



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y FORESTAL



**“EFICIENCIA DE LA LOMBRIZ (*Eisenia foetida*) EN LA
PRODUCCIÓN DE HUMUS ORGÁNICO A PARTIR DE RESIDUOS
DE FLORES DEL CEMENTERIO LA CAPILLA Y SU EFECTO EN
EL CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE PINO (*Pinus radiata*),
DISTRITO DE JULIACA-2023”**

Bach. Edwin Max Roque Choque

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

Asesor: Dr. Alejandro Félix Taquire Arroyo



JULIACA, 2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y FORESTAL



**“EFICIENCIA DE LA LOMBRIZ (*Eisenia foetida*) EN LA
PRODUCCIÓN DE HUMUS ORGÁNICO A PARTIR DE RESIDUOS
DE FLORES DEL CEMENTERIO LA CAPILLA Y SU EFECTO EN
EL CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE PINO (*Pinus radiata*),
DISTRITO DE JULIACA-2023”**

Bach. Edwin Max Roque Choque

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

Asesor: Dr. Alejandro Félix Taquire Arroyo



JULIACA, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
Y FORESTAL



**“EFICIENCIA DE LA LOMBRIZ (*Eisenia foetida*) EN LA
PRODUCCIÓN DE HUMUS ORGÁNICO A PARTIR DE RESIDUOS
DE FLORES DEL CEMENTERIO LA CAPILLA Y SU EFECTO EN
EL CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE PINO (*Pinus radiata*),
DISTRITO DE JULIACA-2023”**

Bach. Edwin Max Roque Choque

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y
FORESTAL**

Asesor: Dr. Alejandro Félix Taquire Arroyo

Juliaca, 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Roque, E.M. (2025) *Eficiencia de la lombriz (Eisenia foetida) en la producción de humus orgánico a partir de residuos de flores del cementerio La Capilla y su efecto en el crecimiento de plántulas de pino (Pinus radiata), distrito de Juliaca-2023.*
(Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.

Autor: Edwin Max Roque Choque

Título: Eficiencia de la lombriz (*Eisenia foetida*) en la producción de humus orgánico a partir de residuos de flores del cementerio La Capilla y su efecto en el crecimiento de plántulas de pino (*Pinus radiata*), distrito de Juliaca-2023.

Publicación: Juliaca, 2025

Descripción: Cantidad de páginas (136)

Nota: Tesis -Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal – Universidad Nacional de Juliaca.

Código: 01-000077-01/R83

Nota: Incluye bibliografía.

Asesor: Dr. Alejandro Félix Taquire Arroyo

Palabras Clave: Humus de lombriz, *Eisenia foetida*, residuos florales, estiércol de bovino, *Pinus radiata* y germinación.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
FORESTAL**

**“EFICIENCIA DE LA LOMBRIZ (*Eisenia foetida*) EN LA
PRODUCCIÓN DE HUMUS ORGÁNICO A PARTIR DE RESIDUOS
DE FLORES DEL CEMENTERIO LA CAPILLA Y SU EFECTO EN
EL CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE PINO (*Pinus radiata*),
DISTRITO DE JULIACA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y
FORESTAL**

Presentado por:

Bach. Edwin Max Roque Choque

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Godofredo Huanca Chambi

PRESIDENTE DEL JURADO



M.Sc. Cesar Enrique Yupanqui Bendita

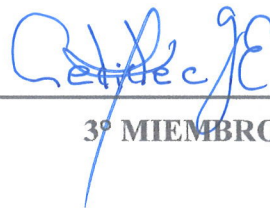
JURADO (Secretario)



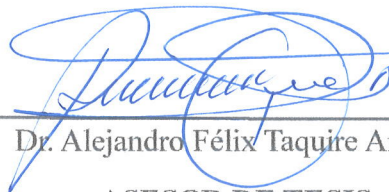
2º MIEMBRO

Dra. Cedidec García Espinoza

JURADO (Vocal)



3º MIEMBRO



Dr. Alejandro Félix Taquire Arroyo

ASESOR DE TESIS

Edwin Max Roque Choque

EFICIENCIA DE LA LOMBRIZ (Eisenia foetida) EN LA PRODUCCIÓN DE HUMUS ORGÁNICO A PARTIR DE RESIDUO...

 Universidad Nacional de Juliaca

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:589125770

140 páginas

Fecha de entrega

11 may 2026, 4:19 p.m. GMT-5

29.648 palabras

Fecha de descarga

11 may 2026, 4:23 p.m. GMT-5

152.859 caracteres

Nombre del archivo

TESIS EDWIN MAX ROQUE CHOQUE_CORRECCION FINAL.pdf

Tamaño del archivo

2.5 MB






10% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe


- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 7%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
43 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



DEDICATORIA

A Dios por estar siempre conmigo y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de mi vida.

A mi madre Epifania Choque, por su apoyo incondicional y por cada consejo que motivó alcanzar esta meta, siendo la promotora de la realización de este logro.

A mi familia Roque Choque y a Elena Condori, quienes fortalecieron siempre mis metas y me enseñaron que con esfuerzo, constancia y dedicación se logra el éxito.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Juliaca, a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería por las oportunidades brindadas en el trayecto de mi carrera profesional.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal por darme la oportunidad de formarme en sus aulas en las que aprendí la ciencia de la ingeniería y por brindarme las facilidades en la ejecución de mi proyecto de investigación.

A los miembros de jurado M.g. Godofredo Huanca Chambi, M.Sc. Cesar Enrique Yupanqui Bendita, Dra. Cedidec García Espinoza y a mi asesor Dr. Alejandro Félix Taquire Arroyo por su disponibilidad de tiempo, dedicación y los valiosos aportes para la presentación final del documento.

Edwin Max Roque Choque

ÍNDICE GENERAL

	pag
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN.....	13

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.	Formulación del problema	15
1.1.1.	Pregunta general	15
1.1.2.	Preguntas específicas.....	15
1.2.	Objetivos de investigación	15
1.2.1.	Objetivo general.....	15
1.2.2.	Objetivos específicos.....	15
1.3.	Justificación de la investigación	16
1.3.1.	Ambiental.....	16
1.3.2.	Técnica.....	16
1.3.3.	Social	17
1.3.4.	Económica.....	17
1.4.	Hipótesis	17
1.4.1.	Hipótesis General.....	17
1.4.2.	Hipótesis Específicos	18

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.	Antecedentes de investigación.....	19
2.1.1.	Antecedentes internacionales.....	19
2.1.2.	Antecedentes nacionales.....	21
2.1.3.	Antecedentes locales.....	24
2.2.	Marco teórico.....	25
2.2.1.	Residuos florales en cementerios.....	25
2.2.2.	Precompostaje.....	26
2.2.3.	Factores fisico-químicos del precompostaje.....	26
2.2.4.	Lombricultura.....	29
2.2.5.	Macronutrientes.....	32
2.2.6.	Micronutrientes.....	32
2.2.7.	Pino (<i>Pinus radiata</i>).....	33
2.2.8.	Marco legal.....	34

CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1.	Ámbito de estudio: localización política y geográfica.....	35
3.2.	Equipos, materiales e insumos.....	35
3.2.1.	Equipos.....	35
3.2.2.	Materiales.....	36
3.2.3.	Insumos.....	36
3.3.	Población y muestra.....	37
3.3.1.	Población.....	37
3.3.2.	Tamaño de muestra.....	37
3.3.3.	Muestra.....	39
3.4.	Tipo, nivel y diseño de investigación.....	40
3.4.1.	Tipo de investigación.....	40

3.4.2.	Nivel de investigación	40
3.4.3.	Diseño de investigación.....	40
3.5.	Metodología	40
3.5.1.	Etapa 1 Determinación de las características físicos y químicas del precompost elaborado con residuos florales del cementerio y estiércol de bovino.	40
3.5.2.	Etapa 2 Determinación las características físico-químicas del humus de lombriz obtenido a partir del precompostaje.	44
3.5.3.	Etapa 3 Evaluación el Efecto del Humus Producido en la Germinación y Crecimiento de Plántulas de Pinus Radiata	46
3.6.	Técnicas estadísticas para el procesamiento de datos.....	50
3.6.1.	Análisis estadístico	50
3.6.2.	Análisis de varianza	51
3.7.	Flujograma de la investigación	53

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1.	Determinación de las características físico químicas del precompostaje elaborado con residuos florales del cementerio y estiércol de bovino.	54
4.1.1.	Control temperatura C°	55
4.1.2.	Control de humedad %	56
4.1.2.	Control de pH	57
4.1.3.	Características físicas y químicas del precompostaje	59
4.1.3.	Materia orgánica	59
4.1.4.	Relación carbono nitrógeno.	61
4.1.5.	Fosforo	62
4.1.7.	Potasio.....	63
4.1.8.	Capacidad de intercambio catiónico.....	64
4.2.	Determinación las características físico-químicas del humus de lombriz	66

4.2.1. Control de temperatura C°	66
4.2.2. Control de humedad %	68
4.2.3. Control de pH	69
4.2.3. Materia orgánica	70
4.2.4. Relación carbono nitrógeno.....	72
4.2.5. Fosforo	73
4.2.6. Potasio.....	74
4.2.7. Capacidad de intercambio catiónico.....	75
4.3. Evaluación del efecto de humus producido en la germinación y crecimiento de plántulas de Pinus radiata	77
4.3.1. Índice de emergencia (IE).....	78
4.3.2. Índice de velocidad de emergencia (IVE).....	79
4.3.3. Altura de la plántula (cm).....	81
4.3.4. Altura de tallo (cm).....	83
4.3.5. Grosor de tallo	85
4.3.6. Numero de hojas.....	87
4.3.7. Longitud de raíz.....	89

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.....	92
5.2. Recomendaciones.....	92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
ANEXOS.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Relación C/N de residuos orgánicos</i>	28
Tabla 2. <i>Clasificación taxonómica de la lombriz californiana</i>	30
Tabla 3. <i>Clasificación taxonómica del Pino (Pinus radiata)</i>	33
Tabla 4. <i>Cálculo de la desviación estándar paso a paso</i>	38
Tabla 5. <i>Numero de muestra</i>	39
Tabla 6. <i>Parámetros Óptimos Recomendados al finalizar la etapa del precompost</i>	43
Tabla 7. <i>Relación C/N para cada tratamiento antes del precompostaje</i>	44
Tabla 8. <i>Parámetros físicos y químicos óptimos para el Humus de Lombriz</i>	46
Tabla 9. <i>Parámetros de control obligatorio en las características fisiológicas de la plántula de Pino</i>	50
Tabla 10. <i>Formula aplicada para la determinación del análisis de varianza</i>	51
Tabla 11. <i>Parámetros físicos y químicos de laboratorio promedio del precompostaje al finalizar los 60 días</i>	59
Tabla 12. <i>Parámetros fisicoquímicos después de la etapa de humificación</i>	70
Tabla 13. <i>Preparación del sustrato</i>	77
Tabla 14. <i>Índice de emergencia según los tratamientos</i>	78
Tabla 15. <i>Índice de Velocidad de Emergencia (IVE)</i>	79
Tabla 16. <i>Altura de plántula (cm)</i>	81
Tabla 17. <i>Análisis de varianza la altura de la plántula (cm)</i>	82
Tabla 18. <i>Prueba de Tukey para la altura de la plántula (cm), por tratamiento</i>	82
Tabla 19. <i>Altura de tallo (cm)</i>	83
Tabla 20. <i>Análisis de varianza para la altura de tallo de la plántula (cm), por tratamiento</i>	84
Tabla 21. <i>Prueba de Tukey para la altura de tallo de la plántula (cm), por tratamiento</i>	85
Tabla 22. <i>Grosor de tallo (cm)</i>	85
Tabla 23. <i>Análisis de varianza para el grosor de tallo en cm, por porcentaje</i>	86
Tabla 24. <i>Prueba de Tukey para el grosor de tallo en cm, por porcentaje</i>	87
Tabla 25. <i>Numero de hojas</i>	87
Tabla 26. <i>Análisis de varianza para el numero de hojas, por tratamiento</i>	88
Tabla 27. <i>Prueba de Tukey para el numero de hojas, por porcentaje</i>	89
Tabla 28. <i>Longitud de raíz (cm)</i>	89

Tabla 29. <i>Análisis de varianza para longitud de raíz en cm, por porcentaje.</i>	90
Tabla 30. <i>Prueba de Tukey para la longitud de raíz en cm, por porcentaje.</i>	91
Tabla 31. <i>Cantidad de residuos segregados en el cementerio la capilla durante 1 mes (6.03 Toneladas)</i>	104
Tabla 32. <i>Clasificación de los residuos Municipales y no Municipales según MINAM .</i>	105
Tabla 33. <i>Datos de control de parametros fisicoquimicos durante la etapa del precompostaje.</i>	112
Tabla 34. <i>Resultados de control de parametros fisicoquimicos durante la etapa de humificación.</i>	115
Tabla 35. <i>Germinación de semillas de pinus radiata en un periodo de 21 dias.</i>	119
Tabla 36. <i>Medición de parámetros fisiológicos del pinus radiata en un periodo de 75 dias.</i>	120
Tabla 37. <i>Rangos aceptables de los parámetros físico químicos para abonos orgánicos.</i>	132

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. <i>Ciclo reproductivo de la lombriz californiana</i>	31
Figura 2. <i>Ubicación del cementerio La Capilla en la ciudad de Juliaca</i>	35
Figura 3. <i>Unidades experimentales para el pre compostaje</i>	41
Figura 4. <i>Esquema de distribución de los tratamientos de humus aplicados a plántulas de Pinus radiata (40%, 60% y 80%) con tres repeticiones y cinco subrepeticiones</i>	47
Figura 5. <i>Flujograma de procesos y actividades para el desarrollo del proyecto de investigación</i>	53
Figura 6. <i>Proporciones de mezcla para la realización del precompostaje</i>	54
Figura 7. <i>Control de la temperatura en el pre compostaje</i>	55
Figura 8. <i>Control de Humedad en el precompostaje</i>	56
Figura 9. <i>Control de pH en el precompostaje</i>	58
Figura 10. <i>Porcentaje de materia orgánica</i>	60
Figura 11. <i>Relación carbono/nitrógeno</i>	61
Figura 12. <i>Fosforo (P)</i>	62
Figura 13. <i>Potasio (k)</i>	63
Figura 14. <i>Capacidad de intercambio catiónico CIC (meq/100g)</i>	64
Figura 15. <i>Proporciones de mezcla para la realización del precompostaje</i>	65
Figura 16. <i>Proporciones de mezcla para la realización del humus</i>	66
Figura 17. <i>Control de temperatura en el humus</i>	67
Figura 18. <i>Control de Humedad en el humus</i>	68
Figura 19. <i>Control de pH en el humus</i>	69
Figura 20. <i>Porcentaje de materia orgánica (MO)</i>	71
Figura 21. <i>Relación C/N en cada tratamiento, comparado con la NTP que establece que un sustrato de calidad (compost/humus) INACAL</i>	72
Figura 22. <i>Concentración en partes por millón del fosforo (P) en cada tratamiento comparado con la INACAL</i>	73
Figura 23. <i>Concentración en partes por millón del potasio (K), comparada con el INACAL</i>	74
Figura 24. <i>Concentración de la capacidad de intercambio catiónico, comparada con el INACAL</i>	76
Figura 25. <i>Calculo para definir las proporciones de humus</i>	77

Figura 26. <i>Índice de Emergencia (IE) en la Germinación y Crecimiento de Plántulas Bajo Tres Porcentajes de Humus (80%, 60% y 40%)</i>	79
Figura 27. <i>Índice de Velocidad de Emergencia (IVE) en la Germinación y Crecimiento de Plántulas Bajo Tres Porcentajes de Humus (80%, 60% y 40%)</i>	80
Figura 28. <i>Representación gráfica de la altura de plántula a los 75 días.</i>	81
Figura 29. <i>Representación gráfica de la altura de tallo</i>	84
Figura 30. <i>Representación gráfica del grosor de tallo (cm)</i>	86
Figura 31. <i>Representación gráfica del número de hojas (Unidades)</i>	88
Figura 32. <i>Representación gráfica de longitud de raíz(cm)</i>	90

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo I. <i>Cantidad de residuos durante 1 mes (6.03 Toneladas)</i>	104
Anexo II. <i>Clasificación de los residuos</i>	105
Anexo III. <i>Panel fotografico de la etapa 1 de campo</i>	106
Anexo IV. <i>Párametros fisicoquímicos durante la etapa del precompostaje</i>	112
Anexo V. <i>Resultados durante la etapa de humificación</i>	115
Anexo VI. <i>Resultados de germinación de semillas de pinus radiata en un periodo de 21 días</i>	119
Anexo VII. <i>Resultados de medición de parámetros fisiológicos del pinus radiata en un periodo de 75 días</i>	120
Anexo VIII. <i>Parametros de Temperatura, pH y % de Humedad adecuada para la etapa de precompostaje, según la FAO 2013 para el proceso de precompost a partir de residuos sólidos orgánicos municipales</i>	121
Anexo IX. <i>Parametros fisicoquímicos ideales para inoculación de las lombrices según la FAO para Compost a partir de residuos sólidos orgánicos municipales</i>	122
Anexo X. <i>Limites optimos según NTP 201.208:2021. FERTILIZANTES :Compost a partir de residuos sólidos orgánicos municipales</i>	124
Anexo XI. <i>Rangos aceptables de los parámetros físico químicos para abonos orgánicos</i>	132
Anexo XII. <i>Resultados de los análisis físicos y químicos del laboratorio en precompost</i>	133
Anexo XIII. <i>Resultados de los análisis físicos y químicos del laboratorio en Humus</i>	135

RESUMEN

La progresiva generación de residuos orgánicos en los cementerios constituye un problema ambiental debido al inadecuado manejo de los residuos florales. Frente a esta problemática, la lombricultura se presenta como una alternativa ecológica y sostenible para transformar estos desechos en abonos orgánicos. El objetivo de la investigación fue elaborar humus a partir de residuos florales del Cementerio La Capilla mediante el uso de lombrices (*Eisenia foetida*) y evaluar su efecto en la germinación y crecimiento de *Pinus radiata* en el distrito de Juliaca-2023. La investigación fue de tipo experimental, bajo un diseño completamente al azar. El precompostaje se desarrolló durante 60 días con cuatro tratamientos, monitoreándose temperatura, humedad y pH, y evaluándose materia orgánica, relación C/N, fósforo, potasio y capacidad de intercambio catiónico. Posteriormente, el material precompostado fue sometido a lombricultura durante 100 días utilizando *Eisenia foetida*, obteniéndose resultados sobresalientes en los parámetros físico-químicos, destacando el tratamiento T2. El humus obtenido de dicho tratamiento se aplicó en proporciones de 40 %, 60 % y 80 % al sustrato de germinación. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Los resultados evidenciaron temperaturas termófilas de hasta 63 °C, humedad promedio entre 43 % y 47 % y valores de pH entre 6.8 y 8.4; asimismo, el tratamiento con 75 % de residuos florales y 25 % de estiércol bovino presentó el mejor equilibrio físico-químico durante el precompostaje. El humus obtenido cumplió con los rangos óptimos establecidos por el INACAL, la FAO y otros estudios científicos. La aplicación del 60 % de humus promovió el mayor índice de emergencia y el mejor crecimiento de las plántulas. En conclusión, esta alternativa resulta eficiente para la obtención de humus y contribuyó al mejoramiento del desarrollo inicial de *Pinus radiata*.

Palabras clave: Humus de lombriz, *Eisenia foetida*, residuos florales, estiércol de bovino, *Pinus radiata* y germinación.

ABSTRACT

The progressive generation of organic waste in cemeteries constitutes an environmental problem due to the inadequate management of floral residues. In response to this issue, vermiculture emerges as an ecological and sustainable alternative for transforming these wastes into organic fertilizers. The objective of this research was to produce humus from floral residues of La Capilla Cemetery using earthworms (*Eisenia foetida*) and to evaluate its effect on the germination and growth of *Pinus radiata* in the district of Juliaca-2023. The study was experimental in nature and conducted under a completely randomized design. The pre-composting process was carried out for 60 days using four treatments, during which temperature, moisture, and pH were monitored, and parameters such as organic matter, C/N ratio, phosphorus, potassium, and cation exchange capacity were evaluated. Subsequently, the pre-composted material was subjected to vermiculture for 100 days using *Eisenia foetida*, yielding outstanding results in physicochemical parameters, with Treatment T2 showing the best performance. The humus obtained from this treatment was applied to the germination substrate at rates of 40%, 60%, and 80%. Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test ($p < 0.05$). The results showed thermophilic temperatures of up to 63 °C, average moisture levels between 43% and 47%, and pH values ranging from 6.8 to 8.4. Furthermore, the treatment consisting of 75% floral residues and 25% cattle manure exhibited the best physicochemical balance during the pre-composting stage. The resulting humus met the optimal quality ranges established by INACAL, FAO, and other related scientific studies. The application of 60% humus promoted the highest emergence index and the best seedling growth. In conclusion, this alternative proved to be efficient for obtaining humus and contributed to the improvement of the initial development of *Pinus radiata*.

Keywords: Earthworm humus, *Eisenia foetida*, floral residues, bovine manure, *Pinus radiata*, germination.

INTRODUCCIÓN

La producción de desechos sólidos, tanto orgánicos e inorgánicos, representa uno de los principales retos a nivel mundial según García, (2018). El crecimiento poblacional y la expansión urbana han llevado a un notable aumento en la generación de desechos (Frigerio et al., 2025; Galán et al., 2025). De acuerdo con el banco mundial 2022, anualmente se generan más de 2,010 millones de toneladas de residuos, cifra que podría alcanzar a los 3,400 millones para el año 2050. El 44% de estos residuos son orgánicos, los cuales, si no se manejan adecuadamente, generarían un impacto nocivo en la flora, fauna y la salud pública (Długozima et al., 2025).

En el Perú, se generan más de 23,000 toneladas diarias de residuos sólidos productos de las actividades realizadas en los mercados, centros comerciales y camposantos de las cuales más del 50% son residuos orgánicos biodegradables (MINAM, 2024). Sin embargo, solo un pequeño porcentaje de estos residuos son aprovechados mediante compostaje y la mayoría se dispone en botaderos o rellenos sanitarios (Núñez et al., 2025). Según la contraloría general de la república (2023), más de 1,500 botaderos informales operan en el país, lo que evidencia un sistema de gestión ineficiente.

El departamento de Puno presenta considerables dificultades en la gestión adecuada de residuos sólidos, produciendo mensualmente más de 450 toneladas, de las cuales una gran proporción corresponde a materia orgánica originada en cementerios por residuos florales, vegetales y otros residuos biodegradables, en ese contexto resalta la necesidad de implementar estrategias integrales para el manejo y valorización de estos residuos con el fin de reducir su impacto ambiental y optimizar su reaprovechamiento (Montesinos,et.al 2020).

A nivel local, los cementerios, particularmente ubicados en zonas urbanas, generan una cantidad significativa de residuos sólidos, los cuales no son aprovechados ni gestionados de forma diferenciada (Frigerio et al., 2025). Esta situación representa una oportunidad para aplicar tecnologías limpias como la lombricultura, que reducirían el volumen de residuos transformándolos en un fertilizante natural (Frigerio et al., 2025; Galán et al., 2025). De este modo, se integraría una solución ambiental local, eficiente y sostenible a partir del aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos generados en espacios comunitarios como el cementerio (Pajura, 2024).

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel global principalmente en los países subdesarrollados de América latina y el caribe persiste una deficiente gestión de residuos sólidos debido a los altos volúmenes generados por las actividades humanas, lo que afecta la salud y el ambiente (Z. Zhang et al., 2023). Donde se producen más de 2000 millones de toneladas de residuos urbanos al año, y alrededor del 44 % corresponde a materia orgánica biodegradable. Entre estos destacan los residuos florales de los cementerios, que casi nunca son segregados ni aprovechados, generando impactos ambientales que han motivado la implementación de planes de gestión en estos espacios (Priya et al., 2023; B. Li et al., 2023). En el ámbito nacional, aún no se han establecido políticas que permitan disminuir la contaminación ambiental derivada de la acumulación de residuos orgánicos producidos en los cementerios. (García, 2018).

En el Perú, los cementerios enfrentan una problemática asociada a la generación de residuos, principalmente orgánicos como flores y maleza (Tan et al., 2021). Se estima que un cementerio puede producir entre 2 a 5 toneladas mensuales de residuos, de las cuales cerca del 86 % corresponde a este tipo de desechos son biodegradables. Diversos estudios señalan que la inadecuada gestión de estos residuos frecuentemente dispersados o incinerados genera importantes impactos ambientales y puede convertirse en un foco de contaminación y enfermedades, poniendo en riesgo la salud de los visitantes y comunidades cercanas.

A nivel local, el Cementerio La Capilla (Juliaca, San Román, Puno) genera residuos orgánicos e inorgánicos, predominando los residuos florales, que representan el 66 %. Durante los meses de mayo y junio de 2024, donde se registró una producción aproximada de 4 toneladas mensuales de residuos, según datos obtenidos durante la ejecución del proyecto (Roque, obs. pers., 2024).

Actualmente el cementerio La Capilla no cuenta con el servicio de recolección de residuos sólidos por la Unidad de Gestión de Residuos Sólidos (UGRS), de la municipalidad provincial de San Román, que realiza de manera continua la recolección de residuos orgánicos como frutas y verduras en descomposición, cáscaras y flores, solo en los mercados Las Mercedes, Santa Bárbara, Pedro

Vilcapaza y el ex Mercado Santa María con el propósito de producir compost y reducir los desechos generados (MPSRJ, 2024).

1.1. Formulación del problema

1.1.1. Pregunta general

¿Como será la producción de humus orgánico a partir de residuos florales del cementerio la Capilla mediante la aplicación de las lombrices (*Eisenia foetida*) y el efecto en la germinación y crecimiento de *Pinus radiata*, distrito de Juliaca-2023?

1.1.2. Preguntas específicas

- ¿Cuáles serán las características físico-químicas del precompostaje elaborado a partir de residuos florales del cementerio La Capilla y estiércol de bovino?
- ¿Qué características físico-químicas presentara el humus de lombriz obtenido a partir del pre compostaje?
- ¿Cuál será el efecto del humus producido en la germinación y crecimiento de plántulas de *Pinus radiata*?

1.2. Objetivos de investigación

1.2.1. Objetivo general

Elaborar humus a partir de residuos florales del cementerio La Capilla mediante el uso de lombrices (*Eisenia foetida*) y su efecto en la germinación y crecimiento de (*Pinus radiata*) en el distrito de Juliaca-2023.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar las características físico químicas del pre compostaje elaborado con residuos florales del cementerio La Capilla y estiércol de bovino.
- Determinar las características físico-químicas del humus de lombriz obtenido a partir del precompostaje.
- Evaluar el efecto del humus producido en la germinación y crecimiento de plántulas de *Pinus radiata*.

1.3. Justificación de la investigación

1.3.1. Ambiental

El Cementerio La Capilla genera mensualmente grandes volúmenes de residuos, de los cuales aproximadamente el 66 % corresponde a residuos orgánicos, principalmente flores en estado de descomposición. La ausencia de un sistema formal de recolección y valorización de estos residuos provoca su acumulación o eliminación inadecuada, generando malos olores, proliferación de vectores y contaminación del suelo y aire. Ante ello, el aprovechamiento de los residuos florales mediante procesos biológicos como el precompostaje y la lombricultura constituye una alternativa ambientalmente sostenible, ya que reduce la carga contaminante, evita la disposición final y promueve la economía circular. Asimismo, la transformación de estos residuos en humus contribuye a mitigar el impacto negativo que producen los cementerios sobre el entorno, convirtiéndolos en recursos útiles para el desarrollo forestal y la reforestación (Shukla et al., 2023; Walsh & McDonnell, 2017).

1.3.2. Técnica

Desde el punto de vista técnico, el uso de residuos florales como materia prima para la elaboración de humus representa una solución eficiente y científicamente respaldada para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del sustrato utilizado en viveros forestales (Pomalaza & Ramos, 2016). La investigación aporta evidencia experimental sobre la eficacia del humus derivado de estos residuos en el crecimiento inicial de plántulas de *Pinus radiata*, especie forestal de importancia económica y ecológica en programas de reforestación de la región. Además, el diseño experimental permite validar la eficiencia de diferentes concentraciones del sustrato, generando información técnica confiable para su replicación en proyectos municipales, comunitarios o institucionales orientados al manejo adecuado de residuos orgánicos.

1.3.3. Social

Socialmente, la valorización de los residuos florales del Cementerio La Capilla promueve un ambiente más saludable para los visitantes y pobladores del distrito de Juliaca, mitigando los focos de contaminación que afectan la calidad de vida. A su vez, fomenta la conciencia ambiental de la población, incentivando prácticas responsables como la segregación en la fuente y la participación ciudadana en la gestión de residuos. Estas actividades no solo disminuyen la carga de residuos enviados a rellenos sanitarios, sino que también fortalecen la cohesión social, promueven la educación ambiental y transforman a los residuos orgánicos en un recurso valioso (United States Environmental Protection Agency, 2025; Climate Resilience Project, 2024). La investigación también contribuye a fortalecer la cultura de aprovechamiento y transformación de residuos, lo cual puede ser replicado en otros cementerios y espacios públicos a nivel local y regional.

1.3.4. Económica

En el aspecto económico, la conversión de residuos florales en humus genera un producto de valor agregado de bajo costo de producción y alta demanda en actividades agrícolas y forestales (Kaza et al., 2023). Este proceso disminuye los gastos asociados al transporte y disposición final de residuos, optimizando los recursos municipales. Además, el humus obtenido puede convertirse en un insumo económicamente accesible para viveros, productores locales y programas de reforestación, reduciendo la dependencia de fertilizantes comerciales. De esta manera, la investigación demuestra que la valorización de residuos no solo es viable, sino también económicamente beneficiosa para la comunidad y las instituciones locales (World Bank, 2023).

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis General

La producción de humus orgánico obtenido a partir de residuos florales, tiene un efecto mayor con el 60% de humus en la germinación y crecimiento de plántulas de *Pinus radiata* en el distrito de Juliaca.

1.4.2. Hipótesis Específicos

- Las características físico-químicas del precompostaje partir de residuos florales y estiércol de bovino presenta valores óptimos de pH, humedad y temperatura para su posterior utilización en la producción de humus mediante *Eisenia foetida*.
- El humus de lombriz obtenido a partir del precompostaje de residuos florales y estiércol de bovino presenta mejores parámetros físico-químicos que el precompostaje.
- La aplicación del humus de lombriz al 60% producido a partir de residuos florales incrementa significativamente el porcentaje de germinación y los parámetros fisiológicos de *Pinus radiata*, en comparación con un tratamiento control.

CAPÍTULO II REVISION DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Checa (2024), en su estudio titulado *Manejo ambiental de residuos florales: factibilidad de composta y lombricomposta a partir de residuos procedentes de cementerios y florerías en San Agustín, Tlaxcala*, tuvo como objetivo general analizar la factibilidad técnica y productiva de elaborar composta y lombricomposta a partir de residuos florales generados en cementerios, iglesias, florerías e invernaderos. La metodología consistió en preparar pilas de composta y celdas de lombricomposta mezclando residuos florales con estiércol bovino y aserrín, utilizando lombrices *Eisenia foetida* en el tratamiento biológico. La muestra estuvo compuesta por lotes experimentales de 50 kg de residuos florales combinados con 40 kg de estiércol y 10 kg de aserrín por tratamiento. Los resultados mostraron que ambos procesos fueron técnicamente viables y dieron como producto final un compost y humus con contenido adecuado de materia orgánica, relación C/N equilibrada y niveles óptimos de nitrógeno, fósforo y potasio, demostrando que los residuos florales provenientes de camposantos pueden transformarse en abonos orgánicos de excelente calidad agronómica.

Yadav, Kumar y Malwal (2025), en el estudio titulado *Efectos del vermicompost producido a partir de diferentes residuos orgánicos sobre el crecimiento y las características de floración de Zinnia elegans*, tuvieron como objetivo evaluar la eficiencia del vermicompostaje como estrategia de manejo sostenible de residuos mediante el uso de estiércol de bovino solo (100 %) y combinado con residuos florales (80:20), empleando la lombriz *Eudrilus eugeniae*; la metodología consistió en un diseño experimental en bandejas con dos tratamientos (V1 y V2), donde se controlaron pH, humedad y reproducción de lombrices, además de analizarse las propiedades fisicoquímicas del humus y su efecto sobre el crecimiento de *Zinnia elegans* en cultivo en maceta; los resultados demostraron que el tratamiento con estiércol de bovino y residuos florales (V2) produjo un vermicompost con mayor contenido de nitrógeno (0.99 %), fósforo (1.32 %) y potasio (2.01 %), una menor relación C:N (10.1), mayor biomasa y reproducción de lombrices (84.80 % de eclosión), así como un mejor desempeño vegetal, alcanzando mayor altura (28.6

cm) y mayor número y diámetro de flores; se concluyó que la combinación de residuos florales con estiércol bovino mejora significativamente la calidad del humus, optimiza la eficiencia del vermicompostaje y potencia el crecimiento de plantas, constituyendo una alternativa viable y sostenible para la valorización de residuos orgánicos.

Esmacili et al. (2020), en su estudio *Gestión de residuos de pistacho mediante un proceso combinado de compostaje y vermicompostaje utilizando Eisenia foetida*, plantearon como objetivo general evaluar la eficiencia de un proceso integrado para el aprovechamiento de residuos agrícolas. La metodología incluyó cinco tratamientos con diferentes proporciones de estiércol de vaca y residuos de pistacho, sometidos a una fase de precompostaje de 45 días seguida de otra de vermicompostaje con igual duración. La muestra estuvo conformada por 50 kilogramos de material por tratamiento, manejados en condiciones controladas. Los resultados mostraron que los tratamientos con mayor proporción de estiércol (T2 y T3) lograron un incremento en nitrógeno, fósforo y potasio, además de una mayor biomasa de lombrices y una notable reducción de la relación C/N, demostrando que la combinación de compostaje y vermicompostaje es una estrategia eficiente y sostenible para el tratamiento de residuos de difícil degradación.

Briceño y Pérez (2017), en su investigación titulada *Uso del humus de lombriz roja californiana (Eisenia foetida) como alternativa sostenible en el cultivo de café*, tuvieron como objetivo general evaluar la eficacia del humus como fertilizante ecológico frente al uso de productos químicos. La metodología se basó en la aplicación de dos libras de humus por planta de café, controlando parámetros fisicoquímicos como pH, humedad y temperatura, además del contenido de nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. La muestra correspondió a plantaciones de café en crecimiento bajo condiciones experimentales. Los resultados demostraron que el uso del humus mejoró significativamente la fertilidad del suelo, duplicó la producción (16 qq/mz frente a 8 qq/mz con fertilizantes químicos) y redujo los costos de producción, concluyendo que la lombricultura es una técnica viable y sostenible para mejorar el rendimiento agrícola y preservar el medio ambiente.

FAO (2013), en su estudio titulado *Manual de Compostaje del Agricultor*, tuvo como objetivo general establecer lineamientos técnicos para la elaboración de compostaje y humus de alta calidad. La metodología consistió en la revisión y estandarización de parámetros esenciales como la temperatura, el pH y la humedad durante el proceso de compostaje. La muestra se centró en diferentes sistemas agrícolas de pequeña y mediana escala en regiones tropicales. Los resultados evidenciaron que una humedad entre 45 % y 60 %, un pH óptimo entre 5.5 y 8, y una adecuada gestión térmica permiten mantener la actividad microbiana, evitando procesos anaeróbicos para obtener compost con propiedades agronómicas superiores, contribuyendo a la sostenibilidad del suelo.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Vásquez y barcéna (2024), en su estudio titulado *Aprovechamiento de residuos orgánicos sólidos para la producción de humus de lombriz (vermicompost) y evaluación de sus características físico-químicas*, tuvo como objetivo general producir humus a partir de residuos orgánicos locales y evaluar sus propiedades para uso agrícola. La metodología consistió en elaborar módulos de vermicompostaje con precompostaje previo y monitoreo de parámetros como temperatura, humedad y pH. La muestra incluyó varias mezclas de residuos orgánicos procesadas en reactores de pequeña escala. Los resultados mostraron un humus estabilizado con pH de 7.2, materia orgánica del 48 %, conductividad eléctrica de 2.1 dS/m, relación C/N reducida a 14:1, y aumentos en nutrientes como nitrógeno total (1.8 %), fósforo (0.42 %) y potasio (0.65 %), valores que se consideran óptimos para la mejora de suelos agrícolas.

INACAL (2021), el Instituto Nacional de Calidad tuvo como propósito establecer lineamientos técnicos orientados a asegurar la calidad, la seguridad y la adecuada eficiencia agronómica de los abonos orgánicos producidos y comercializados en el territorio nacional. Para ello, se elaboraron Normas Técnicas Peruanas sustentadas en una metodología de evaluación físico-química y microbiológica aplicada a productos como el compost y el humus de lombriz, considerando parámetros fundamentales como el pH, el contenido de materia orgánica, la humedad, la relación carbono/nitrógeno (C/N), la concentración de nutrientes esenciales y la presencia de agentes contaminantes. Como resultado de este proceso normativo, se definieron rangos de referencia que señalan que el pH del abono orgánico debe

ubicarse entre 6.0 y 8.5, la humedad no debe superar aproximadamente el 40–50 %, la relación C/N debe situarse preferentemente entre 10 y 20, el contenido de materia orgánica debe ser mayor al 20 %, y las concentraciones de metales pesados, como cadmio, plomo y cromo, deben mantenerse por debajo de los límites máximos permisibles, además de registrarse ausencia o niveles mínimos de microorganismos patógenos. En conclusión, los estándares establecidos por el INACAL constituyen un soporte normativo esencial para la validación de la calidad del abono orgánico, permitiendo sustentar investigaciones vinculadas al aprovechamiento de residuos orgánicos y respaldar su uso seguro y sostenible en la actividad agrícola.

Doria (2020), en su investigación titulada *Determinación de la dosis adecuada de humus de lombriz en el rendimiento de lechuga (Lactuca sativa L.)*, tuvo como objetivo general establecer la cantidad óptima de humus que maximiza el crecimiento y rendimiento del cultivo. La metodología utilizada fue un diseño experimental en bloques completamente al azar, conformado por cuatro tratamientos: T1 (testigo), T2 (dosis baja), T3 (dosis media) y T4 (dosis alta). La muestra consistió en parcelas de cultivo tratadas con diferentes niveles de humus. Los resultados mostraron que los tratamientos T3 y T4 presentaron un desempeño superior respecto al testigo, evidenciando mayor vigor y mejores características fisiológicas. En conclusión, la aplicación de humus de lombriz mejoró significativamente el rendimiento del cultivo, recomendándose la dosis de 12 t/ha como la más eficiente para su uso agrícola.

Lázaro (2020), en su estudio titulado *Efectos del humus de lombriz y las micorrizas como fitorreguladores en el crecimiento de plántulas de Pinus radiata*, tuvo como objetivo general evaluar la influencia de ambos insumos biológicos en el desarrollo fisiológico de las plántulas. La metodología fue de tipo experimental, desarrollada en un semiinvernadero durante 75 días, donde se implementaron tres tratamientos: T1 (humus de lombriz), T2 (micorrizas) y T3 (control). La muestra estuvo compuesta por 45 plántulas, distribuidas en 15 por tratamiento. Los resultados obtenidos mediante análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey al 5 % indicaron diferencias estadísticamente significativas, destacando el tratamiento con micorrizas (T2), que alcanzó mayores promedios en altura (16.87 cm), grosor del tallo (1.01 cm) y longitud de raíz (10.38 cm). Se concluye que las micorrizas demostraron ser más eficientes que el humus en la estimulación del crecimiento y

vigor de *Pinus radiata*, constituyéndose como una alternativa económica y sostenible para programas de reforestación.

García (2018) evaluó la eficiencia del microorganismo *Saccharomyces cerevisiae* en la degradación de residuos florales provenientes del Cementerio Jardín de la Esperanza (Huánuco). Bajo un diseño completamente aleatorizado, la autora determinó los cambios en temperatura, pH, humedad, tiempo de descomposición y contenido nutricional del compost. Concluyó que la aplicación de *S. cerevisiae* aceleró la descomposición y produjo un abono con mejor concentración de macro y micronutrientes, demostrando la viabilidad del aprovechamiento de residuos florales mediante compostaje.

LAMSAC. (2018) implementó una planta de valorización de residuos florales provenientes del Mercado de Flores Santa Rosa (Lima). Este proyecto procesó alrededor de 18 toneladas anuales de flores marchitas para producir compost, humus y fertilizantes líquidos. La iniciativa demostró que los residuos florales poseen alto potencial para ser transformados en abono orgánico de calidad, reduciendo significativamente los residuos que terminaban en botaderos y aportando una solución ambiental sostenible.

Ticona (2016) en su estudio *Lenteja de agua (Lemna gibba) y estiércol de vacuno en el comportamiento biológico de la lombriz roja (Eisenia foetida) en Puno* tuvo como objetivo evaluar la biomasa, la prolificidad y la composición química del estiércol de lombriz, así como estimar los costos de producción del vermicompost utilizando lenteja de agua y estiércol de vacuno. La metodología consistió en la aplicación de cinco tratamientos con diferentes proporciones de ambos sustratos, bajo un diseño con tres repeticiones, empleando pilas de 0.125 m³, precompostadas durante 90 días e inoculadas con lombrices adultas por un periodo adicional de 90 días. Los resultados mostraron que el tratamiento con 100% estiércol de vacuno presentó la mayor biomasa de lombriz, mejor calidad química del vermicompost y mayor rentabilidad económica, mientras que los tratamientos mixtos favorecieron la prolificidad de huevos, juveniles e infantes. Se concluyó que, aunque el estiércol de vacuno puro genera mejores indicadores productivos, la mezcla lenteja de agua y estiércol de vacuno en proporción 1:1 constituye una alternativa técnica y ambientalmente viable para el aprovechamiento de la lenteja de agua.

2.1.3. Antecedentes locales

Mamani (2022) presentó la tesis titulada “*Producción de vermicompost con lombrices rojas californianas (Eisenia foetida) en diversas fuentes de materia orgánica y microorganismos eficaces en el altiplano de Puno*”, cuyo objetivo general fue analizar la productividad del vermicompost, la generación de cocones y lombrices, así como el efecto de distintos niveles de microorganismos eficientes (EM) en condiciones del altiplano puneño. La metodología correspondió a un diseño experimental factorial 3×3, que combinó tres formulaciones de sustrato con tres niveles de EM, utilizando camas vermícolas de 250 × 100 × 60 cm en las que se evaluaron parámetros fisicoquímicos y productivos. La muestra estuvo conformada por 18 unidades experimentales, correspondientes a nueve tratamientos con dos repeticiones, desarrollados entre noviembre de 2021 y mayo de 2022 en Cabanilla. Los resultados mostraron que el sustrato F3 (Ev + Rv 1:1) fue el más eficiente en cuanto a proliferación, alcanzando 2.37 cocones, 7.03 lombrices juveniles y 2.43 lombrices adultas; mientras que la combinación M3F3 (EM 7.5 % + sustrato F3) presentó mejores características fisicoquímicas (45.73 % de materia orgánica, 57.46 % de humedad, 2.40 % de N, 13.50 % de P₂O₅ y 4.35 % de K₂O) y la mayor rentabilidad del ensayo, con un valor B/C de 2.14 (114.17 %).

Valeriano (2021) desarrolló la tesis titulada “*Efecto del humus de lombriz (Eisenia foetida) mediante el uso de tres tipos de estiércol (ovino, vacuno y alpaca) en el cultivo de avena forrajera (Avena sativa L.)*”, cuyo objetivo general fue determinar cómo influyen el tipo y la dosis de humus de lombriz en la calidad química y el rendimiento del cultivo de avena forrajera. La investigación se estructuró bajo un enfoque cuantitativo y un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3×3, en el que se evaluaron tres tipos de humus y tres dosis (0, 2 y 3 t/ha), aplicados en parcelas experimentales. La muestra estuvo compuesta por 27 unidades experimentales distribuidas en nueve tratamientos con tres repeticiones, instaladas en parcelas de 15 m² durante la campaña 2019–2020 en la comunidad de pacarcolla. Los resultados mostraron que la producción de humus alcanzó 54 kg por cada 90 kg de estiércol procesado, reportándose un total de 162 kg en la experiencia; además, la dosis de 3 t/ha incrementó la proteína cruda hasta 9.15 %, la materia seca a 63.11 % y la producción de materia verde hasta 61 000 kg/ha, evidenciando también beneficios económicos con relaciones beneficio/costos superiores a 2.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Residuos florales en cementerios

Los residuos florales constituyen una porción de materia orgánica caracterizada por su elevado contenido de humedad y fibras, como la celulosa y la lignina. Cuando no se gestionan de manera adecuada, pueden ocasionar impactos ambientales negativos, tales como malos olores, liberación de gases, aparición de vectores y generación de lixiviados. En el caso de los residuos orgánicos generados en cementerios pueden aprovecharse mediante la aplicación de tecnologías como el compostaje y la lombricultura (Checa, 2024).

Los cementerios generan un flujo periódico de residuos orgánicos (principalmente ofrendas florales y restos vegetales) que, aunque representen una fracción reducida del total de los residuos municipales, presentan picos estacionales importantes (festividades, fechas conmemorativas) y dificultades logísticas en su recolección y separación. Estudios recientes muestran que la fracción biodegradable puede alcanzar niveles elevados dentro del volumen de residuos generados en días puntuales, lo que requiere sistemas de recolección selectiva y planes específicos de gestión para evitar acumulaciones y costos adicionales de disposición. (Janda & Marcinkowski, 2022; Kostecka, 2024).

Composición de los residuos florales. Los residuos florales procedentes de cementerios están compuestos por vegetales (pétalos, hojas, tallos) con alto contenido de materia orgánica fácilmente degradable; además contienen cantidades variables de humedad, cenizas minerales (Bhati, Dubey & Singh, 2021). Las flores identificadas en el cementerio la capilla de la ciudad de Juliaca se han identificado las siguientes: clavel (*Dianthus caryophyllus*), rosa (*Rosa* spp.), gladiolos (*Gladiolus communis*), crisantemos (*Chrysanthemum morifolium*), astromelias o lirios del Perú (*Alstroemeria aurea*, *A. ligtu*), clavelinas (*Dianthus barbatus*), siemprevivas (*Limonium sinuatum*), margarita (*Leucanthemum vulgare*), lirio (*Lilium candidum*, *L. longiflorum*), girasoles (*Helianthus annuus*), azucenas (*Polianthes tuberosa*), hortensias (*Hydrangea macrophylla*), gypsophila (*Gypsophila paniculata*) entre otros; todas estas especies conforman la mayor parte de los residuos florales.

2.2.2. Precompostaje

El precompostaje corresponde a la fase preliminar de estabilización de la materia orgánica que mediante la descomposición aeróbica disminuye la presencia de patógenos y optimiza la relación C/N. Entre los parámetros fundamentales se encuentran la temperatura (termofilia moderada), el nivel de humedad, el pH, la aireación y la proporción carbono–nitrógeno; el control adecuado de estos elementos permite obtener un sustrato más uniforme y apropiado para el desarrollo de lombrices (Mendoza et al., 2025).

Procesos biológicos en el precompostaje. Durante la fase inicial del compostaje aeróbico, inciden las poblaciones microbianas mesófilas bacterias, hongos y actinomiceto que inician la descomposición de la materia orgánica fácilmente degradable, lo que activa la respiración microbiana y libera CO₂, agua y calor; este calor incrementa la temperatura, lo que favorece un gradual incremento microbiano. A medida que la temperatura aumenta, las comunidades mesófilas ceden paso a bacterias termófilas y otros microorganismos adaptados al calor, modificándose la estructura y función del microbiota, lo que influye en la eficiencia global de la degradación (Xue et al., 2024).

Estiércol de bovino. El estiércol de bovino puede incorporarse en el precompostaje porque mejora la aireación de la mezcla, regula la humedad, aporta nutrientes esenciales y estimula la actividad microbiana encargada de la descomposición. También contribuye a equilibrar la relación carbono/nitrógeno, reducir la compactación del material y disminuir la emisión de olores durante las primeras fases del proceso. Sin embargo, su uso debe manejarse con criterios técnicos adecuados para evitar riesgos sanitarios relacionados con la presencia de patógenos y la posible acumulación de metales pesados (FAO, 2013; Rich et al., 2018)

2.2.3. Factores fisico-químicos del precompostaje

Temperatura. La temperatura en el precompostaje es un indicador directo de la intensidad de la actividad microbiana: la respiración aeróbica de bacterias y hongos libera energía calorífica que eleva la temperatura, desde valores mesófilos (~15–40 °C) hacia la zona termófila (>40 °C), favoreciendo la sucesión microbiana y acelerando la degradación de materiales fácilmente degradables. El perfil térmico

(velocidad de ascenso, pico y duración de la fase termófila) es un buen diagnóstico del avance del proceso y está estrechamente relacionado con la estabilidad y madurez final del compost. (Waqas et al., 2023; Gaspar et al., 2022).

Humedad. La humedad controla la disponibilidad de agua para los procesos metabólicos y enzimáticos microbianos: valores demasiado bajos limitan la actividad microbiana y enlentecen la descomposición; valores demasiado altos reducen la porosidad y la difusión de oxígeno, provocando condiciones anaerobias y malos olores. En compostaje aeróbico práctico el intervalo óptimo de humedad inicial suele situarse alrededor del 50–60 % (peso húmedo), ajustándose durante el proceso mediante riegos o volteos. (Azis et al., 2023; Gaspar et al., 2022).

pH. El pH refleja el balance entre producción y consumo de ácidos orgánicos y compuestos nitrogenados: en las etapas iniciales del precompostaje es común una ligera acidificación por ácidos orgánicos solubles, seguida de una neutralización o leve alcalinización cuando esos intermedios se mineralizan y se liberan amonio. El rango de pH favorable para la actividad microbiana aerobia y la transición correcta entre fases suele ubicarse aproximadamente entre 6,0 y 8,0; variaciones fuera de ese rango afectan la microbiota y la velocidad de descomposición. (Waqas et al., 2023; Gaspar et al., 2022).

Relación C/N (Carbono/Nitrógeno). La relación C/N del material inicial determina el equilibrio energético y nutritivo para los microorganismos: el carbono aporta energía y el nitrógeno es necesario para síntesis proteica. Para compostaje aeróbico se recomienda habitualmente una relación inicial en el orden de 25:1 a 35:1 (muchos trabajos señalan 25–30:1 como óptimo); cuando la C/N es muy alta la descomposición es lenta por falta de N, y cuando es muy baja hay riesgo de pérdidas de N como amoníaco. Durante el proceso la C/N disminuye progresivamente (pérdida de C en forma de CO₂ y mineralización del N), por lo que su seguimiento sirve para evaluar la madurez del compost. (Azis et al., 2023; Waqas et al., 2023)

Tabla 1.
Relación C/N de residuos orgánicos

Residuo orgánico	Relación C/N aproximada
Estiércol de vacuno	15:1 – 20:1
Estiércol de ovino	13:1 – 16:1
Estiércol de alpaca	18:1 – 22:1
Estiércol de cuy	18:1 – 25:1
Estiércol de gallina	6:1 – 10:1
Restos de flores	40:1 – 60:1
Rastrojos y paja de cereales	60:1 – 80:1
Hojas secas	40:1 – 80:1
Residuos de frutas	25:1 – 35:1
Residuos de verduras	12:1 – 20:1
Aserrín	200:1 – 500:1
Cáscara de arroz	70:1 – 100:1
Pulpa de café	20:1 – 30:1
Compost maduro	15:1 – 20:1

Nota. La relación C/N Valores entre 25:1 y 35:1 favorecen un proceso rápido de descomposición, mientras que para lombricultura se recomiendan relaciones entre 20:1 y 30:1 (Norén, 2022)

2.2.4. Lombricultura

La lombricultura es una biotecnología que emplea una especie de lombriz domesticada para reciclar diversos tipos de materia orgánica, produciendo como resultado humus. Además, representa una actividad zootécnica relevante que contribuye a mejorar los sistemas de producción agrícola. (Valeriano, 2021; Llanos, 2022).

Lombriz roja californiana. Nuevo método donde se aplica las lombrices tanto en la agricultura y cultivos de especies forestales (T. Li et al., 2023; Buivydaite et al., 2023). Las lombrices son reguladores clave de la estructura del suelo y la dinámica de la materia orgánica del suelo en muchos agroecosistemas, asimismo, han ganado una amplia atención debido a su influencia en una gama de procesos del suelo, incluida la agregación, la descomposición de residuos, la mineralización de nutrientes, la aireación y la infiltración de agua (Fonte et al., 2009; Peterson et al., 2001). Cabe recalcar que las lombrices son bien conocidas por su importancia para la salud del suelo debido a sus efectos sobre la estructura del suelo y el ciclo de nutrientes (Kim et al., 2022); los efectos inducidos por las lombrices de tierra sobre los microorganismos del suelo están mediados por sus actividades de alimentación y excavación que alteran las propiedades y estructuras del suelo, en consecuencia, las lombrices de tierra afectan los procesos químicos, físicos y biológicos del suelo (B.-G. Zhang et al., 2000).

Descripción morfológica. La lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) es un anélido más comúnmente utilizado en la lombricultura por su efectividad en la degradación de materia orgánica; este anélido presenta un cuerpo segmentado, bilateralmente simétrico, que consta de entre 80 y 120 anillos de 6 – 10 cm de longitud en promedio (Rodríguez et al., 2021). Este anélido está cubierto con una cutícula mucosa, lo que permite el intercambio de gases porque no tiene sistemas respiratorios adaptados (Mendoza & Cárdenas, 2023).

Características. La *Eisenia foetida* es conocida por su alta tasa de reproducción, su capacidad para adaptarse a diferentes desechos orgánicos y su tolerancia a una amplia categoría de condiciones ambientales. También tiene un sistema digestivo particular, que le proporciona la capacidad de transformar los materiales orgánicos en humus, convirtiéndose así en un organismo importante en el tratamiento

sostenible de desechos (Cruz & Herrera, 2022). Funciona mejorando la estructura del suelo al aumentar su porosidad y la capacidad de retención de agua (Ríos et al., 2020).

Descripción taxonómica. Este anélido se divide comúnmente en tres categorías ecológicas: epigeicas, endogeicas y anécicas, basándose en su morfología, su posición en el perfil del suelo y sus hábitos alimentarios (Bobadilla, 2018). (Gutiérrez & Vargas, 2021)

Tabla 2.
Clasificación taxonómica de la lombriz californiana.

Clasificación taxonómica	
Reino	Animal
División	Anélidos
Clase	Clitelados
Orden	haplotaxida
Familia	Lumbricidae
Género	<i>Eisenia</i>
Especie	<i>Foetida</i>

Nota. Clasificación taxonómica de los anélidos, adaptado de (Gutiérrez & Vargas, 2021)

Ciclo reproductivo. El ciclo reproductivo de *Eisenia foetida* parece ser tanto hermafrodita como de copulación cruzada. Óptimamente, libera de 24 a 36 capullos por semana (con un promedio de 2 a 10 crías por capullo) mencionado por (Salas, 2020), que se muestra en la Figura 1. El período desde la puesta del capullo hasta la eclosión es de 21-30 días, dependiendo de la temperatura, la humedad y la calidad del sustrato (Quispe & Ramírez, 2023).

Figura 1.

Ciclo reproductivo de la lombriz californiana



Nota. Ciclo reproductivo de la *Eisenia foetida* tomado de la (FAO, 2013).

Condiciones óptimas para la adaptación de las lombrices. La reproducción y la ingesta de alimentos de las lombrices dependen de factores como la temperatura (óptima entre 15°C y 25°C), la humedad (60% a 85%) o el pH (6.5 a 8), y la naturaleza del alimento orgánico disponible en el sistema de producción. Además, la aireación del sustrato y el contenido de carbono/nitrógeno son factores importantes para el desarrollo adecuado de la lombricultura (López D. &., 2023).

Sub productos generados. Además del humus, la lombricultura produce un líquido rico en nutrientes, "té de lombriz", que puede usarse como biofertilizante. También se obtiene biomasa proteica, ya sea para alimentación animal, o los residuos sólidos orgánicos y aguas residuales se descomponen parcialmente y pueden reintegrarse al ciclo (Arévalo, 2023).

Humus. El humus de lombriz es un fertilizante orgánico de altísima calidad, contiene más que el fertilizante orgánico, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, materia orgánica estable (ácido fúlvico) es tres veces más que el fertilizante orgánico, en la nutrición del suelo frente a los desafíos radicales. Mejora la estructura del suelo, lo que resulta en un incremento en la capacidad de retención de agua de este y la producción de actividad microbiológica beneficiosa (Valverde et al., 2024). En defensa de una producción libre de agroquímicos y sostenible, su aplicación en la agricultura es una de las más valiosas.

Importancia del humus de lombriz. El humus de lombriz es un producto con un futuro prometedor tanto en agricultura ecológica como convencional, porque es ideal para la reestructuración de suelos compactados y pobres en materia

orgánica, asimismo, para el aprovechamiento en la reforestación (Nostoc. B, 2021; Huertos Urbanos, 2022). Por otra parte, se recomienda la lombricultura como una tecnología ecológica de enmienda orgánica para evitar el uso excesivo de fertilizantes inorgánicos, que están provocando la contaminación ambiental (Raza et al., 2022), dado que el crecimiento de la población mundial conduce a un aumento de la demanda de alimentos y la agricultura depende en gran medida del nitrógeno como fertilizante para producir los alimentos necesarios para la población mundial (F. Wang et al., 2021).

- Mejora la textura del suelo.
- Aporta un gran número de nutrientes.
- Gran aumento de la flora microbiana.
- Estimula el crecimiento de las plantas y su desarrollo radicular.
- Favorece la absorción de nutrientes en las plantas.

2.2.5. Macronutrientes

Todos los macronutrientes esenciales para el crecimiento vegetativo, los elementos N:P:K, están presentes en altas concentraciones en el humus de lombriz. Según Díaz et al. (2020), estos son nutrientes esenciales para la fotosíntesis, el desarrollo de tejidos y la floración. Ramírez y León (2021) observaron que un cultivo mejora su productividad y crecimiento de plantas, aunque más notablemente en especies forestales. Además, (Torres & Mamani, 2023) señalan que el humus, al liberar lentamente dichos nutrientes, contribuye a prevenir la lixiviación y aumenta la eficiencia del suelo a largo plazo.

2.2.6. Micronutrientes

Los micronutrientes, incluyendo zinc (Zn), hierro (Fe), cobre (Cu), boro (B) y manganeso (Mn), también son importantes para el metabolismo de las plantas, pero en niveles traza. Estudios recientes como (Gutiérrez et al., 2021) demostraron que el humus de lombriz contiene estos elementos en cantidades adecuadas para la mayoría de las especies vegetales. Gómez y Paredes (2023) indica que la aplicación de humus mejora la absorción de micronutrientes en condiciones de degradación metálica en áreas del altiplano.

2.2.7. Pino (*Pinus radiata*)

El Pino es un género muy importante para la industria forestal (Calviño-Cancela & van Etten, 2018), presentando la siguiente clasificación taxonómica que se muestra en la Tabla 3 según Lázaro, (2020); La especie es originaria de Monterrey, en la costa de California (EE. UU.), pero ha sido introducida exitosamente en diversos países como Canadá, Uruguay, Perú, Chile, Ecuador, Argentina y Bolivia, donde mostró buena adaptación y rendimiento (Bobadilla, 2018).

Tabla 3.

Clasificación taxonómica del Pino (Pinus radiata)

Clasificación taxonómica	
Familia	<i>Pinaceae</i>
Subfamilia	<i>Pinoideae</i>
Género	<i>Pinus</i>
Especie	<i>Pinus radiata</i>
Nombre común	<i>Pino de Monterrey</i>

Nota. Esta tabla fue adaptado de (Lázaro, 2020).

La germinación de las semillas de pino (*Pinus radiata*). Es una etapa importante en la producción de plántulas forestales y depende en gran medida de la calidad del sustrato. Además, el humus de lombriz, tiene un alto contenido de nutrientes disponibles, ácidos húmicos y microorganismos beneficiosos, puede mejorar sustancialmente la etapa de germinación y el crecimiento preliminar de estas plántulas (Torres et al., 2021). Las etapas de germinación suelen clasificarse en cuatro etapas: imbibición, reparación o activación metabólica, emergencia de la radícula y protrusión del hipocótilo (Silva & Cabrera, 2020).

Imbibición. Es la absorción de agua por parte de la semilla seca. En esta etapa, el humus actúa como agente mejorador del sustrato por su capacidad para retener humedad, lo que favorece una imbibición uniforme y rápida (Quintero & Vargas, 2023).

Activación metabólica. Tras la imbibición, se activan enzimas que descomponen reservas internas para alimentar el embrión. El humus en concentraciones moderadas (60%) puede aportar fitohormonas como auxinas y giberelinas que estimulan estos procesos (Alarcón et al., 2022).

Protrusión de la radícula. Esta es la salida de la raíz embrionaria. El humus mejora la aireación y estructura del sustrato, facilitando la penetración de la radícula. Concentraciones altas (80%) pueden, sin embargo, retener demasiada humedad o tener niveles elevados de sales, lo que podría inhibir esta fase (Vallejos & Rojas, 2022).

Emergencia del hipocótilo y establecimiento. La última fase consiste en la emergencia del tallo embrionario y la formación de las primeras hojas verdaderas (cotiledones). En esta etapa, la disponibilidad de nutrientes como fósforo, potasio y nitrógeno del humus contribuye al vigor de la plántula (Ramírez & Paredes, 2024).

2.2.8. Marco legal

Ley General de Residuos Sólidos N.º 27314

Ordena la gestión de los residuos sólidos en el Perú, abarcando desde su generación hasta su disposición final. Con la finalidad de garantizar un manejo integral, seguro y ambientalmente sostenible, fomentando la reducción de residuos, su correcta separación, el aprovechamiento de materiales y su valorización.

Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos – Ley N.º 1278

Actualiza y fortalece la Ley 27314. Incorpora: Enfoque de economía circular, valorización obligatoria siempre que sea posible el aprovechamiento mediante tecnologías como compostaje, lombricultura y biodigestión.

Reglamento de la Ley 1278 – D.S. N.º 009-2019-MINAM

Detalla:

- Inclusión de áreas como mercados, parques, jardines y cementerios.
- Requisitos para proyectos de valorización como compost o humus de lombriz.

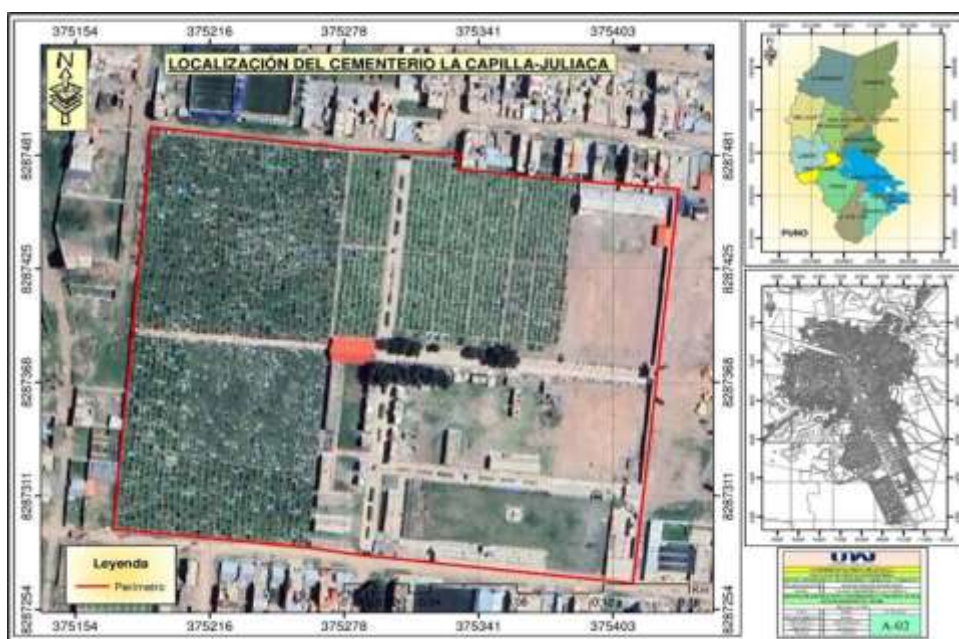
CAPÍTULO III MATERIALES Y METODOS

3.1. **Ámbito de estudio: localización política y geográfica**

La investigación se realizó en el cementerio la Capilla ubicado en el distrito de Juliaca, provincia de San Román, de la región de Puno, ubicado en las coordenadas UTM WGS84 Zona-19 por el Este 378196.04 m E y por el norte 8286796.09 m S, con una altitud de 3824 m.s.n.m.

Figura 2.

Ubicación del cementerio La Capilla en la ciudad de Juliaca



Nota. Localización del cementerio desde (Google Earth Pro, 2023). Fuente: Elaboración propia

3.2. **Equipos, materiales e insumos**

3.2.1. **Equipos**

- Balanza de 30 kg
- PHmetro (pH, temperatura, humedad)
- Vernier digital (kusitest)
- Máquina trituradora
- Cámara fotográfica
- Calculadora científica
- GPS

- Estufa

3.2.2. Materiales

- Cinta métrica
- Libreto de campo
- Plantillas de registro
- Fichas
- Utiles de escritorio
- Regadera
- costales de 50 kilos
- 04 baldes de 15 litros
- Guantes
- 02 palas
- Flexómetro,
- Zaranda
- 02 rastrillos
- Mascarillas
- Rollo de mallas raschel
- Plásticos
- Pintura
- 12 listones de eucalipto
- Cajas
- Plancha de triplay
- Clavos
- Bolsas de almacigo

3.2.3. Insumos

- Residuos florales
- Estiércol de bovino
- Lombrices californianas
- Semillas de Pino
- Agua destilada (para calibrar)
- Agua natural

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población de estudio estuvo conformada, en la etapa de precompostaje por 63 contenedores de residuos orgánicos, recolectados durante un periodo de 14 días, con un peso de 1995,096 kg, (31.66kg/contenedor) del Cementerio La Capilla; donde se ha identificado las siguientes especies. clavel (*Dianthus caryophyllus*), rosa (*Rosa spp.*), gladiolos (*Gladiolus communis*), crisantemos (*Chrysanthemum morifolium*), margarita (*Leucanthemum vulgare*), lirio (*Lilium candidum*, *L. longiflorum*), girasoles (*Helianthus annuus*), azucenas (*Polianthes tuberosa*). Asimismo, para la etapa de evaluación del humus, la población estuvo constituida por plántulas de *Pinus radiata*, empleadas como organismo indicador para la prueba de germinación, por su respuesta fisiológica a diferentes concentraciones de humus aplicado.

3.3.2. Tamaño de muestra

Calculo estadístico para determinar el tamaño de muestra

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 \cdot N \cdot \sigma^2}{(N - 1) \cdot E^2 + Z_{1-\alpha/2}^2 \cdot \sigma^2}$$

Donde:

n = tamaño de muestra requerido

N = tamaño de la población

σ^2 = varianza de la población

E = error máximo permitido (margen de error)

$Z_{1-\alpha/2}$ = valor crítico Z según el nivel de confianza 1.96 para 95%.

Tabla 4.*Cálculo de la desviación estándar paso a paso.*

Paso	Fórmula aplicada	Descripción	Resultado con tus datos
1. Número total de datos	$n = 63$ contenedores \times 14 días	Total de observaciones	$n = 882$
2. Media general	$\bar{x} = (\sum x_i) / n$	Promedio de todos los datos	$\sum x_i = 1994.10$ kg $\bar{x} = 1994.10 / 882 = 2.26$ kg
3. Diferencias respecto a la media	$x_i - \bar{x}$	Distancia de cada valor al promedio	Ejemplos reales: 0.00 \rightarrow -2.26 1.20 \rightarrow -1.06 2.80 \rightarrow +0.54 4.30 \rightarrow +2.04 Ejemplos: 5.1076 1.1236 0.2916 4.1616
4. Cuadrado de las diferencias	$(x_i - \bar{x})^2$	Se eliminan los signos negativos	5.1076 1.1236 0.2916 4.1616
5. Suma total de cuadrados	$\sum (x_i - \bar{x})^2$	Suma de todas las variaciones	5311.77
6. Varianza muestral	$s^2 = \sum (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)$	Ajuste por grados de libertad	$s^2 = 5311.77 / 881 = 6.024$
7. Desviación estándar muestral	$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{[\sum (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)]}$	Dispersión de los datos alrededor de la media	$s = \sqrt{6.024} = 2.46$ kg

Nota. Elaboración propia**Error permisible (E):** Se usa 10% de la media (criterio MINAM)

$$E = 10\% \times \text{media general} = 0.226 \text{ kg}$$

$$E = 0.10 \times 2.26 = 0.226 \text{ kg}$$

Datos para determinar el tamaño de muestra.

Tabla 5.

Numero de muestra

Variable	Significado	Valor
N	Número total de contenedores	63
Z_{1-α/2}	Nivel de confianza al 95%	1.96
σ	Desviación estandar	2.46
E	Error permissible	0.226

Nota. Elaboración propia.

Reemplazando en la formula:

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 \cdot N \cdot \sigma^2}{(N - 1) \cdot E^2 + Z_{1-\alpha/2}^2 \cdot \sigma^2}$$
$$n = \frac{1.96^2 \times 63 \times 246^2}{(63 - 1) \times 0.226^2 + 1.96^2 \times 246^2} = \frac{1464.6131}{26.4145} = 55.45$$

n=56 contenedores

3.3.3. Muestra

Para la etapa de precompostaje, el tamaño de la muestra fue determinado mediante un cálculo estadístico, considerando un nivel de confianza del 95 % ($Z = 1,96$), una desviación estándar de 2,46 y un error permissible del 10 %, equivalente a 0,226 kg. Como resultado, se obtuvo un tamaño muestral de 55,45, el cual fue redondeado a 56 contenedores de residuos orgánicos, que representaron un total de 77,2 kg de residuos florales secos, utilizados en el proceso de precompostaje.

En la etapa de germinación, se utilizó 60 unidades de semillas donde se consideró los primeros 21 días. La muestra estuvo conformada por 45 semillas de *Pinus radiata*, distribuidas en cuatro tratamientos con diferentes concentraciones de

humus (80 %, 60 % y 40 %, además del tratamiento control), considerando cinco repeticiones por tratamiento, con la finalidad de garantizar la confiabilidad y validez de los resultados experimentales.

3.4. Tipo, nivel y diseño de investigación

3.4.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, ya que busca resolver un problema específico relacionado con la valorización de residuos orgánicos mediante la producción de humus de lombriz y su efecto en el crecimiento de plántulas de pino. Este tipo de estudio emplea conocimientos científicos para generar soluciones prácticas en contextos reales.

3.4.2. Nivel de investigación

Asimismo, el nivel de investigación es explicativo, porque pretende analizar y demostrar la relación causa–efecto entre las proporciones de humus utilizadas y las respuestas de crecimiento de las plántulas (altura, grosor y número de hojas).

3.4.3. Diseño de investigación

Finalmente, el estudio adopta un diseño experimental puro (Diseño experimental completamente aleatorizado (DCA)), debido a que los tratamientos se asignaron al azar a las unidades experimentales bajo condiciones homogéneas. Este diseño permite manipular la variable independiente y controlar factores externos para establecer relaciones causales de manera válida. Por ello, este diseño resulta adecuado para comparar objetivamente el efecto de las distintas concentraciones de humus sobre el crecimiento de las plántulas.

3.5. Metodología

3.5.1. Etapa 1 Determinación de las características físicos y químicas del precompost elaborado con residuos florales del cementerio y estiércol de bovino.

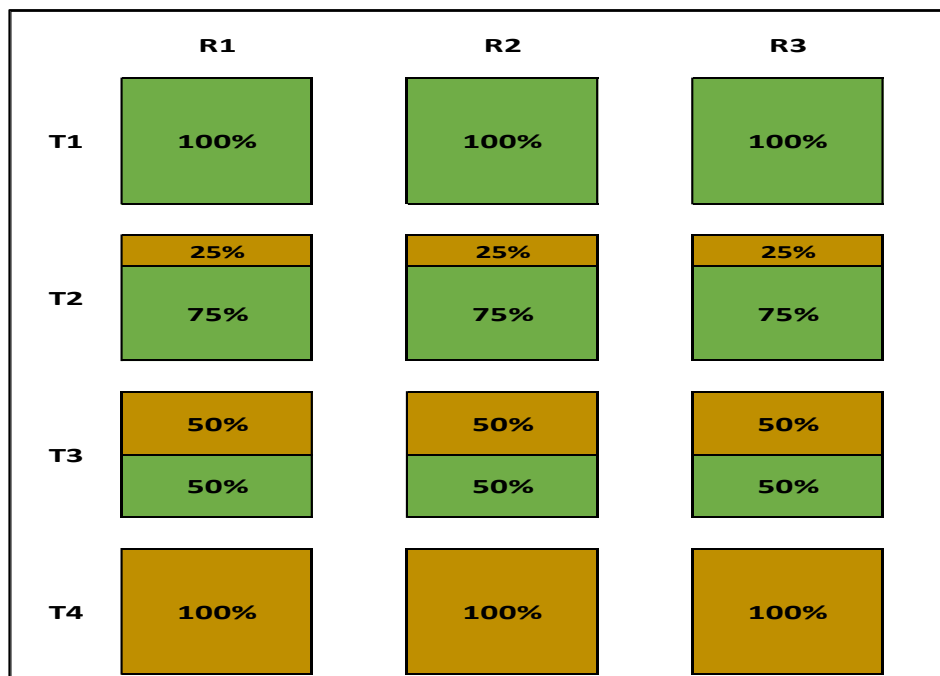
La recolección de los residuos orgánicos florales se realizó conforme a los lineamientos establecidos por el Ministerio del Ambiente del Perú, que clasifica los residuos provenientes de cementerios como residuos orgánicos no peligrosos, siempre que se trate exclusivamente de material vegetal, recomendando su segregación en la fuente, recolección selectiva y eliminación previa de materiales

inorgánicos como plásticos, espumas florales, cintas y elementos metálicos (MINAM, 2023).

- El proceso de precompostaje y la determinación de las características físico-químicas se desarrollaron siguiendo protocolos estandarizados de compostaje aeróbico (FAO, 2013; INACAL, 2021), incorporando un diseño experimental adaptado de Paredes (2022) para evaluar el efecto de diferentes proporciones de residuos florales y estiércol bovino.
- Para el diseño de este proceso se ha considerado el estudio denominado “*Efecto de la adición de carbón vegetal sobre las características físicas y químicas del suelo en la comunidad de Jatunchaca*” realizado por Paredes (2022), donde considera cuatro tratamientos con diferentes proporciones de carbón vegetal (0%, 25%, 50% y 75%), los cuales fueron analizados mediante pruebas físico-químicas en laboratorio. Su diseño permitió identificar gradientes de respuesta y comparar los efectos de cada nivel de mezcla; para el tratamiento se a distribuido de la siguiente forma.

Figura 3.

Unidades experimentales para el pre compostaje.



Nota. Donde: ■ residuos florales (RF), ■ estiércol de bovino (EB) adaptado de (Paredes, 2022).

- Posteriormente, los residuos florales y el estiércol fueron triturados mediante equipos mecánicos con el fin de obtener partículas entre 2 y 5 cm, lo cual favorece una degradación aeróbica. Luego, se pesaron las cantidades correspondientes para cada tratamiento establecido donde T1 (100% RF+ 0% EB), T2 (75% RF + 25% EB), T3 (50% RF + 50% EB) y T4 (0% RF +100% EB) y la mezcla se preparó en una superficie impermeable para asegurar su correcta homogeneización.
- Las mezclas fueron dispuestas en pilas con dimensiones aproximadas de 50 × 50 × 50 cm, con la finalidad de mantener una temperatura interna adecuada durante el proceso de descomposición, según lo descrito por Ticona (2016). Estas pilas se instalaron bajo cobertura para evitar la exposición directa a la lluvia y a la radiación solar, garantizando condiciones ambientales estables durante el proceso.
- En cuanto al control de la humedad, esta se mantuvo dentro del rango de 50 % a 60 %, valores considerados óptimos para favorecer la actividad microbiológica y el adecuado desarrollo del proceso aeróbico durante la etapa de compostaje. La verificación de la humedad se realizó de manera rutinaria con mediciones efectuadas con un medidor digital de humedad, con el fin de asegurar mayor precisión y control del proceso. Cuando se detectaron desviaciones fuera del rango establecido, se procedió a la adición controlada de agua o material seco, según correspondiera, para restablecer las condiciones óptimas del sustrato, de acuerdo con lo establecido en la Norma Técnica Peruana NTP 201.208:2021 (INACAL).
- La aireación del material se aseguró mediante volteos cada siete días durante el primer mes, lo que permitió oxigenar la mezcla y evitar condiciones anaeróbicas. Este manejo favoreció la actividad de los microorganismos y la progresiva estabilización de los residuos (FAO, 2013).
- Durante los 60 días del proceso de precompostaje, se realizó el monitoreo periódico de los parámetros fisicoquímicos de temperatura, pH y humedad, con una frecuencia de evaluación cada tres días, utilizando un pH-metro digital y medidores de humedad. Este seguimiento permitió verificar la estabilidad del proceso y asegurar condiciones adecuadas para el desarrollo de la actividad

microbiana, conforme a los lineamientos técnicos del compostaje aeróbico establecidos por la FAO (2013) y lo recomendado por Haug (2018).

Tabla 6.

Parámetros Óptimos Recomendados al finalizar la etapa del precompost.

Parámetro	Rango recomendado en precompostaje	Fuente / Investigadores
H%	45 – 60% (óptimo para activación microbiana)	FAO (2013); INACAL (NTP 201.208:2021)
MO%	20 – 60 %	FAO (2013)
Relación C/N	10:1 – 15:1 (etapa de precompostaje)	FAO (2013); Haug R.T. (2018)
Ph	6– 8.5	FAO (2013); INACAL (NTP 201.208:2021)
P % disponible	0.3%, 0.1-0.13	INACAL (NTP 201.208:2021), FAO, 2013
K %	0.6%-1.5%	FAO, 2013
CIC (meq/100 g)	10 – 25 meq/100 g (precompost)	FAO (2013)

Nota: Parámetros óptimos recomendados por (FAO, 2013), (INACAL, 2021) y (Haug, 2018).

- Finalmente, el material se consideró maduro cuando la temperatura de las pilas se igualó a la temperatura ambiente, el olor se transformó en uno característico a tierra, el color adquirió un tono marrón oscuro y no se observaron restos frescos sin descomponer (FAO, 2013).
- El sustrato obtenido luego de este periodo fue fraccionado en dos partes: La primera fue enviada a laboratorio para el análisis de parámetros físico-químicos: humedad (H%), materia orgánica (MO%), relación C/N, fósforo (P), potasio (K), pH y capacidad de intercambio (CIC, meq/100 g); la segunda parte se destinó a la etapa posterior de producción de humus mediante *Eisenia foetida*, aplicando los mismos tratamientos definidos en esta etapa.

Formula aplicada.

$$C/N_{Final} = \frac{(RF \times \frac{C}{N_{RF}}) + (EB \times \frac{C}{N_{EB}})}{EF + EB}$$

Donde:

$\frac{C}{N_{RF}}$: 15:1 - 20:1, promedio 17.5:1

$\frac{C}{N_{EB}}$: 40.1 - 60:1, promedio 50:1

Tabla 7.

Relación C/N para cada tratamiento antes del precompostaje

TRATAM.	RF (%)	EB (%)	PESO TOTAL (Kg)	RELACION C/N FINAL
T1	100	0	11.36	50.0:1
T2	75	25	14.95	36.0:1
T3	50	50	18.55	27.5:1
T4	0	100	25.73	17.5:1

Nota. Elaboración propia.

3.5.2. Etapa 2 Determinación las características físico-químicas del humus de lombriz obtenido a partir del precompostaje.

- El proceso de lombricultura se desarrolló siguiendo el sistema de vermicompostaje en cajones, basado en los lineamientos técnicos descritos por Domínguez y Edwards (2024), adaptado a las condiciones experimentales del presente estudio. Para ello, se instalaron doce (12) cajones de Tecnopor provistos de perforaciones en la base y en los laterales, con la finalidad de facilitar el drenaje de lixiviados y garantizar una adecuada aireación del sustrato.
- En cada cajón se incorporó una capa uniforme de 858 g/semana de precompost elaborado a partir de residuos florales y estiércol bovino, previamente acondicionado hasta alcanzar un contenido de humedad comprendido entre 70% y 80%, rango adecuado para el establecimiento y actividad biológica de *Eisenia foetida*. Posteriormente, se realizó la inoculación de 50 lombrices entre adultas y juveniles por unidad experimental. Durante esta etapa, los cajones fueron protegidos de la radiación solar directa, con el fin de evitar el estrés térmico y la deshidratación de las lombrices.

- El manejo del sistema consistió en la adición semanal de una capa delgada de 858 g de precompostaje por semana hasta agregar los 12kg. de precompostaje disponible como fuente de alimento, manteniendo la humedad del sustrato mediante pulverización de agua, evitando la saturación. La temperatura del sistema fue controlada de forma periódica, procurando mantenerla dentro del rango de 15 a 25 °C, considerado óptimo para el desarrollo, reproducción y actividad metabólica de la lombriz roja. Asimismo, cada quince (15) días se efectuaron volteos superficiales del sustrato con el propósito de mejorar la aireación, sin alterar de manera significativa el hábitat de las lombrices, favoreciendo así la actividad biológica y la descomposición del material orgánico.
- Durante todo el proceso de la lombricultura se realizó el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos del sistema, tales como temperatura interna, humedad y pH, con una frecuencia de cada tres (3) días, a fin de asegurar condiciones óptimas para la lombricultura, de acuerdo con lo establecido por Domínguez y Edwards (2024). El humus de lombriz fue cosechado al culminar un periodo de 100 días de operación del sistema.
- Finalmente, el sustrato obtenido fue fraccionado en dos partes. La primera fue remitida al laboratorio “Megalaboratorios Químicos de los Andes S.A.C.” para la determinación de sus características físicas y químicas, incluyendo humedad (H%), materia orgánica (MO%), relación carbono/nitrógeno (C/N), fósforo disponible (P, ppm), potasio disponible (K, ppm), pH y capacidad de intercambio catiónico (CIC, meq/100 g), con la finalidad de evaluar la calidad final del humus producido. La segunda fracción fue destinada al cumplimiento del tercer objetivo del estudio.

Tabla 8.*Parámetros físicos y químicos óptimos para el Humus de Lombriz.*

Parámetros	Límites óptimos	Guía bibliográfica
Humedad (%)	35 % – 55 %	FAO (2013); (Domínguez & Edwards (2011, 2024)
Materia orgánica (%)	20 % – 45 %	(Domínguez & Edwards (2011, 2024); NTP 201.208:2021 (INACAL)
Relación C/N	10:1 – 15:1	FAO (2013); Haug (2028)
Fósforo (%)	0.1% – 1%	NTP 201.208:2021 (INACAL)
Potasio (%)	0.3% – 1%	NTP 201.208:2021 (INACAL)
pH	6.5 – 8.5	NTP 201.208:2021 (INACAL); FAO (2013); Domínguez & Edwards (2011)
CIC (meq/100 g)	> 20 meq/100 g	NTP 201.208:2021 (INACAL)

Nota. Estos parámetros se consideraron durante el proceso de humificación.

3.5.3. Etapa 3 Evaluación el Efecto del Humus Producido en la Germinación y Crecimiento de Plántulas de Pinus Radiata

Para la evaluación del tercer objetivo se utilizó únicamente el humus de lombriz obtenido del Tratamiento 2 (75 % residuos florales y 25 % estiércol de bovino), debido a que presentó los mejores resultados en los parámetros físico-químicos durante las etapas de precompostaje y lombricultura. La selección del humus de mayor calidad se realizó siguiendo criterios técnicos recomendados en estudios agronómicos, los cuales señalan que los ensayos de germinación y crecimiento vegetal deben realizarse con abonos orgánicos estabilizados y maduros, a fin de asegurar que los efectos observados se atribuyan a la calidad del humus y no a procesos de inmadurez del sustrato (Haug, 2018). El humus

seleccionado fue homogenizado y se obtuvo un total de 15 kg para su uso en la fase experimental.

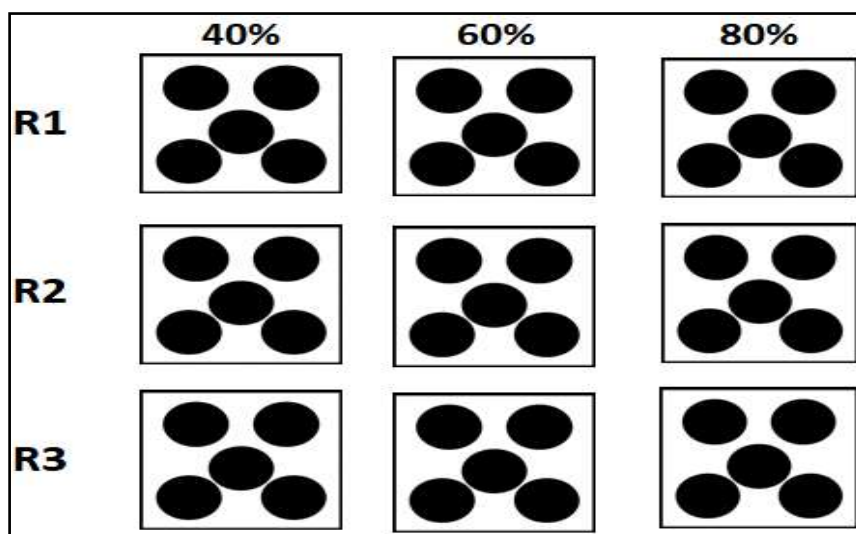
Se establecieron tres niveles de concentración de humus en el sustrato: 40 %, 60 % y 80 %, los cuales fueron determinados en función del volumen total de las bolsas de almácigo utilizadas en el vivero. Para cada concentración se realizaron los cálculos correspondientes a fin de definir la cantidad exacta de humus y material complementario necesario para cada unidad experimental.

Cada tratamiento estuvo conformado por tres repeticiones, y cada repetición constó de cinco sub-repeticiones, sumando un total de 45 unidades experimentales. Las bolsas fueron llenadas de manera homogénea y rotuladas adecuadamente para su identificación.

Las unidades experimentales fueron distribuidas bajo un diseño completamente al azar (DCA) dentro del vivero, con la finalidad de minimizar posibles efectos de variabilidad ambiental como luz, temperatura y humedad. La disposición de los tratamientos se presenta en la Figura 4, donde se muestra el esquema de distribución de las concentraciones de humus evaluadas.

Figura 4.

Esquema de distribución de los tratamientos de humus aplicados a plántulas de Pinus radiata (40%, 60% y 80%) con tres repeticiones y cinco subrepeticiones.



Nota. Elaboración propia.

Las semillas de *Pinus radiata* fueron desinfectadas con hipoclorito de sodio al 1% por 5 minutos y enjuagadas con agua destilada. Posteriormente, se sembró una semilla por bolsa de almacigo a 1 cm de profundidad y las unidades experimentales se distribuyeron al azar para evitar sesgos por variaciones ambientales.

Las variables evaluadas incluyeron: porcentaje de germinación, altura de plántula (cm), grosor de tallo (mm), número de hojas, longitud de raíz. Las mediciones de crecimiento se realizaron a intervalos de 3 días durante un periodo total de 75 días.

Índice de emergencia (IE) La determinación del índice de emergencia se realizó durante la fase de germinación de las 60 semillas de *Pinus radiata* bajo condiciones controladas de vivero, mediante el conteo diario de plántulas emergidas desde el primer día después de la siembra hasta el día 21, considerando como emergencia la protrusión visible del hipocótilo sobre el sustrato. A partir de estos registros se obtuvo la germinación diaria y el Índice de Emergencia (IE) se calculó utilizando la fórmula propuesta por Maguire (1962), que relaciona el número de plántulas emergidas con el tiempo transcurrido desde la siembra. Los valores de IE permitieron comparar la velocidad y uniformidad de la emergencia entre tratamientos, interpretándose valores más altos como indicativos de una emergencia más rápida y homogénea.

$$IE = \sum_{i=1}^n ni/ti$$

Donde:

IE= Índice de emergencia

ni = Número de plántulas emergidas en el día.

ti = Tiempo transcurrido desde la siembra (en días)

Índice de velocidad de emergencia (IVE) Para la determinación del índice de velocidad de emergencia (IVE): se obtuvo a través del conteo diario de las plántulas emergidas a partir de la siembra, tomando como plántulas emergidas a las que sobresalgan del sustrato. El índice de velocidad de emergencia IVE.

$$IVE = \sum_{i=1}^n Xi/Ni$$

Donde:

IVE = índice de velocidad de emergencia

Xi= Número de plántulas emergidas por día

Ni= Número de días después de la siembra

n= Número de conteos 1, 2, n conteos.

Medición de variables de crecimiento

Altura de plántula: Medida desde la base del tallo hasta el ápice, utilizando una regla milimetrada; expresada en centímetros (cm).

Altura de tallo: Medida desde la base del tallo utilizando una regla milimetrada; expresada en centímetros (cm).

Grosor de tallo: Medido en la parte basal del tallo mediante un calibrador digital (vernier); expresado en milímetros (cm).

Número de hojas: determinado mediante conteo directo de las hojas desarrolladas por cada plántula.

Longitud de raíz: medida desde el cuello de la raíz hasta el extremo de la raíz principal; expresada en centímetros (cm).

Evaluación de parámetros en crecimiento de plántulas

Tabla 9.

Parámetros de control obligatorio en las características fisiológicas de la plántula de Pino.

Nº	Parámetros	Unid. Medida
1	Índice de velocidad de emergencia (IVE)	Valor
2	Altura de plántula	cm
3	Altura de tallo	cm
4	Grosor de tallo	cm
5	Número de hojas	Valor
6	Longitud de raíz	cm/ml

Nota. Elaboración propia.

3.6. Técnicas estadísticas para el procesamiento de datos

El procesamiento y análisis estadístico de los datos se realizó utilizando Microsoft Excel 2024 para la organización y tabulación de la información, y el software SPSS para la aplicación de pruebas estadísticas. Se efectuó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar diferencias significativas entre tratamientos y, cuando correspondió, se aplicó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey, considerando un nivel de significancia de 5 % ($p < 0.05$).

3.6.1. Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizó mediante un diseño completamente al azar (DCA), utilizando el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + a_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

- Y_{ij} : valor observado del parámetro evaluado en el i -ésimo tratamiento
- μ : Media general
- a_i : Efecto del i -ésimo tratamiento (concentraciones de humus)
- ϵ_{ij} : Efecto del error experimental aleatorio.

3.6.2. Análisis de varianza

Tabla 10.

Formula aplicada para la determinación del análisis de varianza.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	FC	Ft 0.05
Entre tratamientos (muestras)	t - 1	SCTratamiento	SC trat/GL trat	CMtrat/CM err.esp.	
Dentro de tratamientos (Error experimental)	n - t	SCErrExp	SC trat/GL trat		
Total	n-1	SCTotal			

Nota. Elaboración propia

$$T_{..} = \sum_{i=1}^t T_i$$

$$n_{..} = \sum_{i=1}^t n_i$$

$$SC_{Trat..} = \sum_{j=1}^k \frac{T_j^2}{n_j} - \frac{T^2}{n}$$

Donde:

$SC_{Trat..}$: Suma de cuadrados del tratamiento

T_j^2 : Total de tratamiento

n : Número de tratamiento

$$SC_{ErrEXP..} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^k X_{ij}^2 - \sum_{j=1}^k \frac{T_j^2}{n_j}$$

$$SC_{Total} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^k X_{ij}^2 - \frac{T_j^2}{n_j}$$

$$CV = \frac{\sqrt{CM_{EE}}}{Y} X 100$$

Donde:

CV : coeficiente de variación

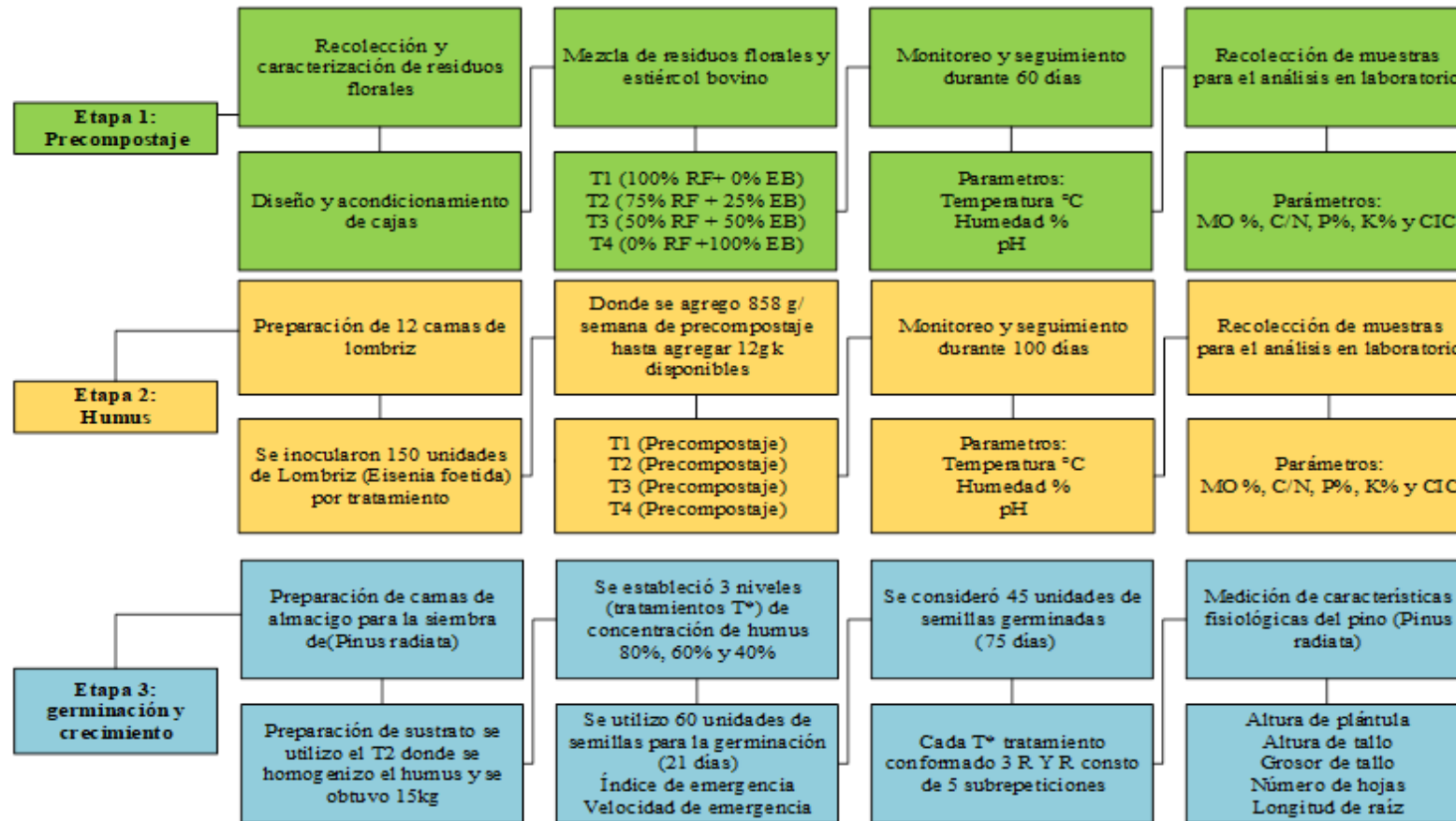
CM_{EE} : cuadrado medio del valor

Y : media general

3.7. Flujograma de la investigación

Figura 5.

Flujograma de procesos y actividades para el desarrollo del proyecto de investigación.



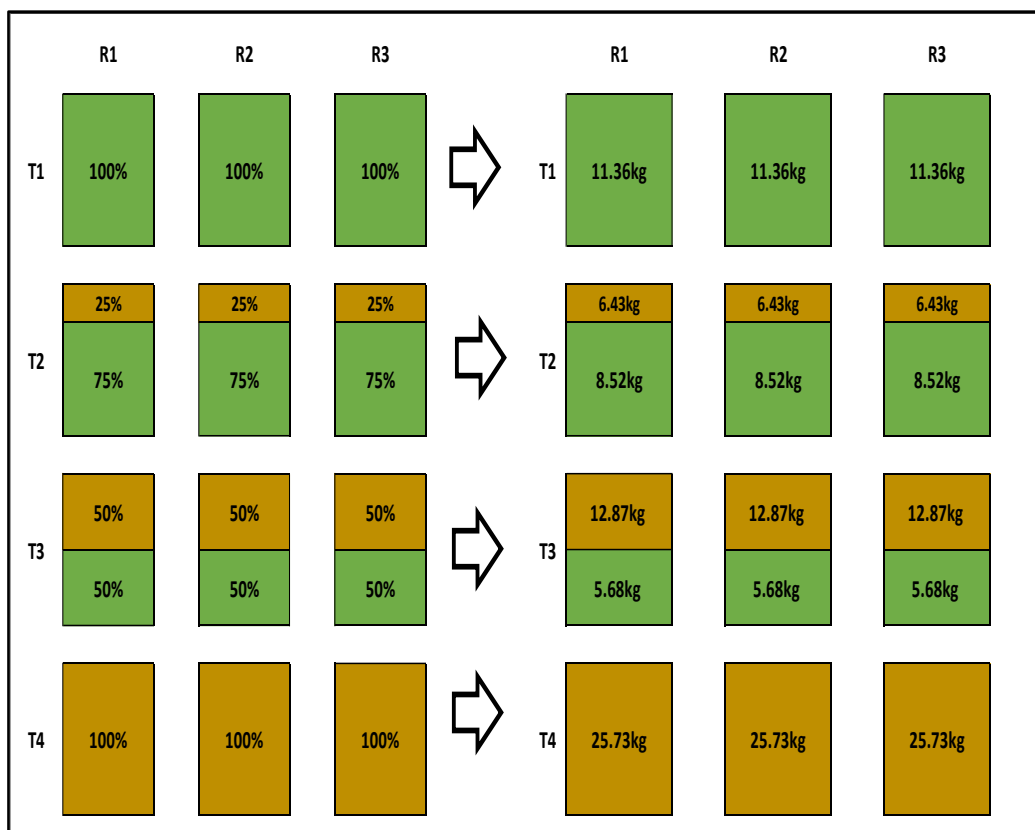
Nota. Elaboración propia

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Determinación de las características físico químicas del precompostaje elaborado con residuos florales del cementerio y estiércol de bovino.

Figura 6.

Proporciones de mezcla para la realización del precompostaje.



Nota.: T: Tratamiento, R: repeticiones donde los residuos florales (76.68kg) y estiércol de bovino (135.09). Fuente: Elaboración propia.

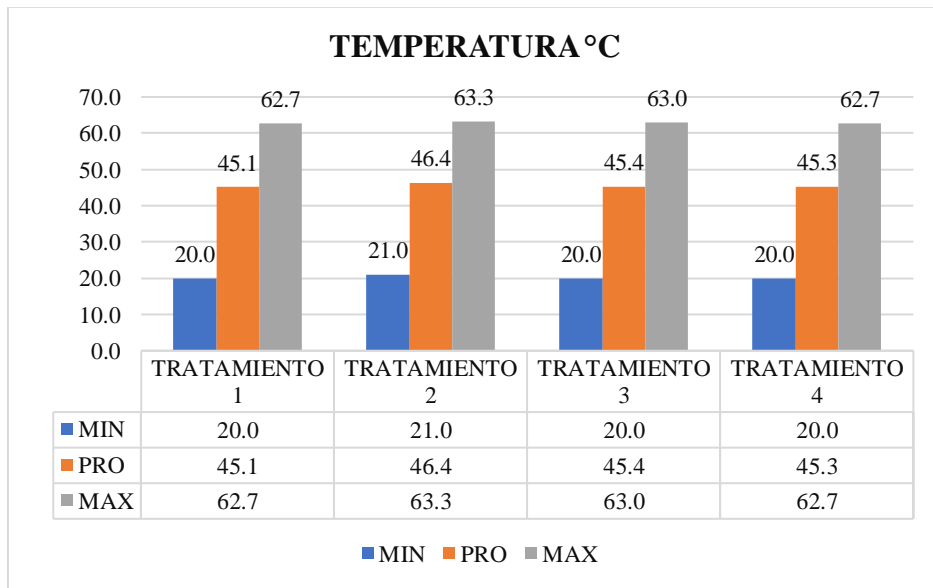
La figura muestra la preparación de los cuatro tratamientos utilizando diferentes proporciones de residuos florales y estiércol de bovino: 100%, 75%, 50% y 0%, de residuos florales cada uno con tres repeticiones. Estas mezclas permitieron evaluar el desempeño de cada proporción en el proceso de precompostaje.

4.1.1. Control temperatura C°

Durante los 60 días de precompostaje, los cuatro tratamientos registraron temperaturas mínimas entre 20–21 °C, promedios entre 45–46 °C y máximas entre 62–63 °C. En todos los casos, las pilas alcanzaron y mantuvieron la fase termofílica, especialmente en los primeros 20–30 días.

Figura 7.

Control de la temperatura en el pre compostaje



Nota. Grafica del control de temperatura con máxima, mínima y promedio.

Fuente: Elaboración propia

Los valores observados indican un proceso de compostaje activo, ya que las temperaturas superiores a 45 °C permiten la proliferación de microorganismos termofílicos responsables de la degradación acelerada. Esto coincide con lo señalado por Jiménez et al. (2020), quienes registraron temperaturas máximas entre 50 y 65 °C durante el compostaje de residuos sólidos urbanos bajo condiciones controladas de volteo y aeración. Estas condiciones son comparables a las del presente estudio, donde el rango máximo (62–63 °C) se ubica dentro del intervalo óptimo reportado.

De forma similar, Irfan et al. (2022) observaron picos térmicos de 55–60 °C al compostar residuos agrícolas en pilas aireadas de 1 m³, afirmando que tales temperaturas garantizan la sanitización del material al eliminar patógenos y

semillas indeseadas. Las temperaturas del presente estudio, al superar los 60 °C, sugieren condiciones también favorables para la higienización.

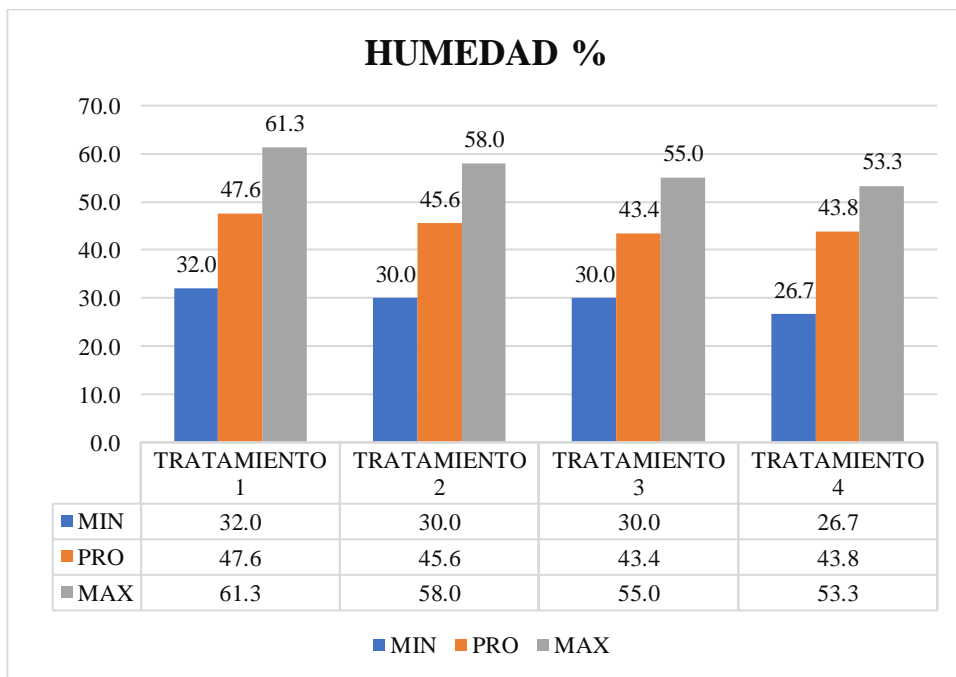
Finalmente, Tuomela et al. (2023) reportaron temperaturas entre 40–70 °C en compostaje industrial de residuos lignocelulósicos, indicando que los valores superiores a 60 °C favorecen la degradación de compuestos recalcitrantes como lignina. Este comportamiento coincide con lo observado en los tratamientos evaluados. Además, que los resultados se ubican dentro del rango termófilo recomendado por la FAO (45–65 °C), lo que evidencia un proceso de precompostaje adecuado y con alta actividad microbiana.

4.1.2. Control de humedad %

Los tratamientos presentaron humedades mínimas entre 26.7 y 32 %, promedios entre 43.4 y 47.6 % y máximas entre 53.3 y 61.3 %. Salvo el tratamiento 4 (mínimo de 26.7 %), los valores se mantuvieron dentro del rango recomendado.

Figura 8.

Control de Humedad en el precompostaje



Nota. Grafica del control de la humedad con valores máximos, mínimos y promedios. Fuente: Elaboración propia.

El contenido de humedad es uno de los factores más determinantes para la respiración microbiana. En este estudio, la humedad promedio (43–47 %) se mantuvo cercana al nivel óptimo reportado por Jiménez et al. (2020), quienes concluyeron que el rango adecuado para compostaje es de 45–60 %, trabajando con residuos pecuarios en pilas de 150 kg.

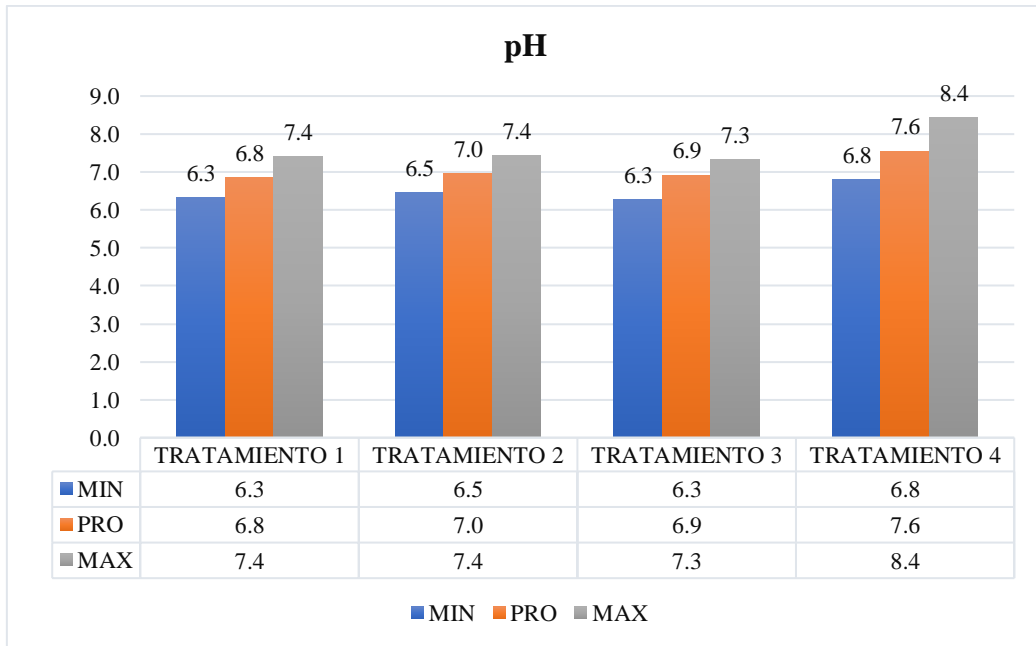
Asimismo, Awasthi et al. (2020) señalaron que humedades inferiores al 30 % reducen significativamente la actividad microbiana en compostaje de lodos y desechos agrícolas. Esta situación coincide con el tratamiento 4, que alcanzó mínimos menores a 30 %, lo cual pudo haber ralentizado localmente el proceso.

Por otra parte, Nayak et al. (2021), en compostaje de residuos domésticos con humedad inicial del 55 %, destacan que valores por encima del 65 % generan condiciones anaeróbicas. En los datos analizados, ninguna pila superó ese límite, lo que indica un proceso adecuadamente aireado. Asimismo, los valores se encuentran dentro del rango óptimo recomendado por la FAO, que establece que la humedad ideal para procesos de compostaje debe mantenerse entre 40% y 60% para asegurar una adecuada actividad microbiana y evitar condiciones anaeróbicas en la etapa termofílica.

4.1.2. Control de pH

El pH registrado durante el proceso de precompostaje presentó valores mínimos entre 6.3 y 6.8, promedios que oscilaron entre 6.8 y 7.6, y valores máximos que alcanzaron hasta 8.4 en el tratamiento 4. Este comportamiento evidenció una tendencia típica del proceso de descomposición orgánica, caracterizada por una ligera acidez en las etapas iniciales y una alcalinización progresiva hacia el final, asociada a la degradación de los compuestos orgánicos y la liberación de sustancias básicas. En este contexto, el tratamiento 2 destacó por mantener un rango de pH más estable y favorable, con valores mínimos de 6.5 y máximos de 7.4, lo que lo ubica dentro del rango óptimo para el desarrollo microbiano y la posterior acción de *Eisenia foetida*, siendo el más adecuado para la elaboración de humus orgánico a partir de residuos florales y estiércol de bovino.

Figura 9.
Control de pH en el precompostaje



Nota. Grafica del control de temperatura con máxima, mínima y promedio.
Fuente: Elaboración propia.

La evolución del pH concuerda con comportamientos descritos en la literatura. Bharadwaj et al. (2022) observaron que el pH en compostaje de estiércol bovino aumenta desde valores cercanos a 6.5 hasta niveles entre 7.5 y 8.2 durante la fase de maduración, debido a la liberación de amonio. Estos valores son comparables a los registrados en este estudio.

Por su parte, Barrena et al. (2020) analizaron pH en residuos municipales compostados bajo condiciones aerobias con volteo cada 7 días, registrando rangos entre 6.0 y 8.0, lo que coincide ampliamente con los promedios observados.

Adicionalmente, Zeng et al. (2021) encontraron pH finales entre 7.2 y 8.5 al compostar residuos verdes y restos de cocina en pilas aireadas artificialmente. Estos valores son prácticamente equivalentes a los observados en el tratamiento 4 (máximo 8.4). Asimismo, la FAO, 2013 los resultados del pH presentan valores óptimos para procesos de compostaje, el cual según la FAO debe mantenerse entre 6.5 y 8.0 para favorecer la actividad microbiana y el normal avance de la biodegradación.

4.1.3. Características físicas y químicas del precompostaje

Tabla 11.

Parámetros físicos y químicos de laboratorio promedio del precompostaje al finalizar los 60 días

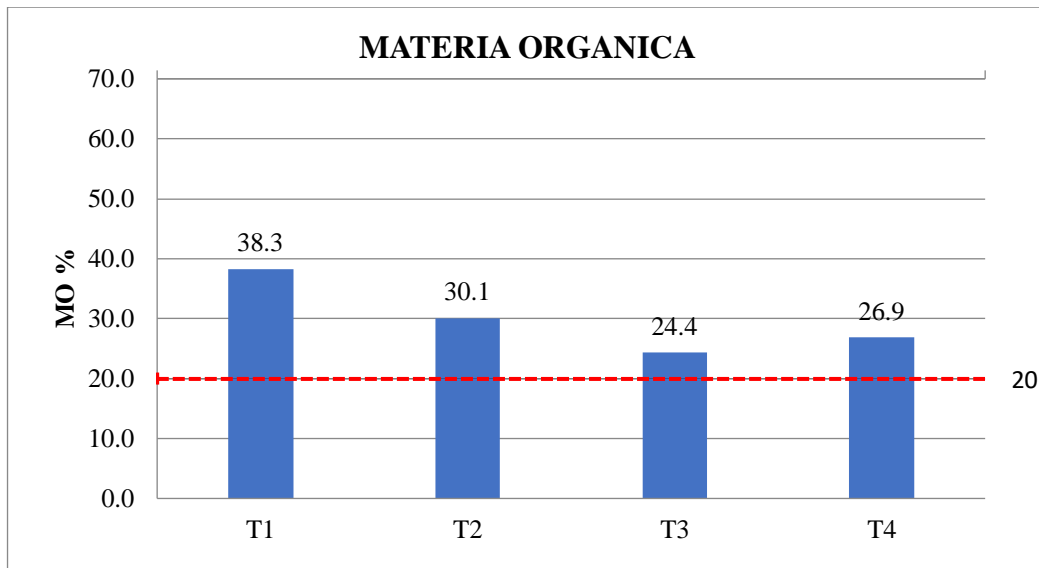
T.	R	MO (%)	C/N	P (%)	K (%)	CIC (meq/100g)
T1	R1	38.6	11.1	0.152	0.2	16.8
	R2	38.2	11.2	0.149	0.202	16.9
	R3	38.37	11.15	0.150	0.201	16.79
T2	R1	30	13	0.181	0.25	20.5
	R2	30.5	13.1	0.180	0.252	20.2
	R3	29.86	13.05	0.180	0.251	20.3
T3	R1	24.5	13.5	0.212	300	24
	R2	24.2	13.6	0.209	0.302	24.5
	R3	24.41	13.52	0.209	0.301	24.01
T4	R1	27	15	0.232	0.318	27.05
	R2	26.6	15.2	0.229	0.322	26.3
	R3	26.95	15.07	0.229	0.320	27.7

Nota. *T: Tratamiento, * R: Repetición *MO: Materia orgánica, * C/N: Relación carbono nitrógeno, *P: Fosforo, *K: Potasio, *pH: *CIC: Capacidad de intercambio catiónico datos analizados en laboratorio. Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Materia orgánica

Al finalizar los 60 días de precompostaje, el contenido de materia orgánica (MO) presentó valores entre 24,4 % (T3) y 38,3 % (T1), con un valor promedio de 29,9 %. Los tratamientos T2 y T4 alcanzaron valores intermedios de 30,1 % y 26,9 %, respectivamente. Todos los tratamientos se mantuvieron dentro del rango recomendado para materiales en proceso de estabilización orgánica.

Figura 10.
Porcentaje de materia orgánica



Nota. Elaboración propia.

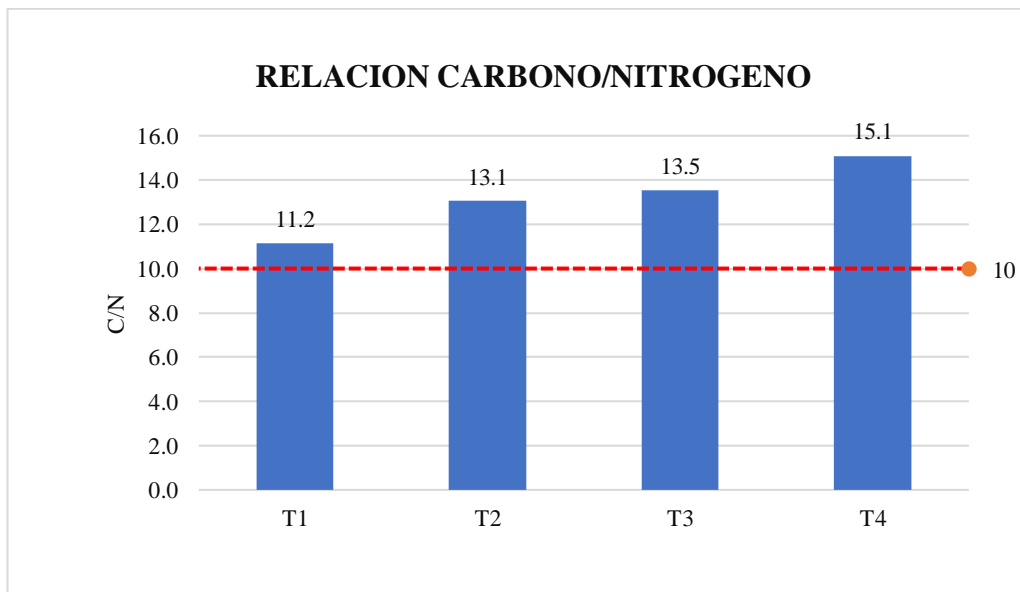
La disminución progresiva del contenido de materia orgánica responde al proceso de mineralización microbiana, donde los compuestos orgánicos fácilmente degradables son transformados en formas más estables. Según Bernal et al. (2017) y Awasthi et al. (2020), valores de MO entre 20 % y 40 % al finalizar etapas iniciales de compostaje indican una adecuada actividad microbiana y un avance en la estabilización del material. De forma similar, Zucconi y De Bertoldi (2019) señalan que la reducción de la MO es un indicador directo de la degradación de carbono orgánico, coherente con lo observado en los tratamientos evaluados, respecto al contenido de materia orgánica (MO%), cuyo rango óptimo se sitúa entre 20–60 % según (Doria, 2020; Checa, 2024; Zea, 2017), los valores obtenidos en todos los tratamientos variaron entre 24.4 % (T3) y 38.3 % (T1). No obstante, el nivel observado en el T2 (30.1 %) refleja un equilibrio adecuado entre la reducción de MO, el cual evidencia un equilibrio entre degradación y estabilidad, coherente con Doria (2020), quien obtuvo 48 % de MO en precompost estabilizado a partir de residuos orgánicos diversos. A diferencia del T3 y T4, cuyos valores se acercan al límite inferior, el T2 evidencia una degradación eficiente sin comprometer la calidad del material.

4.1.4. Relación carbono nitrógeno.

La relación C/N presentó valores mínimos de 11,2 (T1) y máximos de 15,1 (T4), con un promedio de 13,2. Los tratamientos T2 y T3 registraron valores de 13,1 y 13,5, respectivamente. Todos los tratamientos se ubicaron dentro del rango óptimo para precompostaje.

Figura 11.

Relación carbono/nitrógeno



Nota. Elaboración propia.

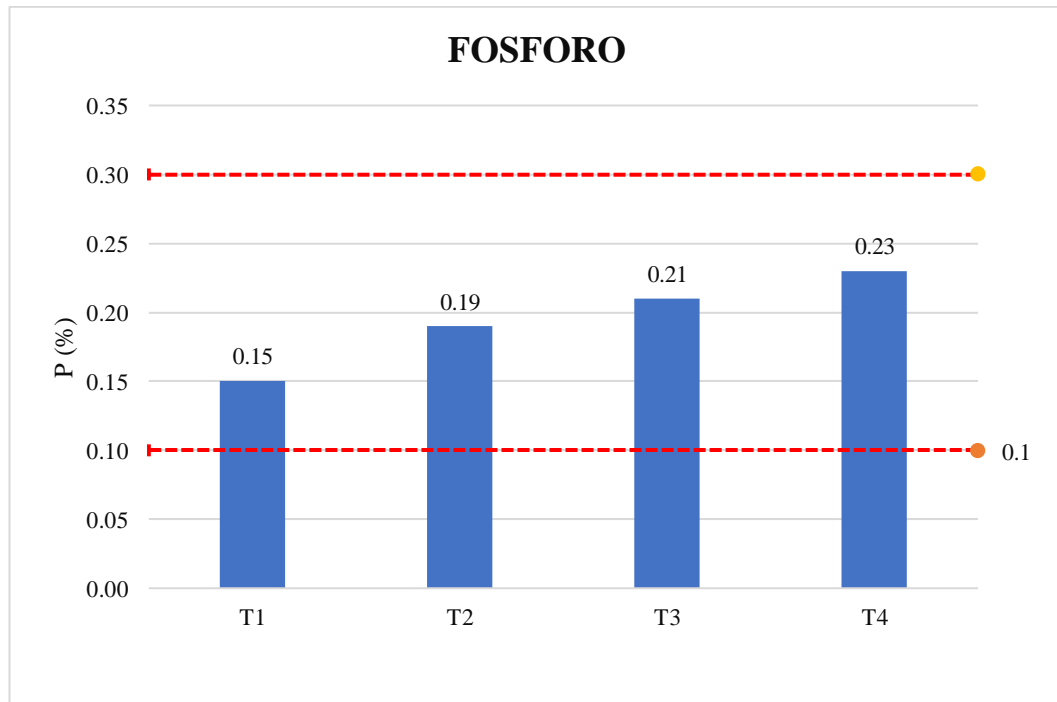
En cuanto a la relación C/N, cuyo intervalo recomendado es 10:1–15:1 para la etapa de precompostaje según (FAO, 2013; Esmaeili et al., 2020; Mamani, 2022), los tratamientos evaluados mostraron valores entre 11.15:1 (T1) y 15.09:1 (T4), aunque el T4 excedió ligeramente el límite superior. El T2 (13.05:1) obtuvo un valor central dentro del rango óptimo, similar a los valores reportados por Vásquez y Bárcena (2024), quienes obtuvieron un C/N de 14:1 en precompost, lo cual demuestra un balance adecuado entre el carbono disponible y el nitrógeno asimilable, condición indispensable para la actividad microbiana y para la posterior incorporación de lombrices. Asimismo, Mamani et al. (2022) destacan que valores cercanos a 12 reflejan un equilibrio favorable entre carbono y nitrógeno, lo cual coincide con los resultados obtenidos tras los 60 días de evaluación.

4.1.5. Fosforo

El contenido de fósforo (P) mostró valores entre 0,02 % (T3 y T4) y 0,19 % (T2), con un promedio de 0,095 %. El tratamiento T1 alcanzó un valor intermedio de 0,15 %, destacándose T2 como el de mayor concentración de fósforo disponible.

Figura 12.

Fosforo (P)



Nota. Elaboración propia.

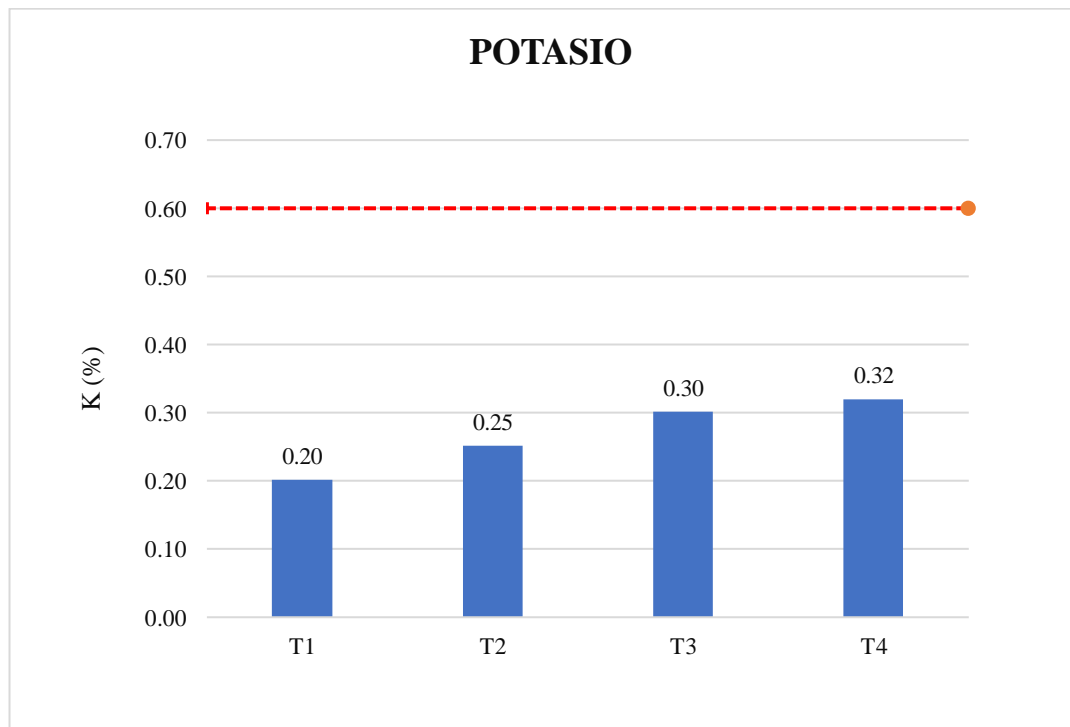
El incremento del fósforo disponible se asocia a la mineralización de compuestos orgánicos fosforados y a la acción microbiana durante el proceso. Según FAO (2013) y García-Gómez et al. (2020), concentraciones de fósforo entre 0,1 % y 0,3 % son frecuentes en materiales orgánicos en etapas iniciales de compostaje. Por su parte, Vásquez y Bárcena (2024) indican que variaciones entre tratamientos pueden atribuirse a la composición inicial del residuo y a la dinámica de liberación de nutrientes, lo cual explica los valores diferenciados observados en este estudio.

4.1.7. Potasio

Durante la etapa de precompostaje, el contenido de potasio (K) presentó un incremento progresivo entre los tratamientos, con valores que variaron de 0,20 % en T1 a 0,32 % en T4, destacando los tratamientos T3 y T4 con las mayores concentraciones. Este comportamiento evidencia que, en las fases iniciales de descomposición de los residuos orgánicos, se produce una liberación temprana de potasio como resultado de la degradación de los tejidos vegetales, lo que mejora la disponibilidad de este macronutriente en el material precompostado.

Figura 13.

Potasio (k)



Nota. Elaboración propia.

La FAO señala que el potasio es uno de los nutrientes que se libera con mayor rapidez durante los procesos de descomposición de residuos orgánicos, debido a que no forma parte de compuestos estructurales complejos, sino que se encuentra en forma soluble dentro de las células vegetales. De manera similar, García-Gómez et al. (2020), indican que en la etapa de precompostaje ocurre una mineralización inicial intensa, favoreciendo la solubilización y concentración de K en el sustrato. En este contexto, los resultados confirman que el precompostaje constituye una fase clave para mejorar la disponibilidad de potasio, optimizando

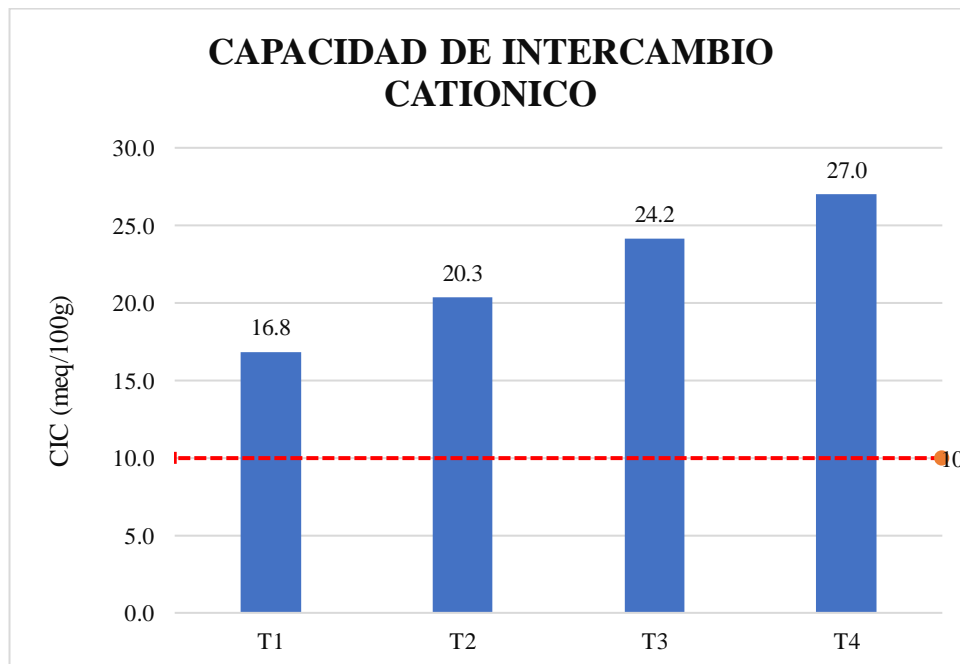
las condiciones químicas del material antes de su uso posterior en la lombricultura y en aplicaciones agronómicas.

4.1.8. Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) registró valores mínimos de 16,8 meq/100 g (T1) y máximos de 27,0 meq/100 g (T4), con un promedio de 22,1 meq/100 g. Se evidenció un incremento progresivo de la CIC desde T1 hasta T4.

Figura 14.

Capacidad de intercambio catiónico CIC (meq/100g)



Nota. Elaboración propia.

El aumento de la CIC está directamente relacionado con la formación de sustancias húmicas, las cuales poseen numerosos sitios de intercambio iónico. Según Hernández et al. (2021), valores de CIC entre 15 y 30 meq/100 g son característicos de materiales orgánicos. De manera similar, Bernal et al. (2017) señalan que el incremento de la CIC refleja una mayor estabilidad química y capacidad de retención de nutrientes, lo que indica un adecuado avance del proceso de precompostaje observado al finalizar los 60 días.

Figura 15.

Proporciones de mezcla para la realización del precompostaje

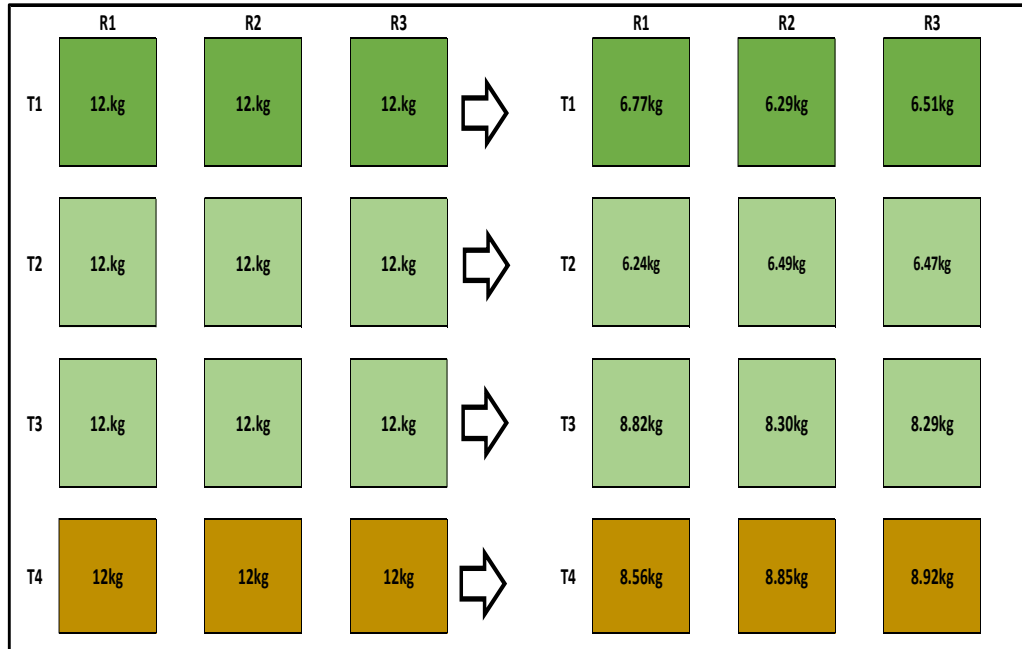
	R1	R2	R3		R1	R2	R3
T1	11.36kg	11.36kg	11.36kg	⇒	13.59kg	14.05kg	15.26kg
T2	14.95kg	14.95kg	14.95kg	⇒	19.39kg	21.24kg	19.32kg
T3	18.55kg	18.55kg	18.55kg	⇒	25.09kg	23.48kg	28.43kg
T4	25.73kg	25.73kg	25.73kg	⇒	32.1kg	33kg	35.14kg
		PESO INICIAL				PESO FINAL	
		156.1kg				280.14kg	

Nota. T: Tratamiento, R: repeticiones, peso al inicio del precompostaje (156.11kg) con humedad al 32.9% y peso finalizar el proceso del precompostaje (280.14kg) con humedad al 49%. Fuente: Elaboración propia.

4.2. Determinación las características físico-químicas del humus de lombriz

Figura 16.

Proporciones de mezcla para la realización del humus



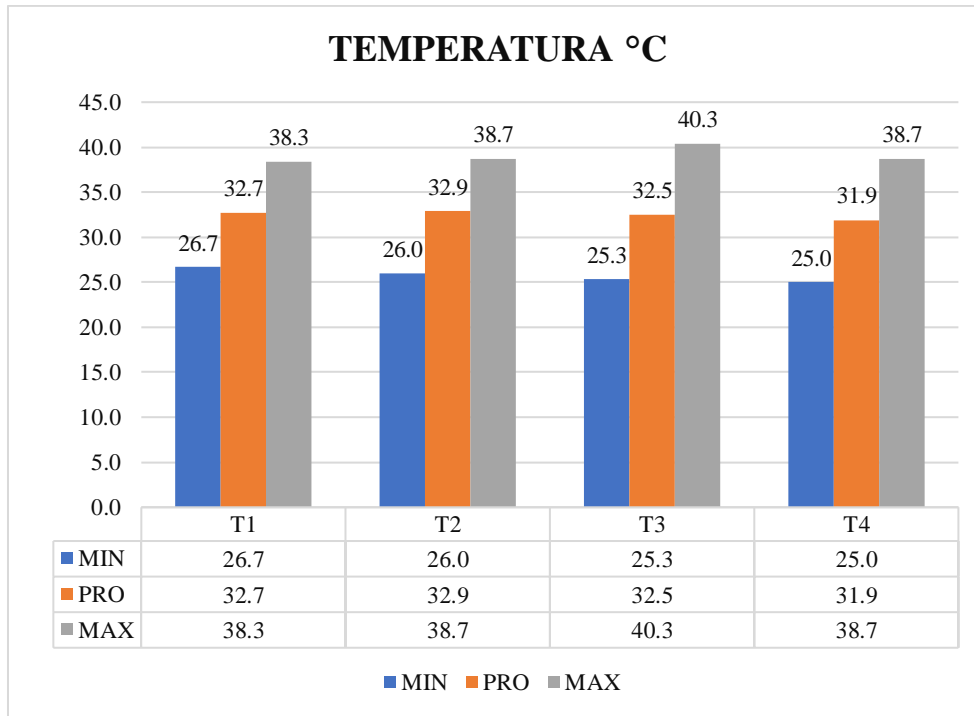
Nota. Elaboración propia, la figura represente la cantidad de precompost disponibles en (kg) y la cantidad de humus obtenido al finalizar el proceso de humificación en (kg). Fuente: Elaboración propia.

4.2.1. Control de temperatura C°

Durante los 120 días de humificación, las temperaturas registradas se mantuvieron dentro del rango mesófilo esperado para procesos de vermicompostaje maduro, con valores mínimos entre 25.0 °C y 26.7 °C, promedios de 31.9 °C a 32.9 °C y máximos entre 38.3 °C y 40.3 °C. Aunque algunos picos puntuales superaron ligeramente los 35 °C, la mayor parte del proceso se desarrolló dentro del rango adecuado para la actividad estable de *Eisenia foetida*, indicando un proceso controlado sin acumulación excesiva de calor.

Figura 17.

Control de temperatura en el humus



Nota. Elaboración propia.

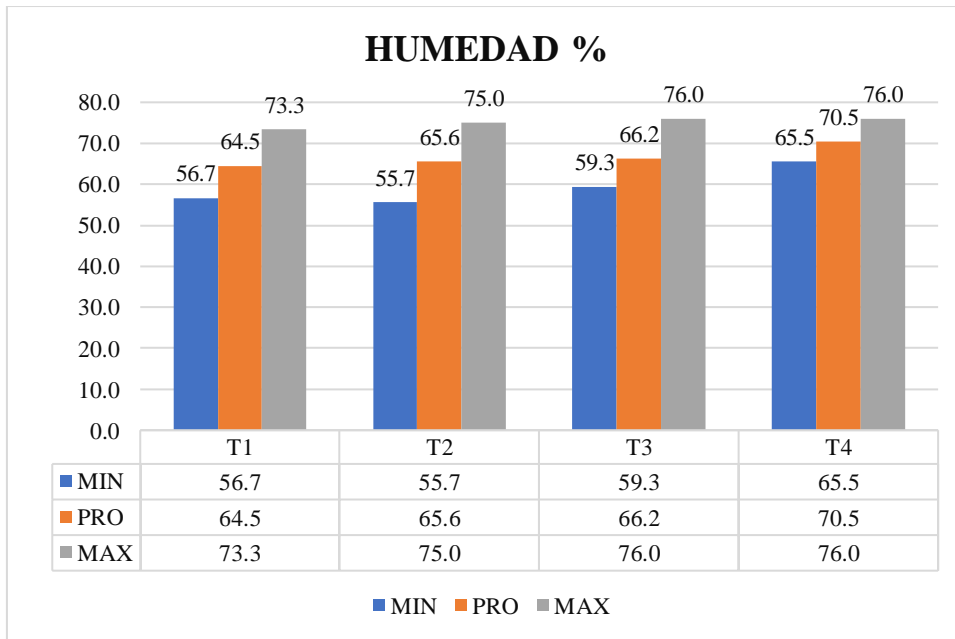
Las temperaturas observadas coinciden con lo señalado por *Domínguez et al.* (2021), quienes indican que durante la fase de humificación y vermiestabilización las temperaturas deben mantenerse entre 20 y 35 °C para asegurar la supervivencia y eficiencia de *Eisenia foetida*. Asimismo, *Hanc & Vašendová* (2022) reportan que temperaturas cercanas a 40 °C pueden ocurrir por actividad microbiana residual, pero sin representar un riesgo si no son sostenidas. Finalmente, *García-Sánchez et al.* (2023) señalan que en procesos de 90–150 días, el rango óptimo de humificación se mantiene estable entre 25–34 °C, lo que coincide con la tendencia predominante en este estudio.

4.2.2. Control de humedad %

La humedad mostró valores mínimos entre 55.7 % y 59.3 %, promedios entre 64.5 % y 70.5 % y máximos entre 73.3 % y 76 %. Estos valores son superiores al rango óptimo para humificación (40–60 %), lo cual indica que el sustrato se mantuvo con humedad elevada durante todo el proceso, favoreciendo la actividad biológica, aunque ligeramente por encima de lo recomendado para maximizar la aireación.

Figura 18.

Control de Humedad en el humus



Nota. Elaboración propia.

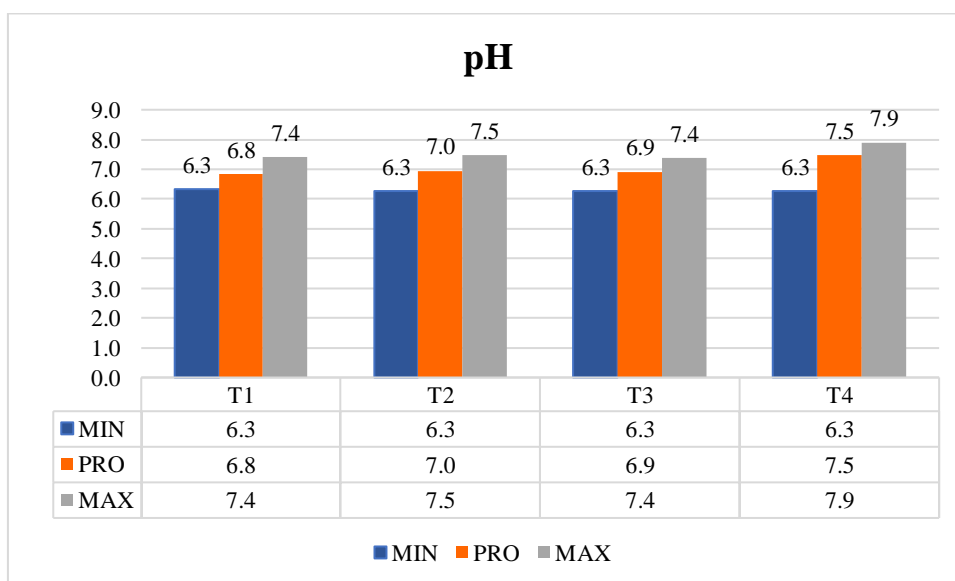
Los niveles de humedad registrados son coherentes con lo descrito por *Aira & Domínguez (2020)*, quienes señalan que los procesos de humificación con lombrices funcionan adecuadamente incluso con humedades elevadas de 60–80 %, siempre que no exista anoxia. De igual manera, *Gutiérrez-Miceli et al. (2021)* indican que humedades superiores al 60 % son comunes en residuos ricos en lignocelulosa y flores, ya que retienen mayor cantidad de agua. Finalmente, *Ding et al. (2023)* destacan que humedades de 65–75 % permiten una humificación más completa, aunque pueden reducir ligeramente la oxigenación si no hay un manejo adecuado, lo cual explica la estabilidad térmica registrada en este estudio.

4.2.3. Control de pH

El pH se mantuvo dentro del rango adecuado para la humificación, iniciando con promedios de 6.8 a 7.0 y alcanzando valores finales entre 7.5 y 7.9, siendo este último ligeramente superior al umbral recomendado para la lombricultura maduro. La tendencia general fue de alcalinización progresiva, atribuida a la mineralización del nitrógeno y la descomposición de compuestos orgánicos.

Figura 19.

Control de pH en el humus



Nota. Elaboración propia

El tratamiento T4 registró el valor máximo más alto (pH 7.9) y un promedio de 7.5, lo que sugiere una mayor madurez del humus y una mineralización más avanzada de la materia orgánica. Un pH cercano a la neutralidad o ligeramente alcalino favorece la disponibilidad de nutrientes esenciales como el nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio, elementos clave para el desarrollo inicial de las plantas. Resultados similares han sido reportados por la FAO, que indica que los compost y humus bien estabilizados suelen presentar pH entre 6.5 y 8.0, rango óptimo para la mayoría de cultivos y especies forestales.

Por su parte, los tratamientos T1, T2 y T3 presentaron valores máximos de pH entre 7.4 y 7.5, con promedios cercanos a 7.0. Estos valores reflejan un proceso de compostaje adecuado, sin evidencias de acidez excesiva ni alcalinidad extrema, lo cual es fundamental para evitar bloqueos nutricionales. Según INACAL, los

abonos orgánicos de buena calidad deben mantener un pH cercano a la neutralidad para garantizar su compatibilidad con diferentes tipos de suelos y cultivos.

La similitud en los valores mínimos de pH (6.3) en todos los tratamientos indica que la materia prima utilizada (residuos florales) y el proceso de transformación orgánica generan un producto relativamente homogéneo en su reacción química. No obstante, las diferencias observadas en los valores promedio y máximos evidencian que el tipo de tratamiento influye en el grado de estabilización del humus. El incremento del pH es consistente con lo descrito por *Hartenstein & Bisesi* (2020), quienes afirman que durante la humificación el pH tiende a aumentar por la reducción de ácidos orgánicos. Asimismo, *Pereira et al.* (2022) indican que valores finales entre 7 y 8.1 reflejan un humus estabilizado y apto para aplicaciones agrícolas.

Tabla 12.

Parámetros fisicoquímicos después de la etapa de humificación.

TRATAM.	R	MO (%)	C/N	P (%)	K (%)	CIC meq/100g
T1	R1	26.54	11.66	0.10	0.22	22
	R2	27.34	11.66	0.09	0.22	21
	R3	27.39	11.6	0.09	0.21	21.5
T2	R1	22.39	11.6	0.11	0.25	23
	R2	22.49	11.65	0.11	0.25	21.3
	R3	20.71	11.66	0.11	0.24	21
T3	R1	30.15	11.66	0.09	0.19	19.5
	R2	27.55	11.67	0.08	0.19	18.8
	R3	22.91	11.66	0.08	0.18	19
T4	R1	22.19	11.6	0.08	0.18	19.5
	R2	20.82	11.58	0.08	0.18	17.2
	R3	21.36	11.3	0.08	0.18	18.6

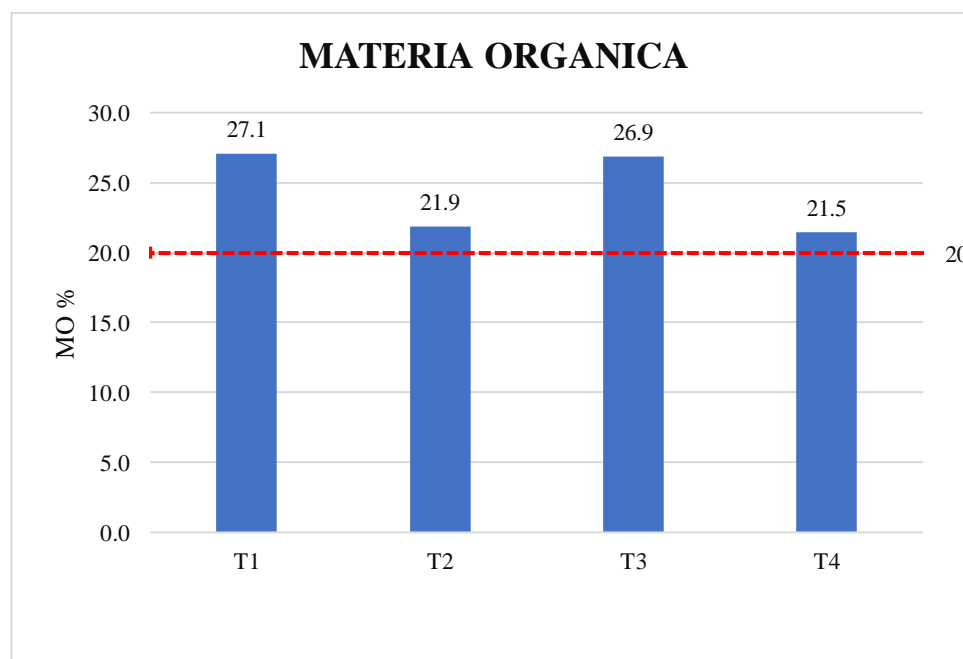
Nota. *T: Tratamiento, * R: Repetición *MO: Materia orgánica, * C/N: Relación carbono nitrógeno, *P: Fosforo, *K: Potasio, *pH: *CIC: Capacidad de intercambio catiónico datos analizados en laboratorio después del periodo de la humificación. Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Materia orgánica

Los valores de materia orgánica obtenidos mostraron variaciones entre tratamientos, destacando T1 (27.1%) y T3 (26.9%) como los de mayor contenido, mientras que T2 (21.9%) y T4 (21.5%) alcanzaron niveles moderados. En todos

los casos, los resultados superaron el umbral mínimo del 20% establecido como referencia para un humus de buena calidad, indicando una adecuada degradación y estabilidad del material durante el proceso de humificación.

Figura 20.
Porcentaje de materia orgánica (MO)



Nota. En la gráfica se muestra los promedios de materia orgánica, donde las flechas roja y naranja indican valores mínimos y máximos según la Norma Técnica Peruana NTP 201.208:2021 INACAL y FAO. Fuente: Elaboración propia

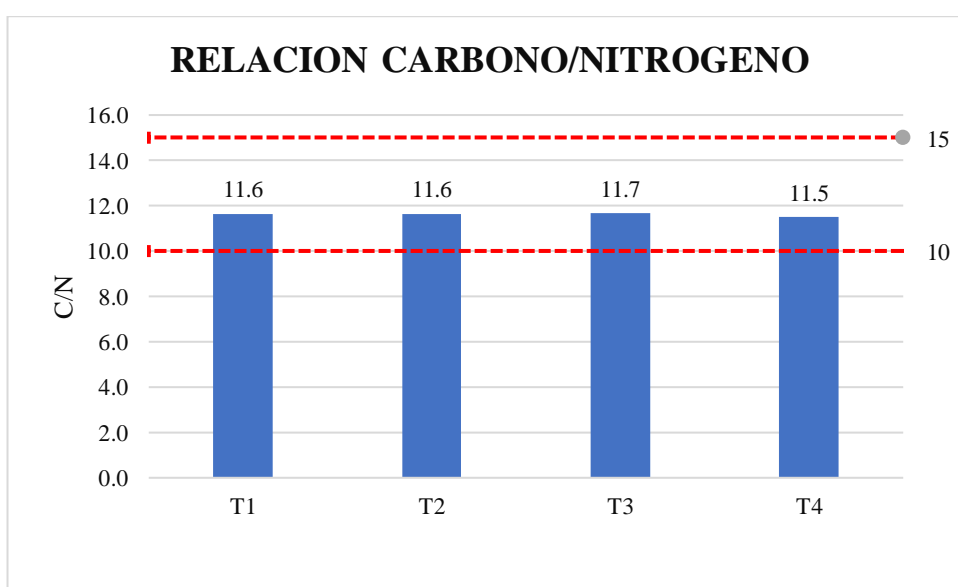
Los valores obtenidos son consistentes con lo reportado por FAO (2013), que establece que humus bien estabilizados presentan contenidos de MO entre 20% y 30%. Asimismo, INACAL (2021) indica que los abonos orgánicos maduros deben superar el 15% de MO, lo cual se cumple ampliamente. Estudios recientes como el de Pérez y Gómez (2023) muestran que procesos de lombricultura con residuos florales alcanzan MO entre 22% y 28%, similar a los resultados de T1 y T3, atribuyéndose a la rápida biodegradación de residuos lignocelulósicos por *Eisenia foetida*. Del mismo modo, Rodríguez et al. (2021) señalan que contenidos superiores al 25% reflejan un humus estable, coincidiendo con los valores de T1 y T3, lo que indica un adecuado nivel de mineralización y transformación de la materia orgánica.

4.2.4. Relación carbono nitrógeno.

La relación C/N presentó valores muy homogéneos entre tratamientos, variando entre 11.5 y 11.7. Todos los tratamientos se ubicaron dentro del rango óptimo establecido para humus estabilizados según normas técnicas, situándose por debajo del límite de 15 recomendado para compost maduros y por encima del mínimo de 10 que caracteriza a materiales completamente humificados.

Figura 21.

Relación C/N en cada tratamiento, comparado con la NTP que establece que un sustrato de calidad (compost/humus) INACAL.



Nota. En la gráfica se muestra los promedios de relación carbono/nitrógeno, donde las flechas roja y naranja indican valores mínimos y máximos según la Norma Técnica Peruana NTP 201.208:2021 INACAL. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados concuerdan con los criterios de INACAL (2021), que establece que un abono orgánico de calidad debe presentar una relación C/N entre 10 y 15 para asegurar estabilidad biológica. Según FAO (2013), relaciones cercanas a 12 indican un humus con alta disponibilidad de nitrógeno y una adecuada mineralización, lo cual coincide con los valores obtenidos. Investigaciones recientes como las de Mamani y Aguilar (2022) demuestran que el vermicompost elaborado con residuos vegetales tiende a estabilizar su C/N entre 11 y 13 debido a la intensa actividad microbiana y al consumo de carbono por las lombrices, similar a lo observado en este estudio. De igual forma, Sánchez et al. (2023)

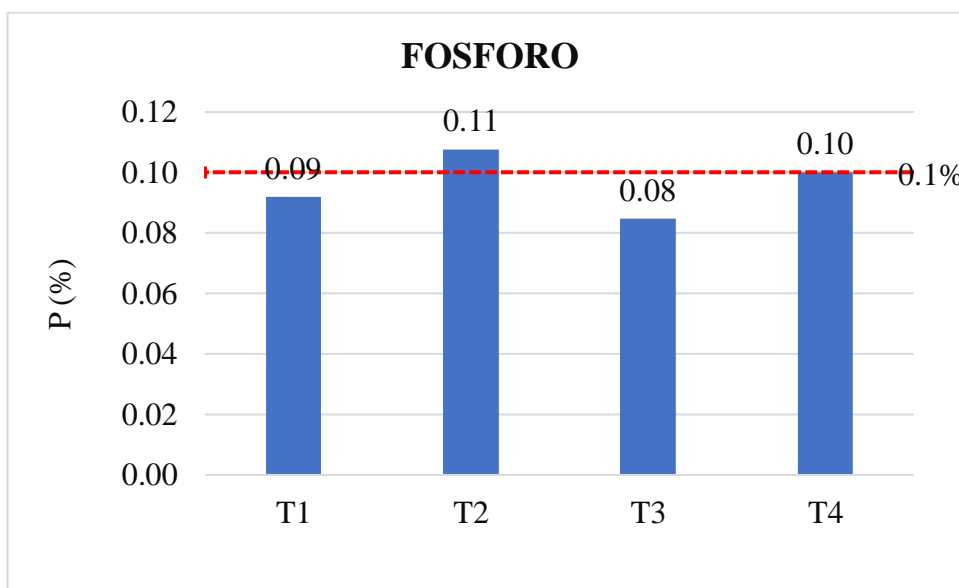
afirman que C/N menores a 12 representan un material completamente humificado, corroborando la calidad alcanzada en los cuatro tratamientos evaluados.

4.2.5. Fosforo

Los valores finales de fósforo mostraron una variación entre 0.08 % y 0.11 %, con un promedio aproximado de 0.09–0.10 %. El tratamiento T2 presentó la mayor concentración (0.11 %), mientras que T3 y T4 registraron los valores entre (0.08 y 0.10 %). Al compararlos con el valor de referencia de 0.10 % establecido por la NTP 201.208:2021 (INACAL) como nivel típico en compost maduro, se observa que T2 supera ligeramente el estándar, T1 se aproxima, y T3–T4 se ubican por debajo del umbral.

Figura 22.

Concentración en partes por millón del fosforo (P) en cada tratamiento comparado con la INACAL.



Nota. En la gráfica se muestra la relación C/N en cada tratamiento, donde las flechas roja y naranja indican valores mínimos y máximos según la Norma Técnica Peruana NTP 201.208:2021 INACAL. Fuente: Elaboración propia.

La variación observada es coherente con lo reportado por Pezzolla et al. (2021), quienes señalan que el fósforo disponible en compost depende de la actividad microbiana y del tipo de residuo, aumentando cuando existe mayor degradación de materia orgánica fina. Asimismo, Cvetnić et al. (2024) indican que valores

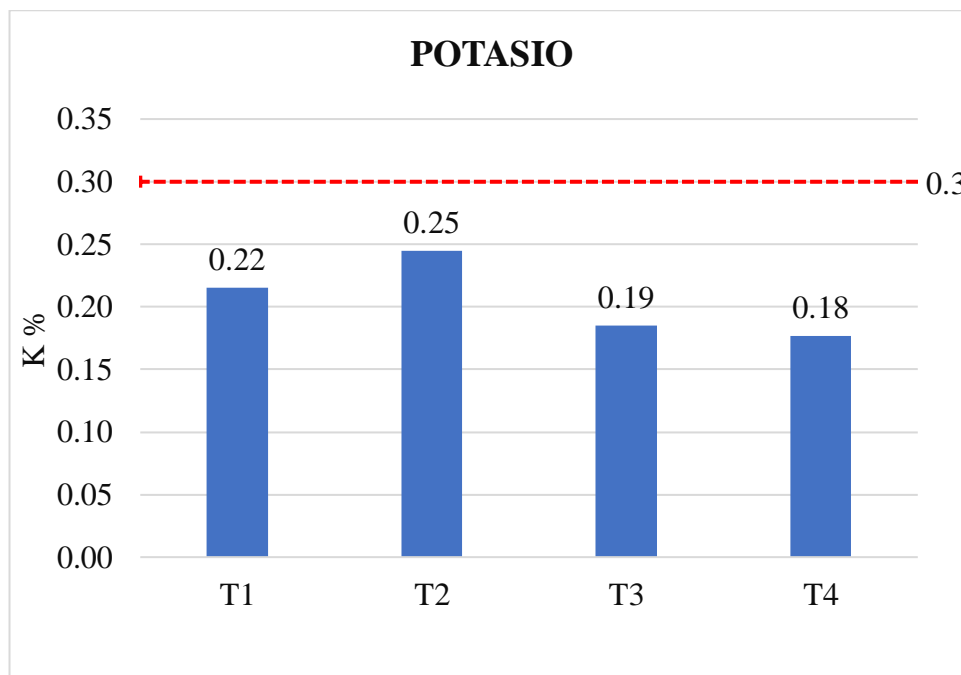
alrededor de 0.10 % son típicos en compost estabilizado, especialmente cuando el proceso supera los 90 días. Por su parte, Ji et al. (2023) reportan que fluctuaciones entre 0.08–0.12 % son normales en procesos con residuos vegetales debido a la mineralización progresiva. En consecuencia, los valores obtenidos reflejan un compost químicamente estable y dentro del rango esperado para humus de buena calidad.

4.2.6. Potasio

Los valores finales de potasio se ubicaron entre 0.18 % y 0.25 %, con un valor promedio aproximado de 0.21–0.22 %. El tratamiento T2 nuevamente mostró la mayor concentración (0.25 %), mientras que T4 registró la menor (0.18 %). Al compararlos con el valor de referencia de 0.30 % establecido por INACAL como valor típico máximo, se observa que todos los tratamientos se encuentran por debajo del límite, pero mantienen niveles adecuados para un compost destinado a mejorar fertilidad.

Figura 23.

Concentración en partes por millón del potasio (K), comparada con el INACAL



Nota. En la gráfica se muestra el Potasio en ppm en cada tratamiento, donde las flechas roja y naranja indican valores mínimos y máximos según la Norma Técnica Peruana NTP 201.208:2021 INACAL. Fuente: Elaboración propia.

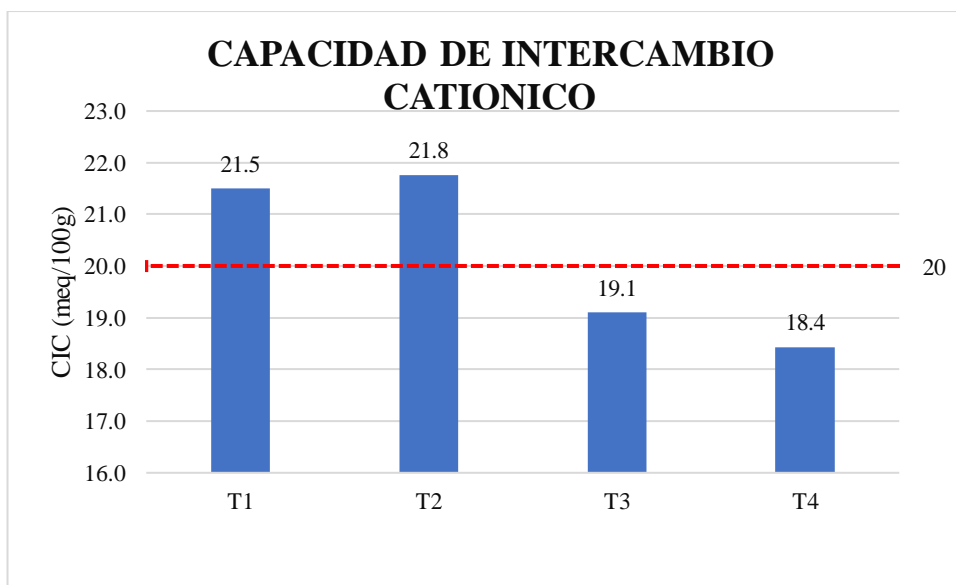
Los niveles de potasio hallados coinciden con lo indicado por Raza et al. (2024), quienes señalan que el K suele mantenerse entre 0.15 % y 0.30 % en compost maduro según el tipo de residuo inicial y el tiempo de humificación. De igual forma, Oyege et al. (2023) destacan que valores entre 0.18–0.26 % son comunes en humus producido con materiales vegetales debido a su liberación gradual durante la descomposición. Además, Manea et al. (2024) afirman que compost elaborados durante periodos prolongados (> 100 días) presentan estabilización del potasio en rangos similares, especialmente cuando no se incorporan residuos altamente ricos en este elemento. Por ello, los valores encontrados reflejan un humus con disponibilidad moderada de potasio y adecuado para uso agrícola.

4.2.7. Capacidad de intercambio catiónico

Al cabo del período de humificación de 120 días, los tratamientos evaluados mostraron los siguientes valores de CIC (meq/100 g): T1 = 21.5, T2 = 21.8, T3 = 19.1, T4 = 18.4. Estos valores superan el umbral de 20 meq/100 g de referencia (según norma técnica local), en los tratamientos T1 y T2, mientras que T3 y T4 lo están por debajo. El tratamiento T2 presenta el valor más alto de CIC, seguido muy de cerca por T1; T3 y T4 presentan una disminución notable respecto a T1/T2. Estos datos sugieren que los tratamientos T1 y T2 produjeron un humus con mayor capacidad de retención de cationes tras 120 días de humificación.

Figura 24.

Concentración de la capacidad de intercambio catiónico, comparada con el INACAL



Nota. En la gráfica se muestra el CIC en cada tratamiento, donde la flecha naranja indica valores máximos según la Norma Técnica Peruana NTP 201.208:2021 INACAL. Fuente: Elaboración propia.

Los valores de CIC obtenidos en T1 (21.5 meq/100 g) y T2 (21.8 meq/100 g) superan el valor referencial de 20 meq/100 g establecido por el INACAL (NTP 201.208:2021), lo que indica que estos humus alcanzaron una mayor madurez y contenido de sustancias húmicas. Esto coincide con los criterios de la FAO (2013), que señalan que una CIC elevada es característica de sustratos bien humificados, capaces de retener cationes esenciales y mejorar la fertilidad del suelo. Los valores más altos de CIC obtenidos en los tratamientos T1 (21.5 meq/100 g) y T2 (21.8 meq/100 g) indican un mayor grado de humificación, ya que la CIC aumenta conforme se forman sustancias húmicas. Este comportamiento concuerda con lo señalado por Zhang et al. (2021), quienes demostraron que la humificación incrementa significativamente la CIC por la acumulación de compuestos húmicos con cargas negativas. Asimismo, Mendoza-Hernández et al. (2022) resaltan que los humus maduros presentan una CIC superior debido a la estabilidad estructural de los ácidos húmicos formados durante la descomposición prolongada. De igual manera, Khan et al. (2023) indican que la CIC es un indicador directo de la madurez del compost o humus, siendo mayor cuando el proceso supera los 90–

120 días. Por el contrario, los valores inferiores observados en T3 (19.1 meq/100 g) y T4 (18.4 meq/100 g) evidencian un menor grado de humificación, probablemente por menor formación de sustancias húmicas activas, lo cual coincide con lo reportado por estos mismos autores, quienes señalan que materiales parcialmente descompuestos muestran baja CIC por la limitada presencia de grupos funcionales ácidos.

4.3. Evaluación del efecto de humus producido en la germinación y crecimiento de plántulas de *Pinus radiata*

Preparación del sustrato

Tabla 13.

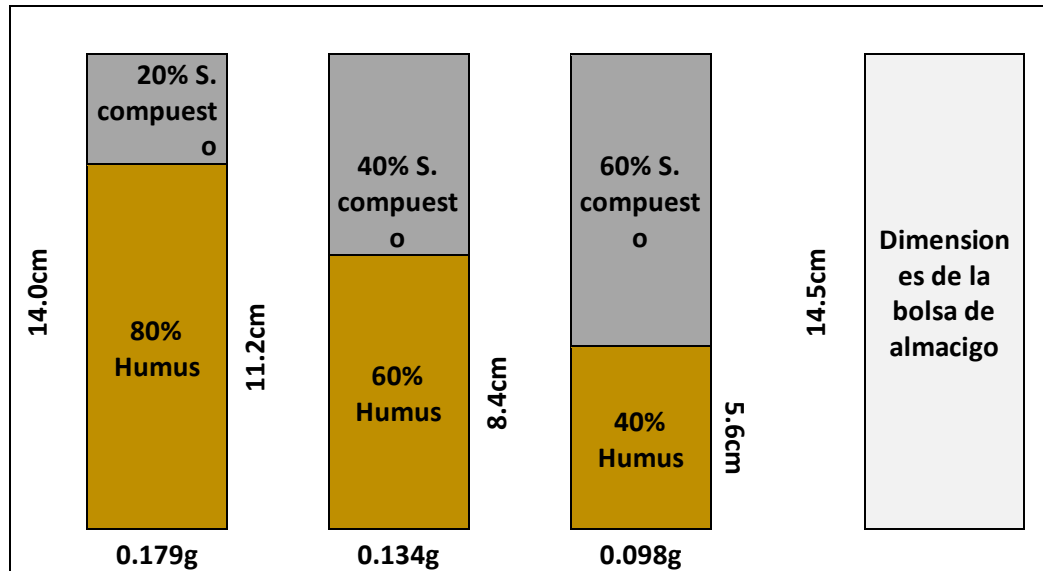
Preparación del sustrato

	Altura (cm)	Masa (g)
B. almacigo lleno	14.5	0.236
Masa/cm altura	1	0.016

Nota. Elaboración propia

Figura 25.

Calculo para definir las proporciones de humus.



Nota. Elaboración propia

4.3.1. Índice de emergencia (IE)

Los resultados del Índice de Emergencia (IE) muestran que el tratamiento T2 (60% de humus) presentó el mayor valor (3.60), indicando que esta proporción favorece una emergencia rápida y uniforme de las semillas de *Pinus radiata*. El tratamiento T1 (40% humus) registró el IE más bajo (1.89), lo que sugiere que una menor proporción de humus no proporciona suficientes nutrientes ni retención de humedad para un crecimiento inicial óptimo. Por su parte, T3 (80% humus) tuvo un IE intermedio (2.50), lo que indica que un exceso de humus puede afectar la aireación y retrasar ligeramente la emergencia de las semillas.

Tabla 14.

Índice de emergencia según los tratamientos

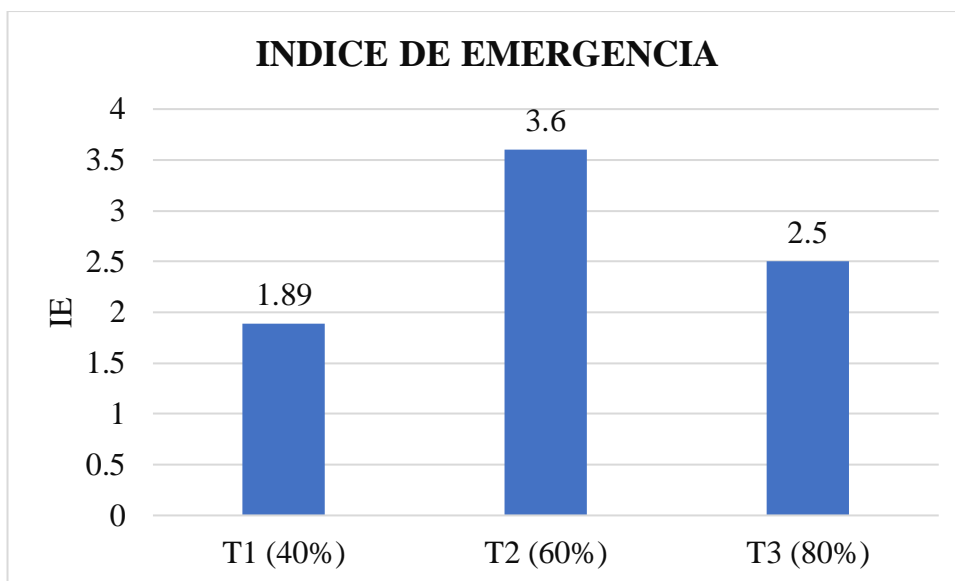
Tratamiento	IE
T1 (40%)	1.89
T2 (60%)	3.60
T3 (80%)	2.50

Nota. Elaboración propia

Estos resultados concuerdan con estudios previos que señalan que las proporciones intermedias de humus en sustratos promueven una mejor germinación y emergencia de semillas, debido a un balance adecuado entre nutrientes, humedad y aireación. Jiang et al. (2015) indican que un sustrato con exceso de materia orgánica puede causar compactación y reducir la oxigenación, mientras que López et al. (2018) destacan que la emergencia máxima en *Pinus spp.* se alcanza con mezclas equilibradas de humus y suelo. Asimismo, García y Ramírez (2017) señalan que proporciones bajas de humus limitan nutrientes y retención de agua, afectando la rapidez de emergencia. En este contexto, el tratamiento T2 (60% humus) representa la condición óptima para el desarrollo inicial de las semillas de *Pinus radiata*.

Figura 26.

Índice de Emergencia (IE) en la Germinación y Crecimiento de Plántulas Bajo Tres Porcentajes de Humus (80%, 60% y 40%)



Nota. En la figura se muestra la comparación de valores promedio del índice de emergencia de las plántulas de pino. Fuente: Elaboración propia.

4.3.2. Índice de velocidad de emergencia (IVE)

Los resultados muestran que el tratamiento T2 (60%) presentó la mayor velocidad de emergencia de *Pinus radiata* durante los 21 días de evaluación, alcanzando aproximadamente 20 plántulas emergidas y evidenciando una germinación más rápida y uniforme desde los primeros días. El tratamiento T3 (80%) registró una velocidad intermedia, con valores finales cercanos a 18 plántulas, mientras que el tratamiento T1 (40%) mostró la menor velocidad de emergencia, estabilizándose alrededor de 15 plántulas. Estas diferencias indican que la proporción del sustrato influyó directamente en la velocidad de germinación, siendo el tratamiento T2 el más eficiente en el periodo evaluado.

Tabla 15.

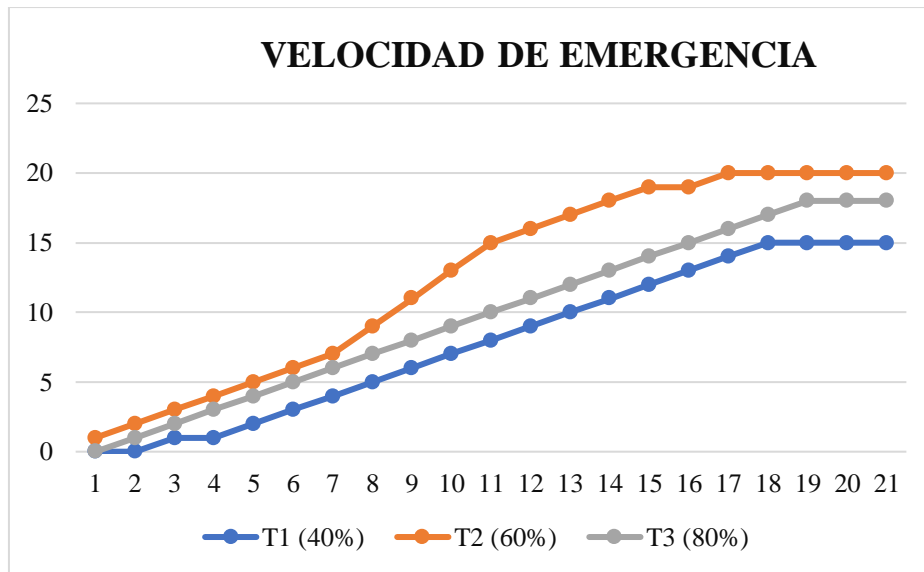
Índice de Velocidad de Emergencia (IVE)

Tratamiento	IV
T1 (40%)	1.89
T2 (60%)	3.6
T3 (80%)	2.5

Nota. Elaboración propia.

Figura 27.

Índice de Velocidad de Emergencia (IVE) en la Germinación y Crecimiento de Plántulas Bajo Tres Porcentajes de Humus (80%, 60% y 40%)



Nota. En la figura se muestra la comparación de valores promedio de la velocidad de emergencia de las plántulas de pino. Fuente: Elaboración propia.

El mejor desempeño del tratamiento con 60% de humus coincide con lo señalado por Khan et al. (2023), quienes explican que concentraciones moderadas de materia orgánica favorecen la aireación, retención de humedad y disponibilidad de nutrientes esenciales, incrementando la velocidad de emergencia en plántulas forestales. Asimismo, estudios como el de Mendoza-Hernández et al. (2022) destacan que mezclas equilibradas de humus mejoran la estructura del sustrato, reducen la compactación y favorecen el desarrollo radicular temprano, factores que aceleran la emergencia. De igual forma, Zhang et al. (2021) encontraron que el exceso de materia orgánica (como podría ocurrir en el tratamiento 80%) puede aumentar la humedad y la densidad del sustrato, reduciendo la oxigenación y ralentizando la germinación. Finalmente, el bajo desempeño del 40% es coherente con lo reportado por FAO (2013), que señala que sustratos con menor contenido de materia orgánica presentan limitaciones en retención de agua y disponibilidad de nutrientes, retrasando la emergencia y el crecimiento inicial. Estos hallazgos respaldan que la proporción del 60% genera el equilibrio óptimo entre nutrientes y estructura para maximizar la velocidad de emergencia en plántulas de pino (*Pinus radiata*).

4.3.3. Altura de la plántula (cm)

En la siguiente tabla se presenta los datos obtenidos en campo, Análisis de varianza y la prueba de Tukey, estos fueron elaborados a partir de datos recolectados por observación directa de la altura de la plántula de (*Pinus radiata*) en cm, de los 3 tratamientos y sus respectivas repeticiones, a los 75 días.

Tabla 16.
Altura de plántula (cm)

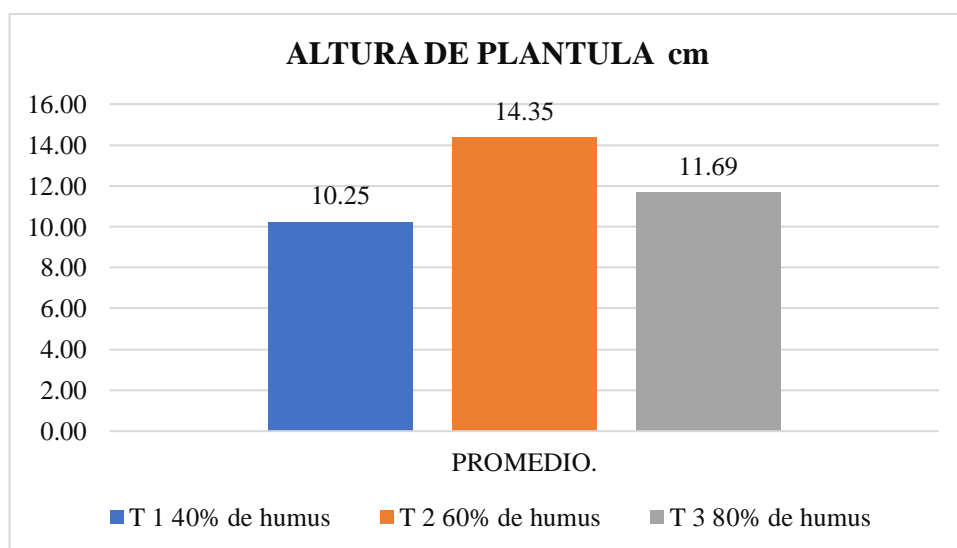
ALTURA DE PLANTULA cm			
	T 1 40% de humus	T 2 60% de humus	T 3 80% de humus
RP1	10.2	15.02	11
RP2	10.46	14.86	11.34
RP3	10.1	13.18	12.72
Promedio	10.25	14.35	11.69
Suma	30.76	43.06	35.06

Nota. Elaboración propia.

La tabla presenta los datos procesados de datos recolectados en campo, por observación directa de la altura de la plántula en cm, por tratamiento y repetición, mostrando al 60% con mayor promedio 14.35 cm.

Figura 28.

Representación gráfica de la altura de plántula a los 75 días.



Nota. La gráfica Representación de la altura promedio de las plántulas por tratamiento. Fuente: Elaboración propia.

En la figura, muestra los promedios de la altura de plántula (cm) por porcentaje, indicando que sustrato con contenido de humus al 60% tiene el valor más alto de 14.35 cm.

Tabla 17.

Análisis de varianza la altura de la plántula (cm).

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Ft	Significancia
Tratamientos	2	25.98	12.99	20.47	5.14	Significativo (p < 0.05)
Error	6	3.81	0.63	-	-	-
Total	8	29.78	-	-	-	-

Nota. Elaboración propia.

El análisis de varianza evidencia que el porcentaje de humus aplicado tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la altura de la plántula. Esto se confirma al observar que el valor de F calculado ($F_c = 20.47$) es considerablemente mayor que el valor crítico de F tabulado ($F_t = 5.14$) para un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Esta relación indica que las diferencias observadas entre los tratamientos no se deben al azar, sino que están asociadas al efecto real del nivel de humus incorporado al sustrato. Asimismo, el valor p estimado ($p < 0.01$) respalda esta conclusión, demostrando que al menos uno de los tratamientos genera una respuesta diferente en el crecimiento de la plántula, lo cual justifica plenamente la aplicación de pruebas de comparación múltiple como la prueba de Tukey.

Tabla 18.

Prueba de Tukey para la altura de la plántula (cm), por tratamiento.

Orden	Tratamiento	Media (cm)	Grupo
1	60% humus	14.35	a
2	80% humus	11.69	b
3	40% humus	10.25	b

Nota. Elaboración propia

La prueba de Tukey permitió identificar que el tratamiento con 60% de humus presentó el mayor promedio de altura de plántula (14.35 cm), diferenciándose estadísticamente de los tratamientos con 40% y 80% de humus, los cuales no mostraron diferencias significativas entre sí. Este resultado sugiere que una proporción intermedia de humus favorece un mejor desarrollo inicial de la plántula, posiblemente debido a un balance adecuado de nutrientes y condiciones físicas del sustrato, mientras que proporciones menores o mayores no generan el mismo efecto positivo.

4.3.4. Altura de tallo (cm)

Tabla 19.

Altura de tallo (cm)

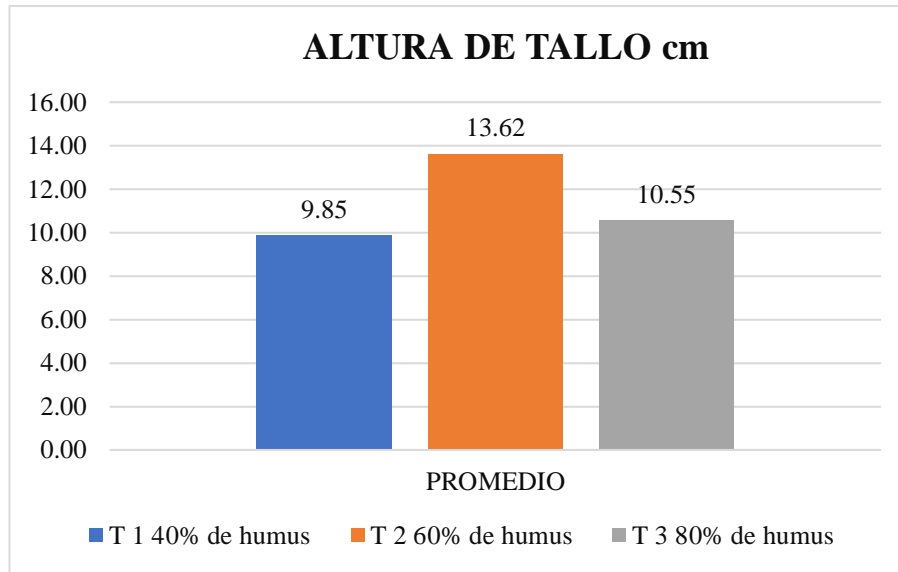
ALTURA DE TALLO cm			
	T 1 40% de humus	T 2 60% de humus	T 3 80% de humus
RP1	9.8	14.62	10.6
RP2	10.06	14.46	10.48
RP3	9.7	11.78	10.58
Promedio	9.85	13.62	10.55
Suma.	29.56	40.86	31.66

Nota. Elaboración propia.

La tabla presenta los datos procesados de datos recolectados en campo, por observación directa de la altura de tallo en cm, por tratamiento y repetición, mostrando al 60% con mayor promedio 13.62 cm.

Figura 29.

Representación gráfica de la altura de tallo



Nota. Elaboración propia.

Tabla 20.

Análisis de varianza para la altura de tallo de la plántula (cm), por tratamiento.

Fuente	GL	SC	CM	Fc	Ft	Significancia
Tratamientos	2	24.08	12.04	13.98	5.14	Significativo (p < 0.05)
Error	6	5.17	0.86	-	-	-
Total	8	29.25	-	-	-	-

Nota. Elaboración propia.

El análisis de varianza muestra que la altura del tallo es significativamente influenciada por el porcentaje de humus aplicado. El valor de F calculado ($F_c = 13.98$) supera ampliamente al valor crítico ($F_t = 5.14$), lo que indica que existen diferencias reales entre los tratamientos evaluados. Este resultado confirma que la variabilidad observada en la altura del tallo no es atribuible a fluctuaciones aleatorias, sino al efecto del nivel de humus incorporado. El valor p ($p < 0.05$) reafirma la significancia estadística del modelo, demostrando que el humus desempeña un papel determinante en el crecimiento vertical del tallo.

Tabla 21.*Prueba de Tukey para la altura de tallo de la plántula (cm), por tratamiento.*

Orden	Tratamiento	Media (cm)	Grupo
1	60% humus	13.62	a
2	80% humus	10.55	b
3	40% humus	9.85	b

Nota. Elaboración propia.

Según la prueba de Tukey, el tratamiento con 60% de humus alcanzó la mayor altura de tallo (13.62 cm), mostrando diferencias estadísticas significativas frente a los tratamientos con 40% y 80% de humus, los cuales resultaron estadísticamente similares. Este comportamiento indica que una dosificación intermedia de humus optimiza las condiciones nutricionales y estructurales del sustrato, favoreciendo un crecimiento más eficiente del tallo.

4.3.5. Grosor de tallo

Tabla 22.*Grosor de tallo (cm)*

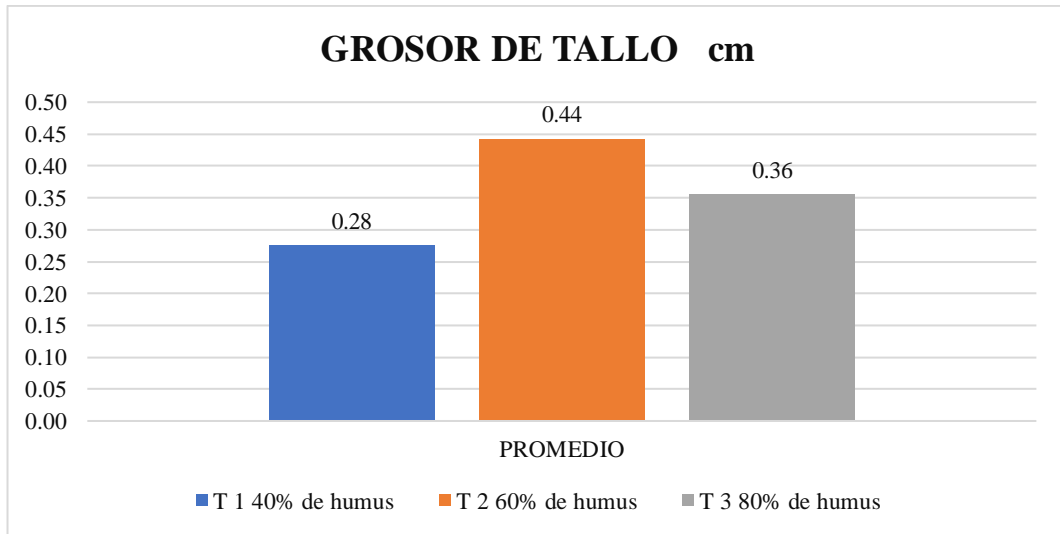
	GROSOR DE TALLO cm		
	T 1 40% de humus	T 2 60% de humus	T 3 80% de humus
RP1	0.27	0.422	0.35
RP2	0.296	0.452	0.3598
RP3	0.26	0.452	0.356
Promedio	0.28	0.44	0.36
Suma.	0.83	1.33	1.07

Nota. Elaboración propia.

La tabla presenta los datos procesados de datos recolectados en campo, por observación directa del grosor de tallo en cm, por tratamiento y repetición, mostrando al 60% con mayor promedio 0.44 cm.

Figura 30.

Representación gráfica del grosor de tallo (cm)



Nota. Elaboración propia.

La grafica presenta los datos procesados de datos recolectados, por observación directa del grosor del tallo de la plántula (cm), por tratamiento y repetición, mostrando al T2 con 0.44 cm, siendo el de mayor promedio.

Tabla 23.

Análisis de varianza para el grosor de tallo en cm, por porcentaje.

Fuente	GL	SC	CM	Fc	Ft	Significancia
Tratamientos	2	135.73	67.86	385.2	5.14	Significativo (p < 0.05)
Error	6	1.06	0.18			
Total	8	136.78				

Nota. Elaboración propia.

El análisis de varianza revela diferencias altamente significativas en el grosor del tallo entre los tratamientos evaluados. El valor de F calculado ($F_c = 93.37$) es notablemente superior al valor crítico ($F_t = 5.14$), evidenciando una marcada influencia del porcentaje de humus sobre este parámetro. Este resultado indica que el humus no solo afecta el crecimiento en altura, sino también el desarrollo estructural del tallo. El valor p extremadamente bajo ($p < 0.001$) confirma la

robustez estadística del efecto observado, justificando el análisis comparativo mediante la prueba de Tukey.

Tabla 24.

Prueba de Tukey para el grosor de tallo en cm, por porcentaje.

Orden	Tratamiento	Promedio	Grupo
1	60% humus	23.2	a
2	80% humus	17.66	b
3	40% humus	13.73	c

Nota. Elaboración propia.

La prueba de Tukey mostró que los tres tratamientos difieren estadísticamente entre sí. El tratamiento con 60% de humus presentó el mayor grosor de tallo (0.44 cm), seguido por el tratamiento con 80% y finalmente el tratamiento con 40%. Este resultado sugiere que una proporción equilibrada de humus favorece un tallo más robusto, lo cual es fundamental para la estabilidad y el posterior desarrollo de la planta.

4.3.6. Numero de hojas

Tabla 25.

Numero de hojas

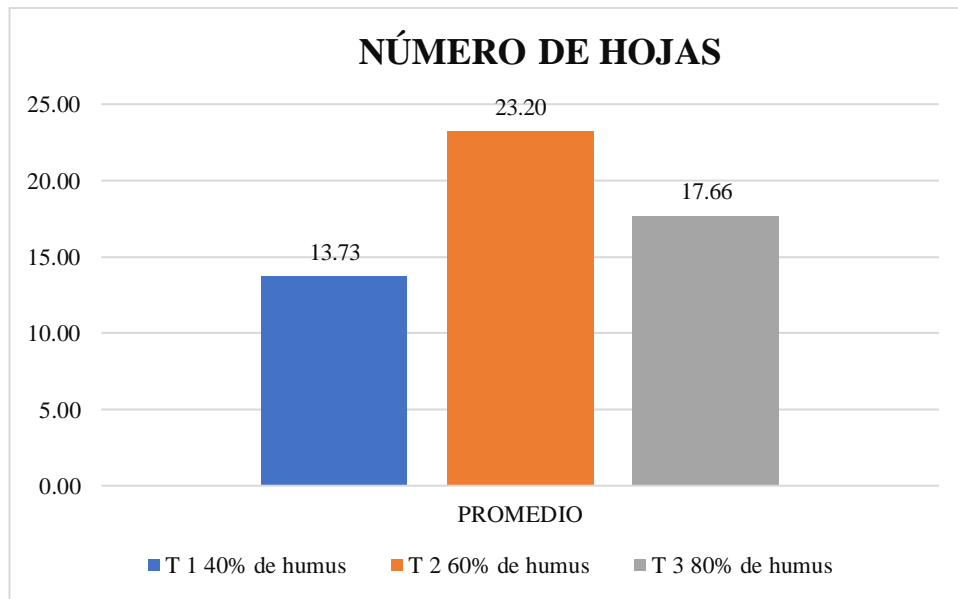
	NÚMERO DE HOJAS		
	T 1 40% de humus	T 2 60% de humus	T 3 80% de humus
RP1	13.8	23	18.02
RP2	14.16	23.4	17.9
RP3	13.24	23.2	17.06
Promedio.	13.73	23.20	17.66
Suma	41.20	69.60	52.98

Nota. Elaboración propia.

La tabla presenta los datos procesados de datos recolectados en campo, por observación directa del número de hojas, por tratamiento y repetición, mostrando al 60% con mayor promedio 23 hojas.

Figura 31.

Representación gráfica del número de hojas (Unidades)



Nota. Elaboración propia.

La grafica presenta los datos procesados de datos recolectados, por observación directa del número de hojas de la plántula (cm), por tratamiento y repetición, mostrando al T2 con 23 hojas, siendo el de mayor promedio.

Tabla 26.

Análisis de varianza para el numero de hojas, por tratamiento.

Fuente	GL	SC	CM	Fc	Ft	Significancia
Tratamientos	2	135.73	67.86	385.2	5.14	Significativo (p < 0.05)
Error	6	1.06	0.18			
Total	8	136.78				

Nota. Elaboración propia.

El análisis de varianza demuestra que el número de hojas es altamente influenciado por el porcentaje de humus aplicado. El valor de F calculado ($F_c = 385.20$) es ampliamente superior al valor crítico ($F_t = 5.14$), lo que evidencia diferencias altamente significativas entre tratamientos. Este resultado indica que

la variación observada en el número de hojas responde directamente al nivel de humus y no al azar experimental. El valor p ($p < 0.001$) confirma la fuerte relación entre la disponibilidad de humus y la capacidad fotosintética potencial de la planta.

Tabla 27.

Prueba de Tukey para el número de hojas, por porcentaje.

Orden	Tratamiento	Promedio	Grupo
1	60% humus	23.2	a
2	80% humus	17.66	b
3	40% humus	13.73	c

Nota. Elaboración propia.

La prueba de Tukey reveló diferencias significativas entre todos los tratamientos. El tratamiento con 60% de humus presentó el mayor número de hojas (23.20), seguido por el tratamiento con 80% y finalmente el tratamiento con 40%. Estos resultados indican que un nivel óptimo de humus favorece la emisión foliar, lo que podría traducirse en una mayor eficiencia fotosintética y mejor crecimiento general de la plántula.

4.3.7. Longitud de raíz

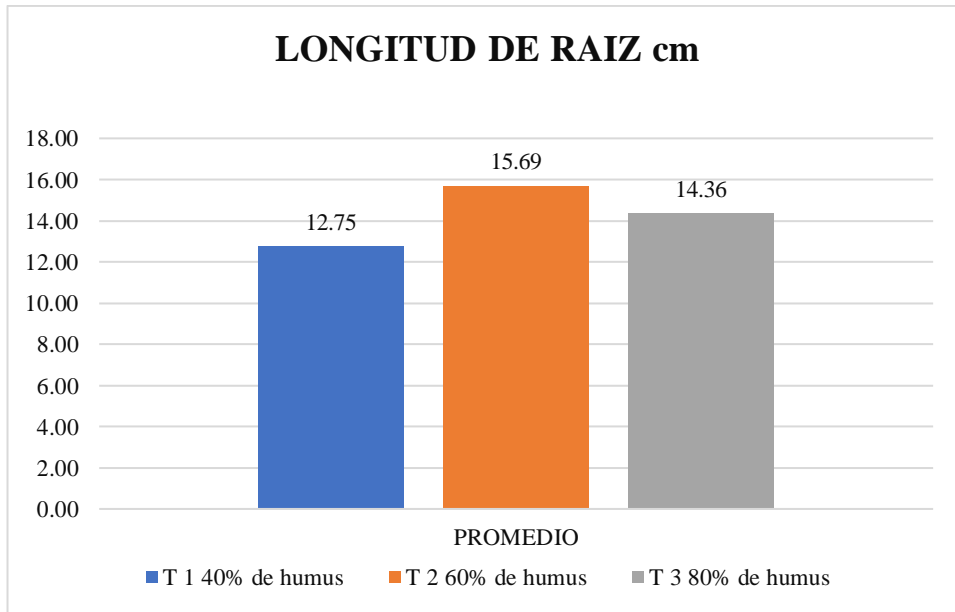
Tabla 28.

Longitud de raíz (cm)

	LONGITUD DE RAIZ cm		
	T 1 40% de humus	T 2 60% de humus	T 3 80% de humus
RP1	12.7	16.39	13.9
RP2	12.96	15.75	14.48
RP3	12.6	14.94	14.7
Promedio.	12.75	15.69	14.36
Suma.	38.26	47.08	43.08

Nota. Elaboración propia.

Figura 32.
Representación gráfica de longitud de raíz(cm)



Nota. Representación del tamaño promedio de la raíz de las plántulas por tratamiento. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29.
Análisis de varianza para longitud de raíz en cm, por porcentaje.

Fuente	GL	SC	CM	Fc	Ft	Significancia
Tratamientos	2	13	6.5	26.6	5.14	Significativo ($p < 0.05$)
Error	6	1.47	0.24			
Total	8	14.47				

Nota. Elaboración propia.

El análisis de varianza indica que la longitud de la raíz presenta diferencias estadísticamente significativas en función del porcentaje de humus aplicado. El valor de F calculado ($F_c = 26.60$) es mayor que el valor crítico ($F_t = 5.14$), lo que demuestra que los tratamientos evaluados generan respuestas radiculares distintas. Este resultado evidencia que el humus influye directamente en el desarrollo del sistema radicular, y el valor p ($p < 0.01$) confirma la significancia del efecto observado, validando el uso de la prueba de Tukey.

Tabla 30.

Prueba de Tukey para la longitud de raíz en cm, por porcentaje.

Orden	Tratamiento	Promedio (cm)	Grupo
1	60% humus	15.69	a
2	80% humus	14.36	b
3	40% humus	12.75	c

Nota. Elaboración propia.

De acuerdo con la prueba de Tukey, el tratamiento con 60% de humus alcanzó la mayor longitud de raíz (15.69 cm), diferenciándose significativamente de los tratamientos con 80% y 40%. Este comportamiento sugiere que una proporción adecuada de humus mejora la estructura del sustrato y la disponibilidad de nutrientes, facilitando un mayor crecimiento radicular y una mejor capacidad de absorción.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se determinó que el precompostaje de residuos florales del cementerio La Capilla, combinados con estiércol de bovino en diferentes proporciones, alcanzó condiciones óptimas para la degradación y estabilización del material. Durante los 60 días de proceso, las temperaturas superaron los 45 °C - 63 °C, la humedad promedio se mantuvo entre 43 % y 47 %, y el pH osciló entre 6.8 y 8.4, indicando una correcta maduración del precompost. El tratamiento con 75 % de residuos florales y 25 % de estiércol bovino mostró el mejor balance de materia orgánica (30.1 %) y relación C/N (13.05:1).

Se determinó que el humus de lombriz obtenido mediante el precompostaje y la acción de *Eisenia foetida* presentó un adecuado grado de madurez, estabilidad y calidad agronómica. Los valores de materia orgánica (21.5–27.1 %) y la relación C/N (11.5:1 –11.7:1) se ubicaron dentro de rangos óptimos para un humus estabilizado, mientras que el pH final (6.3–7.9) evidenció un proceso de humificación adecuado. Asimismo, los tratamientos con mayor proporción de residuos florales y estiércol bovino (T1 y T2) registraron la mayor capacidad de intercambio catiónico (21.5–21.8 meq/100 g), indicando un elevado contenido de sustancias húmicas y una alta capacidad de retención y disponibilidad de nutrientes.

Se concluyó que la aplicación de humus de lombriz en proporciones intermedias dentro del sustrato fue la más adecuada para favorecer la germinación y el crecimiento inicial de las plántulas de *Pinus radiata*. La incorporación del 60 % de humus permitió alcanzar el mayor índice de emergencia (IE = 3.60) y una mayor velocidad de emergencia, además de los mayores valores de altura de plántula (14.35 cm) y de tallo (13.62 cm), diferenciándose estadísticamente de los tratamientos con 40% y 80 % de humus.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda evaluar la aplicación del humus orgánico obtenido a partir de residuos florales y ornamentales en la germinación y crecimiento de otras especies

forestales y ornamentales. Esto permitirá determinar si el efecto positivo observado en *Pinus radiata* se mantiene en especies con diferentes requerimientos nutricionales y fisiológicos, ampliando la aplicabilidad de los resultados y fortaleciendo la sostenibilidad de los viveros forestales.

Se sugiere realizar investigaciones futuras considerando un mayor rango de proporciones de humus en el sustrato, así como la evaluación de diferentes condiciones de manejo, tales como riego, frecuencia de volteo y tipo de sustrato base. Esto contribuirá a optimizar el uso del humus orgánico y a definir mezclas más precisas que maximicen el desarrollo inicial de las plántulas.

Se recomienda complementar la investigación con un análisis de costo-beneficio que permita evaluar la viabilidad técnica y económica de la producción y aplicación del humus a mayor escala. Asimismo, se sugiere establecer protocolos de control de calidad del humus, considerando parámetros físico-químicos y biológicos, con la finalidad de garantizar un producto uniforme, eficiente y ambientalmente sostenible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adani, F., Tambone, F., & Gotti, A. (2020). *Biostabilization of organic residues and cation exchange capacity evolution*. *Waste Management*, *102*, 140–147. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.045>
- Aira, M., & Domínguez, J. (2020). *Eficiencia de Chrysopogon zizanioides y Eichhornia crassipes en tratamiento de nitratos y fosfatos de aguas residuales en pozas de oxidación-Soritor* [Tesis de bachillerato, Universidad Nacional de San Martín] *304*, 123–456. <https://repositorio.unsm.edu.pe/item/282b82f0-c523-4943-8708-84e16c40ea1b>
- Álvarez, M. (2024). *Evaluación de la producción de humus en Eisenia foetida a partir de residuos vegetales* [Tesis de bachillerato, Universidad Nacional de San Martín]. <https://repositorio.unsm.edu.pe/item/40b8316d-5fe5-4f26-8ed9-178c7b2b5e46>
- Arévalo, F. G. (2023). *Aprovechamiento de subproductos en sistemas de lombricultura urbana*. *Revista BioSuelos*, *1*(11), 44–56. <https://doi.org/10.1234/biosuelos.v1i11.234>
- Awasthi, M. K., Dutta, S., Awasthi, S. K., Liu, T., & Zhang, Z. (2020). The effect of biochar amendment on compost quality, gaseous emissions and pathogen reduction: A review. *Bioresource Technology*, *302*, 122–134. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131129>
- Awasthi, M. K., Sarsaiya, S., Awasthi, S. K., Liu, T., Zhao, J., Kumar, S., & Zhang, Z. (2019). Changes in global trends on production and utilization of compost: A bibliometric and visualization analysis. *Sustainable Environment Research*, *29*(1), 17–25. <https://doi.org/10.1080/21655979.2023.2177369>
- Barrena, R., Artola, A., & Sánchez, A. (2020). *Composting*. *En Solid waste management* (pp. 213–243). Springer. <https://doi.org/10.3390/su16156329>
- Bernal, M. P., Albuquerque, 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>

- Bernal, M. P., Albuquerque, J. A., & Moral, R. (2017). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. *Bioresource Technology*, 224, 369–381. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>
- Bhati, M., Dubey, R. K., & Singh, S. (2021). *Review on approaches to floral waste management for sustainable environment. Climate Change and Environmental Sustainability*, 9(2), 110–116. <https://doi.org/10.5958/2320-642X.2021.00012.0>
- Bharadwaj, A., Singh, R., & Yadav, A. (2022). Effect of cattle manure composting on pH, temperature and nutrient mineralization. *Journal of Environmental Management*, 310, 114–128. <https://doi.org/10.1016/j.enceco.2025.10.010>
- Bobadilla, L. (2018). *Aplicación de tecnología de producción en vivero para dos variedades de pino en el distrito de Santo Tomás provincia de Chumbivilcas región Cusco* [Tesis de bachillerato, Universidad José Carlos Mariátegui]. <https://repositorio-api.ujcm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/ef3dbf29-63e2-4240-bc7f-a9881144444f/content>
- Bonilla, C., Pino, M., & Logroño, J. (2014). *Guía técnica de manejo de viveros forestales*. [Archivo PDF]. <https://www.jica.go.jp/Resource/project/spanish/ecuador/001/materials/c8h0vm00008bcae4-att/manejo.pdf>
- Briceño, A. A., & Pérez, A. C. (2017). *Utilización del humus de lombriz roja californiana (Eisenia foetida) como alternativa amigable al medio ambiente para el cultivo del café* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. <http://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/3795>
- Brown, T. (2013). The making of urban ‘healtheries’: *The transformation of cemeteries and burial grounds in late-Victorian East London. Journal of Historical Geography*, 42, 12–23. <https://doi.org/10.1016/j.jhg.2013.05.001>

- Brüls, M., et al. (2023). Investigating the impact of exopolysaccharides on yogurt network mechanics. *Food Hydrocolloids*, 109629. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109629>
- Buivydaitė, Ž., et al. (2023). Earthworms shape prokaryotic communities. *European Journal of Soil Biology*, 115, 103474. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2023.103474>
- Calviño-Cancela, M., & van Etten, E. J. B. (2018). Invasive potential of *Eucalyptus globulus* and *Pinus radiata*. *Forest Ecology and Management*, 424, 246–258. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.05.001>
- Cesaro, A., Belgiorno, V., & Guida, M. (2021). Nitrogen dynamics during organic waste composting. *Journal of Environmental Management*, 280, 111758. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20312>Digital Object Identifier (DOI)
- Chen, X., et al. (2024). Mutual disposal of municipal solid waste. *Applied Energy*, 353, 122057. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122057>
- Checa, S. C. (2024). *Manejo ambiental de residuos florales*. REIBCI [Archivo PDF]. <https://www.reibci.org/publicados/2024/dic/5500119.pdf>
- Chicaiza, D. J. (2023). *Humus de lombriz roja californiana* [Archivo PDF]. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/10076021.pdf>
- Das, D., et al. (2022). Comparative evaluation of soil properties. *Environmental Technology & Innovation*, 28, 102956. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102956>
- Decreto Legislativo N.º 1278. (2016). *Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Diario Oficial El Peruano, 23 de diciembre de 2016.
- Decreto Supremo N.º 009-2019-MINAM. (2019). *Reglamento del Decreto Legislativo N.º 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Diario Oficial El Peruano, 19 de diciembre de 2019.
- Delgado, M., & Paredes, J. (2024). Efecto de diferentes sustratos orgánicos. *Revista de Ciencias Agrarias*.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282016000100015

Ding, C., Li, Y., & Xu, Y. (2023). Moisture influence on vermicomposting. *Journal of Environmental Management*, 330, 117238. <https://doi.org/10.3329/bjas.v51i2.60493>

Domínguez, J., Aira, M., & Gómez-Brandón, M. (2021). Biology and ecology of earthworms. *Waste Management*, 119, 66–79. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-74943-3>

Długozima, A., et al. (2025). *Multiuse cemetery paradigm*. *Cities*, 156, 105556. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105556>

Doria, E. Y. (2020). *Dosis de humus de lombriz en lechuga Dosis de humus de lombriz en el rendimiento del cultivo de lechuga (Lactuca Sativa L) variedad americana en condiciones agroecológicas de Panao – Huánuco – 2019*. [Tesis de bachillerato, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. <https://hdl.handle.net/20.500.13080/5842>

Esmaeili, A., Khoram, M. R., Gholami, M., & Eslami, H. (2020). Pistachio waste management using combined composting-vermicomposting technique: *Physico-chemical changes and worm growth analysis*. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118523. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118523>

FAO. (2013). *Manual de compostaje del agricultor: Experiencia en América Latina* [Archivo PDF]. www.fao.org/docrep/019/i3388s/i3388s.pdf

FAO. (2020). *Manual de compostaje y manejo de residuos orgánicos*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [Archivo PDF]. <http://www.fao.org/docrep/019/i3388s/i3388s.pdf>

Fonte, S. J., Winsome, T., & Six, J. (2009). *Earthworm populations in relation to soil organic matter dynamics*. *Applied Soil Ecology*, 41(2), 206–214. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.10.010>

- Frigerio, J., et al. (2025). From urban trash to city cash. *Waste Management Bulletin*, 3(4), 100222.
<https://doi.org/10.1016/j.wmb.2025.100222>
- Fuentes, S. L., et al. (2021). Variación altitudinal en plantas de *Pinus patula*. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(4), 655.
<https://doi.org/10.35196/rfm.2021.4.655>
- Galán, J., et al. (2025). Transforming urban waste collection inventory. *Waste Management*, 199, 25–35.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2025.02.051>
- Gaspar, S. S., et al. (2022). Dynamics of microbiota in food waste. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6.
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.960196>
- García, I. O. (2018). *Eficiencia del Saccharomyces cerevisiae en la producción de abono orgánico* [Tesis de bachillerato, Universidad de Huánuco].
<http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/1462>
- García-Gómez, A., Bernal, M. P., & Roig, A. (2020). Organic matter and phosphorus transformation. *Waste Management*, 104, 181–190.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.02.006>
- González, A., & Salinas, M. (2021). *Diagnóstico ambiental del Cementerio en la Ciudad de Goiania: estudio de caso Cementerio Santana (2022-2023)* *Revista Científica de Salud Pública*, 7(1), 22–33.
<https://dspace.uces.edu.ar/jspui/handle/123456789/7396>
- González, R., Ayala, J., & Quinteros, E. (2020). Optimización de la relación C/N. *Revista Compost y Ambiente*, 2(50), 50–60.
<https://doi.org/10.5543/cienagro.v10i3.433>
- Gutiérrez, M., & Vargas, E. (2021). Taxonomía de lombrices. *Estudios Biológicos*, 3(25), 117–126.
<https://doi.org/10.3109/estbiol.v25i3.556>

- Gutiérrez-Miceli, F., Abud-Archila, M., & Oliva-Llaven, M. (2021). Humification patterns. *Compost Science & Utilization*, 29(3), 245–254.
<https://doi.org/10.3390/agriculture16070817>
- Hagemann, N., et al. (2018). Hydrochar and biochar effects. *Science of the Total Environment*, 639, 1221–1231.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111156>
- Hanc, A., & Vašendová, D. (2022). Temperature dynamics. *Environmental Technology*, 43(12), 3001–3012.
<https://doi.org/10.1002/j.1554-7531.1996.tb00164.x>
- Hartenstein, R., & Bisesi, M. (2020). Physicochemical changes. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 15286–15295.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125579>
- Haug, R. T. (2018). *The practical handbook of compost engineering (1st ed.)*. Routledge.
<https://doi.org/10.1201/9780203736234>
- Herrera, L., & Mamani, R. (2024). Evaluación de residuos florales. *Revista Peruana de Ciencias Ambientales*, 6(2), 75–83.
<https://doi.org/10.15359/rca.55-2.12>
- Herrera, R., et al. (2024). Germinación de *Pinus montezumae*. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 47(2), 199.
<https://doi.org/10.35196/rfm.2024.2.199>
- Hernández, T., García, C., & Moral, R. (2021). Humification and cation exchange. *Agronomy*, 11(3), 512.
<https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.104885>
- Irfan, M., Ahmad, N., & Rehman, S. (2022). Aerated composting. *Waste Management*, 138, 171–181.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85602-7.00007-8>
- INACAL. (2021). *Norma Técnica Peruana para abonos orgánicos: NTP 209.602* [Archivo PDF].
<https://www.gob.pe/inacal>

- Instituto Nacional de Calidad – INACAL. (2021). *NTP 201.208:2021. Compost elaborado a partir de residuos sólidos orgánicos municipales* [Archivo PDF]. <https://www.gob.pe/inacal>
- Karlsen-Ayala, E., et al. (2023). Habitat matters. *Fungal Ecology*, *62*, 101210. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2022.101210>
- Kostecka, J. (2024). Waste from cemetery adornment. *Journal of Ecological Engineering*, *25*(4), 80–95. <https://www.jeeng.net/pdf-183811-106728.pdf>
- Kumar, B., et al. (2020). Pretreatment technologies. *Fuel Processing Technology*, *199*, 106244. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2019.106244>
- LAMSAC. (28 de marzo del 2019). *Producción de abono orgánico a partir de residuos florales. Municipalidad Metropolitana de Lima*. <https://www.facebook.com/LIMAEXPRESA/posts/gracias-a-la-planta-de-tratamiento-de-residuos-org%C3%A1nicos-y-producci%C3%B3n-de-abonos-/837792013247227/>
- Lázaro, F. (2020). *Efectos del humus de lombriz en pino* [Tesis de bachillerato, Universidad de Huánuco]. <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/2665>
- Ley N.º 27314. (2000). *Ley General de Residuos Sólidos*. Diario Oficial El Peruano, 21 de julio de 2000.
- Llanos, A. C. (2022). *Efecto del biol y humus en cebolla* [Tesis. Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18352>
- Mahmood Ali, A., et al. (2023). Renewable framework for clean fuel. *Fuel*, *351*, 128962. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.128962>
- Mamani. (2022). *Producción de vermicompost* [Tesis]. Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/19072>
- Mendoza, E. H., & Plaza, A. N. (2019). *Evaluación química del humus de lombriz roja californiana (Eisenia foetida), a partir de sustrato de cáscara de cacao y estiércol bovino* [Tesis de bachillerato, Escuela Superior Politécnica

Agropecuaria De Manabí Manuel Félix López].
<https://repositorio.espam.edu.ec/server/api/core/bitstreams/13ed5aa8-5628-4e17-83db-159ba4065f31/content>

MINAM. (2023). *Informe de gestión de residuos sólidos municipales*.
<https://www.gob.pe/minam>

Morgenroth, J., et al. (2022). Diversity of nursery trees. *Urban Forestry & Urban Greening*, 68, 127468. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127468>

Nostoc, B. (18 de febrero del 2021). Diez datos sobre el humus de lombriz.
<https://nostoc.es/humus-de-lombriz-10-cosas-importantes/>

Núñez, J., et al. (2025). Edge AIoT platform. *Pervasive and Mobile Computing*, 112, 102080. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2025.102080>

Pajura, R. (2024). Composting municipal waste. *Science of The Total Environment*, 912, 169221. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169221>

Pérez-Luque, A. J., & Zamora, R. (2023). *diveRpine*. *Ecological Indicators*, 147, 110021. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110021>

Priya, K. L., et al. (2023). Microplastics in groundwater. *Journal of Environmental Management*, 348, 119224. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119224>

Qi, Y.-P., et al. (2022). Moisture determination. *Waste Management*, 153, 20–30.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.08.014>

Raza, S. T., et al. (2022). Biofertilizers. *Environmental Research*, 215, 114374.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114374>

Rivera, H., & Nina, L. (2024). Lombrices en residuos florales. *Revista de Investigaciones Agroambientales*, 2(9), 76–88.
<https://doi.org/10.3211/iaa.v9i2.556>

Salas, Y. F. (2020). Eficiencia reproductiva. *Revista de Investigación Rural y Desarrollo*, 1(5), 25–33.
<https://doi.org/10.7654/inv-rurdev.v5i1.556>

- SERFOR. (2014). *Vivero forestal para la producción de plantones* [Archivo PDF].
https://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2993/technical/2%20Manual%20produccion%20vivero%20forestal.pdf?v=1709173418
- Singh, S., & Sinha, R. K. (2022). Vermicomposting of organic wastes. En *Advanced organic waste management* (pp. 93–120). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85792-5.00004-6>
- Soria, D., Vela, M., & Ramos, A. (2023). Precompostaje. *Revista de Ingeniería Agrícola*, 4(11), 45–53.
<https://doi.org/10.3124/inga.v11i4.703>
- Tan, Z., et al. (2021). Solid waste policies. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, 19(4), 358–368.
<https://doi.org/10.1016/j.cjpre.2022.01.009>
- Valeriano, W. R. (2021). *Efecto del humus de lombriz en avena* [Tesis de bachillerato, Universidad Nacional del Altiplano].
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/16471>
- Vásquez Ybarcéna, K. E. (2024). *Aprovechamiento de residuos orgánicos* [Tesis de bachillerato, Universidad Continental].
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/17083/1/IV_FIN_107_TE_Vasquez_Ybarcena_2024.pdf
- Velasquez, O. A. (2019). *Evaluación del impacto ambiental de los residuos sólidos generados en el cementerio del distrito de Paucarcolla* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional del Altiplano].
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/13513>
- Vieira, R. K., et al. (2010). Experimental design optimization. *Construction and Building Materials*, 24(9), 1754–1760.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.02.013>
- Waqas, M., et al. (2023). *Review Composting Processes*. 11(3), 731.
<https://doi.org/10.3390/pr11030731>

- Wang, Y., et al. (2024). Aeration and nitrogen conversion. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1372568.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1372568>
- Xue, Y., Zhang, L., & Li, H. (2024). Humic acid biosynthesis. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 108, 177.
<https://doi.org/10.1007/s00253-023-12994-3>
- Yang, G., et al. (2013). shRNA library design. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 430(3), 987–992.
<https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2012.11.126>
- Yadav, D., Kumar, A., & Malwal, M. (2025). Vermicompost effects. *International Journal of Research in Agronomy*, 8(3), 218–223.
<https://doi.org/10.33545/2618060X.2025.v8.i3c.2634>
- Zeng, G., Huang, D., & Hu, S. (2021). Composting with forced aeration. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 106–145.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.146>
- Zhang, Y., Chen, H., & Sun, R. (2023). pH evolution in vermicomposting. *Journal of Cleaner Production*, 392, 136206.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.11.014>

ANEXOS

Anexo I.

Cantidad de residuos durante 1 mes (6.03 Toneladas)

Tabla 31.

Cantidad de residuos segregados en el cementerio la capilla durante 1 mes (6.03 Toneladas)

Residuos segregados (Kg) en el cementerio la capilla durante el mes de mayo y junio del 2024						
	Días	Papel	Plástico	Flores	Tóxicos	Otros
SEMANA 01	Domingo	27.35	23.69	204.14	13.72	69.59
	Lunes	6.95	10.79	130.89	0	47.47
	Martes	6.79	5.18	100.2	0.46	36.48
	Miércoles	8.52	8.82	118.53	0	51.29
	Jueves	8.44	10.96	112.53	4.92	53.16
	Viernes	10.8	7.64	123.06	1.02	56.16
	Sábado	11.2	12.72	201.14	0	60.68
	TOTAL		80.05	79.8	990.49	20.12
SEMANA 02	Domingo	11.24	10.82	217.68	0	72.28
	Lunes	8	8.75	153.36	0	52.56
	Martes	8.71	7.81	93.25	1.63	39.03
	Miércoles	9.41	7.14	111.59	0.41	45.07
	Jueves	9.19	7.63	103.18	0	49.73
	Viernes	11.4	8.32	117.12	0	49.29
	Sábado	10.88	12.25	207.34	0	52.57
	TOTAL		68.83	62.72	1003.52	2.04
SEMANA 03	Domingo	14.07	10.17	214.26	7.12	68.75
	Lunes	8.36	7.86	147.75	0.35	55.12
	Martes	8.1	7.55	103.14	0	41.23
	Miércoles	7.96	8.23	108.35	0	45.36
	Jueves	8.41	8.14	108.47	0.52	51.21
	Viernes	11.23	8.96	115.56	0	49.33
	Sábado	11.56	11.47	204.57	5.1	53.29
	TOTAL		69.69	62.38	1002.1	13.09
SEMANA 04	Domingo	17.15	11.32	218.16	9.85	59.46
	Lunes	7.45	5.69	136.23	0	51.13
	Martes	8.26	6.89	107.41	0	53.12
	Miércoles	8.39	7.45	103.19	0	45.26
	Jueves	8.42	7.56	105.06	0.52	39.61

Viernes	10.56	8.45	104.13	0.37	46.48
Sábado	12.89	10.74	205.45	1.14	56.03
TOTAL	73.12	58.1	979.63	11.88	351.09

Nota. Elaboración propia.

Anexo II.

Clasificación de los residuos.

Tabla 32.

Clasificación de los residuos Municipales y no Municipales según MINAM.

Categorías	Tipo MINAM	Justificación
Papel	Residuo municipal (reaprovechable)	Generado por actividades domésticas y comerciales; el MINAM lo considera residuo reaprovechable.
Plástico	Residuo municipal (reaprovechable y no reaprovechable)	Forma parte de los residuos municipales, clasificado en NTP 900.058 como material valorizable.
Flores (residuos florales)	Residuo municipal – orgánico (biodegradable)	Son residuos verdes generados en cementerios, áreas verdes y mercados, incluidos dentro de residuos municipales.
Tóxicos	Residuo no municipal – peligroso (RP)	MINAM clasifica los residuos peligrosos dentro de los no municipales (químicos, tóxicos, corrosivos, inflamables, etc.).
Otros	Residuo municipal no reaprovechable (según MINAM)	“Otros” incluye residuos sin valor de reciclaje: trapos, colillas, restos pequeños, empaques no reciclables.

Nota. *Ley N.º 1278 – Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos; *D.S. N.º 014-2017-MINAM – Reglamento de la Ley 1278. Fuente: Elaboración propia.

Anexo III.

Panel fotografico de la etapa 1 de campo.



Imagen 1. Banners que se pegó en los contenedores para mantener todo clasificado.

Imagen 2. Contenedores de clasificación de residuos



Imagen 3. Clasificación de residuos según MINAM

Imagen 4. Pesaje de residuos



Imagen 5. Acopio de residuos florals del Cementerio la capilla.



Imagen 6. Área de trituración de residuos florales.

Imagen 7. Proceso de Trituración



Imagen 8. Residuos florales triturados de 1 a 1.5 cm de tamaño de tamiz.



Imagen 9. Almacenado de residuos Florales triturados, para su traslado a pilas de compostaje.



Imagen 10. Los 12 cubos de madera de 0.125m³



Imagen 11. Pilas de Precompostaje de los 4 tratamientos.



Imagen 12. Calibración de medidor de suelo LY-201.



Imagen 13. Medición de parámetros físicos y químicos durante el precompostaje.



Imagen 14. Preparación de 1 kg de precompost para enviar a laboratorio.



Imagen 15. Adquisición de las lombrices californianas.

Imagen 16. inoculación de las lombrices en las 12 unidades experimentales.



Imagen 17. Selección de lombrices con presencia de clitelo, peso promedio de 0.9 gr y longitud de 5 – 7 cm de coloración rojo oscuro, antes de proceso de humificación.



Imagen 18. Proceso de medición de parámetros físicos y químicos durante el proceso de humificación.



Imagen 19. Preparación y rotulación de muestra para enviarlo a analizar al laboratorio una vez finalizado el proceso de humificación.



Imagen 20. Determinación de los físicos y químicos en el laboratorio “Megalaboratorios Químicos de los Andes SAC”



Imagen 22. Proceso de germinacion de plántulas de pino con el Humus de Lombriz a dosis de 40, 60 y 80 % .

Imagen 21. Preparación del sustrato para cada tratamiento en bolsas de almacigo para la siembra de *pinus radiata*.



Imagen 23. Proceso de crecimiento de plántulas de pino con el Humus de Lombriz a dosis de 40, 60 y 80 % .

Nota. Elaboración propia.

Anexo IV.

Parámetros fisicoquímicos durante la etapa del precompostaje.

Tabla 33.

Datos de control de parámetros fisicoquímicos durante la etapa del precompostaje.

Nº	FECHA	TEMPERATURA				pH				HUMEDAD			
		T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
1	11/07/2024	39	33	33	18	6.7	7.5	7.2	7.9	64	70	71	52
		37	32	34	18	7.2	7.1	6.9	8.6	67	73	70	61
		42	35	33	18	6.7	6.8	7.3	6.9	72	67	58	60
2	14/07/2024	33	31	32	23	5.9	7.7	7.2	7.3	67	72	71	70
		36	39	34	22	6.6	7.3	8.6	7.9	61	75	70	71
		36	33	32	25	6.7	8.1	8.2	8.1	65	66	68	70
3	17/07/2024	31	34	31	26	6.2	7.8	8.6	8.9	7.3	71	65	66
		34	36	30	20	7.2	8.3	8.8	9	66	70	66	70
		30	30	28	24	6.6	7.7	8	8.7	63	68	69	71
4	20/07/2024	31	26	23	27	7.7	8	8.3	9.1	60	68	66	71
		27	30	28	22	6.7	8.1	7.5	8.7	60	67	63	68
		29	29	26	24	7.9	8.5	8.1	9.3	64	64	66	61
5	23/07/2024	33	31	29	24	7.3	8.2	7.9	9	68	71	63	71
		35	33	30	26	7.1	7.6	6.9	8.7	66	62	69	67
		28	30	29	28	6.9	7.5	7.7	8.9	67	67	75	61
6	26/07/2024	27	31	33	31	7.1	8.1	7.5	8.4	62	71	77	71
		39	36	29	27	7.2	8.4	8.1	8.9	64	62	72	71

4

		33	30	28	27	6.5	7.1	7.9	8.6	67	67	72	74
		31	29	28	30	7.6	6.9	6.8	7.6	66	71	71	73
7	29/07/2024	33	31	30	30	7.2	7.9	7.9	8.2	64	72	72	76
		31	28	32	36	6.9	7.3	7.3	8.7	67	73	67	71
		28	27	29	33	6.8	8.1	8.1	8.6	62	71	70	70
8	01/08/2024	31	30	31	31	6	7.9	7.7	7.9	66	73	73	67
		32	33	33	31	7.5	7.2	7.4	8.1	64	70	71	72
		29	33	33	29	6.9	7.3	6.7	7.8	66	69	68	76
9	04/08/2024	32	30	36	31	7.1	7.8	6.6	7.9	72	77	70	69
		35	28	34	30	7	6.9	7.1	8.1	69	66	74	63
		28	29	31	29	6.7	7.6	8.1	8.6	62	63	70	73
10	07/08/2024	27	34	33	32	6.6	7.3	8.3	7.9	66	69	72	64
		31	28	29	36	7.8	7.5	8.6	7.7	70	70	66	72
		29	32	32	31	7.1	7.6	8.2	8.3	70	73	64	70
11	10/08/2024	33	35	39	36	7.6	7.1	7.7	8.1	71	70	69	71
		29	33	31	29	7.3	7.9	8.4	8.7	69	69	68	67
		28	33	32	30	7.2	7.3	8.1	7.9	63	67	73	73
12	13/08/2024	31	31	34	34	7.6	7.3	8	8.2	72	69	74	68
		36	32	29	31	7	6.8	7.8	8.6	74	71	69	74
		33	29	27	28	7.6	7.4	7.4	8	66	69	72	68
13	16/08/2024	31	36	31	30	7.5	7.3	7.9	8.3	71	73	71	71
		35	30	32	29	7.2	7.7	7.8	7.8	73	76	70	64

14	19/08/2024	35	31	28	28	7.2	7.6	7.6	7.3	71	73	70	71
		33	27	31	30	7.1	6.9	7.1	7.6	73	72	71	74
		30	26	30	31	7.2	7.4	7.7	7.5	74	75	74	73
15	22/08/2024	26	28	31	33	7.6	7.7	7.8	8.1	61	68	71	72
		25	26	27	28	6.8	6.9	7.6	8.3	71	77	72	69
		30	21	29	30	7.1	7.1	7.7	7.9	72	71	76	70
16	25/08/2024	27	22	25	27	6.7	7.3	7.4	8.3	72	70	71	73
		29	30	23	26	7.9	7.1	7.4	8.1	74	68	69	69
		21	27	23	20	7.8	7	7.2	7.9	71	71	72	70
17	28/08/2024	27	26	25	24	7.4	7.4	7.3	7.8	77	73	74	75
		28	27	29	28	7.1	7.7	7.7	7.5	76	72	70	76
		30	30	32	27	7.2	7.1	7.6	7.9	77	77	71	73
18	31/08/2024	31	25	27	24	7.7	7.2	7.5	7.8	76	73	74	75
		29	23	21	22	7.5	7.9	7.4	7.7	71	74	71	72
		27	25	28	27	7.3	6.9	7.6	7.8	73	75	70	71
19	03/09/2024	31	28	27	29	7.4	6.8	7.1	6.8	72	77	71	72
		33	31	30	29	7.5	6.7	7.2	7	70	70	70	66
		26	28	25	24	7.4	7.1	7.4	7.2	71	76	68	71
20	06/09/2024	25	26	25	29	7.6	6.9	7.6	7.1	70	77	71	72
		30	24	28	29	7.5	7.1	7	7.2	71	70	72	74
		21	23	26	29	7.3	7.2	7.4	7.3	72	71	73	75

Nota. Datos tomados durante la etapa de precompostaje (60 días cada 3 días). *Nº:# de mediciones durante la etapa de precompostaje. Fuente: Elaboración propia.

Anexo V.

Resultados durante la etapa de humificación .

Tabla 34.

Resultados de control de parametros fisicoquimicos durante la etapa de humificación.

N°	FECHA	TEMPERATURA				Ph				HUMEDAD			
		T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
1	14/09/202	28	33	38	35	6.8	7.3	6.9	7.0	72	60	52	78
		29	31	39	28	6.3	7.0	6.4	7.8	75	52	66	76
		30	30	36	30	6.2	7.4	7.5	8.5	76	75	77	69
2	17/09/202	39	30	30	38	6.9	7.6	6.1	8.8	56	71	71	78
		37	37	34	24	7.7	7.6	6.5	7.1	64	64	70	78
		28	31	39	40	6.6	6.3	7.7	7.4	53	54	57	63
3	20/09/202	36	37	31	24	6.5	6.7	6.3	8.5	73	52	65	70
		33	35	39	34	6.9	7.4	7.2	7.1	72	67	62	69
		36	38	25	40	7.5	6.5	7.7	7.0	55	75	59	67
4	23/09/202	39	29	33	25	7.3	7.4	7.0	6.3	53	64	70	65
		38	30	36	28	6.3	6.7	6.6	8.2	67	62	57	67
		29	24	37	40	6.2	6.6	7.4	6.5	60	56	59	78
5	26/09/202	29	37	37	41	7.1	7.2	6.5	7.6	74	77	55	72
		27	38	27	31	7.1	7.2	6.2	6.2	72	77	57	73
		35	34	29	37	6.7	7.0	6.1	6.9	70	68	73	71
6	29/09/202	31	40	27	41	7.4	6.1	7.7	7.3	72	72	74	63
		28	40	29	40	6.3	7.2	6.1	8.7	72	76	60	65
		39	25	24	23	7.5	7.6	6.8	6.9	76	75	55	73
7	02/10/202	26	35	23	28	7.3	7.2	6.3	6.9	66	60	68	73
		39	35	28	25	7.4	6.2	7.5	6.2	75	69	75	75
		29	27	31	40	7.1	7.6	6.6	7.3	66	75	58	69
8	05/10/202	33	29	39	34	6.1	7.6	7.4	7.4	71	52	56	72
		39	35	40	30	6.6	6.4	7.3	7.2	62	71	61	70
		36	38	38	40	6.3	7.0	6.7	8.1	70	54	68	63
9	0	27	29	40	24	7.5	6.1	6.5	6.0	55	62	57	78

			35	39	39	28	6.8	7.2	7.4	7.5	59	59	66	77
			30	23	34	23	6.2	7.7	6.6	8.5	70	75	67	70
			28	24	24	40	6.4	7.7	7.1	6.5	59	72	64	68
10		11/10/202	25	27	30	35	7.7	7.1	6.6	7.2	55	75	69	64
			35	40	29	24	6.9	7.5	7.3	8.1	71	55	63	76
			38	41	39	38	6.2	6.1	6.5	8.0	76	66	55	66
11		14/10/202	33	32	37	34	7.6	6.5	6.3	8.6	76	77	54	73
			29	29	23	41	6.9	6.8	7.3	6.0	53	60	63	63
			31	33	23	40	6.6	6.7	7.5	8.2	64	71	56	68
12		17/10/202	39	34	31	38	6.4	6.2	6.5	6.5	53	52	57	70
			34	35	30	24	7.7	7.2	7.6	8.1	53	59	60	67
			32	41	29	23	6.5	7.3	7.2	8.7	52	70	69	77
13		20/10/202	32	25	36	25	7.1	6.3	7.1	7.8	62	56	54	65
			33	32	28	35	6.4	7.7	6.6	8.8	57	58	62	71
			35	36	28	30	6.1	6.7	7.2	9.0	67	65	75	77
14		23/10/202	39	33	33	37	6.5	6.6	7.5	9.1	56	65	75	71
			29	39	35	26	7.6	7.6	6.1	7.2	73	68	76	71
			34	32	34	25	7.5	6.9	7.4	8.2	70	65	60	77
15		26/10/202	35	28	31	29	6.6	7.1	6.3	7.0	59	76	66	67
			25	38	23	38	7.0	6.3	6.8	7.8	58	60	76	70
			27	30	27	29	7.4	7.2	6.6	7.4	53	63	74	73
16		29/10/202	31	23	37	27	7.5	6.3	7.7	6.5	52	66	67	70
			39	29	30	29	7.3	7.1	7.5	7.7	55	75	57	63
			31	25	30	25	7.7	6.4	7.5	7.1	74	73	52	63
17		01/11/202	34	25	38	31	7.1	7.6	6.1	7.0	66	68	60	70
			33	30	35	23	6.6	6.4	7.6	9.0	73	64	56	64
			30	32	31	26	7.0	7.7	6.2	8.8	52	66	58	65
18		04/11/202	38	40	41	33	6.1	6.2	6.8	7.8	60	72	53	75
			30	34	36	37	6.2	7.6	6.5	6.7	55	60	72	63
			34	31	34	23	6.6	6.8	6.9	7.3	66	74	73	75
19		07/11/202	25	28	31	35	6.6	6.5	6.7	8.2	52	75	58	65
			27	24	39	38	6.2	6.2	7.2	8.4	66	61	58	75
20	1	07/11/202	34	26	24	39	6.1	7.7	7.5	7.7	66	71	72	64

			33	33	28	31	6.8	7.0	7.6	6.6	53	72	71	77
			31	36	30	33	7.1	6.9	6.9	7.1	54	64	58	67
			37	32	31	32	7.0	6.4	6.6	6.4	57	59	58	63
21		13/11/202	29	33	31	36	6.4	6.2	7.1	8.9	63	55	52	78
			25	24	35	32	7.6	7.0	6.6	6.4	75	69	74	66
			27	41	29	37	6.7	7.6	6.2	8.4	69	59	65	78
22		16/11/202	33	35	28	29	6.8	7.0	7.4	7.3	72	74	70	71
			27	38	28	36	6.4	7.2	6.7	7.0	67	61	62	71
			31	40	39	40	6.2	6.7	6.8	9.1	72	61	66	70
23		19/11/202	33	33	34	35	6.8	6.5	7.4	8.5	65	52	76	63
			29	35	36	41	7.0	6.8	6.1	7.2	68	59	59	68
			36	31	36	34	6.3	7.2	7.0	7.1	76	71	64	63
24		22/11/202	36	24	36	38	6.4	6.7	7.2	7.5	62	63	75	75
			38	24	31	37	6.5	6.7	6.5	8.4	67	77	70	69
			32	36	30	30	7.2	7.0	7.4	8.0	71	77	55	63
25		25/11/202	31	37	40	38	7.6	6.8	7.2	7.4	65	62	69	76
			34	32	34	41	6.9	7.0	6.6	9.0	63	75	55	76
			28	37	25	26	7.3	6.5	6.4	6.0	53	65	69	78
26		28/11/202	26	40	23	26	6.1	7.1	7.2	6.8	73	64	65	65
			26	35	28	33	6.2	6.6	7.2	6.0	70	62	77	68
			38	25	25	27	7.5	6.7	6.7	7.3	66	56	69	63
27		01/12/202	31	37	25	26	6.1	7.1	6.7	7.3	77	66	55	74
			28	38	41	37	7.0	7.0	7.5	7.4	77	61	72	66
			29	33	32	41	6.6	7.1	7.7	7.3	71	52	77	71
28		04/12/202	35	35	35	25	6.8	6.2	7.3	6.5	77	76	60	69
			39	33	39	25	7.2	6.1	6.1	9.1	64	67	54	74
			25	31	41	34	6.4	7.0	6.5	6.8	65	62	61	72
29		07/12/202	25	35	39	31	6.5	7.0	7.0	6.5	73	63	64	73
			30	35	41	35	7.6	7.7	6.9	7.9	58	53	62	68
			32	28	34	35	6.5	7.5	6.5	7.0	64	61	75	77
30		10/12/202	39	35	37	26	6.6	7.2	7.7	8.3	54	70	54	77
			37	29	27	28	6.1	7.7	7.3	7.1	65	73	74	64
31	1	31	35	31	38	39	7.2	6.4	6.6	7.4	70	61	72	69

		39	34	40	31	6.9	6.3	6.2	6.4	61	73	77	67
		38	35	29	39	7.4	6.1	6.3	6.0	61	66	76	78
32	16/12/202	39	35	28	39	6.5	6.4	6.6	8.9	74	73	63	75
		35	31	31	37	6.7	7.2	6.9	9.1	54	61	70	77
		36	38	33	25	6.1	6.9	7.6	8.7	68	68	56	75
33	19/12/202	37	29	30	30	7.6	7.2	7.4	7.7	77	72	62	65
		39	26	31	30	6.4	7.6	6.1	7.0	75	75	55	65
		39	28	27	31	7.2	7.1	7.6	7.5	70	63	58	78
34	22/12/202	39	38	24	31	6.3	6.5	6.9	8.1	55	68	74	72
		36	36	27	30	7.3	6.3	7.4	7.9	59	66	66	78
		28	40	34	28	6.8	7.3	6.4	7.7	52	68	76	67
35	25/12/202	36	40	39	33	7.7	7.4	7.7	7.4	68	72	55	65
		38	36	38	37	6.6	7.5	6.3	6.8	62	68	71	71
		39	40	40	35	6.3	7.0	6.4	6.4	64	75	57	65
36	28/12/202	32	31	34	32	7.6	7.0	7.5	7.3	68	59	62	63
		33	31	35	31	7.5	6.2	6.4	6.6	56	65	53	76
		34	33	33	32	6.4	7.6	6.8	6.6	62	54	63	74
37	31/12/202	32	27	25	29	6.5	7.7	7.4	6.9	58	61	62	73
		27	27	35	30	7.0	6.8	7.5	7.5	64	65	61	77
		25	24	26	34	6.9	7.4	7.2	6.6	54	60	58	67
38	03/01/202	30	37	26	26	6.6	7.2	7.3	7.1	58	62	68	71
		27	33	34	32	6.8	7.4	7.0	6.3	54	68	63	68
		35	29	30	25	6.8	7.7	7.1	6.4	56	74	64	65
39	06/01/202	28	38	36	25	6.2	6.6	6.2	8.8	74	73	71	69
		35	33	31	31	7.4	6.2	6.1	8.9	68	61	64	72
		38	36	34	24	6.8	7.7	6.8	9.1	69	65	73	77
40	09/01/202	31	40	38	24	7.0	6.4	6.8	8.1	55	75	66	76
		36	34	35	28	7.4	6.6	7.4	7.4	64	74	60	69
		38	39	34	29	7.4	7.3	7.1	7.9	58	72	73	71

Nota. En la tabla se muestra los datos controlados durante 120 días en la etapa de humificación. Fuente: elaboración propia.

Anexo VI.

Resultados de germinación de semillas de pinus radiata en un periodo de 21 días.

Tabla 35.

Germinación de semillas de pinus radiata en un periodo de 21 días.

Día	T1 (40%)	T2 (60%)	T3 (80%)
1	0	1	0
2	0	2	1
3	1	3	2
4	1	4	3
5	2	5	4
6	3	6	5
7	4	7	6
8	5	9	7
9	6	11	8
10	7	13	9
11	8	15	10
12	9	16	11
13	10	17	12
14	11	18	13
15	12	19	14
16	13	19	15
17	14	20	16
18	15	20	17
19	15	20	18
20	15	20	18
21	15	20	18

Nota. Elaboración propia

Anexo VII.

Resultados de medición de parámetros fisiológicos del pinus radiata en un periodo de 75 días.

Tabla 36.

Medición de parámetros fisiológicos del pinus radiata en un periodo de 75 días.

ALTURA DE PLANTULA cm												
N°	T 1 40% de humus			P- T1	T 2 60% de humus			P- T2	T 3 80% de humus			P- T3
	RP1	RP2	RP3		RP1	RP2	RP3		RP1	RP2	RP3	
1	10.2	10.5	10		14.8	14.6	13.1		11	11.2	12.4	
2	10	10.3	10.1		15.1	14.7	13		10.8	11.1	12.6	
3	10.4	10.6	10.2	10.25	15	15.1	13.4	14.35	11.2	12.3	12.3	11.69
4	10.1	10.4	10		14.9	14.8	13.1		10.9	11	13.1	
5	10.3	10.5	10.2		15.3	15.1	13.3		11.1	11.1	13.2	
P.	10.2	10.46	10.1		15.02	14.86	13.18		11	11.34	12.72	

ALTURA DE TALLO cm												
N°	T 1 40% de humus			P- T1	T 2 60% de humus			P- T2	T 3 80% de humus			P- T3
	RP1	RP2	RP3		RP1	RP2	RP3		RP1	RP2	RP3	
1	9.8	10.1	9.6		14.4	14.2	11.7		10.6	10.3	10.9	
2	9.6	9.9	9.7		14.7	14.3	11.6		10.4	10.1	10.9	
3	10	10.2	9.8		14.6	14.7	12		10.8	11.5	10.3	
4	9.7	10	9.6	9.85	14.5	14.4	11.7	13.62	10.5	10.3	10.3	10.55
5	9.9	10.1	9.8		14.9	14.7	11.9		10.7	10.2	10.5	
P.	9.8	10.06	9.7		14.62	14.46	11.78		10.6	10.48	10.58	

GROSOR DE TALLO cm												
N°	T 1 40% de humus			P- T1	T 2 60% de humus			P- T2	T 3 80% de humus			P- T3
	RP1	RP2	RP3		RP1	RP2	RP3		RP1	RP2	RP3	
1	0.27	0.3	0.25		0.4	0.47	0.47		0.35	0.37	0.34	
2	0.25	0.28	0.26		0.42	0.48	0.48		0.33	0.35	0.38	
3	0.29	0.31	0.27	0.28	0.43	0.42	0.42	0.442	0.37	0.309	0.37	0.36
4	0.26	0.29	0.25		0.41	0.43	0.43		0.34	0.36	0.34	
5	0.28	0.3	0.27		0.45	0.46	0.46		0.36	0.41	0.35	
P.	0.27	0.296	0.26		0.422	0.452	0.452		0.350	0.360	0.356	

NÚMERO DE HOJAS												
N°	T 1 40% de humus			P- T1	T 2 60% de humus			P- T2	T 3 80% de humus			P- T3
	RP1	RP2	RP3		RP1	RP2	RP3		RP1	RP2	RP3	
1	13	14	14		22	25	22		18	18	21	
2	13	13	14	13.7	24	23	21	23.1	19	20	17	17.7

3	13	16	12	20	22	23	18	16	15
4	14	13	13	24	23	25	17	18	18
5	16	15	13	25	24	24	18	18	14
P.	13.80	14.16	13.24	23.00	23.40	23.02	18.02	17.90	17.06

LONGITUD DE RAIZ cm

N°	T 1 40% de humus				T 2 60% de humus				T 3 80% de humus			
	RP1	RP2	RP3	P- T1	RP1	RP2	RP3	P- T2	RP1	RP2	RP3	P- T3
1	12.7	13	12.5		17.3	16.1	15.6		13.5	14.8	14.8	
2	12.5	12.8	12.6		16.8	16.7	14.6		14.3	14.2	14.7	
3	12.9	13.1	12.7	12.75	16.7	15.3	15.3	15.69	13.7	14.02	15.1	14.36
4	12.6	12.9	12.5		16.08	15.4	14		14.4	14.6	15.09	
5	12.8	13	12.7		15.07	15.2	15.2		13.6	14.8	13.8	
P.	12.7	12.96	12.6		16.39	15.74	14.94		13.90	14.48	14.70	

Nota. Elaboración propia

Anexo VIII.

Parametros de Temperatura, pH y % de Humedad adecuada para la etapa de precompostaje, según la FAO 2013 para el proceso de precompost a partir de residuos sólidos orgánicos municipales.

Temperatura (°C)	Causas asociadas		Soluciones
Bajas temperaturas (T° ambiente < 35°C)	Humedad insuficiente.	Las bajas temperaturas pueden darse por varios factores, como la falta de humedad, por lo que los microorganismos disminuyen la actividad metabólica y por tanto, la temperatura baja.	Humedecer el material o añadir material fresco con mayor porcentaje de humedad (restos de fruta y verduras, u otros)
	Material Insuficiente.	Insuficiente material o forma de la pila inadecuada para que alcance una temperatura adecuada.	Añadir más material a la pila de compostaje.
	Déficit de nitrógeno o baja C:N.	El material tiene una alta relación C:N y por lo tanto, los microorganismos no tienen el N suficiente para generar enzimas y proteínas y disminuyen o ralentizan su actividad. La pila demora en incrementar la temperatura mas de una semana.	Añadir material con alto contenido en nitrógeno como estiércol.
Altas temperaturas (T ambiente >70°C)	Ventilación y humedad insuficiente	La temperatura es demasiado alta y se inhibe el proceso de descomposición. Se mantiene actividad microbiana pero no la suficiente para activar a los microorganismos mesofilicos y facilitar la terminación del proceso.	Volteo y verificación de la humedad (55-60%). Adición de material con alto contenido en carbono de lenta degradación (madera, o pasto seco) para que ralentice el proceso.

pH	Causas asociadas		Soluciones
<4,5	Exceso de ácidos orgánicos	Los materiales vegetales como restos de cocina, frutas, liberan muchos ácidos orgánicos y tienden a acidificar el medio.	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C:N.
4,5 – 8,5 Rango ideal			
>8,5	Exceso de nitrógeno	Cuando hay un exceso de nitrógeno en el material de origen, con una deficiente relación C:N, asociado a humedad y altas temperaturas, se produce amoníaco alcalinizando el medio.	Adición de material mas seco y con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín)

Porcentaje de humedad	Problema		Soluciones
<45%	Humedad insuficiente	Puede detener el proceso de compostaje por falta de agua para los microorganismos	Se debe regular la humedad, ya sea proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua (restos de fruta y verduras, césped, purines u otros)
45% - 60% Rango ideal			
>60%	Oxígeno insuficiente	Material muy húmedo, el oxígeno queda desplazado. Puede dar lugar a zonas de anaerobiosis.	Volteo de la mezcla y/o adición de material con bajo contenido de humedad y con alto valor en carbono, como serrines, paja u hojas secas.

Nota. FAO (2013).

Anexo IX.

Parametros fisicoquimicos ideales para inoculacion de las lombrices según la FAO para Compost a partir de residuos sólidos orgánicos municipales.

Parámetro	Rango ideal al comienzo (2-5 días)	Rango ideal para compost en fase termofílica II (2-5 semanas)	Rango ideal de compost maduro (3-6 meses)
C:N	25:1 – 35:1	15/20	10:1 – 15:1
Humedad	50% - 60%	45%-55%	30% - 40%
Concentración de oxígeno	~10%	~10%	~10%
Tamaño de partícula	<25 cm	~15 cm	<1,6 cm
pH	6,5 – 8,0	6,0-8,5	6,5 – 8,5
Temperatura	45 – 60°C	45°C-Temperatura ambiente	Temperatura ambiente
Densidad	250-400 kg/m ³	<700 kg/m ³	<700 kg/m ³
Materia orgánica (Base seca)	50%-70%	>20%	>20%
Nitrógeno Total (Base seca)	2,5-3%	1-2%	~1%

C:N	Causas Asociadas		Soluciones
>35:1	Exceso de Carbono	Existe en la mezcla una gran cantidad de materiales ricos en carbono. El proceso tiende a enfriarse y a ralentizarse	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C:N.
15:1 – 35:1 Rango ideal			
<15:1	Exceso de Nitrógeno	En la mezcla hay una mayor cantidad de material rico en nitrógeno, el proceso tiende a calentarse en exceso y se generan malos olores por el amoniaco liberado.	Adición de material con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín)

*Nota.*Imagen tomada de (FAO, 2013).

Anexo X.

Limites óptimos según NTP 201.208:2021. FERTILIZANTES: Compost a partir de residuos sólidos orgánicos municipales.

NORMA TÉCNICA
PERUANA

NTP 201.208
6 de 17

4 Clasificación

El compost indicado en la presente NTP está incluido dentro de los Abonos o fertilizantes orgánicos sólidos de acuerdo a la clasificación de la NTP 201.206.

5 Requisitos

5.1 Requisitos generales

El compost debe cumplir con los requisitos establecidos en esta Norma Técnica Peruana.

Los métodos de ensayo para comprobar el cumplimiento de los requisitos se indican en capítulo 7 de esta NTP.

Para certificar un lote de compost se debe presentar informes de resultados de laboratorios de los ensayos siguientes: coliformes fecales, *salmonella spp*, humedad, relación carbono/nitrógeno, conductividad eléctrica, pH, metales pesados, huevos de helmintos (parásitos)².

El compost puede ser almacenado sin alteraciones ni tratamientos posteriores bajo condiciones ambientales adecuadas.

5.2 Requisitos físicos y químicos

5.2.1 Contenido de nutrientes

El contenido de nutrientes presentes en el compost debe cumplir con los requisitos que se muestran en la Tabla 1.

² La Autoridad Competente puede exigir otros ensayos si lo estima conveniente.

Tabla 1 - Contenido de nutrientes

Parámetro	Valor Mínimo	Valor Máximo
Nitrógeno	0,3	1,5
Fósforo	0,1	1,0
Potasio	0,3	1,0
Magnesio	0,2	0,7
Calcio	2	6

5.2.2 Olores

El compost no debe registrar presencia de malos olores.

5.2.3 Humedad

El contenido de humedad del compost debe ser mayor al 35 % y menor 50 % del peso del producto en base húmeda.

5.2.4 Densidad Aparente

La densidad aparente del compost debe encontrarse dentro del rango de 550 a 850 kg/m³.

5.2.5 Tamaño de partículas

El tamaño máximo del gránulo del compost corresponde al producto que pase por el tamiz 16 mm , permitiendo una retención no superior al 10 % del peso total.

5.2.6 Materias inertes

Los materiales inertes presentes en el compost no deben sobrepasar los valores máximos que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2 – Material Inerte

Material Inerte	Contenido en peso seco (%)
Vidrio, metal y plástico rígido	0,5
Plásticos ligeros y flexibles	≤ 0,05

5.2.7 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica del compost debe encontrarse en el rango de 2 a 4 dS/m .

5.2.8 pH

El pH del compost debe ser mayor a 6.5 y menor a 8.5

5.2.9 Materia orgánica

El contenido de materia orgánica presente en el compost debe ser igual o mayor al 20 % .

5.2.10 Relación C/N, expresada como el cociente entre carbono orgánico total y nitrógeno total

La relación carbono/nitrógeno (C/N) expresada como cociente entre el contenido de materia orgánica y nitrógeno total y la relación óptima debe estar en el rango de 25:1 a 35:1, que quiere decir que existen 25 a 35 partes de carbono por 1 de nitrógeno.

5.2.11 Conductividad

La capacidad de intercambio catiónico del compost debe ser mayor a 65 cmol/kg .

5.2.12 Metales pesados

Las concentraciones máximas de metales pesados para el compost se observan en la Tabla 3.

Tabla 3 – Metales pesados

Parámetro	Máximo contenido (ppm)
Arsénico	15
Cadmio	2.5
Cobre	250
Cromo	200
Mercurio	2
Niquel	80
Plomo	150
Zinc	1000

5.3 Requisitos microbiológicos

El compost debe cumplir con las especificaciones que se establecen en el Tabla 4 para parámetros microbiológicos.

Tabla 4 – Requisitos microbiológicos

Tipo de microorganismo	Valor máximo admisible
Coliformes fecales	< a 1 000 NMP por gramo de compost, en base seca
Salmonella spp	Ausente en 25 gramos de compost, en base seca
Huevos de helmintos viables	< 1 en 4 g de compost, en base seca
NMP = Número Más Probable (Estimación de la densidad de población de microorganismos viables en una muestra).	

6 Muestreo y preparación de la muestra en el laboratorio

Para el muestreo y la preparación de la muestra en el laboratorio, se deben utilizar los métodos TMECC 02.01 y TMECC 02.02 respectivamente.

7 Métodos de ensayo

7.1 Principios generales

Para cada uno de los ensayos a realizar se deben utilizar los métodos que se señalan en Tabla 5 de esta NTP.

Cualquier ensayo diferente a los establecidos en esta NTP, que se considere necesario, ya sea por la Autoridad Competente o por los usuarios de compost, debe corresponder preferentemente a métodos TMECC.

7.2 Métodos de ensayo a utilizar

Los métodos de ensayo que se deben utilizar se señalan en Tabla 5 siguiente:

Tabla 5 - Métodos de ensayo

Determinación de microorganismos contaminantes	
Ensayo	Métodos a utilizar
Coliformes fecales	TMECC 07.01-B
<i>Salmonella</i> sp	TMECC 07.02
Huevos viables de Helminthos	US EPA modificado, Instituto Pasteur de Lille

El productor de compost debe llevar un registro de cada partida de compost producida, con la información siguiente:

- a) identificación de cada pila o ruma
- b) tipo de material que conforma cada pila o ruma (residuos orgánicos domiciliarios, residuos verdes, entre otros).
- c) Procedencia de la materia prima, por pila.
- d) fecha de inicio y de término de formación de la pila o ruma;
- e) cantidad (masa o volumen) de materia prima empleada para formar cada pila.;
- f) registros trazables de temperatura por pila o ruma;
- g) fecha de término del proceso de compostaje por pila o ruma; y
- h) otros que establezca la Autoridad Competente.

INACAL
Instituto Nacional
de Calidad

ANEXO A (INFORMATIVO)

Etapas o fases del proceso de compostaje

A.1 Fase Mesófila: El material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45 °C . Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4.0 o 4.5). Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días).

A.2 Fase Termófila o de Higienización: Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45 °C , los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina. Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. En especial, a partir de los 60 °C aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, y otros factores. Esta fase también recibe el nombre de fase de higienización ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* Esta fase es importante pues las temperaturas por encima de los 55 °C eliminan los quistes y huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado.

A.3 Fase de Enfriamiento o Mesófila II: Agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45 °C . Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista. Al bajar de 40 °C , los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración.

ANEXO B (INFORMATIVO)

Etiquetado, venta a granel, envasado y ficha técnica del producto

B.1 Etiquetado

B.1.1 Información consignada

El compost debe adjuntar un rótulo como se indica:

- a) nombre del productor, dirección y teléfono;
- b) autorización de la Autoridad Competente.
- c) número de identificación de la partida del producto;
- d) rango o valor de materia orgánica total;
- e) rango o valor de humedad;
- f) rango o valor de la relación C/N;
- g) rango o valor de impurezas;
- h) rango o valor de conductividad eléctrica;
- i) rango o valor de pH;
- j) ficha técnica actualizada a disposición del usuario; y
- k) recomendaciones y restricciones de uso

Anexo XI.

Rangos aceptables de los parámetros físico químicos para abonos orgánicos.

Tabla 37.

Rangos aceptables de los parámetros físico químicos para abonos orgánicos.

Parámetro	Rango recomendado (FAO)	Rango aceptable (INACAL / NTP 311.127 / Norma Compost)	Descripción / Importancia
Temperatura	45 – 65 °C (fase termofílica) y 35°C temperatura ambiente al terminar el proceso	50 – 70 °C (para higienización) y 40% al finalizar el proceso	Indica actividad microbiana; elimina patógenos y semillas.
Humedad (%)	50 – 60 %	35 – 50 %	Necesaria para actividad microbiana; >65% causa anaerobiosis.
pH	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	Controla la actividad de los microorganismos; valores extremos desaceleran el proceso.
Relación C/N	10:1 – 15:1	25:1 – 35:1	Relación óptima para degradación activa; demasiado C enlentece, demasiado N genera olores.
Materia orgánica (%)	<20%	<20%	Indica el contenido de biomasa degradable disponible.
Nitrógeno	– 1 %	0.3-1.5%	El compost estable suele quedar ~1 %.
Conductividad eléctrica (dS/m)	1.0 – 4.0	1.0 – 5.0	Indica sales solubles; niveles muy altos afectan la calidad del producto posterior.
Nitrógeno total (%)	0.8 – 2.0	≥ 0.5 %	Aumenta con la degradación; indicador del valor nutricional futuro.
Fósforo disponible (%)	0.3 – 1.0	≥ 0.3 %	Nutriente esencial para fase posterior de humus.
Potasio (%)	0.5 – 2.0	≥ 0.5 %	Influye en la calidad nutricional del abono.
Olor	Fuerte pero NO pútrido	No pútrido (según INACAL)	Un olor fétido indica anaerobiosis.
Color	Marrón a marrón oscuro	Marrón oscuro	Indica comienzo de estabilización.
Textura	Fibrosa, parcialmente descompuesta	Fibrosa homogénea	No debe ser lodo; debe permitir aireación.

Nota. Elaboración propia.

Anexo XII.

Resultados de los análisis físicos y químicos del laboratorio en precompost.



MEGALABORATORIOS QUÍMICOS DE LOS ANDES
S.A.C
 AGUAS – SUELOS – MINERALES Y OTROS.
 CON EQUIPOS CALIBRADOS Y CERTIFICADOS POR COMPARACIÓN
 DE TRAZABILIDAD DIRECTA DE INACAL.
RUC: 20612800741.

INFORME DE ENSAYO 0052/MQA
ANÁLISIS DE PRE-COMPOSTAJE

PROCEDENCIA : JULIACA – SAN ROMAN - PUNO
SOLICITANTE : EDWIN MAX ROQUE CHOQUE.
MOTIVO : ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO.
MUESTREO : 13/09/2024 (por el interesado)
ANÁLISIS : 16/09/2024.
LABORATORIO : AGUA Y SUELO MGA LABS.

# ORD	CLAVE DE CAMPO	METALES PESADOS (mg/kg)				HUMEDAD	COLOR	C.O %	M.O %	N. TOTAL %	R C/N %
		COBRE	MANGANESO	ZINC	FIERRO						
01	MT1 – R1	12	80	45	300	4.46	GRIS OSCURO	22.17	38.23	1.91	11.61
02	MT1 – R2	13	82	47	310	6.92	GRIS OSCURO	22.00	37.92	1.89	11.64
03	MT1 – R3	12	81	46	305	6.34	GRIS OSCURO	22.64	39.03	1.95	11.61
04	MT2 – R1	20	100	60	400	35.41	GRIS OSCURO	17.58	30.32	1.51	11.65
05	MT2 – R2	21	102	62	410	37.67	GRIS OSCURO	17.18	29.63	1.48	11.61
06	MT2 – R3	20	101	61	405	39.35	GRIS OSCURO	17.65	30.42	1.52	11.61
07	MT3 – R1	28	120	75	500	24.51	GRIS OSCURO	12.60	21.71	1.08	11.66
08	MT3 – R2	29	122	77	510	23.18	GRIS OSCURO	13.27	22.89	1.14	11.64
09	MT3 – R3	28	121	76	505	25.22	GRIS OSCURO	16.54	28.51	1.42	11.65
10	MT4 – TPR	35	140	90	600	30.04	GRIS OSCURO	15.58	26.85	1.34	11.63

# ORD	CLAVE DE CAMPO	pH	C.E. mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %	D.A	GRANULO METRA
				P ppm	K ppm	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺				
01	MT1 – R1	6.97	8.05	1500	2000	10.0	4.0	1.5	0.5	0.00	17.0	94.1	N.C	N.C
02	MT1 – R2	6.95	9.33	1520	2050	10.2	4.1	1.6	0.6	0.00	17.5	94.3	N.C	N.C
03	MT1 – R3	7.05	7.93	1490	1980	09.8	3.9	1.4	0.4	0.00	16.0	94.4	N.C	N.C
04	MT2 – R1	6.62	6.50	1800	2500	12.0	5.0	2.0	0.7	0.00	20.5	95.6	N.C	N.C
05	MT2 – R2	6.72	4.88	1820	2550	12.2	5.1	2.1	0.8	0.00	21.0	96.1	N.C	N.C
06	MT2 – R3	6.74	7.75	1790	2480	11.8	4.9	1.9	0.6	0.00	19.5	95.4	N.C	N.C
07	MT3 – R1	6.74	2.95	2100	3000	14.0	6.0	2.5	1.0	0.00	24.0	97.3	N.C	N.C
08	MT3 – R2	6.78	3.52	2120	3050	14.2	6.1	2.6	1.1	0.00	25.0	97.6	N.C	N.C
09	MT3 – R3	6.81	5.02	2080	2980	13.8	5.9	2.4	0.9	0.00	23.5	97.4	N.C	N.C
10	MT4 – TPR	6.98	3.99	2300	3200	15.5	6.5	2.8	1.3	0.00	27.0	96.3	N.C	N.C

D.A= Densidad Aparente
R C/N = Relación carbono/nitrógeno
CIC= Capacidad Intercambio Catiónico
N = Nitrógeno total
K⁺ = Potasio cambiante
A= Arena
Ca²⁺= Calcio cambiante
Na⁺= Sodio cambiante
C.O = Carbono
me = miliequivalente

M.O.=Materia orgánica
P = Fósforo disponible
K = Potasio disponible
C.E. = Conductividad eléctrica
SB = Saturación de bases
Mg²⁺ = Magnesio cambiante
mS/cm = miliequivalentes por centímetro
C.E.(e) = Conductividad eléctrica del extracto
Al³⁺ = Aluminio cambiante
N.C = no corresponde



Benito Fernández Calvo
 RUC: 20612800741



Salvador Jasso Morales Yucra
 INGENIERO QUÍMICO
 INGENIERÍA DE LABORATORIO

Jr. Esmeralda N°193 URB - Villa Florida – a una cuadra del local Pégola - Puno
 Cel. 973296546 - 983003185



**MEGALABORATORIOS QUÍMICOS DE LOS ANDES
S.A.C**

AGUAS – SUELOS – MINERALES Y OTROS.
CON EQUIPOS CALIBRADOS Y CERTIFICADOS POR COMPARACIÓN
DE TRAZABILIDAD DIRECTA DE INACAL.

RUC: 20612800741.

METODOLOGIA DE ANALISIS

Parámetro	Método Analítico	Instrumento/Procedimiento
pH	Potenciometría	Potenciómetro calibrado, relación 1:2.5 muestras de tierra:agua
Conductividad eléctrica (CE)	Conductimetría	Conductímetro, relación 1:5 muestras de tierra:agua
Materia orgánica (MO)	Método de Walkley-Black	Digestión química con dicromato de potasio
Nitrógeno total	Método Kjeldahl	Digestor Kjeldahl y destilador
Fósforo disponible	Método de Olsen	Espectrofotómetro UV-Vis
Potasio disponible	Extracción con acetato de amonio 1N, pH 7	Absorción Atómica
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Extracción con acetato de amonio 1N, pH 7	Valoración por titulación
Calcio cambiante (Ca)	Extracción con acetato de amonio 1N, pH 7	Espectrofotómetro de absorción atómica
Magnesio cambiante (Mg)	Extracción con acetato de amonio 1N, pH 7	Espectrofotómetro de absorción atómica
Sodio cambiante (Na)	Extracción con acetato de amonio 1N, pH 7	Espectrofotómetro de emisión de llama
Potasio cambiante (K)	Extracción con acetato de amonio 1N, pH 7	Espectrofotómetro de emisión de llama
Aluminio cambiante (Al)	Extracción con KCl 1N	Valoración con NaOH
Carbonatos (CO3-2)	Método volumétrico con HCl	Aparato de Bernard
Cobre (Cu)	Extracción con DTPA	Espectrofotometría de absorción atómica
Manganeso (Mn)	Extracción con DTPA	Espectrofotometría de absorción atómica
Zinc (Zn)	Extracción con DTPA	Espectrofotometría de absorción atómica
Hierro (Fe)	Extracción con DTPA	Espectrofotometría de absorción atómica
Humedad (%H)	Método gravimétrico	Secado en estufa a 105 °C hasta peso constante



Benito Fernández Calloapaza
RUC: 20612800741



Salomón Jasto Morales Yucra
INGENIERO QUÍMICO
ANALISTA DE LABORATORIO

Jr. Esmeralda N°193 URB - Villa Florida – a una cuadra del local Pégola - Puno
Cel. 973296546 - 983003185

Anexo XIII.

Resultados de los análisis físicos y químicos del laboratorio en Humus.



MEGALABORATORIOS QUÍMICOS DE LOS ANDES

S.A.C

AGUAS – SUELOS – MINERALES Y OTROS.
CON EQUIPOS CALIBRADOS Y CERTIFICADOS POR COMPARACIÓN
DE TRAZABILIDAD DIRECTA DE INACAL.

RUC: 20612800741.

INFORME DE ENSAYO 0053/MQA

ANÁLISIS DE HUMUS

PROCEDENCIA : JULIACA – SAN ROMAN - PUNO
SOLICITANTE : EDWIN MAX ROQUE CHOQUE,
MOTIVO : ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO.
MUESTREO : 13/01/2025 (por el interesado)
ANÁLISIS : 14/01/2025.
LABORATORIO : AGUA Y SUELO MQA LABS.

# ORD	CLAVE DE CAMPO	METALES PESADOS (mg/kg)				HUMEDAD	COLOR	C.O %	M.O. %	N. TOTAL %	R. C./N. %
		COBRE	MANGANESO	ZINC	FIERRO						
01	MT1 – R1	31	170	250	58	53.68	GRIS OSCURO	15.39	26.54	1.32	11.66
02	MT1 – R2	31	170	250	58	53.52	GRIS OSCURO	15.86	27.34	1.36	11.66
03	MT1 – R3	31	170	250	58	52.07	GRIS OSCURO	15.89	27.39	1.37	11.60
04	MT2 – R1	34	180	270	61	21.91	GRIS OSCURO	12.99	22.39	1.12	11.60
05	MT2 – R2	34	180	270	61	26.55	GRIS OSCURO	13.04	22.49	1.12	11.65
06	MT2 – R3	34	180	270	61	18.27	GRIS OSCURO	12.01	20.71	1.03	11.66
07	MT3 – R1	38	190	280	64	48.07	GRIS OSCURO	17.49	30.15	1.50	11.66
08	MT3 – R2	38	190	280	64	48.79	GRIS OSCURO	15.40	26.55	1.32	11.67
09	MT3 – R3	38	190	280	64	27.21	GRIS OSCURO	13.29	22.91	1.14	11.66
10	MT4 – TH	40	200	290	66	23.42	GRIS OSCURO	12.87	22.19	1.11	11.60

# ORD	CLAVE DE CAMPO	pH	C.E. mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %	D.A	GRANULO METRIA
				P ppm	K ppm	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺				
01	MT1 – R1	6.55	4.60	1100	2500	12.4	3.8	0.65	0.34	0.00	20.0	86.0	N.C	N.C
02	MT1 – R2	6.67	4.20	1080	2450	11.8	3.6	0.60	0.33	0.00	19.0	85.8	N.C	N.C
03	MT1 – R3	6.86	3.80	1050	2400	11.6	3.5	0.58	0.31	0.00	18.5	86.5	N.C	N.C
04	MT2 – R1	6.93	4.20	950	2200	9.60	3.1	0.50	0.28	0.00	16.5	81.8	N.C	N.C
05	MT2 – R2	7.10	2.12	920	2150	9.30	3.0	0.48	0.27	0.00	15.8	82.3	N.C	N.C
06	MT2 – R3	7.03	3.08	890	2100	9.40	3.1	0.49	0.26	0.00	16.0	83.1	N.C	N.C
07	MT3 – R1	6.72	8.50	880	1900	13.8	4.3	0.72	0.40	0.00	22.0	87.3	N.C	N.C
08	MT3 – R2	7.14	3.50	840	1850	11.3	3.5	0.60	0.32	0.00	18.3	85.8	N.C	N.C
09	MT3 – R3	7.20	3.40	820	1800	11.2	3.4	0.58	0.30	0.00	18.0	86.1	N.C	N.C
10	MT4 – TH	7.40	3.38	800	1750	10.8	3.3	0.55	0.29	0.00	17.5	85.1	N.C	N.C

D.A= Densidad Aparente
R C/N = Relación carbono/nitrógeno
CIC= Capacidad Intercambio Catiónico
N = Nitrógeno total
K⁺ = Potasio cambiabile
A= Arena
Ca²⁺= Calcio cambiabile
Na⁺= Sodio cambiabile
C.O² = Carbono orgánico
me = miliequivalentes

M.O.=Materia orgánica
P = Fósforo disponible
K = Potasio disponible
C.E. = Conductividad eléctrica
SB = Saturación de bases
Mg²⁺ = Magnesio cambiabile
mS/cm = milisiemens por centímetro
C.E.(e) = Conductividad eléctrica del extracto
Al³⁺ = Aluminio cambiabile
N.C= no corresponde



Benito Fernández Calloapaza
RUC: 20612800741



Salomón Justo Morales Yucra
INGENIERO QUÍMICO
ANALISTA DE LABORATORIO

Jr. Esmeralda N°193 URB – Villa Florida – a una cuadra del local Pérgola - Puno.
Cel. 973296546 - 983003185



MEGALABORATORIOS QUÍMICOS DE LOS ANDES
S.A.C
 AGUAS – SUELOS – MINERALES Y OTROS.
 CON EQUIPOS CALIBRADOS Y CERTIFICADOS POR COMPARACIÓN
 DE TRAZABILIDAD DIRECTA DE INACAL.
RUC: 20612800741.

METODOLOGIA DE ANALISIS

Parámetro	Método Analítico	Instrumento/Procedimiento
pH	Potenciometría	Potenciómetro calibrado, relación 1:2.5 muestras de tierra:agua
Conductividad eléctrica (CE)	Conductimetría	Conductímetro, relación 1:5 muestras de tierra:agua
Materia orgánica (MO)	Método de Walkley-Black	Digestión química con dicromato de potasio
Nitrógeno total	Método Kjeldahl	Digestor Kjeldahl y destilador
Fósforo disponible	Método de Olsen	Espectrofotómetro UV-Vis
Potasio disponible	Extracción con acetato de amonio 1N, pH 7	Absorción Atómica
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Extracción con acetato de amonio 1N, pH 7	Valoración por titulación
Calcio cambiante (Ca)	Extracción con acetato de amonio 1N, pH 7	Espectrofotómetro de absorción atómica
Magnesio cambiante (Mg)	Extracción con acetato de amonio 1N, pH 7	Espectrofotómetro de absorción atómica
Sodio cambiante (Na)	Extracción con acetato de amonio 1N, pH 7	Espectrofotómetro de emisión de llama
Potasio cambiante (K)	Extracción con acetato de amonio 1N, pH 7	Espectrofotómetro de emisión de llama
Aluminio cambiante (Al)	Extracción con KCl 1N	Valoración con NaOH
Carbonatos (CO ₃ -2)	Método volumétrico con HCl	Aparato de Bernard
Cobre (Cu)	Extracción con DTPA	Espectrofotometría de absorción atómica
Manganeso (Mn)	Extracción con DTPA	Espectrofotometría de absorción atómica
Zinc (Zn)	Extracción con DTPA	Espectrofotometría de absorción atómica
Fierro (Fe)	Extracción con DTPA	Espectrofotometría de absorción atómica
Humedad (%H)	Método gravimétrico	Secado en estufa a 105 °C hasta peso constante

Benito Fernández Callio paza
 RUC: 20612800741

Salvación Jasty Morales Yucra
 INGENIERO QUÍMICO
 ANALISTA DE LABORATORIO

Jr. Esmeralda N°193 URB - Villa Florida – a una cuadra del local Pégola - Puno
 Cel. 973296546 - 983003185



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

"Universidad Pública de Calidad"