

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÓNOMA



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**Evaluación de la calidad física y toxicidad del vermicompost que se produce
en cuatro zonas del Valle del Santa**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGRÓNOMO**

AUTORES:

Bach. Huanca Risco, Eloisa Katherine

Bach. Lázaro Salinas, Angelita Medalith

ASESOR:

Ms. Aquino Minchán, Wilmer

Código ORCID: 0000-0002-2624-1174

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÓNOMA



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

En cumplimiento con las disposiciones vigentes en el reglamento general de grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, la tesis denominada **Evaluación de la calidad física y toxicidad del vermicompost que se produce en cuatro zonas del Valle del Santa**, ha sido ejecutado con rigor científico. Por lo q en mi condición de asesor doy conformidad para su revisión.



ASESOR:

Ms. Aquino Minchán, Wilmer
DNI: 40559195

Código ORCID: 0000-0002-2624-1174

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÓNOMA



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

El presente Jurado evaluador da la conformidad de la tesis desarrollado en cumplimiento del objetivo con las disposiciones vigentes en el reglamento general de grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, titulado **Evaluación de la calidad física y toxicidad del vermicompost que se produce en cuatro zonas del Valle del Santa**

Ms. Pérez Cotrina, José Ismael
Presidente
DNI: 27540418
Código ORCID: 0000-0002-3426-5360

Ms. Lázaro Rodríguez, Walver Keyser
Secretario
DNI: 40320788
Código ORCID: 0000-0002-2626-5010

Ms. Aquino Minchán, Wilmer
Integrante
DNI: 26602902
Código ORCID: 0000-0002-2624-1174

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los 27 días del mes de agosto del año dos mil veintiséis, siendo las 18:00 pm. en el Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrónoma del Campus II de la UNS, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 337-2026-UNS-CFI, integrado por los docentes: **Ms. José Pérez Cotrina (Presidente)**, **Ms. Walver Lázaro Rodríguez (Secretario)** y **Ms. Wilmer Aquino Minchán (Integrante)** y de expedito según Resolución Decanal N° 477-2026-UNS-FI, para la sustentación de la Tesis titulada: **"EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICA Y TOXICIDAD DEL VERICOMPOST QUE SE PRODUCE EN CUATRO ZONAS DEL VALLE DEL SANTA"**, perteneciente a las bachilleres: **HUANCA RISCO ELOISA KATHERINE** con código de matrícula N° 0201515054 y **LÁZARO SALINAS ANGELITA MEDALITH**, con código de matrícula N° 0201515010, de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrónoma, quienes fueron asesorados por el docente: **Ms. Wilmer Aquino Minchán (R.D. N° 538-2023-UNS-FI)**.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General de Grados y Títulos, vigente, declaran aprobar:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
LÁZARO SALINAS ANGELITA MEDALITH	16	REGULAR

Siendo la 19:00 pm del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, agosto 27 del 2026



Ms. José Pérez Cotrina
PRESIDENTE



Ms. Walver Lázaro Rodríguez
SECRETARIO



Ms. Wilmer Aquino Minchán
INTEGRANTE

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

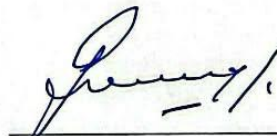
A los 27 días del mes de agosto del año dos mil veintiséis, siendo las 18:00 pm. en el Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrónoma del Campus II de la UNS, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 337-2026-UNS-CFI, integrado por los docentes: **Ms. José Pérez Cotrina (Presidente)**, **Ms. Walver Lázaro Rodríguez (Secretario)** y **Ms. Wilmer Aquino Minchán (Integrante)** y de expedito según Resolución Decanal N° 477-2026-UNS-FI, para la sustentación de la Tesis titulada: **"EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICA Y TOXICIDAD DEL VERICOMPOST QUE SE PRODUCE EN CUATRO ZONAS DEL VALLE DEL SANTA"**, perteneciente a las bachilleres: **HUANCA RISCO ELOISA KATHERINE** con código de matrícula N° 0201515054 y **LÁZARO SALINAS ANGELITA MEDALITH**, con código de matrícula N° 0201515010, de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrónoma, quienes fueron asesorados por el docente: **Ms. Wilmer Aquino Minchán (R.D. N° 538-2023-UNS-FI)**.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General de Grados y Títulos, vigente, declaran aprobar:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
HUANCA RISCO ELOISA KATHERINE	16	REGULAR

Siendo la 19:00 pm del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, agosto 27 del 2026



Ms. José Pérez Cotrina
PRESIDENTE



Ms. Walver Lázaro Rodríguez
SECRETARIO



Ms. Wilmer Aquino Minchán
INTEGRANTE



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Angelita Medalith Lázaro Salinas
Título del ejercicio: Evaluación de la calidad física y toxicidad del vermicompost qu...
Título de la entrega: Evaluación de la calidad física y toxicidad del vermicompost qu...
Nombre del archivo: INFORME_TESIS_11.docx
Tamaño del archivo: 4.79M
Total páginas: 148
Total de palabras: 29,385
Total de caracteres: 176,806
Fecha de entrega: 18-may-2026 06:28a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2964096746

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÓNOMA



Evaluación de la calidad física y toxicidad del vermicompost que se produce
en cuatro zonas del Valle del Santa

PROYECTO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGRÓNOMO

AUTORES: BACH. Huanca Risco, Eloisa Katherine
BACH. Lázaro Salinas, Angelita Medalith

ASESOR: Ms. Aquino Minchín, Wilmer
Nuevo Chimbote – Perú

2026

Evaluación de la calidad física y toxicidad del vermicompost que se produce en cuatro zonas del Valle del Santa

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

8%

★ hdl.handle.net

Fuente de Internet

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 15 words

Excluir bibliografía

Activo

DEDICATORIA

A Dios, por guiar y bendecir mis pasos durante mis estudios universitarios, porque hizo posible la culminación de esta investigación.

A mis abuelos maternos: Jorge Risco y Lorenza Ojeda, por todo su amor, por su apoyo incondicional y por haber sido mi pilar en la infancia, quienes fueron los que me inspiraron al estudio de esta carrera profesional.

A mi querida madre, por todo su amor, por estar a mi lado guiándome de una manera inmensurable. A mis hermanos, Nelson y Adrian que son mis compañeros de vida y mis mejores cómplices.

A mi amada hija Kalesy, el motor de mis sueños y la fuerza que me impulsa a superar cualquier límite. Gracias a ti, cada meta alcanzada cobra un verdadero significado

Huanca Risco Eloisa Katherine

Dedico este trabajo a Dios, por guiarme y darme fortaleza para superar cada desafío.

A mi madre Lucrecia, por su amor, apoyo constante y ejemplo de vida, fundamentales para alcanzar esta meta.

A mis hermanos, por su respaldo, comprensión y apoyo, que hicieron más llevadero cada paso de mi vida.

A mi padre Juan, quien desde el cielo guía mis pasos. Su amor, enseñanzas y recuerdos permanecerán siempre en mi corazón.

A mi hijo Leonel, mi único refugio y mayor inspiración. Gracias por ser mi fuerza y motivación para seguir adelante. Cada esfuerzo tiene como propósito brindarle un futuro lleno de oportunidades. Este logro también es tuyo.

Lázaro Salinas Angelita Medalith

AGRADECIMIENTO

A DIOS, por darme la vida y por permitirme que, dentro de este camino, haya estudiado y culminado la carrera profesional de Ingeniería Agrónoma.

A mi papito Jorge Risco López, por todo su amor incondicional de abuelo materno, quien me dio siempre todo su apoyo en cada momento de mi vida y aunque ya no esté en este mundo conmigo, gracias por ser mi ejemplo de esfuerzo, bondad y dedicación.

A mi hermosa madre María del Pilar Risco Ojeda, por su amor infinito, por sus oraciones, por ser mi guía, por su apoyo incondicional y así poder realizarme profesionalmente.

A mi compañera de tesis y amiga Medalith, por todo su esfuerzo, persistencia y responsabilidad brindada, para que nuestra tesis haya tenido éxito, pese a todas las dificultades que se nos presentó en el camino.

A nuestro asesor de tesis, Ms. Aquino Minchán Wilmer, por orientarnos constantemente para la culminación de nuestra investigación.

Huanca Risco Eloisa Katherine

AGRADECIMIENTO

A Dios, por la vida y por cada oportunidad que me ha dado, por darme fuerza, paciencia y determinación para superar los desafíos y alcanzar esta meta en mi formación profesional.

A mi madre Lucrecia, por su amor incondicional, su apoyo constante y sus sacrificios silenciosos, que han sido el motor que me impulsó a seguir adelante. Gracias por creer en mí incluso en los momentos en que yo dudaba.

A mis hermanos, en especial a mis hermanas Nelcy y Rosmery, por su apoyo incondicional. Gracias por brindarme su ayuda, especialmente al cuidar de mi bebé, lo que me permitió avanzar con firmeza en mi crecimiento profesional. Su respaldo fue mucho más que una ayuda; fue un acto de amor que me dio la tranquilidad y la determinación para seguir avanzando y consolidar mi vida profesional. Este logro también es suyo.

A mi compañera de tesis y amiga Eloisa, gracias por su apoyo, compromiso y colaboración durante todo el proceso. Su esfuerzo y dedicación hicieron posible que alcancemos juntas este logro.

Dedicó un sincero agradecimiento a nuestro asesor, el Ms. Aquino Minchán Wilmer, por su compromiso, apoyo y valiosa guía en la realización de nuestra investigación.

Lázaro Salinas Angelita Medalith

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	21
1.1.	DESCRIPCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
1.2.	OBJETIVOS.....	23
1.2.1.	Objetivo General.....	23
1.2.2.	Objetivos específicos.....	23
1.3.	FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	24
1.4.	JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
1.5.	LIMITACIONES DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	26
II.	MARCO TEÓRICO.....	27
2.1.	ANTECEDENTES.....	27
2.1.1.	Antecedentes internacionales.....	27
2.1.2.	Antecedentes nacionales.....	30
2.1.3.	Antecedente local.....	31
2.2.	MARCO CONCEPTUAL.....	32
2.2.1.	Materia orgánica.....	32
2.2.2.	Sustancias húmicas.....	32
2.2.2.1.	Ácidos húmicos y fúlvicos.....	33
2.2.3.	Dinámica de la materia orgánica en el suelo.....	34
2.2.4.	Humus.....	35
2.2.4.1.	Constitución del humus.....	35
2.2.5.	Vermicompostaje o Lombricultura.....	36
2.2.6.	Humus de lombriz o vermicompost.....	37

2.2.7. Propiedades físicas, químicas y biológicas del vermicompost.....	38
2.2.7.1. Propiedades físicas.....	38
a) Humedad.....	38
b) Densidad aparente.....	39
c) Pureza.....	40
2.2.7.2. Propiedades químicas del humus.....	41
a) Materia orgánica	41
b) pH.....	42
c) Capacidad de intercambio catiónico.....	43
d) Conductividad eléctrica (CE).....	44
e) Nitrógeno	45
f) Carbono orgánico.....	45
g) Relación C/N.....	47
h) Metales pesados	48
2.2.7.3. Propiedades biológicas del humus.....	49
2.2.8. Madurez y Estabilidad vinculados a la calidad de las enmiendas orgánicas.....	50
2.2.9. Indicadores de potencial toxicidad del vermicompost.....	51
2.2.10. Estándares de calidad del vermicompost.....	52
2.2.11. Normativas y criterios de calidad	53
2.2.11.1. Norma Técnica Peruana de Fertilizantes NTP 201.207:2020.....	53
2.2.11.2. Norma Chilena NCh2880:2015.....	54
2.2.11.3. Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008.....	56
2.2.11.4. Normativa Española Real Decreto 506/2013.....	58
2.2.12. Muestreo y representatividad	59

III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	61
3.1. Materiales y Equipos.....	61
3.1.1. Insumos.....	61
3.1.2. Materiales.....	61
3.1.3. Equipos.....	61
3.1.4. Servicios.....	61
3.2. Tipo y diseño de investigación.....	62
3.2.1. Tipo de investigación	62
3.2.2. Diseño de investigación	62
3.3. Plan de recolección de la información.....	62
3.3.1. Lugar de investigación.....	63
3.3.2. Población.....	63
3.3.3. Muestra.....	63
3.4. Instrumentos de recolección de la información.....	64
3.4.1. Identificación de los lugares de producción.....	64
3.4.2. Determinación del proceso de elaboración del vermicompost.....	65
3.4.3. Toma y envío de la muestra del vermicompost	65
3.4.3.1. Recolección de muestras del vermicompost.....	65
3.4.3.2. Preparación y conservación de muestras de vermicompost.....	66
3.4.3.3. Transporte y análisis de laboratorio.....	67
3.5. Métodos de laboratorio.....	67
3.6. Plan de procesamiento de datos.....	67
3.6.1. Análisis de variables en estudio.....	68
A. Análisis físico del vermicompost.....	68

B. Análisis de potencial toxicidad del vermicompost.....	68
3.6.2. Técnicas e instrumentos para el procesamiento de datos.....	69
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	70
4.1. Análisis físicos del vermicompost.....	70
4.1.1. Parámetros físicos del vermicompost.....	72
4.1.1.1. Impurezas.....	72
4.1.1.2. Densidad aparente.....	74
4.1.1.3. Humedad.....	75
4.2. Análisis de indicadores de potencial toxicidad del vermicompost.....	77
4.2.1. Indicadores de potencial toxicidad.....	79
4.2.1.1. Sales solubles (conductividad eléctrica).....	79
4.2.1.2. Relación Carbono/Nitrógeno	81
4.2.1.3. Metales pesados	84
A. Plomo.....	85
B. Cromo.....	87
C. Cadmio.....	88
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92
5.1. Conclusiones.....	92
5.2. Recomendaciones.....	94
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96
VII. ANEXOS.....	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de calidad según Norma Técnica Peruana de Fertilizantes NTP 201.207:2020	53
Tabla 2. Parámetros de calidad según Norma Chilena NCh2880:2015.....	55
Tabla 3. Criterios de calidad de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008.....	57
Tabla 4. Parámetros de calidad según Normativa Española Real Decreto 506/2013.....	58
Tabla 5. Etiquetado para la identificación de las muestras adquiridas.....	66
Tabla 6. Resultados de los parámetros de calidad física del vermicompost comparados con los estándares nacionales e internacionales y la muestra comercial de referencia AIV HUMUS	71
Tabla 7. Resultados de los indicadores de potencial toxicidad del vermicompost comparados con los estándares nacionales e internacionales de calidad y la muestra comercial de referencia AIV HUMUS.	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de las principales unidades productivas de vermicompost seleccionadas en el Valle del Santa.	64
Figura 2. Porcentaje de impurezas del vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas y en la muestra comercial de referencia AIV HUMUS.....	72
Figura 3. Densidad aparente del vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas y de la muestra comercial de referencia AIV HUMUS.	74
Figura 4. Contenido de humedad del vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas y de la muestra comercial de referencia AIV HUMUS.	76
Figura 5. Conductividad eléctrica del vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas y de la muestra comercial de referencia AIV HUMUS.	79
Figura 6. Relación carbono/nitrógeno (C/N) del vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas y de la muestra comercial de referencia AIV HUMUS.	82

Figura 7. Concentración de plomo (Pb) en el vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas y en la muestra comercial de referencia AIV HUMUS.	85
Figura 8. Concentración de cromo (Cr) en el vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas y en la muestra comercial de referencia AIV HUMUS.	87
Figura 9. Concentración de cadmio (Cd) en el vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas y en la muestra comercial de referencia AIV HUMUS.....	89

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Cuestionario realizado al productor de vermicompost de la zona de La Carbonera (El Agricultor).....	111
Anexo 2. Cuestionario realizado al productor de Humus de la zona de Tangay Medio (Humus Correa).....	113
Anexo 3. Cuestionario realizado al productor de Humus de la zona de Santa (Humus Guarniz).....	115
Anexo 4. Cuestionario realizado a, productor de Humus en la zona de Vinzos (Cipriano Acuña).....	117
Anexo 5. Resultados de los análisis físicos y químicos realizados a las muestras en estudio por el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina.....	119
Anexo 6. Resultados de los análisis de potencial toxicidad del vermicompost efectuados en las muestras de estudios realizados por el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina.....	120
Anexo 7. Resultados de los análisis físicos y químicos del abono orgánico con ficha técnica (AIV HUMUS), realizados por el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina.....	121
Anexo 8. Ficha técnica del vermicompost: AIV HUMUS (muestra comercial de referencia)	122

RESUMEN

El presente estudio evaluó la calidad física y los indicadores de potencial toxicidad del vermicompost producido en cuatro unidades productivas seleccionadas en Vinzos, Santa, Tangay Medio y La Carbonera, Valle del Santa, utilizando como referencia una muestra comercial de vermicompost (AIV HUMUS). La investigación fue de tipo descriptiva y no experimental. Se obtuvo una muestra compuesta por cada unidad productiva, conformada a partir de cinco submuestras recolectadas mediante un recorrido en zigzag. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina y los resultados fueron contrastados con la norma nacional y normas internacionales para abonos orgánicos. Se evaluaron impurezas, densidad aparente, humedad, conductividad eléctrica, relación C/N y metales pesados (Pb, Cr y Cd).

Los resultados mostraron elevados porcentajes de impurezas (43,20–53,91 %) y humedad (61,47–67,82 %), superiores a los límites establecidos. La Densidad aparente (0,15–0,26 g/cm³) y la relación C/N (11,04–15,94) se encontraron dentro de rangos adecuados. La CE fue elevada en la mayoría de las muestras y el cadmio superó el límite de la NTP 201.207:2020 y de la Clase A de la NCh 2880:2015, aunque se mantuvo por debajo del límite de la Clase B. El plomo y cromo se encontraron dentro de los rangos establecidos. La muestra comercial AIV HUMUS también presentó elevados niveles de impurezas y CE. Se concluyó que la calidad del vermicompost estuvo limitada principalmente por las impurezas, la elevada humedad, la salinidad y los niveles de cadmio superiores a los límites establecidos para la NTP 201.207:2020 y la Clase A de la NCh 2880:2015, por lo que se requieren mejoras en el proceso de producción.

Palabras clave: vermicompost, calidad física, indicadores de potencial toxicidad, estándares de calidad.

ABSTRACT

This study evaluated the physical quality and potential toxicity indicators of vermicompost produced in four selected production units in Vinzos, Santa, Tangay Medio, and La Carbonera, Santa Valley, using a commercial vermicompost sample (AIV HUMUS) as a reference. The research was descriptive and non-experimental. A composite sample was obtained from each production unit, consisting of five subsamples collected using a zigzag pattern. The samples were analyzed at the Soil, Plant, Water, and Fertilizer Analysis Laboratory of the National Agrarian University La Molina, and the results were compared with national and international standards for organic fertilizers. Impurities, bulk density, moisture, electrical conductivity, C/N ratio, and heavy metals (Pb, Cr, and Cd) were evaluated.

The results showed high percentages of impurities (43.20–53.91%) and moisture (61.47–67.82%), exceeding the established limits. The apparent density (0.15–0.26 g/cm³) and the C/N ratio (11.04–15.94) were within acceptable ranges. Electrical conductivity (EC) was high in most samples, and cadmium exceeded the limits of NTP 201.207:2020 and Class A of NCh 2880:2015, although it remained below the Class B limit. Lead and chromium levels were within established ranges. The commercial sample AIV HUMUS also presented high levels of impurities and EC. It was concluded that the quality of the vermicompost was primarily limited by impurities, high moisture content, salinity, and cadmium levels exceeding the limits established by NTP 201.207:2020 and Class A of NCh 2880:2015, thus requiring improvements in the production process.

Keywords: vermicompost, physical quality, indicators of potential toxicity, quality standards.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La materia orgánica es un componente fundamental del suelo, debido a su influencia sobre sus propiedades físicas, químicas y biológicas, contribuyendo a la disponibilidad de nutrientes, la retención de agua y la actividad microbiana (FAO, 2024). Por ello, el uso de enmiendas orgánicas constituye una alternativa para mejorar las condiciones del suelo y favorecer la productividad agrícola.

Entre estas enmiendas se encuentra el vermicompost, obtenido mediante la transformación de residuos orgánicos por la acción de lombrices y microorganismos. Su calidad depende de las características de los materiales utilizados y del proceso de elaboración, por lo que su evaluación requiere considerar parámetros físicos como humedad, impurezas y densidad aparente, además de indicadores de potencial toxicidad relacionados con salinidad, relación C/N y presencia de elementos pesados (Mazzarino et al., 2012; Compagnoni y Putzolu, 2018). En el Perú, la NTP 201.207:2020 establece especificaciones y requisitos para productos orgánicos destinados al uso agrícola, constituyendo un referente técnico para su evaluación (INACAL, 2020).

La variabilidad de estas características ha sido reportada en estudios previos. En el ámbito del Valle del Santa, Gonzales y Sánchez (2019) encontraron hasta 65.86 % de impurezas en muestras de humus evaluadas, valor que evidencia la necesidad de verificar la composición física de este tipo de enmiendas. En otro contexto, Torres et al. (2016) reportaron en muestras de vermicompost sólido valores de 3,40 dS/m de conductividad eléctrica y 125 mg/L de sodio; estos

valores, asociados a la concentración de sales, pueden constituir indicadores de potencial toxicidad y representar una limitación para su uso agrícola cuando alcanzan niveles elevados.

En el Valle del Santa, región Áncash, la actividad agrícola tiene una importante extensión. Según el Proyecto Especial CHINECAS (2022), las bocatomas La Huaca y La Víbora benefician aproximadamente 50 900 ha de superficie agrícola, comprendiendo, entre otros sectores, Vinzos, Santa, Tangay y La Carbonera. En este ámbito se emplean diversas enmiendas orgánicas, entre ellas el vermicompost.

Sin embargo, la información sobre la calidad física y los indicadores de potencial toxicidad del vermicompost producido en unidades productivas ubicadas en Vinzos, Santa, Tangay Medio y La Carbonera es limitada. Por ello, resultó necesario evaluar estos parámetros en unidades productivas seleccionadas de dichas zonas, con la finalidad de generar información técnica sobre las características del vermicompost evaluado y establecer comparaciones con los estándares de las normativas de referencia.

En este contexto, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es la calidad física y cuáles son los indicadores de potencial toxicidad del vermicompost producido en cuatro unidades productivas seleccionadas, ubicadas en Vinzos, Santa, Tangay Medio y La Carbonera, Valle del Santa?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la calidad física y los indicadores de potencial toxicidad del vermicompost producido en cuatro unidades productivas seleccionadas, ubicadas en Vinzos, Santa, Tangay Medio y La Carbonera, Valle del Santa.

1.2.2. Objetivos específicos

Calidad física

- Determinar el porcentaje de impurezas del vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas, como indicador de su calidad física.
- Determinar la densidad aparente del vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas, como indicador de su calidad física.
- Determinar el porcentaje de humedad del vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas, como indicador de su calidad física.

Indicadores de potencial toxicidad

- Determinar la relación carbono/nitrógeno (C/N) del vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas, como indicador relacionado con su estabilidad y madurez.
- Determinar la conductividad eléctrica del vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas como indicador de salinidad y potencial riesgo para su uso agrícola.

- Determinar las concentraciones de plomo (Pb), cromo (Cr) y cadmio (Cd) del vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas y compararlas con los límites establecidos en las normativas de referencia.

1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

El vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas, ubicadas en Vinzos, Santa, Tangay Medio y La Carbonera, presenta parámetros de calidad física e indicadores de potencial toxicidad cuyos valores se encuentran dentro de los límites establecidos en la NTP 201.207:2020 y las normas internacionales de referencia.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación surge ante la insuficiente información técnica disponible sobre la calidad del vermicompost producido en el Valle del Santa, Áncash, lo que genera incertidumbre respecto a sus características físicas y la posible toxicidad del vermicompost, a pesar de su uso extendido en la agricultura local. Esto ocurre incluso cuando en el Perú existe una norma específica para la regulación de fertilizantes orgánicos, como la Norma Técnica Peruana de Fertilizantes NTP 201.207:2020 – Fertilizantes orgánicos (INACAL, 2020), la cual no se evidencia que sea aplicada de manera sistemática en las zonas productoras.

En la zona de estudio, el vermicompost es elaborado por diversos productores bajo diferentes condiciones, sin contar con evaluaciones sistemáticas que permitan garantizar su calidad. Estudios previos han evidenciado la presencia de impurezas, sales solubles y metales pesados que podrían superar los límites recomendados por normativas internacionales, lo que puede afectar su eficiencia agronómica y representar riesgos para la salud del suelo y los cultivos (González y Sánchez, 2019; Torres et al., 2016). Asimismo, existe una limitada disponibilidad de estudios técnicos comparativos que evalúen su calidad según el lugar de origen, lo que limita la toma de decisiones de los agricultores (FAO, 2017).

En este contexto, la investigación propone evaluar la calidad física y los indicadores de potencial toxicidad del vermicompost, tomando como referencia la NTP 201.207:2020, estándares internacionales y un humus comercial (AIV HUMUS). Los resultados permitirán generar información técnica sobre la calidad del vermicompost evaluado, identificar los principales parámetros que requieren atención y proporcionar una base para orientar mejoras en su producción y manejo, así como para futuras investigaciones en el Valle del Santa.

1.5. LIMITACIONES DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Durante el desarrollo de la presente tesis se presentaron algunas limitaciones que condicionan el alcance del estudio:

- Limitada información previa sobre la calidad del vermicompost en el Valle del Santa, particularmente respecto a sus características físicas y a los indicadores de potencial toxicidad, lo que restringe la comparación de los resultados con estudios desarrollados en contextos locales.
- Ausencia de un registro formal y actualizado de productores de vermicompost en el área de estudio, lo que dificulta la identificación completa de las unidades de análisis y el establecimiento de un marco de referencia poblacional.
- Variabilidad en los procesos de producción del vermicompost entre los productores evaluados, relacionada con los insumos empleados, las condiciones de manejo y el tiempo de descomposición, lo que pudo influir en la variabilidad y homogeneidad de las muestras analizadas.
- Restricciones económicas para la realización de análisis de laboratorio especializados, que limitaron el número de parámetros evaluados y la cantidad de repeticiones consideradas en el estudio.
- Ausencia de información sistematizada sobre el volumen de vermicompost producido por los productores del Valle del Santa, lo que impidió establecer una estimación del volumen total de producción de la zona y realizar comparaciones en función de la escala productiva.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Antecedentes internacionales

Gilces et al. (2024) evaluaron el efecto de diferentes residuos orgánicos sobre la reproducción de *Eisenia foetida* y las características fisicoquímicas y fitotoxicidad del lombricompost obtenido. Se establecieron ocho tratamientos con diferentes combinaciones de gallinaza, tamo de maíz, bovinaza y cáscara de maní. Los resultados mostraron valores de humedad entre 35,56 % y 42,33 %, densidad aparente entre 0,48 y 0,77 g/cm³, conductividad eléctrica entre 0,22 y 0,64 dS/m y pH entre 6,96 y 7,25. El tratamiento T7 presentó el mayor contenido de nitrógeno (2,63 %) y materia orgánica (52,06 %). Asimismo, mediante pruebas de germinación en *Lactuca sativa*, se determinó que ninguno de los tratamientos presentó fitotoxicidad, y algunos mostraron efectos fitoestimulantes.

Dueñas y Intriago (2022) llevaron a cabo un estudio de contenido de metales pesados (Cu, Pb, Ni, Cd) en abonos orgánicos y las materias primas para su elaboración, obteniendo en su muestra de humus 0,4949 ppm de Cobre, 0,2875 ppm de Plomo, 0,3466 ppm de Níquel, 0,3349 ppm de Cadmio; concluyendo que tanto las materias primas y los abonos de interés (humus), en la actualidad cumplen con los criterios mínimos establecidos de metales pesados para (Cu, Pb, Ni, Cd) según la norma UE 2019/1009 (España) y la Norma Global EPA; concluyendo que no constituyen riesgo de contaminación para plantas y animales.

Castañeda et al. (2018) evaluaron la calidad del vermicompost comercializado en distintas regiones del altiplano mexicano. Analizaron 15 muestras provenientes de diversos productores locales y midieron parámetros físicos como humedad, impurezas y densidad aparente, así como

químicos, entre ellos pH, CE y metales pesados. Se encontró que el 60 % de las muestras no cumplían con los estándares mínimos de calidad establecidos por la Norma Mexicana en cuanto a humedad ($< 30 \%$) y contenido de impurezas ($> 2 \%$). Además, algunas muestras presentaron niveles elevados de sodio y cadmio, lo que representa un riesgo potencial para los cultivos y la salud del suelo.

Torres et al. (2016) estudiaron los riesgos de salinización y sodificación por el uso de abonos orgánicos en la depresión de Quíbor, Venezuela. Evaluaron fertilizantes líquidos y sólidos como turba canadiense, estiércol compostado y lombricomposta. Los abonos líquidos presentaron mayores riesgos, con valores más altos de conductividad eléctrica (10,57 dS/m), sodio (380,89 mg L⁻¹) y relación de adsorción de sodio (5,45) en comparación con los sólidos. El humus de lombriz mostró que el pH fue de 7,39 y conductividad eléctrica alcanzó 3,40 dS/m, indicando altas concentraciones de sales. Su uso continuo podría causar salinización y afectar el desarrollo vegetal.

Camilette (2016) evaluó las características fisicoquímicas y biológicas del compost y vermicompost obtenidos a partir de residuos de origen orgánico. Se encontró que el valor de pH era casi neutro en el vermicompost se debe a la formación de hidróxidos básicos en las primeras fases del proceso, mientras que su posterior disminución se asocia a la mineralización de nitrógeno y fósforo. Además, la conductividad eléctrica aumentó notablemente en presencia de sustratos con alta concentración de sodio, como el estiércol de cabra, y en menor medida en otros tratamientos, debido a la descomposición de la materia orgánica se liberan sales minerales.

Bernal et al. (2009) llevaron a cabo un estudio sobre la maduración y estabilidad de compost y vermicompost en función del tiempo de proceso. Evaluaron la evolución del pH, la conductividad eléctrica, la relación C/N y la actividad microbiológica durante distintas etapas de compostaje. Detectaron que el vermicompost puede alcanzar altos niveles de sales solubles

(conductividad eléctrica > 3 dS/m) si no se permite un adecuado período de estabilización. Estos valores representan un riesgo de salinización para suelos sensibles. Asimismo, destacaron la importancia de monitorear la relación C/N como indicador de madurez y calidad agronómica del producto.

Eulloque (2013) realizó una caracterización física, química, biológica y una evaluación agronómica del vermicompost producido por *Eisenia foetida* a partir del contenido ruminal de bovino. El estudio reveló que la humedad del vermicompost al final del proceso fue del 41.76 %, un valor ligeramente superior al recomendado por la Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007, que dictamina que la humedad tiene que mantenerse entre el 20 % y el 40 %. Además, se obtuvo una densidad aparente de 0.51 g/cm³, lo cual se considera adecuado, dado que la misma norma indica que tiene que encontrarse dentro del rango de 0.40 a 0.90 g/cm³.

Rosal et al. (2007) al realizar un estudio sobre la incidencia de metales pesados en compost de residuos sólidos urbanos en España, se hallaron cantidades inusualmente altas de cadmio, cobre y zinc, lo que impedía clasificar estos productos como ecológicos. Según la normativa española RD 824/2005-A, el cadmio debe tener un máximo de 0.7 ppm, pero el estudio arrojó 4 ppm. El cromo, níquel y plomo excedieron sus límites (70 ppm, 25 ppm y 45 ppm, respectivamente), con resultados de 104, 98 y 120 ppm. Esto hace que el abono sea tóxico para uso agrícola. Sin embargo, los niveles de zinc (90 ppm) y cobre (47 ppm) están por debajo de los parámetros permitidos (200 ppm y 70 ppm).

2.1.2. Antecedentes nacionales

Verde (2024) evaluó la calidad del vermicompost elaborado con residuos sólidos orgánicos municipales y estiércol de caballo en Santiago de Surco, Lima, mediante parámetros físicos y químicos contrastados con normas técnicas. Las muestras VC1 y VC2 presentaron 63,13 % y 68,44 % de humedad, pH de 7,52 y 8,06, y materia orgánica de 13,27 % y 11,28 %, respectivamente. El contenido de N fue de 0,86 % y 0,81 %, mientras que el Cu alcanzó 49,91 y 50,33 ppm. Los resultados evidenciaron diferencias en algunos parámetros respecto a los criterios establecidos en las normas evaluadas, resaltando la importancia de caracterizar la calidad del vermicompost antes de su uso agrícola.

Sánchez (2023) evaluó la calidad del humus obtenido mediante vermicompostaje con *Eisenia foetida* en Huaraz, Áncash, mediante cuatro tratamientos y análisis de parámetros fisicoquímicos. El tratamiento T1 presentó 35 % de humedad, 0,70 g/cm³ de densidad aparente, 3,42 dS/m de conductividad eléctrica, 45 % de materia orgánica y 1,05 % de nitrógeno total. Al compararse con la NMX-FF-109-SCFI-2008, cumplió con los criterios establecidos para estos parámetros; sin embargo, presentó diferencias en pH, relación C/N, fósforo y potasio. Estos resultados evidencian que el vermicompost puede presentar un adecuado comportamiento en determinados parámetros de calidad, pero también variaciones respecto a los criterios normativos, lo que sustenta la importancia de evaluar integralmente sus características antes de su uso agrícola.

Vargas (2017) realizó un estudio en la Calidad del compost producido a partir de residuos sólidos orgánicos municipales en Concepción. Hallando los siguientes valores en sus muestras, de cadmio 2.22 ppm, el valor de cobre registrado durante cinco meses fue 152.20 ppm, del mercurio 0.290 ppm, del níquel 16.60 ppm, de plomo 285.85 ppm, del zinc 1139.5 ppm. Los resultados mostraron que, aunque el arsénico superó los valores permisibles según las normas Chilena

NCh2880:2015 y Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008, los demás metales se ajustaron a los rangos permitidos. En conclusión, el estudio indica que, aunque existe una elevada concentración de arsénico, la enmienda orgánica no representa riesgo significativo de contaminación para animales y plantas.

2.1.3. Antecedente local

Gonzales y Sánchez (2019) evaluaron la calidad del vermicompost y hallaron que, aunque el contenido de materia seca supera el 25%, cumpliendo con la normativa española, otros parámetros clave no se ajustaban a los estándares. El porcentaje de impurezas fue elevado (65.86 %), superando ampliamente los límites permitidos en México (10 % de material no descompuesto y 1.5 % de impurezas inorgánicas). La humedad oscilaba entre 42.92 % y 59.85 %, sobrepasando el rango recomendado por la Norma Chilena (40 % 50 %). La conductividad eléctrica también fue excesiva (16.4 dS/m), rebasando el límite mexicano de 4 dS/m. Además, se detectaron niveles elevados de metales pesados: cadmio (2.68 ppm) y plomo (55.08 ppm), ambos superan los límites máximos permitidos por la Norma Chilena NCh2880:2015. Estos resultados indican deficiencias en el proceso de secado del vermicompost, lo que generó un producto con alta salinidad y concentración de metales tóxicos.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Materia orgánica

La materia orgánica del suelo está constituida por materiales de origen vegetal, animal y microbiano que ingresan al suelo y experimentan procesos continuos de descomposición y transformación. Su dinámica depende de factores biológicos, edáficos y ambientales, por lo que constituye un componente fundamental de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Labrador et al., 2009; Alvarado, 2008). Durante su transformación se distinguen fracciones de diferente grado de estabilidad, entre ellas componentes fácilmente degradables y fracciones humificadas de mayor estabilidad (Kopecky et al., 2021; Dou et al., 2020).

La materia orgánica contribuye a la estabilidad estructural del suelo, mejora la retención de humedad, favorece la actividad microbiana y participa en la retención y disponibilidad de nutrientes. Asimismo, su transformación mediante procesos como la humificación y la mineralización influye directamente en la dinámica de nutrientes y en la calidad del suelo (Bonilla et al., 2020; Llorente, 2012).

2.2.2. Sustancias húmicas.

Las sustancias húmicas (SH) son compuestos orgánicos complejos con características polielectrolíticas, formados por una estructura supramolecular muy diversa. Esta estructura incluye diferentes tipos de grupos funcionales, como carbonilos, carboxilos, hidroxilos, sulfhidrilos, así como grupos de aminas y amidas. Gracias a estos grupos funcionales y otras características estructurales, las SH pueden comportarse de manera similar a las hormonas vegetales, influyendo en varios procesos fisiológicos de las plantas (Nardi et al., 2021).

Las sustancias húmicas (SH) tienen actividad biológica que varía según su origen, tamaño molecular, composición química y distribución de dominios hidrofóbicos e hidrofílicos. Actúan de forma similar a las hormonas en las plantas: las de bajo peso molecular actúan dentro de la célula, mientras que las más grandes interactúan con receptores externos. Afectan procesos clave como el transporte de nutrientes, la actividad de la H^+ -ATPasa, las rutas hormonales y la asimilación de nitrógeno. Su estudio busca optimizar su uso en tecnologías agrícolas sostenibles (Canellas et al., 2020).

Las sustancias húmicas del suelo se clasifican en huminas, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos, diferenciándose principalmente por su peso molecular, solubilidad y función bioquímica. Las huminas son macromoléculas insolubles en agua, altamente estables y fundamentales para la estructura del suelo y capacidad de retener de agua. Los ácidos húmicos, solubles en condiciones alcalinas, tienen capacidad de quelación e intercambio iónico, facilitando la disponibilidad de nutrientes. Los ácidos fúlvicos, más pequeños y solubles a cualquier pH, pueden ingresar en tejidos vegetales y transportar oligoelementos directamente a nivel celular, favoreciendo procesos metabólicos esenciales (Cooper y Ghanem, 2017).

2.2.2.1. Ácidos húmicos y fúlvicos

Actúan como quelantes orgánicos de metales en forma catiónica, lo que los hace útiles en la nutrición mineral de las plantas. Esto se debe a su capacidad para formar complejos gracias a los grupos funcionales carboxilo (COOH) e hidroxilo (OH) que contienen (Canellas y Olivares, 2014).

Aunque los ácidos fúlvicos y húmicos no son fertilizantes propiamente dichos, actúan como excelentes transportadores y potenciadores de fertilizantes. Está demostrado que los fertilizantes

aplicados vía foliar que los contienen pueden ser entre dos y seis veces más efectivos que aquellos aplicados directamente al suelo. (Reyes et al.,2020).

Los ácidos húmicos desempeñan una función fundamental en la rehabilitación de tierras contaminadas, ya que contribuyen a la degradación o neutralización de toxinas residuales provenientes del uso de pesticidas. Además, son capaces de reducir los niveles de sal en terrenos con alta concentración sal, mejorando así sus propiedades fisicoquímicas y haciéndolos más aptos para el desarrollo vegetal (Cooper y Ghanem, 2017).

Los ácidos húmicos y fúlvicos forman parte de las sustancias húmicas y presentan propiedades bioactivas que favorecen el desarrollo vegetal. Su aplicación en semillas puede acelerar y uniformizar la germinación, estimular el crecimiento radicular y activar los meristemos apicales, además de favorecer el metabolismo, la respiración y la fotosíntesis, contribuyendo a una mayor tolerancia de las plantas frente a condiciones de estrés (Nardi et al., 2021; Piccolo et al., 2021).

2.2.3. Dinámica de la materia orgánica en el suelo.

La materia orgánica del suelo constituye una fracción dinámica y compleja, compuesta por diversos materiales carbonados en diferentes estados de transformación. Aunque representa una pequeña proporción de la masa del suelo, influye significativamente en sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Asimismo, es fundamental para la fertilidad y participa en procesos como la mineralización, cuya dinámica depende principalmente de la actividad microbiana, la calidad del material orgánico y factores ambientales como la temperatura y las precipitaciones (Alvarado, 2008; Bonilla et al., 2020).

La interacción entre el suelo y la materia orgánica permite procesos de retención, transformación e intercambio de sustancias. La velocidad de descomposición depende de la calidad del sustrato y de las condiciones ambientales, edáficas y biológicas. Además, la materia orgánica contribuye a regular la humedad, temperatura y pH del suelo, y ayuda a reducir procesos de degradación como la compactación y la erosión (Eiza et al., 2006).

Finalmente, la materia orgánica posee importancia ambiental debido a su capacidad para contribuir al secuestro estable de carbono. Este proceso se relaciona principalmente con la humificación y la formación de complejos organominerales, que favorecen la generación de formas de carbono orgánico más estables y resistentes a la descomposición (Bonilla et al., 2020).

2.2.4. Humus.

El humus se compone principalmente de sustancias no húmicas (hasta el 30 %) y sustancias húmicas (hasta 90 %), que incluyen ácidos húmicos, fúlvicos y huminas. Las primeras están formadas por compuestos orgánicos solubles en agua, como carbohidratos y proteínas, mientras que las sustancias húmicas dependen de factores ambientales y de suelo, como el clima, la vegetación y las propiedades edáficas (pH, temperatura, aireación, contenido mineral, etc.). La conversión de la materia orgánica está determinada por las interacciones que ocurren durante su proceso entre estos factores físicos y químicos del suelo (Félix et al., 2018).

2.2.4.1. Constitución del humus

La calidad y la composición del humus están fuertemente influenciadas por las propiedades fisicoquímicas y biológicas de los residuos orgánicos empleados. Aspectos como la proporción carbono/nitrógeno (C/N), la presencia de lignina, el grado de biodegradabilidad y la actividad microbiana son cruciales en los procesos de humificación. Estas variables determinan no solo la

estabilidad del humus, sino también su capacidad de retención de nutrientes y su impacto en las características del suelo y en los ciclos biogeoquímicos (Lanno et al., 2022).

Para Chugchilan y Zambrano (2021) el humus está constituido principalmente por elementos como carbono, oxígeno y nitrógeno, junto con una variedad de micronutrientes esenciales presentes en distintas concentraciones. Entre estos se destacan el calcio, potasio, hierro, manganeso y zinc, los cuales desempeñan funciones clave en la fertilidad del suelo y en la nutrición vegetal. La proporción y la disponibilidad de estos elementos pueden cambiar dependiendo del tipo de materia orgánica de origen y de las circunstancias en las que se lleva a cabo el proceso de humificación. Tiene un pH casi neutro, por lo que puede usarse apropiadamente, ya que en condiciones óptimas de madurez y estabilidad no genera toxicidad en la planta.

Por otro lado, San et al. (2020) expresan que el humus contiene una fuente natural de fitohormonas, incluyendo auxinas y citoquininas, compuestos que regulan procesos fisiológicos clave en las plantas. Estas hormonas promueven la iniciación y elongación de raíces, así como la activación de la germinación de semillas, lo que contribuye significativamente al establecimiento temprano y al crecimiento vigoroso de las plantas.

2.2.5. Vermicompostaje o Lombricultura.

El vermicompostaje es un proceso biológico aeróbico en el que lombrices, principalmente del género *Eisenia*, y microorganismos transforman residuos orgánicos biodegradables en un material estabilizado denominado vermicompost o humus de lombriz. Durante este proceso se produce la descomposición y transformación de la materia orgánica, modificando sus características físicas, químicas y biológicas (Ponce y Zela, 2022; Román et al., 2013).

La eficiencia del proceso depende de condiciones ambientales como humedad, temperatura, pH y disponibilidad de oxígeno. El control de estas condiciones permite favorecer la actividad de las lombrices y microorganismos y obtener un producto con mayor grado de estabilización y características adecuadas para su utilización agrícola (Lozano y Vargas, 2023; De la Cruz, 2023).

2.2.6. Humus de lombriz o vermicompost.

El vermicompost es el producto obtenido mediante la bio-oxidación, descomposición y transformación de residuos orgánicos por la acción conjunta de lombrices epigeas y microorganismos. El proceso permite obtener un material estabilizado que contiene materia orgánica transformada, nutrientes y compuestos húmicos, cuyas características dependen de los materiales utilizados y de las condiciones del proceso (Sonntag et al., 2022).

El vermicompost puede contribuir al mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo debido a su contenido de materia orgánica, nutrientes y microorganismos. Asimismo, su capacidad de retención de humedad y de intercambio catiónico puede favorecer la disponibilidad de nutrientes y las condiciones para el desarrollo radicular (Mendoza et al., 2024; Ramón et al., 2022).

Sin embargo, la calidad del vermicompost no depende únicamente de su contenido de nutrientes. El origen de los residuos empleados, las condiciones del proceso y el grado de estabilización alcanzado pueden determinar la presencia de sales, sustancias potencialmente fitotóxicas, microorganismos y elementos potencialmente tóxicos, por lo que su evaluación requiere considerar diferentes indicadores de calidad (Compagnoni y Putzolu, 2018).

2.2.7. Propiedades físicas, químicas y biológicas del vermicompost.

2.2.7.1. Propiedades físicas.

a) Humedad

Jaimes et al. (2020) sostienen que el compostaje y el desarrollo de lombrices requieren condiciones ambientales controladas para una eficiencia biológica óptima, incluyendo temperaturas alrededor de 30 °C, humedad cercana al 80 % y pH neutro o ligeramente alcalino. La presencia de agua es fundamental porque asegura el funcionamiento fisiológico de los microorganismos y permite el traslado de solutos indispensables y productos metabólicos durante las reacciones bioquímicas del proceso.

El agua representa un componente esencial en el humus de lombriz, influyendo directamente en su calidad fisicoquímica y funcionalidad agronómica. A pesar de su relevancia, suele ser subvalorada, lo que puede resultar en productos con niveles de humedad inadecuados. Por esta razón, es fundamental declarar el contenido de humedad en base al peso fresco del humus, a fin de garantizar su estandarización y conservación. Se considera óptimo un rango de humedad entre el 20 % y el 40 % (sobre materia húmeda), aunque este valor puede extenderse hasta un 60 % en humus derivados de residuos vegetales con alta capacidad higroscópica, como la pulpa de café (NMX-FF-109-SCFI-2008).

Román et al. (2013) aseguran que la humedad es un parámetro crítico en la producción de humus de lombriz, al estar directamente relacionada con la actividad microbiana. Un contenido óptimo ronda el 55 %, aunque puede variar según el sistema de compostaje y el tamaño de partícula. Niveles por debajo del 45 % reducen la descomposición por falta de actividad

microbiana, mientras que valores superiores al 60 % afectan la aireación del sustrato, comprometiendo el equilibrio aeróbico.

Los parámetros de calidad para el compost destinado al uso agrícola, el contenido de humedad del producto debe situarse dentro del rango de 15 % a 35 %, calculado sobre base húmeda. Este intervalo busca asegurar la estabilidad biológica del compost, optimizar su manejo, transporte y almacenamiento, así como prevenir condiciones anaeróbicas que podrían comprometer su calidad y eficiencia como enmienda orgánica (NTP 201.207:2020).

b) Densidad aparente

Según Mikolic et al. (2018) La vermicomposta es un fertilizante orgánico maduro, con abundantes nutrientes y una densidad aparente baja, que se utiliza en el suelo para optimizar sus características químicas, físicas y biológicas.

Diversos estudios han evidenciado que la incorporación de vermicompost al suelo contribuye significativamente a mejorar sus propiedades físicas, al incrementar la porosidad y reducir la densidad aparente. Estas modificaciones en la estructura del suelo promueven una mejor circulación del aire y un drenaje más efectivo, lo que incrementa la capacidad del suelo para conservar la humedad, mejorando de este modo las condiciones para el crecimiento de las raíces y el acceso al agua por parte de las plantas (Parthasarathi et al., 2008).

Para Román et al. (2013) la actividad microbiana durante el compostaje está directamente afectada por el tamaño de las partículas del material orgánico, ya que partículas más pequeñas ofrecen una mayor superficie disponible, lo que facilita que los microorganismos accedan y descompongan el sustrato. Un tamaño de partícula ideal al comienzo del proceso de compostaje suele encontrarse entre 5 y 20 cm. Asimismo, el tamaño de estas partículas está directamente

vinculado con la densidad aparente del material, lo cual influye significativamente en la circulación del aire y en la habilidad del compost para retener humedad. Inicialmente, la densidad del material puede situarse entre 150 y 250 kg/m³, aumentando progresivamente hasta 600-700 kg/m³ a medida que el volumen disminuye por la degradación y transformación de la materia orgánica.

La NMX-FF-109-SCFI-2008, indica que la densidad aparente en base a materia seca (peso volumétrico) debe encontrarse en un rango de 0.40 a 0.90 g/cm³. En contraste, la norma NTP 201.207:2020, para fertilizante orgánicos (compost), especifica que la densidad aparente máxima permitida no debe superar los 0.70 g/cm³.

c) Pureza

Fallas y Escoto (2007) consideran que para que pueda ser comercializado este producto (vermicompost), el "100 % humus de lombriz" debe cumplir con ciertos requisitos para garantizar su calidad. El producto debe contener al menos un 95 % de humus de lombriz puro, sin exceder el 2 % de impurezas inorgánicas naturales (como tierra o arena), el 2 % de material de origen orgánico no asimilado por las lombrices y el 1 % de impurezas inorgánicas extrañas (como plásticos o vidrios). Estos parámetros aseguran un humus de calidad apto para la comercialización.

Por su parte, México implementó la norma NMX-FF-109-SCFI-2008, la cual estipula los parámetros o especificaciones y los requisitos de pureza obligatorio para un humus de lombriz de calidad para su uso agrícola. Esta norma señala que el producto no debe contener más del 5 % de material mineral extraño, no más del 10 % de materia orgánica no procesado por las lombrices y un máximo del 1.5 % de material inerte (como vidrios, plásticos o metales).

2.2.7.2. Propiedades químicas del humus.

El uso desmedido de fertilizantes nitrogenados en la producción agrícola intensiva produce contaminación del suelo, agua y aire, generando problemas ambientales serios como la eutrofización de cuerpos de agua y la liberación de gases de efecto invernadero. Aunque es económicamente rentable, sus consecuencias negativas requieren un enfoque más sostenible (Añez y Espinoza, 2003).

a) Materia orgánica

La materia orgánica que se encuentra en el suelo (MOS) es imprescindible para la salud y fertilidad del suelo, ya que mejora su aireación, estructura y retención de agua. También facilita el suministro de nutrientes a través de su capacidad de intercambio catiónico y favorece la actividad biológica al ser fuente de carbono para los organismos del suelo. Su composición varía según su origen, edad y humedad, lo que influye en su efectividad en la fertilidad a largo plazo. Un manejo adecuado de la MOS es esencial para un suelo saludable y productivo (Romero et al., 2000).

El vermicompost contiene carbono, oxígeno, nitrógeno, así como macro y micronutrientes en diversas concentraciones, incluyendo potasio, manganeso, boro, calcio, hierro y zinc. No obstante, los nutrientes presentes en la materia orgánica se encuentran principalmente en formas orgánicas, no disponibles directamente para las plantas. Por ello, se requiere la intervención de la microbiota edáfica, la cual transforma estos compuestos en formas minerales asimilables por la biomasa vegetal (Ponce y Zela, 2022).

b) pH

García (2015) indica que el término pH proviene de la abreviatura de "pondus hydrogenii", que se traduce como potencial de hidrógeno. Este término fue propuesto por Sorensen en 1909 para hacer referencia a concentraciones extremadamente bajas de iones de hidrógeno; quien introdujo el concepto para el pH y lo definió como el logaritmo negativo de la actividad de los iones hidrógeno en una solución.

El pH del suelo indica el grado de alcalinidad o acidez presente, y ejerce una influencia directa sobre las propiedades y procesos físicos, químicos y biológicos del suelo. Su variación depende de factores como el material parental, la textura del suelo, la vegetación y el clima. La acidificación es más común en suelos gruesos y puede agravarse por procesos como la erosión, que reducen la materia orgánica y afectan la fertilidad del suelo (Quisimalin et al., 2024).

El pH del suelo desempeña un papel determinante en la movilidad y disponibilidad de los nutrientes. En suelos con pH ácido (menor a 5), nutrientes esenciales como nitrógeno (N), calcio (Ca), boro (B), magnesio (Mg), molibdeno (Mo) y fósforo (P) suelen estar en concentraciones insuficientes. En condiciones de acidez extrema, se ve afectado el proceso de nitrificación e inmovilización del nitrógeno, mientras que elementos como el aluminio (Al) y el manganeso (Mn) pueden aumentar en concentración hasta niveles tóxicos para muchos cultivos. Además, en ambientes fuertemente ácidos, la actividad microbiana se reduce notablemente, lo que restringe la mineralización de la materia orgánica (MO) y, por ende, la fertilidad biológica del suelo (Turbe et al., 2010).

Para Polo citado por Humacata et al. (2023), las bacterias muestran una mayor actividad en un rango de pH ligeramente superior al neutro. Sin embargo, cuando el pH supera los 8,5, se produce la pérdida de nitrógeno por medio de la volatilización de amoníaco, lo que genera la emisión de olores desagradables. Es fundamental que el pH se mantenga entre 5,0 y 8,5 ya que este rango no solo favorece la actividad microbiana, sino que también previene la generación de malos olores.

El pH del sustrato destinado para la alimentación de las lombrices debe situarse dentro de un rango de 6.5 a 7.5, siendo los valores ideales entre 6.8 y 7.2. Estos niveles de pH son esenciales para mantener un ambiente óptimo que favorezca la actividad biológica y la salud de las lombrices, ya que afectan procesos metabólicos y la eficiencia en la degradación de la materia orgánica (Reyes, 2024).

El vermicompost muestra índices de calidad superiores, debido a su menor salinidad, pH más bajo, mayor capacidad de retención de humedad y reducción en la concentración de sodio, lo que lo convierte en un sustrato más adecuado para su uso en la agricultura. Además, las enmiendas ayudan a reducir las fluctuaciones del pH en el suelo gracias a su capacidad de amortiguación (Vásquez y Loli, 2018).

c) Capacidad de intercambio catiónico

La CIC es una propiedad química del suelo que determina su capacidad para retener nutrientes esenciales con carga positiva. Estos nutrientes se adhieren a las partículas de arcilla y materia orgánica, lo que impide su pérdida y mejora la fertilidad del suelo. A mayor CIC, mayor accesibilidad de nutrientes para las plantas (Flores y Velasaga, 2021).

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) se refiere a la habilidad total que tiene un suelo para retener y cambiar cationes. Esta capacidad se expresa comúnmente en miliequivalentes por cada 100 gramos de suelo (meq/100 g) o en centimoles de carga positiva por kilogramo (cmol(+)/kg), y se determina a un pH específico (Arthur, 2017).

La materia orgánica y las arcillas son componentes clave para una buena Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), lo cuál los convierte en elementos esenciales en los sustratos más fértiles del suelo. El pH del suelo impacta en la disponibilidad de nutrientes, ya que niveles extremos pueden provocar su pérdida o insolubilidad. Para conservar una buena capacidad de retención de nutrientes (CIC), se recomienda mantener el pH entre 6 y 7. Los microorganismos también ayudan a la disponibilidad de nutrientes y optimizar la estructura del suelo. No obstante, el exceso de fertilizantes químicos puede desequilibrar el suelo y saturar la CIC (Nostoc Biotech., 2023).

d) Conductividad eléctrica (CE)

Este parámetro permite evaluar la concentración de sales solubles presentes en el suelo y se expresa mediante la conductividad eléctrica en deciSiemens por metro (dS/m). El incremento de la salinidad aumenta la presión osmótica de la solución del suelo, dificultando la extracción de agua por las raíces y generando estrés hídrico en las plantas (Kramer & Mau, 2023).

La conductividad eléctrica (CE) de un compost está influenciada mayormente por su contenido de sales, y en menor grado, por la presencia de iones como el nitrato o el amonio generados durante el compostaje. En general, este proceso tiende a elevar la CE debido a la liberación de nutrientes durante la descomposición de la materia orgánica. Sin embargo, en ocasiones puede disminuir si ocurre lixiviación, especialmente cuando hay un exceso de humedad.

Es importante tener en cuenta que una alta CE puede obstaculizar la absorción de agua a través de las raíces de las plantas, afectando su desarrollo (Bueno et al., 2007).

e) Nitrógeno

Ottos (2015) expresa que el nitrógeno es el principal nutriente aportado por la materia orgánica para el desarrollo vegetal. Cerca del 95 % del nitrógeno total del suelo están en formas orgánicas asociadas a la materia orgánica, mientras que solo una pequeña fracción, cercana al 2 %, está presente como amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-), formas inorgánicas directamente asimilables por las plantas. Para que el nitrógeno orgánico sea aprovechable por los cultivos, debe atravesar un proceso de mineralización que lo transforme en formas disponibles.

Para Álvarez y Rimski-Korsakov citado por Ayma (2020) indica que concentración de nitrógeno en el lombricompost puede variar entre 0,46 % y 1,6 %, dependiendo principalmente del tipo de sustrato orgánico utilizado como fuente de alimentación para las lombrices. Esta variabilidad está asociada a la composición química inicial del material y al grado de descomposición alcanzado durante el proceso de vermicompostaje.

La materia orgánica representa una reserva importante de nutrientes esenciales para las especies vegetales, liberándose de forma gradual durante su descomposición. En particular, actúa como una fuente lenta pero sostenida de nitrógeno, favoreciendo su disponibilidad en el suelo a lo largo del tiempo (Alvarado, 2008).

f) Carbono orgánico

El carbono orgánico del suelo es aquel que permanece en el suelo luego de la descomposición incompleta de materia orgánica ocasionada por organismos vivos, y podría mantenerse en el suelo durante largos períodos, desde décadas hasta siglos o incluso milenios (Villarreal y Ramos, 2024).

El manejo inadecuado del suelo mediante prácticas agrícolas insostenibles minimiza el carbono orgánico en el suelo (COS), interfiriendo en su calidad y contribuyendo al cambio climático. Sin embargo, el uso de prácticas sostenibles puede conservar el COS, mitigar la liberación de gases de efecto invernadero y mejorar la salud del suelo (Loayza et al., 2020).

La mineralización es un proceso altamente dinámico que puede hacer que el carbono del suelo se pierda en forma de gases como el dióxido de carbono (CO_2) o metano (CH_4), los cuales vuelven a la atmósfera. Este proceso es muy relevante en el ciclo del carbono y forma parte principal de la materia orgánica presente en el suelo (Acevedo et al., 2020).

La cantidad de carbono orgánico (COS) del suelo es un buen indicador del nivel de degradación del suelo; es decir, cuanto más grande sea el contenido de COS, mejor será la calidad del suelo, en comparación con suelos que tienen bajos niveles de este componente. Además, el COS influye en las propiedades biológicas del suelo, dado que sirve como fuente de energía para los organismos heterótrofos que allí habitan (Loayza et al., 2020).

La materia orgánica del suelo (MOS) y en particular el carbono orgánico del suelo (COS), juegan un papel fundamental en la conservación y mejora de las propiedades biológicas, químicas y físicas del suelo. Es crucial destacar que el sistema suelo es inherentemente dinámico e interconectado, de modo que cualquier alteración en una de sus características puede provocar efectos en cadena sobre otras propiedades del suelo (Docampo, s.f.).

g) Relación C/N

En las etapas iniciales del proceso de descomposición de la materia orgánica, ocurre una marcada pérdida de carbono, principalmente como resultado de la respiración microbiana que libera CO₂ a la atmósfera. Simultáneamente, el nitrógeno contenido en el sustrato es incorporado activamente por los microorganismos heterótrofos durante su crecimiento y multiplicación. Esta dinámica provoca una reducción progresiva en la relación carbono/nitrógeno (C/N), indicador fundamental del grado de estabilización de la materia orgánica (Bonilla et al., 2020).

Para un compost que esté completamente desarrollado, la relación C/N ideal es próxima a 10, semejante a la de humus. Por lo general, un abono se considera lo suficientemente maduro o estable cuando la relación C/N es menor a 20; sin embargo, esta condición es necesaria pero insuficiente. El compostaje avanza más rápidamente con materiales con una relación C/N baja (menos de 18-19), pero se libera nitrógeno adicional en forma de amoníaco, lo que hace que la relación C/N se autorregule (Zhu, 2006).

Dado que la relación C/N está fuertemente influenciada por el contenido inicial de nitrógeno en los materiales orgánicos, resulta más apropiado analizar su evolución durante el proceso de compostaje que limitarse a comparar únicamente los valores inicial y final. Un valor absoluto de C/N no siempre representa de manera precisa el grado de madurez del compost, por lo que su seguimiento dinámico ofrece una mejor aproximación al estado de humificación y estabilización de la materia orgánica (Humacata et al., 2023).

Según la Norma Técnica Peruana de Fertilizantes NTP 201.207:2020, que determina los criterios de calidad para fertilizantes, el compost destinado a uso agrícola debe presentar una relación carbono/nitrógeno (C/N) entre un rango de 10 como mínimo y 25 como máximo, en su estado maduro.

h) Metales pesados

Los metales pesados constituyen un parámetro importante en la evaluación de la calidad del vermicompost, debido a que pueden encontrarse en los residuos empleados como materia prima y, posteriormente, incorporarse al producto final. Su presencia adquiere especial importancia cuando el vermicompost es destinado al uso agrícola, debido a que estos elementos pueden ser absorbidos y acumulados por las plantas, generando riesgos para la producción y la cadena alimentaria (Flores, 2018; Sarwar et al., 2017). En este sentido, Compagnoni y Putzolu (2018) señalan que, aunque el proceso de transformación de residuos puede disminuir la presencia de sustancias potencialmente tóxicas, los metales pesados y otros contaminantes pueden permanecer en el vermicompost.

La disponibilidad y absorción de los metales pesados por las plantas depende no solo de su concentración, sino también de las características del suelo, como el pH, contenido de materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico (García et al., 2008). Asimismo, elementos como Zn, Cu, Fe y Mn son esenciales en determinadas concentraciones; sin embargo, cuando se encuentran en exceso pueden generar efectos fitotóxicos, mientras que elementos como Cd, Pb, As y Hg representan especial preocupación por su toxicidad (Pérez et al., 2023; Shahid et al., 2013). Además, las lombrices pueden absorber y acumular algunos metales pesados en sus tejidos, por lo que la calidad de los residuos utilizados en la alimentación de las lombrices constituye un factor relevante para la seguridad del vermicompost obtenido (Saiz et al., 1985).

Por ello, la evaluación de metales pesados debe constituir un componente de control de calidad del vermicompost, especialmente cuando se emplean residuos agroindustriales, urbanos u otras materias primas con potencial de contaminación. Los estándares de calidad para compost destinado a la agricultura, reportan valores máximos de 10 ppm para Cd, 450 ppm para Cu, 120 ppm para Ni, 300 ppm para Pb, 1100 ppm para Zn, 7 ppm para Hg y 400 ppm para Cr. Estos

valores permiten establecer criterios de referencia para determinar la aptitud del producto para su utilización agrícola (EPA, citado por Rojas et al., 2016).

La Organización Mundial de la Salud (2019) informa que la acumulación de cadmio (Cd) en el organismo produce impactos graves debido a su capacidad de bioacumulación, una vida media biológica muy prolongada (de 10 a 30 años), el cual tiene efectos renales, óseos, respiratorios y carcinogénesis. Sobre el plomo asegura que es un metal pesado muy tóxico y acumulativo, una vez absorbido, se distribuye en el organismo hasta concentrarse en los huesos y dientes, donde puede almacenarse durante décadas, tiene efectos neurotóxicos, cardiovasculares, renales, hematológicos, etc. Por último para el cromo (Cr), su bioacumulación en humanos afecta el sistema respiratorio, hepático, tiene efectos dermatológicos, carcinogénesis, etc.

2.2.7.3. Propiedades biológicas del humus.

Estudios realizados demuestran que desde un punto de vista microbiológico el vermicompost dispone de una gran riqueza de microorganismos además de un efecto inhibidor sobre ciertos patógenos presentes en el suelo, además, la incorporación de materia orgánica puede ser una opción para aumentar la población microbiana y la actividad enzimática, por lo tanto, impulsar los ciclos de los nutrientes del suelo (Mendoza et al., 2024).

La biomasa microbiana y la actividad enzimática en el suelo pueden responder de manera más rápida, que la materia orgánica total del suelo, a las variaciones en las prácticas de manejo. Es por este motivo que los procesos enzimáticos pueden ser eficaces como indicadores tempranos de cambios biológicos (Campitelli, 2010).

Las deyecciones de la lombriz tienen una gran riqueza en flora bacteriana, con casi 2×10^{12} colonias g⁻¹ de humus producido, en vez de los pocos centenares de millones presentes en la misma cantidad de estiércol fermentado. Esto permite la producción enzimática importante para la evolución de la materia orgánica cuando este material es incorporado al suelo (Flores, 2024).

El vermicompostaje tiene un gran efecto sobre la transformación del nitrógeno en los materiales iniciales. La mineralización del nitrógeno fue superior en presencia de lombrices, aludiendo que estas producen condiciones que favorecen la nitrificación, excretando también una cantidad importante en forma de amonio y muco-proteínas (Porta et al 2003).

2.2.8. Madurez y Estabilidad vinculados a la calidad de las enmiendas orgánicas

La madurez del compost es un aspecto importante para determinar su calidad y aptitud para uso agrícola, ya que un compost inmaduro puede generar efectos fitotóxicos, afectar la germinación y limitar el crecimiento vegetal debido a la presencia de compuestos como ácidos orgánicos y amoníaco (De Anda, 2024). La estabilidad se relaciona con el grado de descomposición de la materia orgánica y la disminución de la actividad microbiana durante el proceso de compostaje, mientras que la madurez se evalúa principalmente mediante indicadores como la relación amonio/nitratos y pruebas de germinación (Mahapatra et al., 2022; Kumar et al., 2023).

Asimismo, la evaluación de la estabilidad puede complementarse mediante indicadores como el consumo de O₂, producción de CO₂, mineralización de carbono y nitrógeno, actividad microbiana y grado de humificación (Mazzarino et al., 2012). La presencia de sales solubles también puede generar fitotoxicidad, por lo que la conductividad eléctrica constituye un parámetro

importante para evaluar la calidad y madurez del compost, especialmente cuando se pretende utilizar como enmienda agrícola (Mazzarino et al., 2012).

2.2.9. Indicadores de potencial toxicidad del vermicompost

La calidad del vermicompost no depende únicamente de sus características físicas, sino también de la presencia de factores que pueden generar efectos desfavorables sobre las plantas. Entre los principales indicadores de potencial toxicidad se encuentran la madurez, la salinidad y la presencia de metales pesados, debido a que estos factores pueden afectar la germinación, el crecimiento y la absorción de nutrientes por las plantas (Acevedo et al., 2021; Domínguez et al., 2010).

La madurez constituye un indicador importante, debido a que los materiales orgánicos que no han completado adecuadamente su descomposición pueden contener amonio, ácidos orgánicos y otros compuestos fitotóxicos capaces de inhibir la germinación y afectar el crecimiento radicular. Estos compuestos disminuyen conforme avanza la descomposición y maduración del material (Zucconi et al., 1985; Boquete, 2021).

La salinidad también puede generar potencial fitotoxicidad cuando el vermicompost presenta concentraciones elevadas de sales solubles. Estas incrementan la conductividad eléctrica, generando estrés osmótico que dificulta la absorción de agua y nutrientes y puede reducir la germinación y el crecimiento vegetal (Domínguez et al., 2010; Urriola et al., 2022).

Por otro lado, los metales pesados pueden encontrarse en materiales utilizados como sustrato para la elaboración de vermicompost y, dependiendo de su concentración y disponibilidad, representan un riesgo para las plantas. Elementos como cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg) y arsénico (As) pueden acumularse en los tejidos vegetales e interferir con procesos fisiológicos y

nutricionales, afectando el crecimiento y pudiendo generar riesgos cuando ingresan a la cadena alimentaria (Sarwar et al., 2017; Pérez et al., 2023). Asimismo, el riesgo asociado a los metales pesados no depende únicamente de su concentración total, sino también de características del material y del suelo, como el pH, la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico, que influyen en su disponibilidad para las plantas (García et al., 2008).

En consecuencia, la evaluación conjunta de madurez, salinidad y metales pesados permite una apreciación más integral del potencial de toxicidad del vermicompost y de las condiciones que podrían limitar su uso agrícola.

2.2.10. Estándares de calidad del vermicompost

La calidad del vermicompost depende de factores como el tipo de tratamiento, tamaño de partícula, riego, volteos y momento de finalización del proceso, los cuales influyen en las características del producto final (Campitelli, 2010). Para su uso agrícola, la calidad se relaciona principalmente con la estabilidad y madurez del material (Bustamante et al., 2009; Mahapatra et al., 2022).

Sin embargo, estos indicadores por sí solos no permiten una evaluación completa, por lo que se recomienda considerar parámetros físicos, químicos y biológicos, cuya importancia depende del material utilizado y del proceso aplicado (Aparna et al., 2008; Itavaara et al., 2002). En este sentido, Schuldt (2006) propone evaluar propiedades como humedad, densidad, porosidad, retención de agua, materia orgánica, nutrientes, capacidad de intercambio catiónico, actividad microbiana y presencia de metales pesados.

Por ello, las normativas de calidad integran diferentes indicadores para determinar si el vermicompost presenta condiciones adecuadas para su uso agrícola seguro y eficaz, considerando sus características físicas, químicas y biológicas.

2.2.11. Normativas y criterios de calidad

2.2.11.1. Norma Técnica Peruana de Fertilizantes NTP 201.207:2020

Esta norma tiene el objetivo de establecer especificaciones y requisitos para producir fertilizantes orgánicos para uso agrícola. (NTP 201.207:2020 Fertilizantes, 2021).

Tabla 1

Parámetros de calidad según Norma Técnica Peruana de Fertilizantes NTP 201.207:2020

Características		Especificaciones
- Humedad %		15 a 35
- Densidad aparente (g/cm ³)		≤ 0.7
Parámetros Químicos		
-	Nitrógeno total (gr/kg de compost)	3 a 15
-	Fósforo total (gr/kg de compost)	1 a 10
-	Potasio total (gr/kg de compost)	3 a 10
-	M.O (% en base seca)	≥ 20
-	Relación C/N	10 a 25
-	pH	5 a 8.5
-	CE (dS/m)	≤ 5
-	Metales pesados ppm (base seca):	
	○ Arsénico	≤ 20
	○ Cadmio	≤ 1
	○ Cromo	≤ 100
	○ Mercurio	≤ 1
	○ Níquel	≤ 60
	○ Plomo	≤ 150
Parámetros Biológicos		
Coliformes fecales NMP/gr de compost (base seca)		< 1 000 NMP por g de compost (en base seca)
<i>Salmonella spp.</i>		3 NMP en 4 g de compost (en base seca)
Huevos de helmintos viables		1 en 4 g de compost (en base seca)

NPM = Número más probable

2.2.11.2. Norma Chilena NCh2880:2015.

El propósito de esta norma es clasificar y definir los principios de calidad que debe cumplir el compost generado a partir de residuos orgánicos provenientes de los quehaceres humanos. Esto incluye aquellos residuos originados en procesos agroindustriales, agrícolas, ganaderos, pesqueros, así como los generados en mercados, ferias libres donde se comercian productos vegetales, labores de mantenimiento jardines y parques, y desechos vegetales de los hogares, entre otros. El compost resultante debe presentar un olor agradable y un color que varíe entre negro y marrón oscuro (NCh2880:2015).

La Norma Chilena NCh2880:2015 establece de manera obligatoria la caracterización integral de todos los tipos de compost, exigiendo la especificación de una serie de parámetros que abarcan cualidades físicas, químicas, biológicas y orgánicas. Asimismo, contempla la necesidad de realizar un análisis exhaustivo de patógenos, con el fin de garantizar la calidad, seguridad sanitaria y funcionalidad del compost como enmienda orgánica.

Tabla 2*Parámetros de calidad según Norma Chilena NCh2880:2015*

PARÁMETROS	Tolerancia y concentración máxima permitida de NCh2880:2015	
	Clase A	Clase B
PARÁMETROS FÍSICOS		
Impurezas (% masa en base seca)		
❖ Plásticos flexibles	≤ 5	≤ 5
❖ Piedras y/o terrones	≤ 5	≤ 5
❖ Vidrio, metales, caucho y/o plásticos	≤ 0.5	≤ 0.5
Humedad %	30 a 45	30 a 45
Densidad aparente (g/cm³)	< 0.7	< 0.7
PARÁMETROS QUÍMICOS		
Nitrógeno total (% en base seca)	≥ 0.8	
Fósforo total (% en base seca)	≤ 0.1	
Boro total (ppm en base seca)	200	
Sodio total (% en base seca)		≤ 0.1
M.O (% en base seca)	≥ 20	≥ 25
Relación C/N	≤ 25	≤ 30
pH	5.5 a 8.5	7.5 a 8.5
CE (dS/m)	≤ 5	5 a 12
Concentraciones máximas de metales pesados en ppm (base seca)		
Arsénico	≤ 15	≤ 35
Cadmio	≤ 0.7	≤ 9
Cobre	≤ 70	≤ 400
Cromo	≤ 70	≤ 100
Mercurio	≤ 0.4	≤ 2
Plomo	≤ 45	≤ 220
Zinc	≤ 200	≤ 800
PARÁMETROS BIOLÓGICOS		
Coliformes fecales NMP/gr de compost, en base seca	< 1000	< 1000
Virus MS -2 UFP/4gr de compost, en base seca	< 1	< 1
Salmonella spp./4gr de compost, en base seca)	< 3	< 3

NMP = Número más probable. UFP = Unidad de formación de placas.

2.2.11.3. Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008.

Este reglamento especifica que regula la producción y comercialización del vermicompost establece una serie de especificaciones técnicas orientadas a garantizar su calidad en términos físicos, químicos y biológicos. Estas especificaciones tienen como objetivo asegurar que el vermicompost sólido posea características agronómicas adecuadas, contribuya a la salud del suelo y no represente riesgos sanitarios ni ambientales. En este contexto, los parámetros físicos comúnmente evaluados incluyen la textura, humedad y densidad aparente; el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio (macronutrientes esenciales) así como la posible disposición de metales pesados (en el ámbito químico); y la carga microbiana, tanto benéfica como potencialmente patógena, en el componente biológico (Comité Técnico de Normalización Nacional de Productos Agrícolas y Pecuarios, 2010).

Especificaciones:

- Debe contener un color de café oscuro a negro.
- Debe contener un olor a tierra húmeda y ausencia de olor pestilente.
- El grado de granulometría estará establecido entre el comprador y vendedor.

Tabla 3

Criterios de calidad de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008

CRITERIOS	CLASIFICACIÓN DEL PRODUCTO/TOLERANCIA		
	Extra	Primera	Segunda
CRITERIOS FÍSICOS			
- Impurezas (%)			
○ Material mineral extraño (% sobre materia seca p/p)	0 a 1.5	1.51 a 3.0	3.1 a 5.0
○ M.O no digerido por las lombrices (% sobre materia seca p/p)	0 a 3.0	3.1 a 6.0	6.1 a 10.0
○ Material inerte (% vidrios, metales, plástico, etc)	< 0.5	0.5 a 1.0	1.0 a 1.5
- Humedad (%)	20 a 40	20 a 40	20 a 40
- Densidad aparente (g/cm³)	0.40 a 0.90	0.40 a 0.90	0.40 a 0.90
CRITERIOS QUÍMICOS			
Nitrógeno total (% en base seca)	1 a 4	1 a 4	1 a 4
M.O (% en base seca)	20 a 50	20 a 50	20 a 50
Relación C/N^d	≤ 20	≤ 20	≤ 20
pH	5.5 a 8.5	5.5 a 8.5	5.5 a 8.5
CE (dS/m)	≤ 4	≤ 4	≤ 4
CIC (meq/100g)	> 40	> 40	> 40
CRITERIOS BIOLÓGICOS			
Semillas viables (semillas L ⁻¹)	≤ 1	> 1 a ≤ 1.5	> 1.5 a ≤ 2
Lombrices vivas (lombriz L ⁻¹)	< 0.2	≤ 0.2	≤ 0.4
Escherichia coli (NMP)	≤ 1000 NMP por g en base seca		
Salmonella spp (NMP)	3 NMP en 4 g, en base seca		
Huevos de helmintos viables	1 en 4 g, en base seca		

NMP = Número más probable.

2.2.11.4. Normativa Española Real Decreto 506/2013

En el marco de la normativa española sobre productos fertilizantes, establece requisitos específicos para las enmiendas orgánicas y, dentro de esta categoría, para el vermicompost. Estos requisitos permiten disponer de criterios de referencia para valorar determinadas características de calidad del producto, particularmente su contenido de materia orgánica, humedad, relación C/N y granulometría (Ministerio de la Presidencia de España, 2013).

Tabla 4

Parámetros de calidad según la Normativa Española Real Decreto 506/2013

Parámetros	Límite máximo permisible
Materia orgánica total	$\geq 30\%$
Humedad	$\leq 40\%$
Relación C/N	< 20
Granulometría	$\geq 90\%$ de las partículas deben pasar por una malla de 25mm

NOTA: Especificaciones de calidad establecidas por el parlamento de

2.2.12. Muestreo y representatividad.

El muestreo del vermicompost debe considerar la heterogeneidad espacial del material, debido a que sus propiedades pueden variar entre diferentes sectores de una misma unidad de producción. Por ello, la representatividad de la muestra puede favorecerse mediante la recolección de varias submuestras distribuidas espacialmente y su posterior homogenización para obtener una muestra compuesta. En este sentido, Armas et al. (2025) recolectaron siete submuestras distribuidas en diferentes puntos del vermicompostero, las cuales fueron mezcladas y homogenizadas para obtener una muestra compuesta de aproximadamente 2 kg destinada a los análisis correspondientes. De manera similar, Jjagwe et al. (2019) recolectaron cinco muestras de forma aleatoria y las mezclaron para conformar una muestra compuesta destinada a los análisis de laboratorio.

La distribución de los puntos de muestreo debe permitir abarcar diferentes sectores de la unidad evaluada e incorporar la variabilidad espacial existente. Para ello, pueden emplearse patrones de distribución sistemática que permitan cubrir uniformemente el área de muestreo. Entre estas alternativas se encuentra el recorrido en zigzag, mediante el cual los puntos de muestreo se distribuyen a lo largo de la unidad evitando concentrar las submuestras en un solo sector (Virginia Cooperative Extension, 2025). En estudios de vermicompostaje, Bohórquez et al. (2020) emplearon un patrón de distribución en zigzag para recolectar muestras en diferentes puntos de las camas de vermicompost, las cuales posteriormente fueron mezcladas para obtener una muestra compuesta de 1 kg.

La cantidad de material recolectado también puede variar de acuerdo con el procedimiento de muestreo y los análisis previstos. Kalil (2007) reportó un procedimiento en el que se emplearon

submuestras de aproximadamente 700 g, las cuales fueron posteriormente homogenizadas y reducidas hasta obtener la cantidad requerida para los análisis. Esto evidencia que tanto el número de submuestras como la cantidad de material recolectado pueden adecuarse a las características de la unidad de producción y a los requerimientos analíticos.

Asimismo, investigaciones realizadas en vermirreactores de mayor escala han empleado estrategias de muestreo para abarcar espacialmente diferentes sectores de la unidad. Aira et al. (2026) dividieron un vermirreactor metálico rectangular de $4\text{ m} \times 1.5\text{ m} \times 1\text{ m}$ en cinco secciones y recolectaron cinco muestras aleatorias por sección, obteniendo 25 muestras por fecha de muestreo. De manera similar, Rosado et al. (2022) recolectaron 10 muestras por muestreo en un vermirreactor de las mismas dimensiones, cinco por encima y cinco por debajo de una malla plástica, mediante un muestreador de núcleo, durante los 56 días del proceso. Estos antecedentes evidencian la importancia de distribuir los puntos de muestreo en diferentes sectores del vermirreactor para considerar la variabilidad espacial del material.

En conjunto, estos antecedentes muestran que no existe un número único de submuestras aplicable a todas las unidades de vermicompostaje. La representatividad depende de la distribución espacial de los puntos de muestreo, del número y cantidad de submuestras, de las características y dimensiones de la unidad de producción y del objetivo de los análisis. Por ello, la estrategia de muestreo debe establecerse de manera que permita abarcar adecuadamente la heterogeneidad del vermicompost y, cuando corresponda, obtener una muestra compuesta mediante la homogenización de las submuestras.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales y equipos

3.1.1 Insumos

Los insumos utilizados en la investigación estuvieron constituidos por muestras de vermicompost artesanal procedentes del Valle del Santa y una muestra de vermicompost comercial AIV HUMUS, la cual contó con su respectiva ficha técnica. Estas muestras fueron empleadas como materiales de estudio para la evaluación de las características establecidas en la investigación.

3.1.2. Materiales

Utilizamos una bandeja de 20 L, guantes quirúrgicos, una pala de mano, bolsas de autosellado 33cm x 20.5cm, papel kraft 34cm x 16.5cm, etiquetas adhesivas de 10cm x 10cm, cinta masking 2”, plumón indeleble y caja de tecnopor.

3.1.3. Equipos

Se emplearon equipos como una balanza digital, laptop, cámara fotográfica y un sistema de posicionamiento global (GPS) para el desarrollo del estudio.

3.1.4. Servicios

Se utilizó el servicio del Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina para la realización de los análisis correspondientes.

3.2. Tipo y diseño de investigación

3.2.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo descriptivo, orientada a evaluar la calidad física del vermicompost mediante la determinación del porcentaje de impurezas, humedad y densidad aparente, así como sus indicadores de potencial toxicidad, mediante la conductividad eléctrica (CE), relación C/N y concentración de metales pesados. De acuerdo con Hernández y Mendoza (2018), la investigación descriptiva permite caracterizar un fenómeno mediante la recolección y análisis de información.

3.2.2. Diseño de investigación

El estudio presenta un diseño no experimental, transversal y descriptivo, debido a que no se manipularon las variables de estudio y las muestras fueron recolectadas en un único momento. Según Hernández y Mendoza (2018), los diseños no experimentales observan las variables sin manipularlas, mientras que los diseños transversales las analizan en un momento determinado.

3.3. Plan de recolección de la información

El plan de recolección de la información comprendió las actividades de identificación de las zonas de estudio, selección de las unidades productivas y obtención de muestras de vermicompost para su posterior análisis.

3.3.1. Lugar de investigación

La investigación se desarrolló en el Valle del Santa, ubicado en la provincia del Santa, departamento de Áncash, zona caracterizada por su actividad agrícola y por el uso de enmiendas orgánicas en los sistemas de producción.

3.3.2. Población

La población estuvo constituida por el vermicompost producido como enmienda orgánica en las unidades productivas del Valle del Santa, obtenido mediante procesos de vermicompostaje de residuos orgánicos.

3.3.3. Muestra

La muestra estuvo conformada por cuatro unidades productivas de vermicompost seleccionadas en el Valle del Santa, correspondientes a las zonas de Vinzos, Santa, Tangay Medio y La Carbonera, considerando una unidad productiva por zona. En cada unidad productiva se recolectaron cinco submuestras, las cuales fueron homogenizadas para obtener una muestra compuesta final.

Debido a que se evaluó una sola unidad productiva por zona, los resultados fueron de carácter descriptivo y se limitaron a las unidades productivas seleccionadas, sin estimar la variabilidad interna de cada zona ni generalizar los resultados a la totalidad de productores del Valle del Santa.

3.4. Instrumentos de recolección de la información

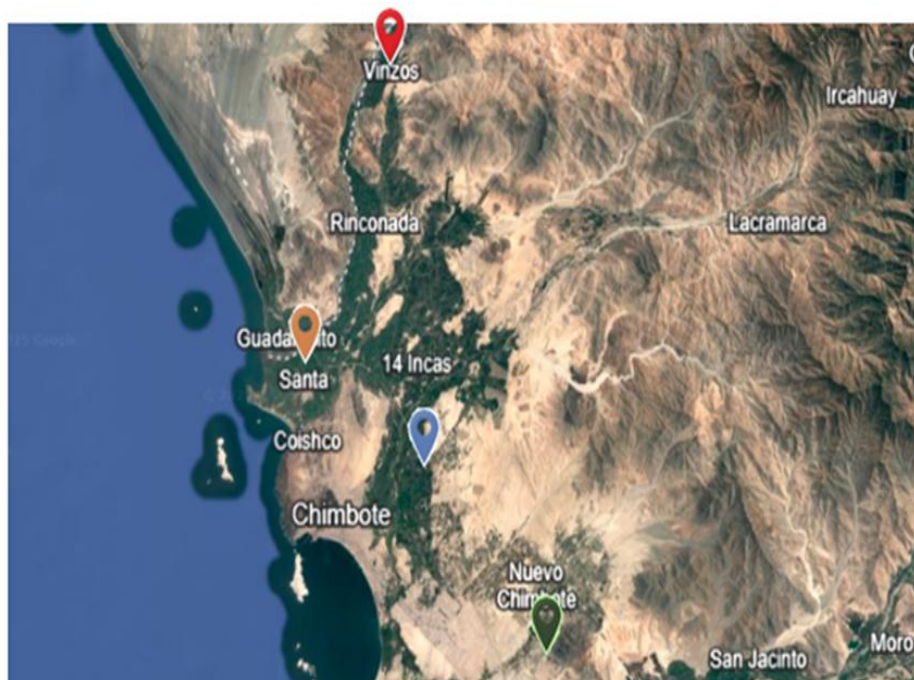
3.4.1. Identificación de los lugares de producción

Se identificaron y seleccionaron las unidades productivas de vermicompost consideradas en la investigación, las cuales se encuentran ubicadas geográficamente en las siguientes coordenadas.

- Lombricultura El chino - Vinzos, latitud -8.802140, longitud -78.551336.
- Establo Guarniz - Santa, latitud -8.993696, longitud -78.618733.
- Humus Correa - Tangay medio, latitud -9.035688, longitud -78.520518.
- El Agricultor - La Carbonera, latitud -9.157464, longitud -78.451362.

Figura 1

Mapa de ubicación de las principales unidades productivas de vermicompost seleccionadas en el Valle del Santa.



3.4.2. Determinación del proceso de elaboración del vermicompost

- Se realizó una encuesta estructurada a los productores, mediante la cual se recopiló información sobre:
 - Materiales orgánicos utilizados
 - Métodos de producción
 - Tiempo de procesamiento
 - Uso previo de compostaje
 - Gestión y selección de residuos (Anexo 1, 2, 3 y 4).

3.4.3. Toma y envío de la muestra del vermicompost

3.4.3.1. Recolección de muestras de vermicompost.

- Se realizó la recolección del vermicompost en las cuatro unidades productivas seleccionadas del Valle del Santa. Los puntos de muestreo se distribuyeron en diferentes sectores de las camas disponibles en cada unidad productiva, siguiendo un recorrido en zigzag, con la finalidad de abarcar espacialmente el material (Bohórquez et al., 2020).
- En cada unidad productiva se recolectaron cinco submuestras de diferentes puntos del vermicompost, tomando como referencia el procedimiento empleado por Jjagwe et al. (2019). Cada submuestra tuvo un peso aproximado de 700 g (Kalil, 2007), por lo que las cinco submuestras representaron aproximadamente 3,5 kg de material por unidad productiva.

- Posteriormente, las cinco submuestras de cada unidad productiva fueron mezcladas y homogenizadas para obtener una distribución uniforme del material. De la muestra homogenizada se tomó aproximadamente 1 kg, que constituyó la muestra compuesta destinada a los análisis de laboratorio, tomando como referencia el procedimiento descrito por Bohórquez et al. (2020).

3.4.3.2. Preparación y conservación de las muestras

- Cada muestra compuesta, de aproximadamente 1 kg, fue destinada a los análisis de calidad física e indicadores de potencial toxicidad.
- Asimismo, se envió 1 kg de AIV Humus como muestra comercial de referencia, con la finalidad de contrastar los resultados obtenidos con los valores consignados en su ficha técnica.
- Cada fracción de muestra fue colocada en una bolsa de autosellado y posteriormente protegida con una bolsa de papel kraft para su conservación y transporte.
- Las muestras fueron debidamente rotuladas con el lugar de procedencia, código de identificación, zona de muestreo, fecha de recolección y tipo de material. La información correspondiente se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5

Etiquetado para la identificación de las muestras adquiridas

Código de la muestra	Lugar de origen de la muestra	Centro de producción
LC1	La Carbonera	El Agricultor
TM2	Tangay Medio	Humus Correa
ST3	Santa	Establo Guarnís
VZ4	Vinzos	Lombricultura El Chino

3.4.3.3. Transporte y análisis de laboratorio.

- Las muestras fueron transportadas en cajas térmicas de tecnopor, garantizando la estabilidad del material, hasta su llegada al laboratorio.
- Los análisis físicoquímicos se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

3.5. Métodos de laboratorio

Los análisis de las muestras de vermicompost se ejecutaron conforme a los protocolos del Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (LASPAF-UNALM). Se determinaron los parámetros de impurezas, densidad aparente, humedad, conductividad eléctrica (CE), relación C/N y metales pesados (Pb, Cr y Cd). De acuerdo con el informe de resultados emitido por el laboratorio, la materia orgánica fue determinada mediante oxidación. Los resultados fueron reportados por el laboratorio en las unidades correspondientes para cada parámetro.

3.6. Plan de Procesamiento de datos

El procesamiento de los datos se realizó de manera sistemática con el fin de garantizar la organización y confiabilidad de la información obtenida. Los resultados de los análisis de laboratorio fueron registrados, organizados y comparados con los valores establecidos en la NTP 201.207:2020 y las normas internacionales de referencia consideradas en la investigación.

3.6.1. Análisis de variables de estudio.

En la presente investigación se evaluaron las características físicas y los indicadores de potencial toxicidad del vermicompost proveniente de las cuatro unidades productivas seleccionadas, ubicadas en Vinzos, Santa, Tangay Medio y La Carbonera, Valle del Santa. Para ello, se recolectó aproximadamente 1 kg de muestra compuesta por cada unidad productiva, la cual fue enviada al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, donde se realizaron los análisis físicos y químicos correspondientes.

A. Análisis físico del vermicompost

Se utilizó aproximadamente 1 kg de muestra compuesta de vermicompost de cada unidad productiva para la evaluación de sus características físicas. Los parámetros analizados fueron el porcentaje de impurezas, la densidad aparente y el contenido de humedad, cuyos resultados fueron comparados con los valores establecidos en las normas de referencia utilizadas en la investigación.

B. Análisis de indicadores de potencial toxicidad

De la muestra compuesta obtenida de cada unidad productiva se determinaron los indicadores de potencial toxicidad, considerando la conductividad eléctrica (CE), la relación carbono/nitrógeno (C/N) y las concentraciones de cadmio (Cd), plomo (Pb) y cromo (Cr). Estos parámetros fueron evaluados e interpretados como indicadores de potencial toxicidad y sus resultados fueron comparados con los valores y límites establecidos en la NTP 201.207:2020 y las normas internacionales de referencia.

3.6.2. Técnicas e instrumentos para el procesamiento de datos.

La información obtenida de los diferentes parámetros evaluados y de las variables de estudio fue organizada, procesada y analizada mediante el uso de histogramas, empleando el programa Microsoft Excel. Los resultados obtenidos fueron comparados con los valores de referencia establecidos en la Norma Técnica Peruana de Fertilizantes NTP 201.207:2020, así como con estándares y referencias internacionales correspondientes a Chile, México y España.

Asimismo, se consideró como referencia comparativa una muestra de vermicompost comercial AIV HUMUS, comercializado como abono orgánico y respaldado por su respectiva ficha técnica. Los resultados obtenidos mediante los análisis de laboratorio fueron contrastados con los valores reportados para este producto comercial, permitiendo establecer diferencias y similitudes respecto a los parámetros de calidad evaluados en las muestras procedentes de las unidades productivas estudiadas.

La comparación de los resultados permitió determinar el grado de cumplimiento de los parámetros establecidos para la calidad del vermicompost, así como identificar posibles condiciones asociadas a riesgos de toxicidad, en función de los parámetros de Conductividad eléctrica, relación C/N y concentraciones de metales pesados evaluados.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis Físico del vermicompost

Las cuatro unidades muestrales de vermicompost recolectadas fueron remitidas al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (LASPAF-UNALM) para la caracterización de sus propiedades físicas (Anexo 5). Los resultados obtenidos fueron comparados con los criterios y límites permisibles establecidos en las normativas de calidad vigentes a nivel nacional y con los estándares de referencia correspondientes a Chile, México y España.

Asimismo, los resultados fueron comparados con un vermicompost comercial de referencia, cuya ficha técnica se presenta en el Anexo 8. Con el propósito de disponer de resultados analíticos comparables, se remitió adicionalmente una muestra de dicho producto al LASPAF-UNALM, cuyos resultados se presentan en el Anexo 7 y fueron considerados en la comparación final. La sistematización y presentación de los resultados se detallan en la Tabla 6.

Tabla 6

Resultados de los parámetros de calidad física del vermicompost comparados con los estándares nacionales e internacionales y la muestra comercial de referencia AIV HUMUS.

PARAMETROS FISICOS	RESULTADOS DE LAS MUESTRAS					ESTANDARES DE CALIDAD						
	LC1	TM2	ST3	VZ4	AIV HUMUS	Peruana	Chilena NCh2880:2015		Mexicana NMX-FF109-SCFI-2008			España
						NTP 201.207:2020	Clase A	Clase B	Extra	Primera	Segunda	Real Decreto 506/2013
Impurezas (%)	43.2	46.09	53.91	43.57	67.2	-	≤ 10.5	-	≤ 5	≤ 10	≤ 16.5	-
Densidad aparente (g/cm ³)	0.15	0.21	0.26	0.22	0.45	≤ 0.7	≤ 0.7	≤ 0.7	0.40 a 0.90	0.40 a 0.90	0.40 a 0.90	-
Humedad (%)	67.82	61.57	61.47	63.95	36.39	15 a 35	30 a 45	30 a 45	20 a 40	20 a 40	20 a 40	< 40

4.1.1. Parámetros físicos del vermicompost

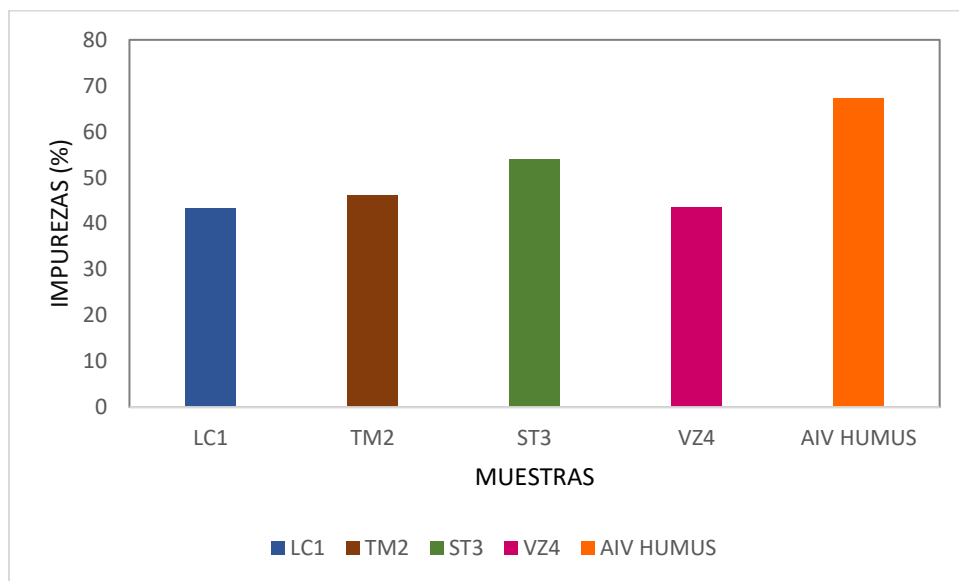
Los datos obtenidos de la evaluación de las propiedades físicas fueron analizados mediante histogramas, como herramienta de representación gráfica y comparación de los valores registrados entre las muestras evaluadas.

4.1.1.1. Impurezas.

De acuerdo con la Tabla 6, la muestra procedente de Santa (ST3) presentó el mayor porcentaje de impurezas entre las cuatro muestras de vermicompost evaluadas, con 53.91 %, seguida de Tangay Medio (TM2) con 46.09 %, Vinzos (VZ4) con 43.57 % y La Carbonera (LC1) con 43.20 %. La muestra comercial de referencia AIV HUMUS presentó el valor más elevado, con 67.20 %. Estos resultados se muestran en la Figura 2.

Figura 2

Porcentaje de impurezas del vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas y en la muestra comercial de referencia AIV HUMUS.



Se observaron variaciones en el contenido de impurezas entre las cuatro muestras de vermicompost evaluadas. Desde el enfoque agronómico, el contenido de impurezas constituye un indicador de la calidad física del abono orgánico, debido a que una elevada presencia de materiales no deseados afecta el grado de acondicionamiento y homogeneidad del producto para su utilización agrícola.

Al comparar los resultados con los criterios establecidos en las normativas consideradas en la investigación, las cuatro muestras de vermicompost superaron el límite de 16.5 % de materia orgánica no degradada establecido por la Norma Mexicana y el límite de 10.5 % de impurezas establecido por la Norma Chilena. En el caso de la Norma Peruana y la Normativa Española, no se contempla un límite específico para este parámetro. La comparación con estas referencias permite identificar que las muestras evaluadas presentan valores elevados respecto de los criterios de calidad considerados.

Los resultados evidencian una alta presencia de impurezas, lo que constituye una limitación en la calidad física y el grado de acondicionamiento del vermicompost. Esta condición podría estar relacionada con las características de los materiales utilizados como materia prima y con la eficiencia de las etapas de separación y tamizado. En este sentido, Verde (2024), al evaluar compost y vermicompost producidos a partir de residuos orgánicos municipales, encontró diferencias en diversos indicadores de calidad y empleó las normas peruana, chilena y mexicana para su clasificación, evidenciando la importancia de evaluar conjuntamente las características del producto y los criterios normativos. Asimismo, Lin et al. (2024) señalaron que las características de las materias primas y su biodegradabilidad influyen en la calidad del vermicompost obtenido. En concordancia con ello, los elevados valores registrados en el presente estudio resaltan la

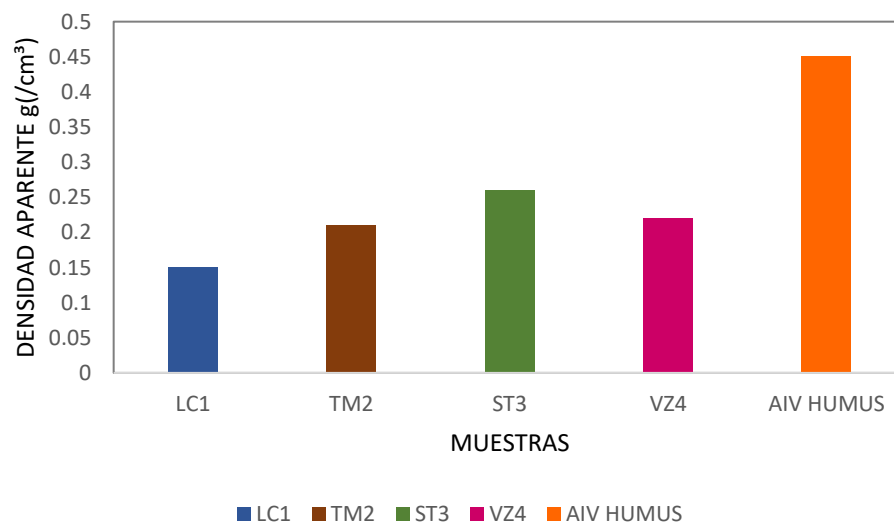
necesidad de fortalecer la selección de los materiales y las etapas de zarandeo o tamizado, con el fin de mejorar la calidad física del producto final.

4.1.1.2. *Densidad aparente.*

De acuerdo con la Tabla 6, se presentan los resultados de la densidad aparente (g/cm^3) de las muestras de vermicompost evaluadas. La muestra procedente de Santa (ST3) presentó el mayor valor, con 0.26 g/cm^3 , seguida de Vinzos (VZ4) con 0.22 g/cm^3 y Tangay Medio (TM2) con 0.21 g/cm^3 . La muestra de La Carbonera (LC1) registró el menor valor, con 0.15 g/cm^3 . Por su parte, la muestra comercial de referencia AIV HUMUS presentó una densidad aparente de 0.45 g/cm^3 , superior a los valores registrados en las cuatro muestras de vermicompost evaluadas. Los resultados se presentan en la Figura 3.

Figura 3

Densidad aparente del vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas y de la muestra comercial de referencia AIV HUMUS.



Las cuatro muestras de vermicompost presentaron valores de densidad aparente entre 0.15 y 0.26 g/cm³, mientras que la muestra comercial de referencia AIV HUMUS registró un valor de 0.45 g/cm³. En consecuencia, las muestras procedentes de las zonas evaluadas presentaron una menor densidad aparente respecto al producto comercial.

Al comparar los resultados con la NTP 201.207:2020 y N.Ch.2880:2015 (Tabla 1), todas las muestras de vermicompost cumplen con el valor establecido de ≤ 0.70 g/cm³. En cambio, respecto a la NMX-FF-109-SCFI-2008 (Tabla 3), los valores obtenidos se ubicaron por debajo del rango establecido de 0.40–0.90 g/cm³ y no cumple este rango. Por otra parte, la normativa española considerada en la investigación no establece un criterio específico para este parámetro.

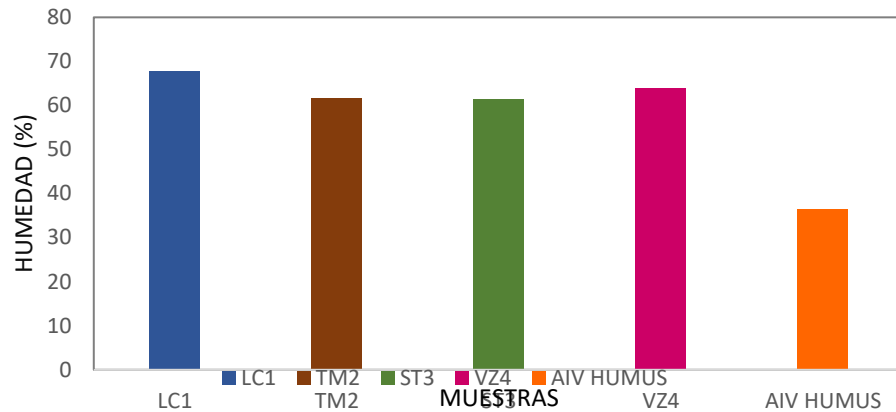
Los valores obtenidos fueron inferiores a los 0.39 g/cm³ reportados por Wan et al. (2023) en vermicompost elaborado a partir de estiércol bovino. Esta diferencia indica que las muestras evaluadas presentan una menor masa por unidad de volumen, lo que puede estar relacionado con diferencias en la composición y características físicas de las materias primas utilizadas, así como con las condiciones del proceso de vermicompostaje. Por tanto, el menor valor de densidad aparente observado en las muestras del presente estudio constituye una característica física del material, pero no permite determinar por sí solo una mayor o menor calidad del vermicompost, por lo que debe interpretarse juntamente con los demás parámetros evaluados.

4.1.1.3. Humedad.

De acuerdo con la Tabla 6, la muestra de La Carbonera (LC1) presentó el mayor contenido de humedad, con 67.82 %, seguida de Vinzos (VZ4) con 63.95 %, Tangay Medio (TM2) con 61.57 % y Santa (ST3) con 61.47 %. En contraste, la muestra comercial de referencia AIV HUMUS presentó un contenido de humedad de 36.39 %. Los resultados se presentan en la Figura 4.

Figura 4

Contenido de humedad del vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas y de la muestra comercial de referencia AIV HUMUS.



Al comparar estos valores con los criterios establecidos en las normas consideradas, las cuatro muestras de vermicompost superaron los límites establecidos. La NTP 201.207:2020 establece un rango de humedad de 15-35 %, mientras que la NMX-FF-109-SCFI-2008 establece un rango de 20-40 %. Asimismo, el Real Decreto 506/2013 de España establece un contenido de humedad inferior al 40 %, mientras que la Norma Chilena establece un intervalo de 25-40 %. Por tanto, los valores registrados en las muestras evaluadas (61.47-67.82 %) excedieron los rangos establecidos por estas normas. En cambio, la muestra comercial AIV HUMUS (36.39 %) se encontró dentro de los rangos establecidos por las normas peruana, chilena y mexicana.

Los elevados contenidos de humedad registrados en las muestras evaluadas evidencian una mayor proporción de agua en el material respecto a la muestra comercial. Esta condición es relevante para la calidad y manejo del vermicompost, debido a que la humedad influye en la

actividad microbiana y en el desarrollo del proceso de descomposición. Hossen et al. (2022), al evaluar diferentes contenidos iniciales de humedad (60, 70 y 80 %) durante el vermicompostaje de estiércol bovino, encontraron diferencias en las características del producto final, resaltando la importancia del manejo de este factor durante el proceso. En el presente estudio, los contenidos de humedad final oscilaron entre 61.47 y 67.82 %, superando los límites establecidos para el producto final por las normas consideradas. Esta condición evidencia la necesidad de un adecuado control de la humedad durante el procesamiento y previo a la comercialización del vermicompost, a fin de favorecer condiciones apropiadas de manejo y calidad del producto.

4.2. Análisis de indicadores de potencial toxicidad del vermicompost

Las cuatro muestras de vermicompost recolectadas durante el proceso, así como la muestra comercial de referencia, fueron remitidas al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (LASPAF-UNALM) para la determinación de los parámetros relacionados con el potencial de toxicidad. Se determinaron las concentraciones de plomo (Pb), cromo (Cr) y cadmio (Cd), así como la conductividad eléctrica (CE) y la relación C/N, consideradas como indicadores complementarios para la evaluación de la calidad del vermicompost. Los resultados obtenidos fueron comparados con los valores y criterios establecidos en las normas consideradas en la investigación para Perú, México, Chile y España, según correspondió a cada parámetro. Los resultados de los análisis se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7

Resultados de los indicadores de potencial toxicidad del vermicompost comparados con los estándares nacionales e internacionales de calidad y la muestra comercial de referencia AIV HUMUS.

PARÁMETROS	RESULTADOS DE LAS MUESTRAS					ESTÁNDARES DE CALIDAD						
	LC1	TM2	ST3	VZ4	AIV HUMUS	Peruana	Mexicana NMX-FF-109-SCFI- 2008			Chilena NCh2880:2015		España
						NTP 201.207:2020	Extra	Primera	Segunda	Clase A	Clase B	Real Decreto 506/2013
CE (dS/m)	6.27	2.86	6.38	9.18	11.78	≤ 5	≤ 4	≤ 4	≤ 4	≤ 5	5 a ≤ 12	≤ 4
Relación C/N	15.91	12.86	12.23	11.4	15.06	10 a 25	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 25	≤ 30	< 20
Metales pesados:												
Plomo Pb (ppm)	15.45	13.05	15.1	14.38	16.49	≤ 150	-	-	-	≤ 45	220	-
Cromo Cr (ppm)	5.7	7.45	12.13	10.8	21.5	≤ 100	-	-	-	≤ 70	100	-
Cadmio Cd (ppm)	1.45	1.03	1.13	1.63	0.81	≤ 1	-	-	-	≤ 0.7	≤ 9	-

4.2.1. Indicadores de potencial toxicidad

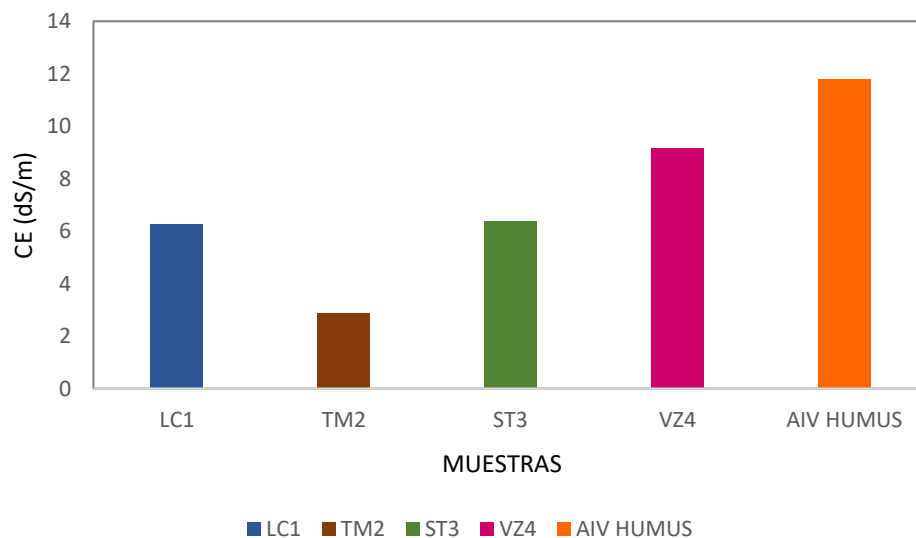
El procesamiento de los resultados de los análisis químicos se realizó utilizando histogramas

4.2.1.1. Sales solubles (conductividad eléctrica).

De acuerdo con la Tabla 7, la conductividad eléctrica (CE) presentó diferencias entre las muestras de vermicompost evaluadas. Vinzos (VZ4) registró el mayor valor entre las muestras de vermicompost, con 9.18 dS/m, seguida de Santa (ST3) con 6.38 dS/m y La Carbonera (LC1) con 6.27 dS/m. Tangay Medio (TM2) presentó el menor valor, con 2.86 dS/m. Por su parte, la muestra comercial de referencia AIV HUMUS registró 11.78 dS/m, siendo el valor más elevado. Los resultados se presentan en la Figura 5.

Figura 5

Conductividad eléctrica del vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas y de la muestra comercial de referencia AIV HUMUS.



La conductividad eléctrica presentó una marcada variación entre las muestras evaluadas. TM2 (2.86 dS/m) registró el menor valor, mientras que VZ4 (9.18 dS/m), ST3 (6.38 dS/m) y LC1 (6.27 dS/m) presentaron valores superiores. La muestra comercial AIV HUMUS (11.78 dS/m) alcanzó la mayor conductividad. Esta variación evidencia diferencias en la cantidad de especies iónicas solubles presentes en los materiales evaluados.

La conductividad eléctrica constituye un indicador indirecto de la concentración de sales solubles del vermicompost. Durante la transformación de los residuos orgánicos, la mineralización puede favorecer la liberación de nutrientes en formas solubles, entre ellos NH_4^+ , NO_3^- , H_2PO_4^- y K^+ , contribuyendo al incremento de la CE. Un estudio reciente sobre las propiedades fisicoquímicas de vermicompost elaborado con diferentes residuos agrícolas y estiércol avícola relacionó las diferencias de CE con la liberación de estas especies iónicas durante la mineralización de los materiales (Abebe et al., 2026).

Asimismo, la CE puede variar considerablemente según el material utilizado para producir el vermicompost. Saba et al. (2023) encontraron diferencias en la conductividad eléctrica entre mezclas de vermicompost y señalaron que el incremento de la CE estuvo relacionado con la liberación de sales solubles, entre ellas compuestos de amonio. En el presente estudio, el laboratorio también determinó Na, K, Ca y Mg; sin embargo, debido a que la CE representa el efecto conjunto de las especies iónicas presentes y no permite identificar qué ion contribuye individualmente a su valor, no es posible atribuir la elevada conductividad de una muestra a una sal específica.

Desde el punto de vista agronómico, los resultados adquieren especial importancia porque VZ4, ST3, LC1 y AIV HUMUS presentaron valores de CE superiores a 5 dS/m, mientras que TM2

registró 2.86 dS/m. Elissen et al. (2024) reportaron valores de CE de hasta 10.67 dS/m en vermicompost elaborado a partir de residuos gastronómicos y observaron efectos negativos sobre la germinación y el crecimiento vegetal, relacionando estos efectos con el elevado contenido de sustancias solubles del material. En comparación, AIV HUMUS (11.78 dS/m) presentó incluso un valor superior al máximo reportado por dicho estudio, mientras que VZ4 se encontró en un nivel cercano. Por ello, las muestras con mayor CE deben considerarse con mayor precaución para su aplicación agrícola, especialmente en cultivos sensibles a la salinidad.

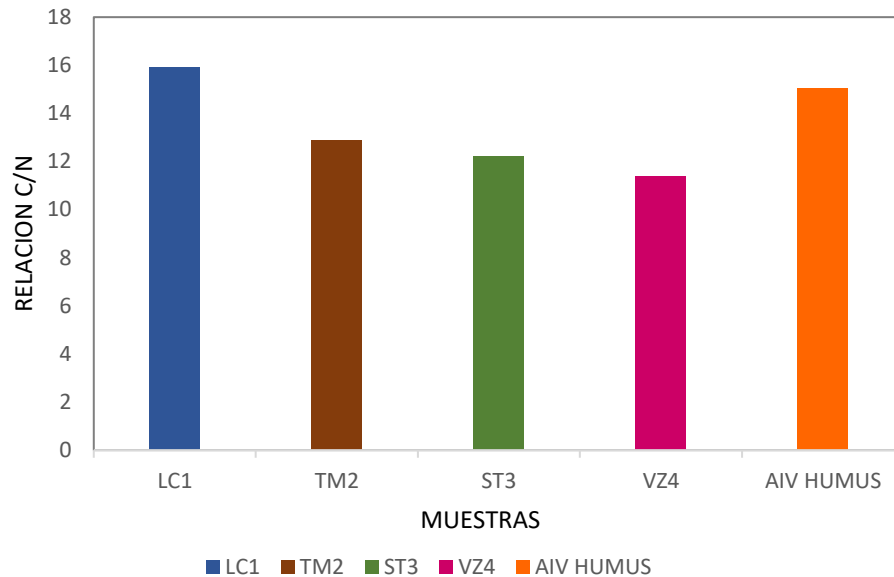
En conjunto, TM2 presentó la condición más favorable respecto al contenido de sales solubles, mientras que VZ4, ST3, LC1 y AIV HUMUS mostraron una mayor carga salina. Estos resultados refuerzan la importancia de considerar la CE como un indicador de calidad y de posible riesgo de salinidad del vermicompost, sin interpretarla de manera aislada de los demás parámetros fisicoquímicos.

4.2.1.2. Relación Carbono/Nitrógeno.

Según los resultados presentados en la Tabla 7, la relación carbono/nitrógeno (C/N) presentó valores entre 11.40 y 15.91 en las muestras de vermicompost evaluadas. La muestra de La Carbonera (LC1) registró el mayor valor (15.91), seguida de AIV HUMUS con 15.06 y Santa (ST3) con 12.23. Por su parte, Tangay Medio (TM2) presentó un valor de 12.86, mientras que Vinzos (VZ4) registró el menor valor, con 11.40. Estos resultados se muestran en la Figura 6.

Figura 6

Relación carbono/nitrógeno (C/N) del vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas y de la muestra comercial de referencia AIV HUMUS.



La relación C/N es un indicador utilizado para evaluar la transformación y estabilización de la materia orgánica durante el vermicompostaje, debido a que refleja los cambios relativos del carbono y nitrógeno a lo largo del proceso. Una disminución de esta relación puede producirse conforme avanza la descomposición de la materia orgánica, principalmente por la pérdida de carbono en forma de CO₂ y por las transformaciones del nitrógeno durante la actividad microbiana. Estudios recientes han demostrado que la relación C/N disminuye durante el vermicompostaje y que su comportamiento está relacionado con la transformación de la materia orgánica y la calidad del producto final (Dume et al., 2023; Dvořáčková et al., 2025).

En el presente estudio, los valores relativamente bajos obtenidos, particularmente en VZ4 (11.40) y TM2 (12.86), evidencian una relación C/N reducida, mientras que LC1 (15.91) presentó el valor más elevado. Sin embargo, estas diferencias no permiten afirmar por sí solas que una

muestra sea más madura que otra, debido a que la estabilidad y madurez del vermicompost deben evaluarse conjuntamente con otros parámetros fisicoquímicos y biológicos. De hecho, investigaciones recientes muestran que la relación C/N puede variar según el tipo y la composición de los materiales empleados como sustrato. Dugassa y Worku (2025) reportaron relaciones C/N entre 6.1 y 15.4 en vermicompost elaborado a partir de diferentes materias primas, encontrando diferencias significativas entre los materiales utilizados. Los autores observaron que la mezcla de diferentes materias primas también modificó la relación C/N del vermicompost obtenido.

Al comparar los resultados con los criterios normativos considerados en esta investigación, todas las muestras se encuentran dentro de los rangos establecidos por la NTP 201.207:2020, la NMX-FF-109-SCFI-2008 y la NCh 2880:2015, según los valores de referencia consignados en las Tablas 1, 2 y 3. Por tanto, respecto exclusivamente a la relación C/N, ninguna de las muestras presentó valores que indiquen incumplimiento de los criterios establecidos.

Los resultados también guardan relación con lo reportado por Usta y Guven (2024), quienes obtuvieron relaciones C/N entre 12.60 y 13.66 en vermicompost elaborado a partir de diferentes mezclas de residuos orgánicos mediante un sistema de flujo continuo. Estos autores señalaron que los productos obtenidos presentaron características fisicoquímicas compatibles con los criterios de calidad evaluados. Asimismo, Dume et al. (2023) encontraron que el vermicompost presentó una reducción de la relación C/N durante el proceso y mejores características de madurez respecto al compost convencional, destacando la importancia de esta relación como indicador del proceso de transformación de la materia orgánica.

En conjunto, las muestras evaluadas presentaron valores de C/N entre 11,40 y 15,91, los cuales cumplen con los criterios normativos considerados. Por ello, la relación C/N no constituye

un indicador desfavorable de calidad en las muestras estudiadas; no obstante, su interpretación debe realizarse juntamente con la conductividad eléctrica y las concentraciones de Pb, Cr y Cd, debido a que estos parámetros permiten una valoración más completa de la calidad y del potencial toxicidad del vermicompost.

4.2.1.3. Metales pesados.

Los metales pesados constituyen indicadores relevantes para evaluar la calidad y el potencial de toxicidad de los productos obtenidos mediante vermicompostaje, debido a que su concentración y disponibilidad pueden modificarse durante el proceso en función de las características de los materiales utilizados y de las condiciones de manejo. Una revisión basada en 109 estudios evidenció que el vermicompostaje puede modificar la concentración y la biodisponibilidad de diferentes metales pesados y que factores como la humedad, el pH, la relación C/N, la especie de lombriz y las condiciones del proceso influyen en su comportamiento (Jiang et al., 2024).

Asimismo, investigaciones realizadas específicamente durante procesos de vermicompostaje han evaluado la transformación de elementos potencialmente tóxicos como Pb, Cd y Cr, observándose que su comportamiento puede variar de acuerdo con la composición del material de alimentación y las condiciones del proceso (Dume et al., 2022; Pegu et al., 2024).

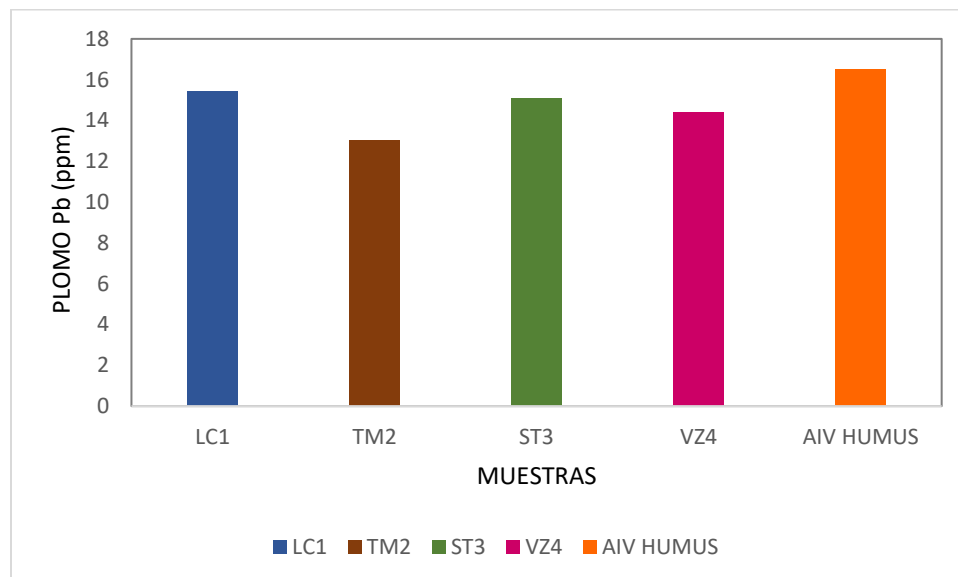
En este contexto, el presente estudio evaluó las concentraciones de plomo (Pb), cromo (Cr) y cadmio (Cd) en las muestras de vermicompost recolectadas y en la muestra comercial de referencia, cuyos resultados se presentan a continuación.

A. Plomo

Según los resultados presentados en la Tabla 7, las concentraciones de plomo (Pb) en las muestras de vermicompost oscilaron entre 13.05 y 15.45 ppm, mientras que la muestra comercial de referencia AIV HUMUS presentó 16.49 ppm. La mayor concentración correspondió a AIV HUMUS, seguida de la muestra de La Carbonera (LC1), con 15.45 ppm, Santa (ST3), con 15.10ppm, Vinzos (VZ4), con 14.38 ppm y Tangay Medio (TM2), con 13.05 ppm, que presentó el menor valor.

Figura 7

Concentración de plomo (Pb) en el vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas y en la muestra comercial de referencia AIV HUMUS.



Los resultados evidencian la presencia de Pb en todas las muestras analizadas, aunque con diferencias relativamente pequeñas entre los vermicompost procedentes de las distintas zonas. La concentración registrada en AIV HUMUS fue aproximadamente 26 % mayor que la

correspondiente a TM2, mientras que entre las muestras del Valle del Santa la diferencia entre el valor máximo y mínimo fue de 2.4 ppm. Estas diferencias muestran variabilidad en el contenido de Pb de los materiales evaluados; sin embargo, no permiten establecer por sí solas el origen del metal, debido a que en el presente estudio no se determinó la concentración de Pb en los materiales utilizados inicialmente como sustrato.

Al comparar los resultados con los criterios normativos considerados en la investigación, todas las muestras presentaron concentraciones de Pb inferiores al límite de 150 ppm establecido por la NTP 201.207:2020; y al límite de 45 ppm y 220 ppm establecido por la NCh 2880:2015 en su Clase A y Clase B. En consecuencia, respecto específicamente al contenido total de Pb, las cinco muestras evaluadas se encuentran dentro de los valores de referencia considerados en este estudio. Por otro lado, la NMX-FF-109-SCFI-2008 y el Real Decreto 506/2013 no establecen, para el criterio utilizado en esta investigación, un límite específico de Pb comparable con los valores anteriores.

Los resultados son consistentes con lo señalado por Dume et al. (2022), quienes evaluaron el comportamiento de elementos potencialmente tóxicos, entre ellos Pb, durante el vermicompostaje y observaron que su concentración puede modificarse según las características y proporciones de los materiales empleados. Estos autores también evidenciaron que el vermicompostaje puede influir en la concentración de elementos potencialmente tóxicos, por lo que la composición del sustrato constituye un factor importante al interpretar su presencia en el producto final.

En conjunto, las concentraciones de Pb determinadas en las muestras estudiadas no superaron los límites establecidos por la NTP 201.207:2020 ni por la NCh 2880:2015. No obstante,

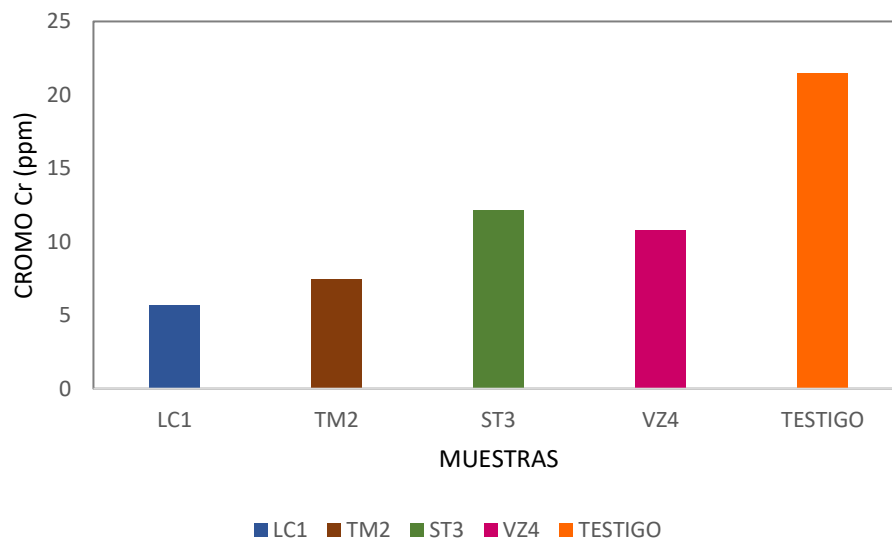
el cumplimiento de estos límites debe interpretarse como evidencia de conformidad respecto al parámetro evaluado, y no como ausencia absoluta de riesgo, debido a que la evaluación del potencial de toxicidad.

B. Cromo

Según los resultados se observa variación en la concentración de cromo (Cr) entre las muestras de vermicompost evaluadas. El vermicompost comercial AIV HUMUS presentó la mayor concentración, con 21.50 ppm, mientras que las muestras procedentes del Valle del Santa registraron valores de 12.13 ppm en Santa (ST3), 10.80 ppm en Vinzos (VZ4), 7.45 ppm en Tangay Medio (TM2) y 5,70 ppm en La Carbonera (LC1).

Figura 8

Concentración de cromo (Cr) en el vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas y en la muestra comercial de referencia AIV HUMUS.



La presencia de Cr en las muestras puede estar relacionada con las características de los materiales utilizados para elaborar el vermicompost. Durante el vermicompostaje, el contenido y la disponibilidad de los metales pueden modificarse por la acción conjunta de las lombrices y los microorganismos; en particular, se ha observado una reducción del contenido total y de la biodisponibilidad del Cr durante este proceso (Jiang et al., 2024).

De acuerdo con la NTP 201.207:2020, el límite máximo establecido para Cr es de 100 ppm en base seca. Asimismo, la NCh 2880:2015 establece límites para el cromo en 70 ppm y 100 ppm, tanto para su Clase A como para su Clase B. Al comparar los resultados obtenidos con los valores de referencia considerados en esta investigación, todas las muestras presentaron concentraciones de Cr inferiores a los límites establecidos. Por tanto, ninguna de las muestras presentó incumplimiento respecto al contenido de Cr según las normas utilizadas como referencia.

En conjunto, los resultados indican que el contenido de Cr se encuentra dentro del criterio normativo considerado. Sin embargo, debido a que en este estudio se determinó la concentración total de Cr, estos resultados permiten evaluar su contenido, pero no determinar directamente su toxicidad, ya que esta también depende de su forma química y biodisponibilidad (Zhang et al., 2025).

C. Cadmio

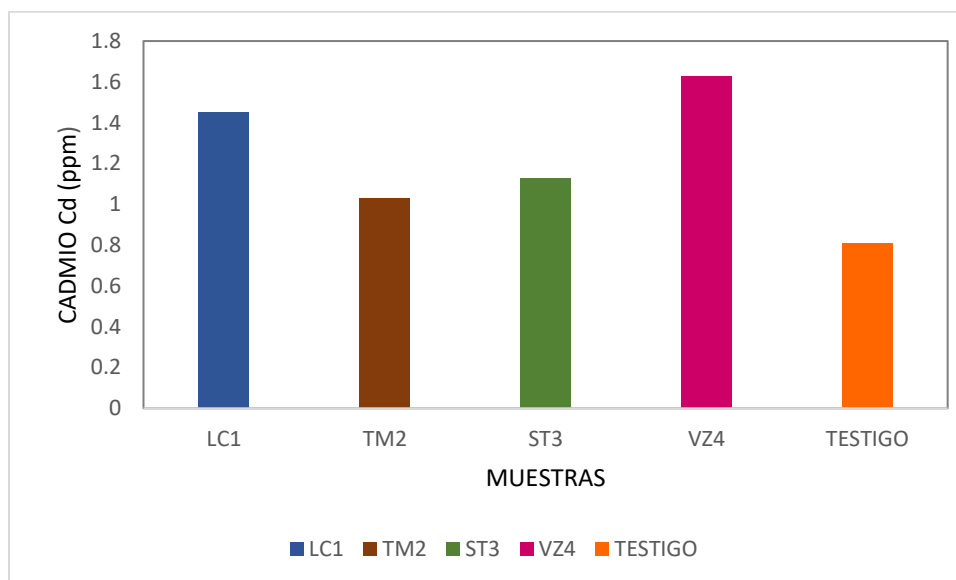
Según los resultados presentados en la Tabla 7, las concentraciones de cadmio (Cd) en las muestras de vermicompost oscilaron entre 0.81 y 1.63 ppm. La muestra de Vinzos (VZ4) presentó la mayor concentración, con 1.63 ppm, seguida de La Carbonera (LC1), con 1.45 ppm, Santa (ST3), con 1.13 ppm, y Tangay Medio (TM2), con 1.03 ppm. Por su parte, la muestra comercial AIV HUMUS registró la menor concentración, con 0.81 ppm. Estas corresponden a diferencias

observadas entre las muestras evaluadas. La representación esquemática de estos resultados se muestra en la Figura 9.

La presencia de Cd resulta relevante para la evaluación de la calidad del vermicompost debido a que los metales pesados constituyen uno de los parámetros utilizados para valorar su potencial de afectación ambiental. Un metaanálisis de 109 estudios sobre vermicompostaje confirmó que las condiciones iniciales del sustrato y del proceso influyen en el comportamiento de los metales pesados y en su toxicidad, destacando además que la biodisponibilidad de los metales puede cambiar durante el vermicompostaje (Jiang et al., 2024).

Figura 9

Concentración de cadmio (Cd) en el vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas y en la muestra comercial de referencia AIV HUMUS.



De acuerdo con la NTP 201.207:2020, el límite máximo establecido para cadmio (Cd) es de 1 ppm en base seca. Asimismo, la NCh 2880:2015 establece límites diferenciados según la clase

de vermicompost: $\leq 0,70$ ppm para la clase A y ≤ 9 ppm para la clase B. Al comparar estos criterios con los resultados obtenidos, las muestras VZ4 (1,63 ppm), LC1 (1,45 ppm), ST3 (1,13 ppm) y TM2 (1,03 ppm) superaron el límite de 1 ppm establecido por la NTP 201.207:2020. Por su parte, AIV HUMUS presentó una concentración de 0,81 ppm, inferior al límite de 1 ppm de la NTP, pero superior al valor máximo de 0,70 ppm establecido para la clase A de la NCh 2880:2015. En consecuencia, las cuatro muestras de las unidades productivas seleccionadas excedieron el límite de la normativa peruana, mientras que las cinco muestras evaluadas, incluido AIV HUMUS, superaron el criterio correspondiente a la clase A de la normativa chilena. Sin embargo, todas las muestras se encontraron por debajo del límite de 9 ppm establecido para la clase B. Estos resultados evidencian la importancia de considerar el cadmio como indicador de potencial toxicidad en la evaluación de la calidad del vermicompost.

En las cuatro muestras procedentes de las unidades productivas seleccionadas, las concentraciones de Cd fueron superiores al límite de 1 ppm establecido por la NTP 201.207:2020. Por su parte, la muestra comercial de referencia AIV HUMUS presentó una concentración de 0,81 ppm, inferior a dicho límite; sin embargo, superó el límite de 0,70 ppm establecido para la clase A de la NCh 2880:2015 y se mantuvo por debajo del límite de 9 ppm correspondiente a la clase B. En este contexto, el cadmio constituye un indicador de potencial toxicidad que requiere especial atención en el vermicompost evaluado, particularmente en las muestras procedentes de las cuatro unidades productivas seleccionadas.

Las diferencias observadas entre las muestras podrían estar relacionadas con las características y composición de las materias primas empleadas en la elaboración del vermicompost. La evidencia científica indica que el comportamiento de los metales pesados durante el vermicompostaje está condicionado por las características iniciales de los materiales y

por factores fisicoquímicos del proceso. En particular, Zhang et al. (2025) evaluaron específicamente Cd y otros metales pesados durante el vermicompostaje y encontraron que su contenido total y sus formas químicas pueden modificarse durante el proceso, además de identificar al pH, nitrógeno, carbono orgánico y relación C/N entre los factores que influyen en su migración.

Por ello, los resultados obtenidos permiten identificar un potencial riesgo asociado a la presencia de cadmio, principalmente en las muestras procedentes de las cuatro unidades productivas seleccionadas que superaron el límite de 1 ppm establecido por la NTP 201.207:2020. No obstante, estas concentraciones corresponden al Cd total presente en el vermicompost, por lo que su comparación con los límites normativos permite evaluar el cumplimiento respecto a su contenido, pero no determinar por sí sola la fracción de Cd que podría encontrarse disponible para ser absorbida por las plantas. Esto se debe a que el comportamiento y la movilidad de los metales en el vermicompost también dependen de la forma química en la que se encuentran. En este sentido, Zhang et al. (2025) señalan que durante el vermicompostaje pueden producirse cambios en la distribución de las diferentes formas de los metales pesados, modificando su comportamiento en el material final.

Por otra parte, la Organización Mundial de la Salud (2019) menciona que la exposición humana al cadmio ocurre principalmente por vía alimentaria (granos, cereales, vegetales y tubérculos cultivados en suelos contaminados), que este metal pesado ejerce efectos tóxicos sobre los riñones, el sistema esquelético y el sistema respiratorio, y está clasificado como carcinógeno humano.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Calidad física

- Se determinó el porcentaje de impurezas del vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas, obteniéndose valores entre 43.20 % y 53.91 %. Todas las muestras superaron los límites establecidos por las normativas consideradas como referencia, evidenciando una calidad física desfavorable respecto al contenido de impurezas.
- Se determinó la densidad aparente del vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas, obteniéndose valores de 0.26 g/cm³ en Santa (ST3), 0.22 g/cm³ en Vinzos (VZ4), 0.21 g/cm³ en Tangay Medio (TM2) y 0.15 g/cm³ en La Carbonera (LC1). Todas las muestras se encontraron dentro de los rangos establecidos por la norma peruana, evidenciando una buena calidad física según esta norma; pero ninguna cumple el estándar para la normativa mexicana.
- Se determinó el porcentaje de humedad del vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas, obteniéndose valores de 67.82 % en La Carbonera (LC1), 63.95 % en Vinzos (VZ4), 61.57 % en Tangay Medio (TM2) y 61.47 % en Santa (ST3). Todas las muestras superaron los límites máximos establecidos por las normativas consideradas como referencia, evidenciando una condición desfavorable respecto al contenido de humedad.

Indicadores de potencial toxicidad

- Se determinó la relación carbono/nitrógeno (C/N) en las muestras de vermicompost, obteniéndose valores de 15,91 en La Carbonera (LC1), 12,23 en Santa (ST3), 12,86 en Tangay Medio (TM2) y 11,40 en Vinzos (VZ4). Estos valores se encontraron dentro de los rangos establecidos por las normas consideradas, por lo que la relación C/N no evidenció incumplimiento respecto a los criterios establecidos. No obstante, este parámetro debe interpretarse conjuntamente con otros indicadores de calidad para valorar el grado de estabilización y madurez del vermicompost.
- Se determinó la conductividad eléctrica (CE) del vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas, obteniéndose valores de 9,18 dS/m en Vinzos (VZ4), 6,38 dS/m en Santa (ST3), 6,27 dS/m en La Carbonera (LC1) y 2,86 dS/m en Tangay Medio (TM2). De acuerdo con los criterios normativos considerados como referencia, únicamente TM2 se encontró dentro del límite establecido, mientras que las demás muestras presentaron valores elevados, evidenciando un mayor contenido de sales solubles y un potencial riesgo asociado a la salinidad para su uso agrícola.
- Se determinaron las concentraciones de Pb, Cr y Cd del vermicompost producido en las cuatro unidades productivas seleccionadas. Las concentraciones de Pb y Cr se encontraron por debajo de los límites establecidos en las normativas consideradas como referencia. En cuanto al Cd, las cuatro muestras superaron el límite de 1 ppm establecido por la NTP 201.207:2020 y el límite de 0.70 ppm correspondiente a la clase A de la NCh 2880:2015, aunque se mantuvieron por debajo del límite de 9 ppm establecido para la clase B. Por tanto, el Cd constituye un indicador de potencial toxicidad que requiere especial atención en el vermicompost evaluado.

5.2. Recomendaciones

- Considerando el alto porcentaje de impurezas, se recomienda al productor mejorar el proceso de selección de los residuos orgánicos para el vermicompostaje e implementar un proceso de cernido óptimo durante la cosecha, para obtener un producto que cumpla con los estándares de calidad establecidos en las normas.
- Debido al alto porcentaje de humedad en las muestras, se recomienda a los productores implementar un monitoreo sistemático de la humedad en el proceso del vermicompostaje, reduciendo la frecuencia de riego según las condiciones climáticas, además realizar remociones manuales suaves en las capas superiores para favorecer la evaporación del agua sin perturbar la actividad biológica de la lombriz. Y así asegurar su calidad física y acatar las normas de referencia.
- Realizar un monitoreo periódico de la conductividad eléctrica (CE) del agua, las materias primas y del vermicompost durante su proceso, especialmente en aquellos sistemas que presenten valores elevados, con la finalidad de identificar posibles fuentes de acumulación de sales solubles y reducir el riesgo asociado a la salinidad del producto final.
- Fortalecer la selección y caracterización de las materias primas utilizadas para elaborar el vermicompost, evitando incorporar materiales cuya procedencia o calidad no sea conocida y priorizando aquellos que hayan sido previamente evaluados respecto a su contenido de metales pesados.
- Implementar controles periódicos de Pb, Cr y, especialmente, Cd en las materias primas y en el vermicompost terminado, debido a que las concentraciones de Cd obtenidas en las muestras del Valle del Santa superaron el criterio normativo considerado. Estos controles

permitirían detectar oportunamente excedencias y evitar el uso agrícola de materiales que no cumplan con los límites establecidos.

- Realizar investigaciones posteriores para identificar las posibles fuentes de Cd en las zonas productoras evaluadas, considerando factores como las materias primas utilizadas, el agua de riego, los residuos agrícolas y las características del entorno. Asimismo, sería conveniente evaluar la fracción disponible o móvil del Cd, ya que el presente estudio determinó su concentración total y, por tanto, no permite establecer directamente su biodisponibilidad para los cultivos.
- Realizar estudios complementarios de la calidad del vermicompost mediante indicadores adicionales de estabilidad, madurez y disponibilidad de metales, con el propósito de complementar la evaluación realizada en esta investigación y obtener una valoración más integral de su aptitud para uso agrícola.
- Fortalecer la capacitación técnica de los productores en selección de materias primas, control de humedad, manejo de sales, cernido, almacenamiento y monitoreo de metales pesados, promoviendo buenas prácticas de producción que contribuyan a obtener vermicompost que cumpla con los criterios nacionales e internacionales de calidad.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abedin, M. J., Cotter, J., & Meharg, A. A. (2002). Arsenic uptake and accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) irrigated with contaminated water. *Plant and Soil*, 240, 311–319. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1015792723288>
- Acevedo, I., Sánchez, A., & Mendoza, B. (2021). Evaluación del nivel de degradación del suelo en dos sistemas productivos en la depresión de Quíbor. I. Análisis multivariado. *Bioagro*, 33(1), 59–66. <https://revistas.uclave.org/index.php/bioagro/article/view/3023>
- Acevedo, P., Taboada, O., & Cruz, J. (2020). Caracterización de fertilizantes orgánicos y estiércoles para uso como componentes de sustrato. *Acta Agronómica*, 69(3), 234–240. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-28122020000300234&script=sci_arttext
- Adriano, D. C. (2001). *Trace elements in terrestrial environments: Biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals*. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-0-387-21510-5>
- Alloway, B. J. (2013). *Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability* (3rd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7>
- Alvarado Ochoa, S. (2008). *Dinámica de la materia orgánica en suelos agrícolas*. IX Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2518>
- Amezcuá-Romero, J. C., & Lara-Flores, M. (2017). El zinc en las plantas. *Ciencia*, 68(3), 1–8. <https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/index.php/vol-68-numero-3/421-el-zinc-en-las-plantas>

- Anawar, H. M., Garcia-Sanchez, A., & Santa-Regina, I. (2008). Evaluation of various chemical extraction methods to estimate plant-available arsenic in mine soils. *Chemosphere*, 70(8), 1459–1467. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.07.008>
- Añez, B., & Espinoza, W. (2003). Respuestas de la lechuga y del repollo a la fertilización química y orgánica. *Revista Forestal Venezolana*, 47(2), 73–82. <https://biblat.unam.mx/fr/revista/revista-forestal-venezolana/articulo/respuestas-de-la-lechuga-y-el-repollo-a-la-fertilizacion>
- Aparna, C., Saritha, P., Himabindu, V., & Anjaneyulu, Y. (2008). Techniques for evaluation of maturity for composts of industrially contaminated lake sediments. *Waste Management*, 28(10), 1773–1784. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.07.008>
- Arthur, E. (2017). Rapid estimation of cation exchange capacity from soil water content. *European Journal of Soil Science*, 68(3), 365–373. <https://doi.org/10.1111/ejss.12418>
- Ayma, S. (2020). *Análisis comparativo de diferentes fuentes de estiércoles y su efecto combinado en la elaboración de humus de lombriz (Eisenia foetida)* [Tesis de pregrado, Universidad José Carlos Mariátegui]. <https://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/20.500.12819/958>
- Saba, Z., Magwaza, L. S., Sithole, N. J., Mditshwa, A., & Odindo, A. O. (2023). Physico-chemical analysis of vermicompost mixtures. *Agronomy*, 13(4), 1056. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041056>
- Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. *Bioresource Technology*, 100(22), 5444–5453. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>

- Bonilla, C., Díaz, J., Gil, C., Girón, K., León, M., Ortiz, O., & Suarez, A. (2020). Dinámica de la descomposición de residuos orgánicos. *Suelos Ecuatoriales*, 50(1–2), 31–39.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7831540>
- Boquete, E. J. (2021). *Evaluación de la fitotoxicidad de distintas concentraciones de té de vermicompost elaborado en base a residuos vegetales en un ámbito urbano* [Tesis de maestría, Universidad de Buenos Aires].
<http://ri.agro.uba.ar/greenstone3/library/collection/tesis/document/2021boqueteeduardojavier>
- Bueno, P., Díaz, M., & Cabrera, F. (2007). Factores que afectan al proceso de compostaje. En C. Moreno & R. Moral (Eds.), *Compostaje* (pp. 93–110). Mundi-Prensa.
<https://digital.csic.es/handle/10261/20837>
- Bustamante, M., Paredes, C., Morales, J., Mayoral, A., & Moral, R. (2009). Study of the composting process of winery and distillery waste using multivariate techniques. *Bioresource Technology*, 100(20), 4766–4772.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.04.033>
- Camiletti, J. (2016). *Estudio del vermicompostaje de compost de residuos orgánicos de distinta naturaleza* [Tesis de maestría, Universidad Miguel Hernández de Elche].
<https://core.ac.uk/download/pdf/235098224.pdf>
- Campitelli, P. (2010). *Calidad de compost y vermicompuestos para su uso como enmiendas orgánicas en suelos agrícolas* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Córdoba].
<https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/4726/Campitelli%2C%20Paola.%20Calidad%20de%20compost%20y%20vermicompuestos%20para%20su%20uso...%20.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

- Canellas, L., & Olivares, F. (2014). Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 1(3), 1–11. <https://doi.org/10.1186/2196-5641-1-3>
- Canellas, L. P., Canellas, N. O., Souza, L. E., Olivares, F. L., & Piccolo, A. (2020). Plant chemical priming by humic acids. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 7, 12. <https://doi.org/10.1186/s40538-020-00178-4>
- Castañeda, M., Zúñiga, D., & López, M. (2018). Evaluación de la calidad de vermicomposta comercializada en el altiplano mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(2), 301–314. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1318>
- Kramer, I., & Mau, Y. (2023). Review: Modeling the effects of salinity and sodicity in agricultural systems. *Water Resources Research*, 59(6), e2023WR034750. <https://doi.org/10.1029/2023WR034750>
- Chugchilan, G., & Zambrano, K. (2021). *Producción de humus de lombriz mediante el aprovechamiento del raquis del orito (Musa acuminata) en el cantón La Maná, recinto San José del Estero* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. <https://repositorio.utc.edu.ec/items/fac4f98f-40ae-4098-90f9-2647e7cb2bac>
- Comité Técnico de Normalización Nacional de Productos Agrícolas y Pecuarios. (2008). *NMX-FF-109-SCFI-2008: Humus de lombriz (lombricomposta): Especificaciones y métodos de prueba*. Diario Oficial de la Federación. https://es.scribd.com/document/540193896/nmx-ff-109-scfi-2008#google_vignette

- Compagnoni, L., & Putzolu, G. (2018). *Cría moderna de las lombrices y utilización rentable del humus*. Mundi-Prensa.
- De Anda, A. M. (2024). *Modelo del efecto de la relación carbono/nitrógeno de los residuos orgánicos urbanos en la calidad de la composta* [Tesis doctoral, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste]. <http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/3221>
- De la Cruz, M. (2023). *Humus de lombriz roja californiana (Eisenia fetida) a partir de la combinación de residuos orgánicos*. *Erevna Research Reports*, 1(1), 14–28. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10076021>
- Di Toppi, L. S., & Gabbrielli, R. (1999). Response to cadmium in higher plants. *Environmental and Experimental Botany*, 41(2), 105–130. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(98\)00058-6](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(98)00058-6)
- Docampo, R. (s. f.). La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola. *Serie Actividades de Difusión*, 687, 81–89. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1199/1/128221131113111309.pdf>
- Domínguez, J., Lazcano, C., & Gómez, M. (2010). Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas. Aportes para la elaboración de un concepto objetivo. *Acta Zoológica Mexicana*, 26(2), 359–371. <https://doi.org/10.21829/azm.2010.262900>
- Dou, S., Shan, J., Song, X., Cao, R., Wu, M., Li, C., & Guan, S. (2020). Are humic substances soil microbial residues or unique synthesized compounds? A perspective on their distinctiveness. *Pedosphere*, 30(2), 159–167. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60001-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60001-7)

- Dueñas, J., & Intriago, I. (2022). Contenido de metales pesados (Cu, Pb, Ni, Cd) en abonos orgánicos y las materias primas para su elaboración. *La Técnica*, 12(1), 62–67. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8393250>
- Dugassa, M., & Worku, W. (2025). Evaluation of selected physical, chemical properties and nutrient quality of vermicompost from different feedstocks. *Environmental Research Communications*, 7(4), 045001. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/adc3f0>
- Dume, B., Hanc, A., Švehla, P., Michal, P., Chane, A. D., & Nigussie, A. (2023). Composting and vermicomposting of sewage sludge at various C/N ratios: Technological feasibility and end-product quality. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 263, 115255. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115255>
- Dume, B., Hanc, A., Švehla, P., Michal, P., Chane, A. D., & Nigussie, A. (2022). Vermicomposting technology as a process able to reduce the content of potentially toxic elements in sewage sludge. *Agronomy*, 12(9), 2049. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092049>
- Eiza, M., Studdert, G. A., & Domínguez, G. (2006). Dinámica de la materia orgánica del suelo bajo agricultura continua: I. Materia orgánica total. *XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Universidad Nacional de Mar del Plata. <https://www.researchgate.net/publication/237373106>
- Eulloque, J. (2013). *Caracterización física, química, biológica y valoración agronómica del vermicompost de Eisenia foetida obtenido del contenido ruminal de bovino* [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional]. <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/12256>

- Fallas, R., & Escoto, A. (2007). *Reducción de la contaminación ambiental mediante la producción de lombricompost a partir de residuos orgánicos*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/516>
- FAO. (2017). *Composting and vermicomposting technologies for agricultural waste management*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Félix, J., Sañudo, R., Rojo, E., Martínez, R., & Olalde, V. (2008). Importancia de los abonos orgánicos. *Ra Ximhai*, 4(1), 57–68.
- Flores, E. (2024). *Producción de humus de lombriz roja californiana (Eisenia foetida) en diferentes sustratos y densidades de crianza* [Tesis de pregrado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/12968>
- Flores, G. J., & Venlasaga, G. (2021). *Influencia de la acidez del suelo en la capacidad de intercambio catiónico (Bases + CIC) de la microcuenca del río Atillo y Ozogoché, del Parque Nacional Sangay* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15339/1/236T0572.pdf>
- Flores, R. (2018). Efectos adversos de metales pesados en la agricultura de la cuenca baja del río Huaura-provincia Huaura 2017. *Ciencia y Tecnología*, 14(4), 119–131. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/2168>
- García, I., Pineda-Rodríguez, J. J., Totosa-Sánchez, A., & Gonzales-Gonzales, L. R. (2008). Evaluación de la presencia de metales pesados en compostas. *Ciencia y Tecnología*, 7(7), 91–99.

- Gilces, M., Sánchez, L., Macías, G., & Lafuente, F. (2024). Residuos orgánicos en la reproducción de *Eisenia foetida* y en calidad de lombricompost. *Ciencia y Tecnología*, 17(2). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9798671>
- Gonzales, A., & Sánchez, G. (2019). *Estudio de la calidad física, química y biológica del humus elaborado y utilizado como enmienda orgánica en el Valle del Santa–2018* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Santa]. <https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/3470/49933.pdf?sequence=1>
- Hossen, M. S., Islam, M. R. K., Azad, M. A. K., Hashem, M. A., Bhuiyan, M. K. J., & Rahman, M. M. (2022). Effects of moisture content on the quality of vermicompost produced from cattle manure. *Bangladesh Journal of Animal Science*, 51(2), 40–46. <https://doi.org/10.3329/bjas.v51i2.60493>
- Instituto Nacional de Calidad. (2020). *NTP 201.207:2020. Fertilizantes orgánicos: Compost para uso agrícola*. INACAL.
- Instituto Nacional de Normalización. (2015). *NCh 2880:2015. Compost: Requisitos de calidad y clasificación*. <https://es.scribd.com/document/862282928/NCh2880-2015-Compost>
- Itavaara, M., Venelampi, O., Vikman, M., & Kapanen, A. (2002). Compost maturity—Problems associated with testing. En H. Insam, N. Riddech, & S. Klammer (Eds.), *Microbiology of composting* (pp. 373–382). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-08724-4_31
- Jaimes, G., Vega, G., & Ortiz, H. (2020). Utilización de residuos de la industria papelera para la cría de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), en la generación de vermicompost. *Modum*, 2, 130–138. https://revistas.sena.edu.co/index.php/Re_Mo/article/view/3025/3533

- Jiang, J.-S., Hou, R., Cui, H.-L., Yan, G.-X., & Liu, D. (2024). Effects of vermicomposting on compost quality and heavy metals: A meta-analysis. *Huan Jing Ke Xue*, 45(5), 3047–3058. <https://doi.org/10.13227/j.hjcx.202306160>
- Jjagwe, J., Komakech, A. J., Karungi, J., Amann, A., Wanyama, J., & Lederer, J. (2019). Assessment of a cattle manure vermicomposting system using material flow analysis: A case study from Uganda. *Sustainability*, 11(19), 5173. <https://doi.org/10.3390/su11195173>
- Kalil, S. (2007). *Seguimiento del proceso de humificación en compost inoculado* (Tesis de grado), Pontificia Universidad Javeriana. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8314/tesis288.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Kopecky, M., Peterka, J., Kolár, L., Konvalina, P., Marousek, J., Váchalová, R., Herout, M., Strunecky, O., Batt, J., & Tran, D. K. (2021). Influence of selected maize cultivation technologies on changes in the labile fraction of soil organic matter sandy-loam cambisol soil structure. *Soil and Tillage Research*, 207, 104865. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104865>
- Kumar, R., Jha, S., Singh, S. P., Kumar, M., Kumari, R., & Padbhushan, R. (2023). Organic waste recycling by vermicomposting amended with rock phosphate impacts the stability and maturity indices of vermicompost. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 73(7), 553–567. <https://doi.org/10.1080/10962247.2023.2207504>

- Lanno, M., Klavins, M., Purmalis, O., Shanskiy, M., Kisand, A., & Kriipsalu, M. (2022). Properties of humic substances in composts comprised of different organic source material. *Agriculture*, 12(11), 1797. <https://doi.org/10.3390/agriculture12111797>
- Llorente Sánchez, M. (2012). *Aportaciones al conocimiento de la dinámica de la materia orgánica edáfica en suelos calizos del páramo castellano-leonés* [Tesis doctoral, Universidad de Valladolid]. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/1718>
- Loayza, N. V., Sevilla, V., Olivera, C., Guevara, M., Olmedo, G., Vargas, R., Oyonarte, C., & Jiménez, W. (2020). Mapeo digital de carbono orgánico en suelos de Ecuador. *Ecosistemas*, 29(2), 1852. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/1852>
- Lozano, N., & Vargas, A. (2023). *Sistema para control y monitoreo de variables físicas de un lombricultivo que incentive la producción de abono orgánico en Colombia* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/97dd4869-90d3-465f-b88b-86c8245c3382>
- Mahapatra, S., Ali, M. H., & Samal, K. (2022). Assessment of compost maturity-stability indices and recent development of composting bin. *Energy Nexus*, 6, 100062. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100062>
- Mazzarino, M., Satti, P., & Roselli, L. (2012). Indicadores de estabilidad, madurez y calidad de compost. En M. J. Mazzarino & P. Satti (Eds.), *Compostaje en la Argentina: Experiencias de producción, calidad y uso* (pp. 13–28). Universidad Nacional de Río Negro. <http://rid.unrn.edu.ar:8080/bitstream/20.500.12049/70/2/Compostaje-parciales.pdf>

- Mendoza, D. A., Mero, V. F., & Alcívar, B. R. (2024). Influencia del humus de lombriz en la calidad de los suelos agrícolas: Un estudio de caso. *Revista Didasc@lia: Didáctica y Educación*, 15(3). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9692644>
- Nardi, S., Schiavon, M., & Francioso, O. (2021). Chemical structure and biological activity of humic substances define their role as plant growth promoters. *Molecules*, 26(8), 2256. <https://doi.org/10.3390/molecules26082256>
- Nazar, R., Iqbal, N., Masood, A., Syeed, S., & Khan, N. A. (2012). Cadmium toxicity in plants and role of mineral nutrients in its alleviation. *American Journal of Plant Sciences*. <https://doi.org/10.4236/ajps.2012.310178>
- Organization Mundial de la Salud (2019). *Exposure to cadmium: A major public health concern*. <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-CED-PHE-EHE-19.4.3>
- Ottos, E. (2015). *Relación entre el contenido de materia orgánica y nitrógeno total de los suelos de la provincia de Leoncio Prado* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/1e55a1e4-b6bc-4814-9ffa-b16170791319/content>
- Parthasarathi, K., Balamurugan, M., & Ranganathan, L. S. (2008). Influence of vermicompost on the physico-chemical and biological properties in different types of soil along with yield and quality of the pulse crop blackgram. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 5(1), 51–58. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/emr-99359>

- Pérez, L., Crespo, M., Leyva, C. A., & Cuza, G. (2023). La bioacumulación de metales pesados y el desarrollo de la agricultura urbana en Moa. *Minería y Geología*, 39(3), 174–187. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1993-80122023000300174&script=sci_arttext
- Piccolo, A., De Martino, A., Scognamiglio, F., Ricci, R., & Spaccini, R. (2021). Efficient simultaneous removal of heavy metals and polychlorobiphenyls from a polluted industrial site by washing the soil with natural humic surfactants. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 25748–25757. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12484-x>
- Ponce, E., & Zela, A. (2022). *Lombricultura como recurso didáctico en el desarrollo de la competencia indaga mediante el método científico, en estudiantes del nivel primario de la Institución Educativa Privada Didascalio San José Obrero de Pomacanchi, Acomayo-Cusco, 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/6605>
- Porta, J., López-Acevedo, M., & Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Mundi-Prensa.
- Rojas, A., Vázquez, J. M., Romero, N., Rodríguez, M. A., Toribio, J., & Romero, Y. (2016). Evaluación de compost con presencia de metales pesados en el crecimiento de *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(8), 2047–2059. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000802047

- Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://openknowledge.fao.org/items/bf6d314c-2984-4445-b4b2-b25b01f99cf4>
- Rosal, A., Pérez, J. P., Arcos, M. A., & Dios, M. (2007). La incidencia de metales pesados en compost de residuos sólidos urbanos y en su uso agronómico en España. *Información Tecnológica*, 18(6), 75–82. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v18n6/art10.pdf>
- Sarwar, N., Imran, M., Rashid, M., Ishaque, W., Asif, M., Rehim, A., & Hussain, S. (2017). Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: Modifications and future perspectives. *Chemosphere*, 171, 710–721. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.116>
- Shahid, M., Austruy, A., Echevarría, G., Arshad, M., Sanaullah, M., Aslam, M., Nasim, W., & Dumat, C. (2013). EDTA-enhanced phytoremediation of heavy metals: A review. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 23(4), 389–416. <https://doi.org/10.1080/15320383.2014.831029>
- Sonntag, E. N. N. O., Grimm, D. A. N. I. E. L., & Rahmman, G. (2022). Vermiculture for human nutrition across scales—Potentials and limitations. *International Scientific*, 2(5), 299–304. https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn065425.pdf
- Torres, D., Mendoza, B., Marco, L. M., & Gómez, C. (2016). Riesgos de salinización y sodificación por el uso de abonos orgánicos en la depresión de Quíbor-Venezuela. *Multiciencias*, 16(2), 133–142. <https://www.redalyc.org/pdf/904/90452745003.pdf>

- Urriola, L., Montes, K., & Díaz, M. (2022). Efecto fitotóxico de extractos diluidos de abonos orgánicos en semillas de lechuga. *Semilla del Este*, 3(1), 114–126. https://revistas.up.ac.pa/index.php/semilla_este/article/view/3207
- Vargas, Y. (2017). *Calidad del compost producido 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]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/4145>
- Vásquez, J., & Loli, O. (2018). Compost y vermicompost como enmiendas en la recuperación de un suelo degradado por el manejo de *Gypsophila paniculata*. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 43–52. <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v9n1/a05v9n1.pdf>
- Villarreal, J. E., & Ramos, I. A. (2024). Mapa digital del contenido de carbono orgánico en suelos de Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, (38), 164–175. <http://200.46.165.126/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/632>
- Wan, H., Xu, H., Guo, Y., Han, X., & Xian, H. (2023). Study on the effect of earthworm treatment on cattle manure. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 39(32), 158–164. <https://doi.org/10.11924/j.issn.1000-6850.casb2022-1017>
- Zhang, Q., Guo, X., Zhang, Q., Li, Z., & Zhao, T. (2025). Fate of heavy metals and importance of influencing factors during vermicomposting. *Journal of Cleaner Production*, 486, 144499. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144499>

Zhu, N. (2006). Composting of high moisture content swine manure with corncob in a pilot-scale aerated static bin system. *Bioresource Technology*, 97(15), 1870–1875.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.08.011>

Zucconi, F., Forte, M., Monaco, A., & De Bertoldi, M. (1985). Phytotoxins during the stabilization of organic matter. En J. Gasser (Ed.), *Composting of agricultural and other wastes* (pp. 73–86). Elsevier Applied Science Publishing.

VII. ANEXOS

ANEXO 1. Cuestionario al productor de vermicompost – La Carbonera (El Agricultor)

Arturo Valverde

1. ¿Cuántos años lleva dedicándose a la producción de vermicompost?

6 años.

2. ¿Cuál es la escala de producción que maneja actualmente (pequeña, mediana o grande)?

A mediana escala, la producción oscila entre 10 a 12 TM mensuales.

3. ¿Qué especie de lombriz utiliza en su vermicompostaje?

Lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

4. ¿Qué tipos de estiércol emplea como sustrato?

Estiércol de ganado vacuno, ovino, guano de cuy, etc.

5. ¿Qué otros residuos orgánicos utilizan en la alimentación de las lombrices?

Hojas y restos vegetales.

6. ¿Realiza algún proceso de pre-compostaje del material orgánico antes de incorporarlo al lecho de lombrices?

Si, lavado.

7. ¿Cuánto tiempo dura el proceso de pre-compostaje?

15 a 20 días aproximadamente.

8. ¿Controla la humedad del vermicompost durante el proceso?

De forma visual con el método del puño.

9. ¿Realiza control de temperatura del lecho? ¿Cuál es el rango promedio?

No.

10. ¿El sistema de producción es a campo abierto, bajo sombra?

Bajo sombra.

11. ¿Con qué frecuencia alimenta las lombrices?

Cada 15 a 20 días.

12. ¿Cuánto tiempo dura el proceso completo de vermicompostaje?

2 meses

13. ¿Cómo determina que el vermicompost ha alcanzado su madurez?

Cuando hay descomposición total del material.

14. ¿Realiza algún proceso de tamizado del vermicompost?

En algunas ocasiones.

15. ¿Ha observado problemas de compactación o exceso de partículas gruesas en el producto final?

Si, en algunas ocasiones.

16. ¿Realiza alguna evaluación visual del color y olor del vermicompost?

Si

17. ¿Ha realizado alguna prueba de germinación o crecimiento vegetal con su producto?

Si

18. ¿Controla el pH del vermicompost antes de su comercialización?

Si, oscila entre 6 a 7 de PH.

19. ¿Mide la conductividad eléctrica del producto?

No

20. ¿Considera que su vermicompost cumple con criterios de calidad para uso agrícola?

Si

21. ¿Qué dificultades ha identificado en el proceso de producción?

Procedencia del material que se usa como compost.

22. ¿A qué tipo de clientes destina su vermicompost (agricultores, viveros, público en general)?

Público en general.

23. ¿Estaría dispuesto a mejorar su proceso en base a resultados técnicos y científicos?

Si

24. ¿Usted tiene conocimiento de que en Peru existe la Norma Técnica Peruana de Fertilizantes NTP 201.207:2020, que regula la producción de abonos orgánicos?

No

ANEXO 2. Cuestionario al productor de vermicompost – Tangay Medio (Humus Correa)

Iván Correa

1. ¿Cuántos años lleva dedicándose a la producción de vermicompost?

20 años.

2. ¿Cuál es la escala de producción que maneja actualmente (pequeña, mediana o grande)?

A mediana escala, la producción oscila entre 10 a 15 TM mensuales.

3. ¿Qué especie de lombriz utiliza en su vermicompostaje?

Lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

4. ¿Qué tipos de estiércol emplea como sustrato?

Estiércol de ganado ovino, vacuno, y guano de cuy.

5. ¿Qué otros residuos orgánicos utilizan en la alimentación de las lombrices?

No utiliza.

6. ¿Realiza algún proceso de pre-compostaje del material orgánico antes de incorporarlo al lecho de lombrices?

Sí, lavado.

7. ¿Cuánto tiempo dura el proceso de pre-compostaje?

45 a 60 días

8. ¿Controla la humedad del vermicompost durante el proceso?

Solo de forma visual sin ninguna herramienta.

9. ¿Realiza control de temperatura del lecho? ¿Cuál es el rango promedio?

Sin ninguna herramienta, solo con el tacto.

10. ¿El sistema de producción es a campo abierto, bajo sombra?

Bajo sombra

11. ¿Con qué frecuencia alimenta las lombrices?

Cada 15 días.

12. ¿Cuánto tiempo dura el proceso completo de vermicompostaje?

4 meses

13. ¿Cómo determina que el vermicompost ha alcanzado su madurez?

Por la textura fina de la materia orgánica.

14. ¿Realiza algún proceso de tamizado del vermicompost?

No

15. ¿Ha observado problemas de compactación o exceso de partículas gruesas en el producto final?

No

16. ¿Realiza alguna evaluación visual del color y olor del vermicompost?

Si

17. ¿Ha realizado alguna prueba de germinación o crecimiento vegetal con su producto?

Si

18. ¿Controla el pH del vermicompost antes de su comercialización?

No

19. ¿Mide la conductividad eléctrica del producto?

No

20. ¿Considera que su vermicompost cumple con criterios de calidad para uso agrícola?

Si

21. ¿Qué dificultades ha identificado en el proceso de producción?

Ninguno

22. ¿A qué tipo de clientes destina su vermicompost (agricultores, viveros, público en general)?

Público en general.

23. ¿Estaría dispuesto a mejorar su proceso en base a resultados técnicos y científicos?

Si

24. ¿Usted tiene conocimiento de que en Peru existe la Norma Técnica Peruana de Fertilizantes NTP 201.207:2020, que regula la producción de abonos orgánicos?

No

ANEXO 3. Cuestionario al productor de vermicompost – Santa (Humus Guarniz)

Karina Guarniz

- 1. ¿Cuántos años lleva dedicándose a la producción de vermicompost?**
12 años.
- 2. ¿Cuál es la escala de producción que maneja actualmente (pequeña, mediana o grande)?**
Mediana escala, la producción es entre 12 a 15 TM mensuales.
- 3. ¿Qué especie de lombriz utiliza en su vermicompostaje?**
Lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).
- 4. ¿Qué tipos de estiércol emplea como sustrato?**
Estiércol de ganado equino, vacuno, ovino, guano de cuy, etc.
- 5. ¿Qué otros residuos orgánicos utilizan en la alimentación de las lombrices?**
Hojarasca y restos vegetales.
- 6. ¿Realiza algún proceso de pre-compostaje del material orgánico antes de incorporarlo al lecho de lombrices?**
No
- 7. ¿Cuánto tiempo dura el proceso de pre-compostaje?**
30 a 35 días.
- 8. ¿Controla la humedad del vermicompost durante el proceso?**
No.
- 9. ¿Realiza control de temperatura del lecho? ¿Cuál es el rango promedio?**
No.
- 10. ¿El sistema de producción es a campo abierto, bajo sombra?**
Bajo sombra.
- 11. ¿Con qué frecuencia alimenta las lombrices?**
Cada 15 días.
- 12. ¿Cuánto tiempo dura el proceso completo de vermicompostaje?**
3 meses

13. ¿Cómo determina que el vermicompost ha alcanzado su madurez?

Por el color y cuando las lombrices dejan de alimentarse.

14. ¿Realiza algún proceso de tamizado del vermicompost?

En algunas ocasiones.

15. ¿Ha observado problemas de compactación o exceso de partículas gruesas en el producto final?

Si, en algunas ocasiones.

16. ¿Realiza alguna evaluación visual del color y olor del vermicompost?

Si

17. ¿Ha realizado alguna prueba de germinación o crecimiento vegetal con su producto?

No

18. ¿Controla el pH del vermicompost antes de su comercialización?

No

19. ¿Mide la conductividad eléctrica del producto?

No

20. ¿Considera que su vermicompost cumple con criterios de calidad para uso agrícola?

Si

21. ¿Qué dificultades ha identificado en el proceso de producción?

Procedencia del material que se usa como compost.

22. ¿A qué tipo de clientes destina su vermicompost (agricultores, viveros, público en general)?

Público en general.

23. ¿Estaría dispuesto a mejorar su proceso en base a resultados técnicos y científicos?

Si

24. ¿Usted tiene conocimiento de que en Peru existe la Norma Técnica Peruana de Fertilizantes NTP 201.207:2020, que regula la producción de abonos orgánicos?

No

ANEXO 4. Cuestionario al productor De Vermicompost – Vinzos

Cipriano Acuña

1. **¿Cuántos años lleva dedicándose a la producción de vermicompost?**
10 años.
2. **¿Cuál es la escala de producción que maneja actualmente (pequeña, mediana o grande)?**
A mediana escala, la producción oscila entre 13 a 15 TM mensuales.
3. **¿Qué especie de lombriz utiliza en su vermicompostaje?**
Lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)
4. **¿Qué tipos de estiércol emplea como sustrato?**
Estiércol de ganado vacuno, ovino y guano de cuy.
5. **¿Qué otros residuos orgánicos utilizan en la alimentación de las lombrices?**
No utiliza.
6. **¿Realiza algún proceso de pre-compostaje del material orgánico antes de incorporarlo al lecho de lombrices?**
Sí, lavado.
7. **¿Cuánto tiempo dura el proceso de pre-compostaje?**
30 días
8. **¿Controla la humedad del vermicompost durante el proceso?**
Solo de forma visual sin ninguna herramienta.
9. **¿Realiza control de temperatura del lecho? ¿Cuál es el rango promedio?**
Solo de forma visual sin ninguna herramienta.
10. **¿El sistema de producción es a campo abierto, bajo sombra?**
Bajo sombra.
11. **¿Con qué frecuencia alimenta las lombrices?**
Cada 15 días.
12. **¿Cuánto tiempo dura el proceso completo de vermicompostaje?**
4 meses.
13. **¿Cómo determina que el vermicompost ha alcanzado su madurez?**

Cuando la lombriz sube en busca de comida a la superficie de la cama del vermicompost.

14. ¿Realiza algún proceso de tamizado del vermicompost?

Solo cuando la M.O va destinada para viveros.

15. ¿Ha observado problemas de compactación o exceso de partículas gruesas en el producto final?

No

16. ¿Realiza alguna evaluación visual del color y olor del vermicompost?

Si

17. ¿Ha realizado alguna prueba de germinación o crecimiento vegetal con su producto?

Si

18. ¿Controla el pH del vermicompost antes de su comercialización?

No

19. ¿Mide la conductividad eléctrica del producto?

No

20. ¿Considera que su vermicompost cumple con criterios de calidad para uso agrícola?

Si

21. ¿Qué dificultades ha identificado en el proceso de producción?

Ninguno

22. ¿A qué tipo de clientes destina su vermicompost (agricultores, viveros, público en general)?

Público en general.

23. ¿Estaría dispuesto a mejorar su proceso en base a resultados técnicos y científicos?

Si

24. ¿Usted tiene conocimiento de que en Peru existe la Norma Técnica Peruana de Fertilizantes NTP 201.207:2020, que regula la producción de abonos orgánicos?

No

ANEXO 5. Resultados de los análisis físicos y químicos realizados a las muestras en estudio por el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANÁLISIS DE MATERIA ORGÁNICA

SOLICITANTE : ANGELITA MEDALITH LÁZARO SALINAS
PROCEDENCIA : ANCASH/ SANTA/ CHIMBOTE
MUESTRA DE : VERMICOMPOST
REFERENCIA : H.R. 87917
BOLETA : 7822
FECHA : 18/02/2026

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
034	LC1	7.50	6.27	52.50	2.17	0.37	0.50
035	TM2	7.03	2.86	34.59	1.42	0.34	0.42
036	ST3	8.40	6.38	26.87	1.20	0.58	1.12
037	VZ4	7.13	9.18	35.94	1.88	0.64	1.76

Nº LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
034	LC1	6.42	1.38	67.82	0.24
035	TM2	3.55	0.88	61.57	0.03
036	ST3	5.23	1.19	61.47	0.14
037	VZ4	3.27	1.27	63.95	0.06

Nº LAB	CLAVES	Impureza %	Densidad g/cc
034	LC1	43.20	0.15
035	TM2	46.09	0.21
036	ST3	53.91	0.26
037	VZ4	43.57	0.22

M.O. por oxidación.



Sady García Bendezu
Dr. Sady García Bendezu
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
Celular: 946-505-254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

ANEXO 6. Resultados de los análisis de potencial toxicidad del vermicompost efectuados en las muestras de estudios realizados por el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANÁLISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGÁNICA

SOLICITANTE : ANGELITA MEDALITH LÁZARO SALINAS
PROCEDENCIA : ANCASH/ SANTA/ CHIMBOTE
MUESTRA DE : VERMICOMPOST
REFERENCIA : H.R. 87918
BOLETA : 7822
FECHA : 18/02/2026

N° LAB	CLAVES	Relación C/N	Pb ppm	Cr ppm	Cd ppm
038	LC1	15.91	15.45	5.70	1.45
039	TM2	12.86	13.05	7.45	1.03
040	ST3	12.23	15.10	12.13	1.13
041	VZ4	11.40	14.38	10.80	1.63



Sady García Bendezi
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
Celular: 946-505-254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

ANEXO 7. Resultados de los análisis físicos y químicos del abono orgánico con ficha técnica (AIV HUMUS), realizados por el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANÁLISIS DE MATERIA ORGÁNICA

SOLICITANTE : ANGELITA MEDALITH LÁZARO SALINAS
PROCEDENCIA : ANCASH/ SANTA/ CHIMBOTE
MUESTRA DE : VERMICOMPOST
REFERENCIA : H.R. 88115
BOLETA : 7875
FECHA : 23/03/2026

N° LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
116	AIV HUMUS	7.58	11.78	22.84	0.88	0.64	1.02

N° LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
116	AIV HUMUS	2.80	0.68	36.39	0.46

N° LAB	CLAVES	Pb ppm	Cr ppm	Cd ppm	Impureza %	Relación C/N	Densidad cm ³
116	AIV HUMUS	16.49	21.50	0.81	67.20	15.06	0.45

M.O. por oxidación.



Sady García Bendezu
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
Celular: 946-505-254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

ANEXO 8. Ficha técnica del vermicompost: AIV HUMUS (muestra comercial de referencia)

AIV Humus®

Abono Orgánico

DESCRIPCIÓN:

El humus de lombriz es un abono orgánico, se obtiene de un proceso denominado vermicompostaje, en el cual las lombrices digieren material orgánico, descomponiéndolo gracias a la acción de sus enzimas digestivas y de la microflora presente en su organismo.

PROPIEDADES:

1. Mejora la permeabilidad y aireación del suelo.
2. Aumenta la capacidad de intercambio catiónico.
3. Mejora la estructura del suelo.
4. Favorece la multiplicación de microorganismo aeróbicos, la acción microbiana del humus contribuye al control, reducción y/o supresión de patógenos vegetales y hongos.
5. Aumenta la retención de humedad.
6. Aporta nutrientes al suelo y al cultivo de forma gradual, consiguiendo efectos sostenibles en el tiempo.
7. Una tonelada de humus de lombriz equivale a 12 toneladas de estiércol vacuno, y a 4 toneladas de compost.

INGREDIENTES:

1. Estiércol compostado de ganado vacuno (100%).

COMPOSICIÓN:

PARÁMETROS EVALUADOS	RANGOS
pH (1:5)	: 6.5 - 8.5
C.E. (1:5) dS/m	: 5 - 7
Relación C/N (%)	: Hasta 20
Materia Orgánica (g/100g)	: Hasta 40
Nitrógeno total (g/100g)	: 1.2 - 2.4
Fósforo (g/100g)	: 0.7 - 2.3
Potasio (g/100g)	: 1 - 2.5
Calcio (g/100g)	: 1.5 - 2.9
Magnesio (g/100g)	: 0.6 - 1
Ácidos Húmicos	: 4 - 5
Ácidos Fúlvicos	: 6 - 7
Humedad (%)	: 30 - 50

MODO DE APLICACIÓN:

ENTERRADO	SOBRE HILERA	DRENCH	FOLIAR
X	X		

DOSIFICACIÓN:

1. Jardines:
 - 1 a 2 kg por metro cuadrado.
2. Hortalizas:
 - 1 a 2 kg por metro cuadrado o 50 g por planta.
3. Plantas ornamentales:
 - Nueva plantación: 30% humus – 70% sustrato
 - Mantenimiento: 200 g de humus/planta, trimestralmente
4. *Almácigos/semilleros:*
 - Recomendado para cualquier tipo de almácigo: en bandeja o sobre el suelo.
 - Nunca puro. mezclar con otro sustrato. 30% humus – 70% sustrato
5. Frutales:
 - Nueva plantación: 2 a 3 kg de humus por hoyo.
 - Mantenimiento: 3 a 5 kg de humus por árbol

PRESENTACIÓN:

1. A granel, puede ser despachado en plataformas, volquetes, tolveres y/o cualquier transporte que permita este tipo de despacho.
2. Sacos de 50 kg.

FORMULACIÓN:

Sólido

PROCEDENCIA:

Perú

PRODUCIDO POR:

AGROINVESTMENT S.A.C.

REGISTRO SENASA:

No requiere

Condiciones de venta:

1. La empresa garantiza exclusivamente que este producto contiene los ingredientes especificados en la etiqueta.
2. Como el almacenamiento, la época, lugar y dosis de la aplicación están fuera del control del vendedor, eventuales daños a causa del uso o almacenamiento no son responsabilidad del vendedor.
3. Leer cuidadosamente la etiqueta antes de usar este producto.



AGROINVESTMENT SAC – DIVISIÓN AGRO
CARRETERA PANAMERICANA NORTE - KM 723 – PACANGA – CHEPÉN – LA LIBERTAD
E – mail: Ventas@agroinvestment.com.pe Cel: (+51)977808765