00
	2	44,00	50,00	57,00	58,00	53,00
	3	44,00	45,00	53,00	51,00	46,00
6	1	51,00	56,00	64,00	62,00	56,00
	2	45,00	48,00	60,00	54,00	60,00
	3	45,00	42,00	52,00	48,00	54,00
7	1	53,00	56,00	67,00	68,00	60,00
	2	48,00	50,00	57,00	61,00	60,00
	3	45,00	44,00	48,00	50,00	48,00
8	1	55,00	57,00	68,00	67,00	64,00
	2	52,00	53,00	63,00	56,00	60,00
	3	47,00	46,00	52,00	54,00	49,00
9	1	55,00	56,00	69,00	64,00	67,00
	2	56,00	54,00	59,00	58,00	65,00
	3	48,00	49,00	49,00	53,00	47,00
10	1	43,00	54,00	79,00	46,00	65,00
	2	45,00	50,00	67,00	40,00	69,00
	3	35,00	46,00	48,00	38,00	51,00
11	1	51,00	44,00	77,00	57,00	55,00
	2	45,00	41,00	68,00	45,00	52,00
	3	36,00	38,00	46,00	46,00	45,00
12	1	52,00	67,00	47,00	58,00	52,00
	2	52,00	67,00	49,00	51,00	50,00
	3	44,00	47,00	45,00	46,00	44,00
13	1	55,00	64,00	74,00	67,00	73,00
	2	55,00	61,00	67,00	52,00	61,00
	3	46,00	53,00	46,00	51,00	46,00

	1	55,00	64,00	66,00	71,00	72,00
14	2	57,00	52,00	66,00	60,00	63,00
	3	43,00	44,00	52,00	52,00	52,00
	1	60,00	61,00	61,00	73,00	67,00
15	2	63,00	63,00	54,00	69,00	65,00
	3	44,00	50,00	45,00	55,00	47,00
	1	65,00	71,00	52,00	60,00	66,00
16	2	65,00	61,00	46,00	62,00	65,00
	3	42,00	59,00	39,00	48,00	49,00
	1	67,00	69,00	48,00	54,00	69,00
17	2	64,00	68,00	47,00	59,00	70,00
	3	40,00	54,00	46,00	47,00	48,00
	1	72,00	66,00	57,00	57,00	68,00
18	2	71,00	59,00	49,00	57,00	61,00
	3	46,00	48,00	48,00	51,00	53,00
	1	62,00	59,00	67,00	59,00	67,00
19	2	55,00	58,00	65,00	58,00	64,00
	3	44,00	48,00	49,00	47,00	49,00
	1	64,00	64,00	68,00	62,00	68,00
20	2	53,00	56,00	64,00	60,00	59,00
	3	40,00	52,00	49,00	55,00	41,00
	1	65,00	71,00	63,00	65,00	42,00
21	2	68,00	42,00	57,00	59,00	33,00
	3	42,00	33,00	46,00	49,00	35,00
	1	69,00	68,00	63,00	61,00	55,00
22	2	68,00	67,00	59,00	63,00	44,00
	3	46,00	46,00	39,00	44,00	40,00
	1	67,00	71,00	46,00	49,00	58,00
23	2	68,00	39,00	48,00	45,00	60,00
	3	40,00	46,00	41,00	42,00	44,00
	1	75,00	50,00	66,00	66,00	61,00
24	2	58,00	45,00	53,00	63,00	57,00
	3	44,00	31,00	40,00	47,00	44,00
	1	61,00	65,00	69,00	71,00	58,00
25	2	69,00	62,00	60,00	68,00	52,00
	3	51,00	49,00	43,00	48,00	45,00
	1	62,00	71,00	72,00	76,00	56,00
26	2	65,00	66,00	68,00	68,00	58,00
	3	33,00	49,00	46,00	49,00	43,00
	1	65,00	68,00	82,00	75,00	54,00
27	2	69,00	55,00	69,00	64,00	52,00
	3	35,00	35,00	43,00	44,00	41,00
	1	43,00	65,00	70,00	66,00	58,00
28	2	36,00	58,00	60,00	54,00	57,00

	3	35,00	40,00	57,00	45,00	47,00
	1	66,00	64,00	65,00	50,00	56,00
29	2	54,00	53,00	58,00	52,00	47,00
	3	33,00	33,00	46,00	42,00	44,00
	1	71,00	59,00	62,00	38,00	44,00
30	2	62,00	51,00	56,00	39,00	38,00
	3	33,00	40,00	44,00	35,00	35,00
	1	72,00	46,00	64,00	63,00	54,00
31	2	67,00	45,00	58,00	59,00	44,00
	3	46,00	38,00	47,00	48,00	37,00
	1	70,00	54,00	39,00	65,00	62,00
32	2	67,00	43,00	36,00	52,00	57,00
	3	49,00	38,00	34,00	53,00	48,00
	1	65,00	76,00	64,00	66,00	62,00
33	2	61,00	66,00	55,00	53,00	56,00
	3	44,00	49,00	46,00	43,00	44,00
	1	60,00	74,00	67,00	68,00	57,00
34	2	52,00	60,00	55,00	56,00	52,00
	3	40,00	39,00	45,00	45,00	41,00
	1	67,00	36,00	77,00	71,00	55,00
35	2	51,00	35,00	66,00	61,00	50,00
	3	39,00	34,00	47,00	44,00	40,00
	1	64,00	65,00	51,00	62,00	47,00
36	2	46,00	42,00	48,00	61,00	46,00
	3	36,00	36,00	48,00	42,00	38,00
	1	54,00	69,00	61,00	56,00	40,00
37	2	51,00	45,00	52,00	54,00	39,00
	3	43,00	35,00	44,00	43,00	35,00
	1	53,00	55,00	51,00	53,00	
38	2	48,00	42,00	50,00	47,00	
	3	45,00	39,00	48,00	36,00	
	1	49,00	53,00	46,00	48,00	
39	2	43,00	48,00	43,00	47,00	
	3	33,00	38,00	38,00	38,00	
	1	40,00	44,00	44,00	43,00	
40	2	41,00	37,00	41,00	33,00	
	3	35,00	30,00	34,00	34,00	
	1	42,00	42,00	42,00	40,00	
41	2	38,00	35,00	36,00	33,00	
	3	33,00	30,00	34,00	32,00	

Tabla 33. Datos generales de pH evaluados en las diferentes pilas

Evaluación	Posición	Pilas compostadas				
		pH1	pH2	pH3	pH4	pH5
1	1	4,50	4,80	4,70	4,60	4,50
	2	4,60	4,70	4,40	4,50	4,30
	3	4,40	4,50	4,50	4,50	4,10
2	1	4,60	5,50	4,90	4,70	5,00
	2	4,60	5,70	4,90	4,80	4,30
	3	4,50	4,60	4,70	4,30	4,20
3	1	4,70	5,50	5,20	4,70	5,20
	2	4,90	5,20	5,20	4,70	4,50
	3	4,50	5,10	5,00	4,40	4,40
4	1	4,80	5,60	5,20	4,70	5,10
	2	4,80	5,20	5,20	4,50	5,10
	3	4,40	4,70	4,80	4,20	4,50
5	1	4,70	6,10	5,30	4,50	5,20
	2	4,80	5,70	5,30	4,50	5,10
	3	4,60	5,30	5,30	4,50	4,70
6	1	4,80	6,30	5,20	4,70	5,20
	2	4,90	5,40	4,90	4,60	5,20
	3	4,70	5,20	4,50	4,30	4,90
7	1	4,90	5,90	5,20	4,80	5,40
	2	4,70	5,60	5,20	4,50	5,20
	3	4,70	5,20	4,70	4,30	5,00
8	1	5,00	5,60	5,30	4,80	5,50
	2	4,90	5,00	5,00	4,70	5,30
	3	4,80	5,00	4,90	4,40	5,00
9	1	5,10	5,60	5,20	4,80	5,50
	2	4,90	5,40	5,10	4,60	5,50
	3	4,80	5,20	4,90	4,50	5,40
10	1	5,10	5,50	5,40	4,90	5,60
	2	5,00	5,60	5,20	4,70	5,50
	3	4,80	5,20	4,90	4,40	5,40
11	1	5,20	5,70	5,50	5,00	5,80
	2	4,90	5,40	5,30	4,70	5,50
	3	4,80	5,20	5,00	4,50	5,20
12	1	5,30	5,80	5,50	5,00	5,80
	2	5,10	5,50	5,40	4,80	5,60
	3	4,90	5,30	5,10	4,60	5,40
13	1	5,10	5,20	5,50	5,10	5,90
	2	4,90	4,50	5,60	4,80	5,50
	3	4,90	5,20	5,20	4,70	5,50
14	1	5,30	5,50	5,70	5,20	6,00
	2	5,10	5,20	5,40	4,80	5,50

	3	5,00	5,10	5,20	4,80	5,40
	1	5,30	5,60	5,60	5,30	6,00
15	2	5,30	5,20	5,50	4,90	5,60
	3	5,10	5,20	5,20	4,70	5,50
	1	5,50	5,90	5,70	5,50	6,10
16	2	5,20	5,60	5,50	5,00	5,70
	3	5,00	5,20	4,90	4,80	5,50
	1	5,40	5,70	5,60	5,70	6,10
17	2	5,30	5,30	5,50	5,20	5,90
	3	5,20	5,20	5,20	5,20	5,50
	1	5,20	5,80	5,80	5,60	6,30
18	2	5,40	5,70	5,50	5,40	5,90
	3	4,90	5,20	5,30	5,10	5,70
	1	5,40	5,80	5,70	5,70	6,30
19	2	5,20	5,50	5,70	5,50	6,00
	3	5,20	5,40	5,30	5,30	5,70
	1	5,50	5,90	5,90	5,80	6,40
20	2	5,30	5,70	5,40	5,70	6,20
	3	5,10	5,60	5,30	5,30	5,90
	1	5,50	6,00	5,80	6,20	6,10
21	2	5,30	6,30	5,70	5,80	6,00
	3	5,30	5,90	5,30	5,80	6,00
	1	5,50	6,50	5,80	6,50	6,30
22	2	5,60	6,10	5,80	6,00	5,90
	3	5,40	6,10	5,40	5,80	5,90
	1	5,70	6,50	5,90	6,50	6,40
23	2	5,50	6,30	5,70	6,00	6,10
	3	5,40	6,20	5,50	5,90	5,90
	1	5,80	6,60	6,00	6,80	6,60
24	2	5,80	6,50	5,70	6,90	6,20
	3	5,50	6,30	5,60	6,30	6,00
	1	6,10	6,80	6,10	7,00	6,50
25	2	5,70	6,60	6,30	6,50	6,30
	3	5,60	6,50	5,60	6,40	6,20
	1	6,20	6,80	6,20	6,80	6,60
26	2	6,00	6,50	6,20	7,00	6,30
	3	6,00	6,80	5,70	6,40	6,10
	1	6,20	6,90	6,00	7,20	6,80
27	2	6,20	6,70	6,30	7,20	6,50
	3	6,00	6,90	5,80	6,60	6,20
	1	6,40	6,90	6,10	7,00	6,80
28	2	6,10	6,80	6,30	7,50	6,60
	3	6,00	6,90	5,80	6,70	6,30
29	1	6,50	6,90	6,50	7,50	6,90

	2	6,50	6,80	6,20	7,50	6,70
	3	6,20	7,00	5,80	7,00	6,30
	1	6,60	7,00	6,40	7,50	7,00
30	2	6,40	6,90	6,20	7,00	6,70
	3	6,20	7,00	5,90	7,20	6,50
	1	6,70	7,20	6,80	7,70	7,20
31	2	6,80	7,00	6,50	7,50	7,00
	3	6,40	7,00	6,00	7,10	6,80
	1	6,50	7,40	6,80	7,60	7,40
32	2	7,00	7,00	6,70	7,70	7,20
	3	6,60	6,80	6,30	7,20	6,80
	1	6,80	7,90	7,00	7,80	7,90
33	2	7,00	7,50	6,80	7,50	7,50
	3	6,50	7,00	6,50	7,30	7,20
	1	7,00	6,90	7,20	8,00	8,00
34	2	6,70	7,90	7,00	7,70	7,80
	3	6,60	6,90	6,70	7,60	7,50
	1	7,00	7,50	7,00	8,00	8,40
35	2	6,90	6,90	6,90	7,50	8,10
	3	6,80	7,00	6,60	7,50	8,00
	1	7,20	7,90	7,40	7,90	8,50
36	2	7,00	7,40	7,50	8,10	8,20
	3	6,80	7,00	6,50	7,80	8,10
	1	7,30	8,20	7,50	8,20	8,60
37	2	7,10	7,50	7,20	7,90	8,70
	3	6,90	7,20	6,80	7,70	8,40
	1	7,50	8,30	7,70	8,20	
38	2	7,20	8,20	7,40	8,00	
	3	7,00	7,70	7,00	7,90	
	1	7,90	8,30	8,00	8,30	
39	2	7,60	8,30	7,50	7,90	
	3	7,40	8,10	7,50	7,90	
	1	8,40	8,50	8,30	8,50	
40	2	8,40	8,20	8,10	8,30	
	3	7,90	8,20	8,00	8,30	
	1	8,60	8,50	8,50	8,60	
41	2	8,50	8,20	7,90	8,50	
	3	8,70	8,30	7,90	8,50	

Resultados de caracterización del compost final



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Ecotoxicología

Carretera Central Km. 1.21 - Tingo María - Celular 944407531
 email: laboratorio@unase.edu.pe



ANÁLISIS ESPECIAL

SOLICITANTE:			AGUIRRE ILLATOPA JANRYA GREHISY										PROCEDENCIA:										SANTA ROSA DE SHAPAJILLA									
DATOS DE LA MUESTRA			RESULTADOS EN BASE HUMEDA										RESULTADOS EN BASE SECA																			
Código	Tipo	Referencia	PH 1:2	CE uS/cm	Humedad Hd (%)	Materia Orgánica (%)	Cenizas (%)	Materia Orgánica (%)	Cenizas (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm													
E0431-1	COMPOST	M1 R1	9.10	4930	17.03	42.20	40.77	50.86	49.14	1.94	1.590	2.475	0.107	0.220	2.349	18.882	5085.182	88.401	140.111													
E0431-2	COMPOST	M1 R2	9.12	3760	19.03	43.70	37.27	53.97	46.03	2.06	1.294	2.597	0.125	0.266	2.820	23.463	5661.821	81.612	157.613													
E0431-3	COMPOST	M1 R3	9.08	5820	16.37	36.29	47.34	43.39	56.61	2.21	1.109	2.495	0.111	0.228	2.320	24.147	5259.692	89.564	159.810													
E0431-4	COMPOST	M1 R4	9.10	5510	18.49	36.31	45.20	44.55	55.45	2.31	1.544	2.524	0.116	0.242	2.536	20.032	5767.260	80.127	163.514													
E0431-5	COMPOST	M1 R5	9.11	3750	21.75	40.05	38.20	51.18	48.82	2.01	1.299	2.668	0.126	0.260	2.806	23.049	5920.918	80.414	145.974													
E0431-6	COMPOST	M2 R1	9.29	3560	19.06	45.29	35.65	55.96	44.04	2.54	1.635	2.496	0.110	0.229	2.376	19.614	5001.560	71.323	117.238													
E0431-7	COMPOST	M2 R2	9.27	5030	16.23	39.24	44.53	46.84	53.16	3.24	1.789	2.843	0.089	0.186	2.142	18.688	5067.203	69.000	117.157													
E0431-8	COMPOST	M2 R3	9.18	4590	21.58	44.08	34.34	56.21	43.79	2.63	1.672	2.810	0.140	0.242	2.877	16.720	5369.775	70.096	111.897													
E0431-9	COMPOST	M2 R4	9.22	3860	20.56	40.58	38.86	51.08	48.92	2.65	1.619	2.742	0.072	0.147	2.042	14.433	5094.099	63.676	117.730													
E0431-10	COMPOST	M2 R5	9.16	6880	17.44	37.55	45.01	45.48	54.52	2.43	1.865	2.821	0.124	0.236	2.654	15.612	5684.755	61.370	110.896													
E0431-11	COMPOST	M3 R1	9.48	6170	17.46	50.59	31.95	61.29	38.71	2.36	1.413	3.139	0.145	0.245	3.260	25.355	6465.439	79.082	137.640													
E0431-12	COMPOST	M3 R2	9.47	2730	17.02	47.91	35.07	57.74	42.26	2.28	1.295	2.921	0.119	0.249	3.174	24.264	5517.543	80.555	148.979													
E0431-13	COMPOST	M3 R3	9.45	2150	15.42	47.90	36.68	56.64	43.36	2.27	1.318	3.010	0.122	0.259	3.129	21.204	5306.165	72.404	134.981													
E0431-14	COMPOST	M3 R4	9.46	4050	16.61	45.76	37.64	54.87	45.13	2.29	1.460	3.123	0.135	0.262	3.127	21.718	5195.176	77.156	129.737													
E0431-15	COMPOST	M3 R5	9.39	3470	17.80	38.99	43.20	47.44	52.56	2.68	1.593	2.946	0.108	0.228	3.002	22.493	5035.038	74.833	141.448													
E0431-16	COMPOST	M4 R1	9.32	3790	15.86	44.60	39.54	53.01	46.99	2.24	1.883	2.034	0.100	0.197	2.595	24.666	4616.159	83.061	151.019													
E0431-17	COMPOST	M4 R2	9.30	4330	14.44	41.86	43.70	48.93	51.07	2.27	1.448	2.210	0.095	0.194	2.053	23.318	4304.538	80.687	139.907													
E0431-18	COMPOST	M4 R3	9.26	4390	15.62	43.39	40.99	51.42	48.58	2.13	1.705	2.052	0.095	0.196	2.218	21.272	4353.111	93.444	135.228													
E0431-19	COMPOST	M4 R4	9.34	3670	12.94	32.74	54.32	37.60	62.40	2.11	1.302	2.245	0.097	0.191	2.124	21.608	4119.545	80.258	137.225													
E0431-20	COMPOST	M4 R5	9.36	4160	16.48	39.13	44.39	46.85	53.15	2.33	1.302	2.466	0.096	0.192	2.390	22.280	4837.397	93.406	142.680													
E0431-21	COMPOST	M5 R1	9.39	3930	36.21	47.11	16.68	73.86	26.14	3.38	1.891	2.802	0.116	0.207	2.117	23.111	6085.952	78.688	135.366													
E0431-22	COMPOST	M5 R2	9.37	4370	11.40	39.47	49.13	44.55	55.45	2.39	1.804	2.455	0.111	0.220	2.263	21.570	5181.276	69.298	115.190													
E0431-23	COMPOST	M5 R3	9.36	4580	12.86	41.65	45.49	47.80	52.20	2.51	1.598	2.566	0.113	0.236	2.435	23.787	5372.841	46.540	78.085													
E0431-24	COMPOST	M5 R4	9.34	3910	12.96	40.63	46.40	46.68	53.32	2.50	1.245	2.593	0.110	0.200	2.255	23.365	4550.504	79.289	138.660													
E0431-25	COMPOST	M5 R5	9.37	4570	11.89	38.73	49.37	43.96	56.04	2.66	1.350	2.482	0.112	0.203	2.164	20.423	4563.843	81.301	155.532													

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

RECIBO N° 001-0653450

Tingo María 13 de Julio 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

Dr. HILDO ALFREDO HUMAMAY YUPANQUI
 Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Contaminación

Panel fotográfico



Figura 18. Planta de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado



Figura 19. Preparación de microorganismos eficientes a utilizar dentro del proceso de compostaje



Figura 20. Pesaje del material de residuos sólidos orgánicos que ingresa a la planta



Figura 21. Pilas de los residuos orgánicos que van a empezar su proceso de compostaje



Figura 22. Aireación de las pilas del compost con ayuda de maquinaria



Figura 23. Extracción y rotulación de muestras según los tratamientos



Figura 24. Encostalado y almacenamiento del producto final