

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

**Escuela de Posgrado**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y  
DESARROLLO SOSTENIBLE**

**EFEECTO DE LA TOTORA (*Schoenoplectus tatora*) COMO AGENTE  
ESTRUCTURANTE EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE  
RESIDUOS ORGÁNICOS, PUNO - 2023**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**REYNALDO SALAS SUCATICONA**

**Para optar el Grado Académico de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS (*MAGISTER SCIENTIAE*) CON MENCIÓN  
EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

**TACNA – PERÚ**

**2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN****Escuela de Posgrado**

MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y  
DESARROLLO SOSTENIBLE

**EFFECTO DE LA TOTORA (*Schoenoplectus tatora*) COMO AGENTE  
ESTRUCTURANTE EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE  
RESIDUOS ORGÁNICOS, PUNO – 2023**

Tesis sustentada y aprobada el 30 de mayo del 2024; estando el jurado calificador  
integrado por:

PRESIDENTE :   
.....  
Dr. Daladier Miguel Castillo Cotrina

SECRETARIO :   
.....  
Dr. Roberto Castellanos Cabrera

MIEMBRO :   
.....  
M.Sc. Leo Ulises Michael Tirado Rebaza

ASESOR :   
.....  
M.Sc. Leo Ulises Michael Tirado Rebaza

---

## CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, M.Sc. LEO ULISES MICHAELL TIRADO REBAZA en mi condición de Asesor de la tesis titulada: “EFECTO DE LA TOTORA (*Schoenoplectus tatora*) COMO AGENTE ESTRUCTURANTE EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS, PUNO - 2023”, desarrollado por el egresado de la Maestría en Ciencias con mención en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible, REYNALDO SALAS SUCATICONA, para optar el Grado Académico de Maestro en Ciencias (*Magister Scientiae*) con mención en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible, conforme a la **Directiva de Autenticidad de Documentos Académicos, de Investigación y Tesis de Maestría y Doctorado** disponible en la página web de la ESPG-UNJBG -> Normas, aplicando el software de similitud textual TURNITIN y las **exclusiones del numeral 5.5 de dicha directiva**, se obtiene los siguientes resultados:

Código de identificación de reporte : oid: 23228:352897005  
Porcentaje de similitud : 10%  
Nivel : PERMITIDO – Trabajo Auténtico (Según Art. 5.6 de la Directiva)

Por lo que **CERTIFICO** que la **SIMILITUD** del Informe Final de Tesis está de acuerdo al nivel **PERMITIDO (Trabajo Auténtico)**. El tesista puede continuar con el proceso de grado respectivo. Se emite el presente certificado para los finales correspondientes.

Tacna, 15 de mayo de 2024



M.Sc. Leo Ulises Michael Tirado Rebaza  
ASESOR DE TESIS



Reynaldo Salas Sucaticona  
TESISTA

**DEDICATORIA**

A mi familia y mis amados padres, Vidalio y Lila, por su apoyo moral e incondicional para el logro de este objetivo, que representó para mí una experiencia inestimable en el ámbito personal y profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, por brindarme las herramientas y competencias necesarias en mi formación profesional, y por todo el apoyo que me brindó esta casa superior de estudios.

A los docentes de la Maestría en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible, quienes me impartieron sus conocimientos para el desarrollo de la presente tesis.

A mi Asesor de tesis M.Sc. Leo Ulises Michael Tirado Rebaza, por su asesoramiento y sugerencias en la realización de la presente investigación.

A los miembros del jurado, por su motivación, interés y crítica, necesarios para la realización de la presente investigación.

Finalmente, me gustaría agradecer a todas las personas que han formado parte de mi crecimiento y vida profesional.

Reynaldo Salas Sucaticona

## ÍNDICE GENERAL

	Pag.
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.1 Identificación del problema.....	1
1.2 Formulación del Problema .....	3
1.2.1 Problema general .....	3
1.2.2 Problemas específicos.....	3
1.3 Justificación e importancia de la Investigación .....	3
1.4 Alcances y limitaciones.....	4
1.4.1 Alcances.....	4
1.4.2 Limitaciones .....	5
1.5 Objetivos .....	5
1.5.1 Objetivo general .....	5
1.5.2 Objetivos específicos .....	5
1.6 Hipótesis.....	5
1.6.1 Hipótesis general .....	5
1.6.2 Hipótesis específicas.....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	7
2.1 Antecedentes del estudio.....	7
2.1.1 A nivel internacional .....	7
2.1.2 A nivel nacional.....	11
2.2 Bases Teóricas.....	15
2.2.1 Residuos sólidos .....	15
2.2.2 Fracción orgánica o residuos orgánicos.....	15
2.2.3 Problemática ambiental de los residuos orgánicos .....	16
2.2.4 Biodegradabilidad.....	16
2.2.5 Compostaje .....	16
2.2.6 Ventajas del compostaje .....	17

2.2.7	Dinámica microbiana durante el proceso de compostaje .....	17
2.2.8	Fases del compostaje .....	18
2.2.9	Pila de compostaje .....	18
2.2.10	Descomposición de materia orgánica .....	19
2.2.11	Parámetros de evaluación durante el compostaje .....	19
2.2.12	Agentes estructurantes (Bulking Agents) .....	23
2.2.13	Madurez del abono orgánico .....	24
2.2.14	Calidad de compost .....	24
2.2.15	Macronutrientes y micronutrientes esenciales en el compost .....	25
2.2.16	Test de germinación y crecimiento de semillas en compost .....	25
2.3	Definición de términos .....	25
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....		27
3.1	Caracterización o tipo del diseño de investigación .....	27
3.2	Población y/o muestra de estudio.....	28
3.2.1	Población .....	28
3.2.2	Muestra .....	29
3.3	Operacionalización de variables .....	30
3.4	Materiales, equipos y reactivos .....	31
3.5	Acciones y actividades para la ejecución de la investigación.....	32
3.5.1	Caracterización de residuos orgánicos .....	32
3.5.2	Caracterización del agente estructurante .....	32
3.5.3	Descripción de los tratamientos.....	34
3.5.4	Consideraciones durante el proceso de compostaje. ....	34
3.5.5	Evaluación de los parámetros de campo del proceso de Compostaje .....	36
3.5.6	Evaluación de la calidad agronómica en los compost .....	39
3.5.7	Evaluación de la toxicidad del compost .....	41
3.6	Tratamiento de datos .....	44
CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....		45
4.1	Caracterización de residuos orgánicos crudos .....	51
4.2	Caracterización de los residuos orgánicos crudos triturados .....	51
4.3	Caracterización del agente estructurante <i>Schoenoplectus tatora</i> .....	53
4.3.1	Parámetros químicos.....	53
4.3.2	Análisis Foliar de la Totora .....	53

4.3.3	Densidad Aparente (DA) .....	54
4.3.4	Espacios Libres de Aire (FAS) .....	55
4.3.5	Capacidad de Absorción de agua (WAC).....	56
4.4	Caracterización de sustratos iniciales.....	56
4.4.1	Análisis especial de C/N.....	56
4.4.2	Densidad Aparente (DA) de sustratos iniciales .....	58
4.4.3	Espacios Libres de Aire (FAS) de sustratos iniciales .....	60
4.5	Evaluación de los parámetros de campo del proceso de Compostaje .....	62
4.5.1	Comportamiento de la Temperatura en los diferentes tratamientos .....	62
4.5.2	Comportamiento de la Conductividad Eléctrica en los diferentes tratamientos	70
4.5.3	Comportamiento de la Potencial de hidrógeno en los diferentes tratamientos.	73
4.5.4	Comportamiento de la humedad en los diferentes tratamientos.....	77
4.5.5	Comportamiento de la Biodegradabilidad en los diferentes tratamientos .....	80
4.6	Evaluación de la calidad agronómica en los compost.....	82
4.6.1	Parámetros fisicoquímicos del compost obtenido .....	82
4.6.2	Densidad aparente (DA) del compost obtenido.....	83
4.6.3	Espacios Libres de Aire (FAS) del compost obtenido .....	84
4.6.4	Análisis especial de materia orgánica sólida C/N compost.....	86
4.6.5	Macronutrientes o Análisis de materias orgánicas sólidas .....	88
4.6.6	Micronutrientes o Elementos menores del compost obtenido.....	94
4.7	Evaluación de la toxicidad del compost.....	99
4.7.1	Índice de germinación IG (%) de la quinua ( <i>Chenopodium quinoa Willd.</i> ) ....	99
4.7.2	Índice de germinación IG (%) de la cebada ( <i>Hordeum vulgare L.</i> ).....	101
	DISCUSIÓN .....	104
5.1	Caracterización de los residuos orgánicos crudos triturados .....	104
5.2	Caracterización del agente estructurante <i>Schoenoplectus tatora</i> .....	104
5.3	Caracterización de sustratos iniciales.....	105
5.4	Evaluación de los parámetros de campo del proceso de Compostaje.....	107
5.4.1	Comportamiento de la Temperatura en los diferentes tratamientos .....	107
5.4.2	Comportamiento de la Conductividad Eléctrica en los diferentes tratamientos	109
5.4.3	Comportamiento de la Potencial de hidrógeno en los diferentes tratamientos	110
5.4.4	Comportamiento de la humedad en los diferentes tratamientos.....	111
5.5	Evaluación de la calidad agronómica en los compost.....	112

5.5.1	Análisis especial de materia orgánica sólida C/N .....	112
5.5.2	Análisis de macronutrientes esenciales del compost obtenido .....	114
5.5.3	Análisis de micronutrientes o elementos menores del compost obtenido .....	117
5.5.4	Evaluación de la toxicidad del compost .....	118
CONCLUSIONES .....		121
RECOMENDACIONES .....		122
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		123
ANEXOS .....		145

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
<i>Tabla 1. Análisis de varianza (ANOVA-DCA) .....</i>	44
<i>Tabla 2. Análisis de supuesto prueba de normalidad de parámetros evaluados en el estudio.....</i>	45
<i>Tabla 3. Análisis de supuesto prueba de homogeneidad de varianza de parámetros evaluados.....</i>	47
<i>Tabla 4. Prueba de correlación de Pearson de parámetros evaluados – primera parte 49</i>	
<i>Tabla 5. Prueba de correlación de Pearson de parámetros evaluados – segunda parte 50</i>	
<i>Tabla 6. Características de los residuos orgánicos crudos. ....</i>	51
<i>Tabla 7. pH y Conductividad eléctrica de los residuos orgánicos triturados.....</i>	51
<i>Tabla 8. Humedad y ceniza de los residuos orgánicos triturados .....</i>	52
<i>Tabla 9 . Caracterización de parámetros químicos de la totora (Schoenoplectus tatora) .....</i>	53
<i>Tabla 10. Análisis foliar de la totora (Schoenoplectus tatora) .....</i>	53
<i>Tabla 11. Densidad Aparente (DA) de la totora (Schoenoplectus tatora) .....</i>	54
<i>Tabla 12. Espacios Libres de Aire (FAS) de la totora (Schoenoplectus tatora) .....</i>	55
<i>Tabla 13. Capacidad de Absorción de agua (WAC) de la totora (Schoenoplectus tatora) .....</i>	56
<i>Tabla 14. Análisis especial de C/N en sustratos iniciales .....</i>	57
<i>Tabla 15. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Análisis especial de C/N en sustratos iniciales ...</i>	58
<i>Tabla 16. Densidad Aparente (DA) de sustratos iniciales ROT + TT.....</i>	59
<i>Tabla 17. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Análisis de densidad Aparente (DA) de sustratos iniciales .....</i>	60
<i>Tabla 18. Espacios Libres de Aire (FAS) de sustratos iniciales ROT + TT.....</i>	61
<i>Tabla 19. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Análisis de Espacios Libres de Aire (FAS) de sustratos iniciales.....</i>	62
<i>Tabla 20. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Análisis de la temperatura máxima alcanzada (°C) .....</i>	63
<i>Tabla 21. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Análisis del tiempo de compostaje (Días) .....</i>	64

<i>Tabla 22. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Análisis de la Conductividad Eléctrica inicial (<math>\mu\text{S/cm}</math>) .....</i>	70
<i>Tabla 23. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Análisis de la Conductividad Eléctrica final (<math>\mu\text{S/cm}</math>) .....</i>	70
<i>Tabla 24. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Análisis de potencial de hidrógeno inicial (1:1) .</i>	74
<i>Tabla 25. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Análisis de potencial de hidrógeno final (1:1) ....</i>	74
<i>Tabla 26. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Análisis de la humedad inicial (%) .....</i>	77
<i>Tabla 27. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Análisis de la humedad final (%) .....</i>	78
<i>Tabla 28. Coeficiente de Biodegradabilidad (Kb) de los diferentes tratamientos .....</i>	81
<i>Tabla 29. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Análisis del Coeficiente de Biodegradabilidad (Kb) .....</i>	81
<i>Tabla 30. Parámetros fisicoquímicos pH, CE y Humedad del compost final .....</i>	82
<i>Tabla 31. Densidad Aparente (DA) del compost obtenido .....</i>	83
<i>Tabla 32. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Análisis de densidad Aparente (DA) de compost obtenido .....</i>	84
<i>Tabla 33. Espacios Libres de Aire (FAS) del compost obtenido .....</i>	85
<i>Tabla 34. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Análisis de Espacios Libres de Aire (FAS) de sustratos iniciales .....</i>	86
<i>Tabla 35. Análisis especial de C/N del compost final .....</i>	87
<i>Tabla 36. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Análisis especial de C/N en sustratos iniciales ...</i>	88
<i>Tabla 37. Análisis de Macronutrientes del compost obtenido.....</i>	89
<i>Tabla 38. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Análisis de materia orgánica (M.O.) en compost obtenido .....</i>	90
<i>Tabla 39. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Análisis de macronutrientes en compost obtenido - fósforo (<math>\text{P}_2\text{O}_5</math>).....</i>	91
<i>Tabla 40. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Análisis de macronutrientes en compost obtenido - potasio (<math>\text{K}_2\text{O}</math>).....</i>	91
<i>Tabla 41. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Análisis de macronutrientes en compost obtenido - calcio (<math>\text{CaO}</math>).....</i>	92
<i>Tabla 42. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Análisis de macronutrientes en compost obtenido - magnesio (<math>\text{MgO}</math>).....</i>	93

<i>Tabla 43. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Análisis de macronutrientes en compost obtenido – sodio (Na).....</i>	93
<i>Tabla 44. Micronutrientes o elementos menores del compost final .....</i>	95
<i>Tabla 45. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Análisis de microelementos en compost obtenido – hierro (Fe).....</i>	96
<i>Tabla 46. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Análisis de microelementos en compost obtenido - cobre (Cu) .....</i>	96
<i>Tabla 47. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Análisis de microelementos en compost obtenido – zinc (Zn).....</i>	97
<i>Tabla 48. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Análisis de microelementos en compost obtenido – manganeso (Mn).....</i>	98
<i>Tabla 49. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Análisis de microelementos en compost obtenido – Boro (B).....</i>	98
<i>Tabla 50. Índice de Germinación (%) de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.) ....</i>	100
<i>Tabla 51. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Índice de Germinación (%) de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.).....</i>	101
<i>Tabla 52. Índice de Germinación (%) de la cebada (Hordeum vulgare L.).....</i>	102
<i>Tabla 53. Prueba de Tukey (<math>p \leq 0,05</math>) Índice de Germinación (%) de la cebada (Hordeum vulgare L.) .....</i>	103

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
<i>Figura 1. Cambios de temperatura en el proceso de compostaje. ....</i>	18
<i>Figura 2. Componentes del proceso de compostaje. ....</i>	20
<i>Figura 3. Planta de valorización de residuos orgánicos crudos. ....</i>	28
<i>Figura 4. Zarandas utilizadas en el proceso de trituración del agente estructurante ...</i>	32
<i>Figura 5. Método de cono y cuarteo para la homogeneización del suelo. ....</i>	40
<i>Figura 6. Esquema metodológico .....</i>	43
<i>Figura 7. Comportamiento de la temperatura - T1 (ROT + 3 % TT) .....</i>	65
<i>Figura 8. Comportamiento de la temperatura - T2 (ROT + 5 % TT). ....</i>	67
<i>Figura 9. Comportamiento de la temperatura - T3 (ROT + 7 % TT) .....</i>	68
<i>Figura 10. Comportamiento de la temperatura - T4 (ROT + 9 % TT) .....</i>	69
<i>Figura 11. Comportamiento de la conductividad eléctrica - T1 (ROT + 3 % TT) .....</i>	70
<i>Figura 12. Comportamiento de la conductividad eléctrica - T2 (ROT + 5 % TT) .....</i>	71
<i>Figura 13. Comportamiento de la conductividad eléctrica - T3 (ROT + 7 % TT) .....</i>	72
<i>Figura 14. Comportamiento de la conductividad eléctrica - T4 (ROT + 9 % TT) .....</i>	73
<i>Figura 15. Comportamiento del potencial de hidrógeno - T1 (ROT + 3 % TT) .....</i>	74
<i>Figura 16. Comportamiento del potencial de hidrógeno - T2 (ROT + 5 % TT) .....</i>	75
<i>Figura 17. Comportamiento del potencial de hidrógeno - T3 (ROT + 7 % TT) .....</i>	76
<i>Figura 18. Comportamiento del potencial de hidrógeno - T4 (ROT + 9 % TT) .....</i>	76
<i>Figura 19. Comportamiento de humedad - T1 (ROT + 3 % TT) .....</i>	78
<i>Figura 20. Comportamiento de humedad - T2 (ROT + 5 % TT) .....</i>	79
<i>Figura 21. Comportamiento de humedad - T3 (ROT + 7 % TT) .....</i>	79
<i>Figura 22. Comportamiento de humedad - T4 (ROT + 9 % TT) .....</i>	80

## RESUMEN

La presente investigación de tipo experimental evaluó el efecto de la totora (*Schoenoplectus tatora*) como agente estructurante en el proceso de compostaje de residuos orgánicos. Se establecieron 16 unidades experimentales, distribuidas en grupos de 4 unidades; T1 (ROT + 3 % TT), T2 (ROT + 5 % TT), T3 (ROT + 7 % TT) y T4 (ROT + 9 % TT). Se evaluó los parámetros de compostaje, se realizó el análisis de macronutrientes, micronutrientes y la evaluación de la toxicidad del compost, a través del laboratorio especializado en el Análisis de Suelos Plantas, Agua y Fertilizantes (LASPAF) de la UNALM y laboratorio de química general de la UNAJ. Los resultados revelaron que la totora (*Schoenoplectus tatora*) posee un alto contenido de Carbono (C) con un valor de 52,28 % y además de presentar contenido de macroelementos y microelementos. La temperatura máxima fue significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos, siendo el tratamiento T3 (ROT + 7 % TT) y T4 (ROT + 9 % TT) los mejores tratamientos con una temperatura máxima de 52 °C, en relación a los demás parámetros de compostaje no se presentaron diferencias significativas. En relación al análisis de macronutrientes y micronutrientes los tratamientos presentan un contenido en materia orgánica (MO) que oscila entre 54,241 y 57,739 %, fósforo ( $P_2O_5$ ) entre 1,552 y 1,909 %, potasio ( $K_2O$ ) entre 2,962 y 4,158 %, calcio (CaO) entre 7,028 y 12,250 %, magnesio (MgO) 0,744 y 0,786 % y sodio (Na) entre 0,585 y 0,778 % además de contener microelementos o elementos menores como Fe (ppm), Cu (ppm), Zn (ppm), Mn (ppm) y B (ppm), en relación a toxicidad del compost, la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) presentó un índice de germinación (IG) de 76,87 % y cebada (*Hordeum vulgare* L.) con (IG) 77,66 % siendo el mejor tratamiento T2 (ROT + 5 % TT). En conclusión, la incorporación de Totora (*Schoenoplectus tatora*) como agente estructurante causa un efecto positivo mejorando significativamente los parámetros de compostaje como la relación C/N, la humedad, temperatura, el pH y biodegradabilidad del residuo orgánico triturado optimizando la porosidad para facilitar una mejor aireación, todas las pilas de compostaje exhibieron micro y macronutrientes considerablemente altos en el compost final ideales para el uso agrícola generando un compost estable, de moderada fitotoxicidad.

**Palabras clave:** Agente estructurante, biodegradabilidad, compost, microbiota, índice de germinación

## ABSTRACT

The present experimental investigation evaluated the effect of cattail (*Schoenoplectus tatora*) as a structuring agent in the composting process of organic waste. 16 experimental units were established, distributed in groups of 4 units; T1 (ROT + 3 % TT), T2 (ROT + 5 % TT), T3 (ROT + 7 % TT) and T4 (ROT + 9 % TT). The composting parameters were evaluated, the analysis of macronutrients, micronutrients and the evaluation of the toxicity of the compost were carried out, through the laboratory specialized in the Analysis of Soils, Plants, Water and Fertilizers (LASPAF) of UNALM and general chemistry laboratory of UNAJ. The results revealed that the cattail (*Schoenoplectus tatora*) has a high Carbon (C) content with a value of 52,28 % and in addition to having macroelement and microelement content. The maximum temperature was significantly different ( $p < 0,05$ ) in all treatments, with treatment T3 (ROT + 7 % TT) and T4 (ROT + 9 % TT) being the best treatments with a maximum temperature of 52 °C, In relation to the other composting parameters, there were no significant differences. In relation to the analysis of macronutrients and micronutrients, the treatments have an organic matter (OM) content that ranges between 54,241 and 57,739 %, phosphorus ( $P_2O_5$ ) between 1,552 and 1,909 %, potassium ( $K_2O$ ) between 2, 962 and 4,158 %, calcium (CaO) between 7,028 and 12,250 %, magnesium (MgO) 0,744 and 0,786 % and sodium (Na) between 0,585 and 0,778 % in addition to containing microelements or minor elements such as Fe (ppm), Cu (ppm), Zn (ppm), Mn (ppm) and B (ppm), in relation to compost toxicity, quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) presented a germination index (GI) of 76,87 % and barley (*Hordeum vulgare* L.) with (GI) 77,66 % being the best treatment. T2 (ROT + 5 % TT). In conclusion, the incorporation of Cattail (*Schoenoplectus tatora*) as a structuring agent causes a positive effect, significantly improving composting parameters such as the C/N ratio, humidity, temperature, pH and biodegradability of the crushed organic waste optimizing porosity to facilitate better aeration, all composting piles exhibited considerably high micro and macronutrients in the final compost, ideal for agricultural use, generating a stable compost, with moderate phytotoxicity.

**Keywords:** Structuring agent, biodegradability, compost, microbiota, germination index

## INTRODUCCIÓN

El continuo crecimiento demográfico, la rápida urbanización, una economía en auge y un aumento en los niveles de vida de la comunidad han aumentado significativamente la generación de residuos sólidos (Graça et al., 2021; Jin et al., 2021; Shiferaw et al., 2023), en el 2016, las ciudades del mundo generaron 2010 millones de toneladas de residuos sólidos, lo que representa 0,74 kilogramos por persona por día y para 2050, se espera que la generación mundial de residuos sólidos municipales haya aumentado a 3 400 millones de toneladas métrica, en los países de bajos ingresos, más del 90 % de los residuos suelen eliminarse en vertederos no regulados o quemarse abiertamente (Kaza et al., 2018). La materia orgánica representa entre el 50 % y el 70 % del flujo de residuos sólidos municipales en los países de ingresos bajos y medios (Bezama et al., 2007), los residuos sólidos orgánicos contienen una alta proporción de compuestos orgánicos biodegradables y pueden causar problemas ambientales, salud humana y contaminación de las aguas subterráneas por la lixiviación de contaminantes si no se tratan adecuadamente (Obsa et al., 2022; Shiferaw et al., 2023), además contribuyen a la generación de gases de efecto invernadero (Yeo et al., 2020). Ante ello surge el compostaje una tecnología eficaz y sostenible para transformar residuos orgánicos en enmienda del suelo o fertilizante orgánico (Zeng et al., 2018); se considera un método limpio y viable e importante dentro del tratamiento de los residuos orgánicos que lo convierten en una estrategia atractiva de biorremediación para los contaminantes orgánicos (C. Lin et al., 2022).

Para optimización del proceso de compostaje es necesario la trituración de residuos orgánicos que aumenta la superficie de aprovechamiento bacteriano y mejoran la mezcla homogénea de los materiales orgánicos iniciales, pero también pueden inhibir la penetración de aire y agua dentro de la mezcla, lo que genera zonas anaeróbicas (C. Lin et al., 2022). La presente investigación tiene como propósito la generación de una propuesta para la optimización del proceso de compostaje de residuos sólidos orgánicos a través del uso de la Totora (*Schoenoplectus tatora*) como agente estructurante en el proceso de compostaje de residuos orgánicos, una operación permitirá aumentar la porosidad para facilitar una mejor aireación, mejorar el desarrollo de una microbiota

eficiente; optimizar los parámetros de compostaje como la relación C/N, la humedad, el pH, la homogeneización de la materia prima y proporcionar una estructura ideal a las camas de compostaje; buscando alcanzar una estabilización rápida y acelerando la degradación de la materia orgánica.

Esta investigación se encuentra enmarcada bajo el área de investigación de Aplicación de la ingeniería y tecnología en el desarrollo regional sostenible. Considerando este enfoque, se tuvo como objetivo evaluar el efecto de la totora (*Schoenoplectus tatora*) como agente estructurante en el proceso de compostaje de residuos orgánicos. Con respecto a la metodología, la investigación fue de enfoque cuantitativo, debido a que se determinó la incidencia de la totora (*Schoenoplectus tatora*) en el proceso de compostaje de residuos orgánicos; de tipo explicativo y descriptivo, como consecuencia de la determinación de parámetros de campo, análisis de macronutrientes y micronutrientes esenciales y la evaluación de la toxicidad del compost.

El estudio consistió en la caracterización de los residuos sólidos orgánicos y el agente estructurante (*Schoenoplectus tatora*), la evaluación y control de parámetros de campo a través de registro diarios de temperatura y registro semanal de pH, conductividad eléctrica, temperatura y humedad, se realizó el análisis de macronutrientes y micronutrientes esenciales del compost obtenido, se calcularon los índices de crecimiento radicular y germinación para la evaluación de la toxicidad del compost, tomando como evidencia los informes de ensayo de determinación de los macronutrientes y micronutrientes esenciales los mismos que se analizaron en el laboratorio de Análisis de Suelos Plantas, Agua y Fertilizantes (LASPAF) de la Universidad Nacional Agraria La Molina de Lima, Perú (UNALM) y los registros de control de toxicidad del compost los mismos que se analizaron en el laboratorio de química general de la Universidad Nacional de Juliaca (UNAJ).

La estructura de esta investigación está conformada por cuatro capítulos. En el capítulo I, se aborda el planteamiento del problema, que concierne a la identificación del problema, formulación del problema, justificación, objetivos e hipótesis. En el capítulo II, se presenta la revisión de la literatura, que abarca los antecedentes y marco teórico de la investigación. El capítulo III, se establece los materiales y métodos, que detallan el

lugar de estudio, la población, muestra, los métodos de investigación y la descripción detallada de métodos por objetivos específicos. Por último; en el capítulo IV, se desprenden los resultados de la investigación; además, se detalla la discusión, conclusiones, recomendaciones, referencia bibliografía y anexos de la investigación.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Identificación del problema

En los últimos años, el crecimiento demográfico, la rápida urbanización, una economía en auge y un aumento en los niveles de vida de la comunidad han aumentado sustancialmente la generación de residuos sólidos (Graça et al., 2021; Jin et al., 2021; Shiferaw et al., 2023). En el 2016, las ciudades del mundo generaron 2010 millones de toneladas de residuos sólidos, que representa 0,74 kilogramos por persona por día y para 2050, se espera que la generación mundial de residuos sólidos municipales se incremente a 3 400 millones de toneladas métrica, en los países de bajos ingresos, más del 90 % de los residuos suelen eliminarse en vertederos no regulados o quemarse abiertamente (Kaza et al., 2018). La materia orgánica representa entre el 50 % y el 70 % del total de residuos sólidos municipales en los países en vías de desarrollo (Bezama et al., 2007).

Los residuos sólidos orgánicos contienen una alta proporción de compuestos orgánicos biodegradables y pueden causar problemas ambientales, salud humana y contaminación de las aguas subterráneas por la lixiviación de contaminantes si no se tratan adecuadamente (Obsa et al., 2022; Shiferaw et al., 2023), además aumentan la carga de los vertederos, sino que también contribuyen a aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero (Yeo et al., 2020). Ante ello surge el compostaje que es un proceso natural que surge de la sucesión microbiana, marcando la degradación y estabilización de la materia orgánica presente en los residuos (Rastogi et al., 2020); se considera un método limpio y viable e importante dentro del tratamiento de los residuos orgánicos que lo convierten en una estrategia atractiva de biorremediación para los contaminantes orgánicos (C. Lin et al., 2022), una tecnología eficaz y sostenible para transformar residuos orgánicos en enmienda del suelo o fertilizante orgánico (Zeng et al., 2018).

Dentro del proceso de compostaje el oxígeno juega un papel clave en el compostaje y se utiliza para juzgar si el proceso está completo o no (Zeng et al., 2018), la relación C/N, es un parámetro esencial para formular una mezcla de compost eficiente (Rastogi et al., 2020), el pH no se considera vital (etapa inicial) y la mayoría de las materias primas ya están clasificadas dentro del rango de pH recomendado (Rich &

Bharti, 2015; Wang et al., 2016), el contenido de humedad es un parámetro importante que afecta la actividad microbiana, el agua es necesaria para el transporte de nutrientes, haciéndolos accesibles a los microbios (C. Lin et al., 2022; Petric et al., 2015). En general, la temperatura y el contenido de oxígeno y pH se consideran los parámetros clave para evaluar la actividad microbiana (Puyuelo et al., 2010). Y la actividad microbiana es el determinante de los cambios de temperatura en el compost (Karadag et al., 2013; Zheng et al., 2015). Al igual que el contenido de humedad y la aireación, la temperatura también estimula el crecimiento y la actividad metabólica de la comunidad microbiana dentro de la masa de compost (Rastogi et al., 2020). Un suministro de oxígeno suficiente puede acelerar la estabilidad y madurez del compost, la concentración de oxígeno está directamente correlacionada con la dinámica microbiana (Nakasaki & Hirai, 2017). Cuando el contenido de oxígeno es insuficiente o la actividad microbiana se debilita, la tasa de aumento de la temperatura disminuye, la temperatura máxima disminuye y el efecto de inactivación de los patógenos disminuye (Zheng et al., 2018).

Para optimización del proceso de compostaje es necesario la trituración de residuos orgánicos que aumenta la superficie de aprovechamiento bacteriano y mejoran la mezcla homogénea de los materiales orgánicos iniciales, pero también pueden inhibir la penetración de aire y agua dentro de la mezcla, lo que genera zonas anaeróbicas (C. Lin et al., 2022), es necesario asegurar el nivel de porosidad, para asegurar una aireación adecuada y regular el intercambio gas/agua (Zhang & Sun, 2016). Por ello a integración de agentes de carga o agente estructurante como complementos del sustrato (como cáscara de arroz, aserrín, astillas de madera y otros) pueden desarrollar una microbiota eficiente, optimizaría aún más la relación C/N, el contenido de humedad, el pH y desarrollan una porosidad mejorada en el material de materia prima homogeneizando los residuos orgánicos antes del proceso de compostaje y proporciona estructura a las pilas (Nordahl et al., 2023; X. Wang et al., 2015; L. Zhang & Sun, 2016).

La presente investigación pretende evaluar el efecto de la totora (*Schoenoplectus tatora*) como agente estructurante en el proceso de compostaje de residuos orgánicos, a fin de aumentar la porosidad para facilitar una mejor aireación, mejorar el desarrollo de una microbiota eficiente; optimizar los parámetros de compostaje como la relación C/N,

la humedad, el pH, la homogeneización de la materia prima y proporcionar una estructura ideal a las camas de compostaje; buscando alcanzar una estabilización rápida y acelerando la degradación de la materia orgánica.

## **1.2 Formulación del Problema**

### **1.2.1 Problema general**

- ¿Cuál es el efecto de la totora (*Schoenoplectus tatora*) como agente estructurante en el proceso de compostaje de residuos orgánicos, Puno - 2023?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿De qué manera los parámetros de campo y biodegradabilidad del proceso de compostaje de residuos orgánicos triturados mejoran mediante la adición de totora (*Schoenoplectus tatora*) como agente estructurante?
- ¿Cuál es la calidad agronómica en los compost obtenidos de los diferentes tratamientos, mediante el análisis de macronutrientes y micronutrientes esenciales?
- ¿Cuál es la madurez y toxicidad del compost obtenido a través de la determinación del índice de germinación de semillas?

## **1.3 Justificación e importancia de la Investigación**

La presente investigación tiene como propósito la generación de una propuesta para la optimización del proceso de compostaje de residuos sólidos orgánicos a través del uso de la Totora (*Schoenoplectus tatora*) como agente estructurante en el proceso de compostaje de residuos orgánicos, una operación permitirá mejorar la capacidad de retener agua y aire, además de aumentar la superficie de aprovechamiento bacteriano con el fin de mejorar la tasa de supervivencia de los microbios inoculados en el curso de la competencia con los microbios autóctonos por los nutrientes y acelerar aún más la degradación de la materia orgánica. Mejorar las condiciones de aireación permitirá evitar condiciones anaeróbicas, lo cual es muy importante cuando se busca aumentar la temperatura de una pila y también permitiría el ajuste directo y la optimización del proceso de compostaje (Zheng et al., 2018).

La innovación de este estudio está en nuestro enfoque de análisis multivariante con este nuevo tipo de modelo y en nuestra consideración de un gran número de factores sociales y económicos, incluidos los servicios organizativos y económicos de valorización de residuos orgánicos, que favorezcan una economía circular basada tanto en valorización y/o el reciclaje tanto como sea posible, además de la generación de ingresos de gestión asociados al aprovechamiento de residuos orgánicos mejorando las prácticas actuales de gestión de residuos o proponiendo nuevos escenarios de gestión de residuos a los que se enfrenta la sociedad moderna.

Desde un punto de vista práctico, aporta con elementos de suma importancia como es la evidencia empírica, resultados y datos descriptivos. Además, metodológicamente, permite profundizar en cuanto a la optimización del proceso de compostaje de residuos orgánicos y uso de agente estructurante, con lo cual los resultados pueden ser incorporados y comparados con los obtenidos en otras investigaciones similares, así como un enriquecimiento en la información existente del tema para futuras investigaciones, aunado a esto la presente investigación permitirá realizar nuevos estudios sobre el uso de agentes estructurantes en el campo del aprovechamiento de residuos sólidos.

## **1.4 Alcances y limitaciones**

### **1.4.1 Alcances**

La presente investigación tiene como propósito la generación de una propuesta para la optimización del proceso de compostaje de residuos sólidos orgánicos a través del uso de la Totorá (*Schoenoplectus tatora*) como agente estructurante en el proceso de compostaje de residuos orgánicos, una operación permitirá aumentar la porosidad para facilitar una mejor aireación, mejorar el desarrollo de una microbiota eficiente, optimizar los parámetros de compostaje como la relación C/N, la humedad, el pH, la homogeneización de la materia prima y proporcionar una estructura ideal a las camas de compostaje buscando alcanzar una estabilización rápida y acelerando la degradación de la materia orgánica.

### **1.4.2 Limitaciones**

En el presente estudio se observó que la temperatura del ambiente influye en el proceso de compostaje, la temperatura tarda más en incrementar durante las épocas de invierno y lluvias donde la temperatura del ambiente se vuelve más frío, sobre todo si se desarrolla compostaje al aire libre, afectando esencialmente la actividad microbiana, dificultando el proceso biológico, la degradación y estabilización de la materia orgánica presente en los residuos.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

- Evaluar el efecto de la totora (*Schoenoplectus tatora*) como agente estructurante en el proceso de compostaje de residuos orgánicos, Puno – 2023.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Evaluar los parámetros de campo y biodegradabilidad del proceso de compostaje de residuos orgánicos triturados mediante la adición de totora (*Schoenoplectus tatora*) como agente estructurante.
- Evaluar la calidad agronómica en el compost obtenido de los diferentes tratamientos, mediante el análisis de macronutrientes y micronutrientes esenciales.
- Evaluar la madurez y toxicidad del compost obtenido a través de la determinación del índice de germinación de semillas.

## **1.6 Hipótesis**

### **1.6.1 Hipótesis general**

- El proceso de compostaje mediante la incorporación de Totora (*Schoenoplectus tatora*) como agente estructurante causa un efecto positivo mejorando significativamente la calidad, reduciendo el tiempo de compostaje, optimizando la aireación de las pilas de compostaje y evitando la generación de lixiviados.

### 1.6.2 Hipótesis específicas

- Los parámetros de campo y biodegradabilidad del proceso de Compostaje de residuos orgánicos triturados mejoran significativamente mediante la adición de Totorá (*Schoenoplectus tatora*) como agente estructurante.
- La calidad agronómica en los compost obtenidos de los diferentes tratamientos, mediante el análisis de macronutrientes y micronutrientes esenciales muestran un comportamiento diferenciado según el tratamiento aplicado presentando micro y macronutrientes ideales para el uso agrícola.
- La incorporación de Totorá (*Schoenoplectus tatora*) como agente estructurante del proceso de compostaje de residuos orgánicos genera un compost estable, de moderada toxicidad.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes del estudio

##### 2.1.1 A nivel internacional

Keng et al. (2023) en su estudio titulado “Compostaje aireado en pilas estáticas para biorresiduos industriales: de la ingeniería a la microbiología” demostraron la viabilidad de un sistema de compostaje de pilas estáticas aireadas a escala industrial para tratar uno de los residuos biológicos, se optimizaron para lograr una proporción carbono-nitrógeno y un nivel de humedad en los rangos de 25–35 y 60–70 %, respectivamente. Este sistema de compostaje al aire libre requirió de 6 a 7 meses para obtener un abono maduro. Las pruebas de Salvia y de germinación de semillas confirmaron aún más la madurez del compost, con una concentración de extracto de compost del 25 % que produjo el mejor índice de germinación en ausencia de fitotoxicidad. Las composiciones bacterianas y fúngicas de las pilas de compost se examinaron más a fondo mediante análisis metagenómico, lo que sugiere la presencia de microorganismos buenos para degradar los desechos biológicos orgánicos.

Zahra et al. (2023) en su estudio titulado “Investigando el papel de los agentes de carga en la madurez del compost”, convirtieron los residuos (residuos de cocina) en un recurso (compost) utilizando agentes de carga (residuos de té y biocarbón) para reducir el tiempo de maduración. En segundo lugar, también se probó la aplicación de compost sobre *Solanum lycopersicum* (tomate). Se diseñaron cuatro tratamientos de compostaje en condiciones de compostaje aeróbico durante 30 días. Los residuos de té y el biocarbón han acelerado la tasa de madurez y han producido un abono rico en nutrientes. El compost final tuvo una Conductividad Eléctrica de 2mS/cm, una proporción de Nitrógeno Carbono de 15, 54 % de materia orgánica, 15 % de contenido de humedad, 48 % de contenido de celulosa y 28 % de contenido de Lignina. Con el uso de co-compost la *Solanum lycopersicum* mostró 133 % de índice de germinación, 100 % de germinación, 235 % de Índice de Vitalidad Munoo-Liisa y 1238 % de índice de vigor de la semilla. El co-compost también mejoró el nitrógeno total del suelo en un 1,4 %, el fósforo total en un 2 %, el

potasio total en un 2,1 % y la densidad aparente en  $2,6 \text{ gcm}^{-3}$ . Los desechos de té y el biocarbón mejoraron la degradación de la materia orgánica, la degradación de la lignocelulosa, la capacidad de retención de agua, la porosidad, el vigor de las semillas y el índice de germinación.

Zhang et al. (2022) en su investigación titulada “estudio sobre cambios dinámicos de la comunidad microbiana y el mecanismo de transformación de la lignocelulosa durante el compostaje de residuos verdes.” Evaluaron la sucesión de la comunidad microbiana y la transformación del material en el compostaje GW mediante el uso de secuenciación MiSeq y herramientas PICRUSt. Los resultados mostraron que el proceso de compostaje se podía dividir en cuatro fases. Cada fase del compostaje apareció por turno y no pudo saltar. En la fase mesofílica, los microorganismos descomponen pequeños compuestos orgánicos moleculares como los AG para acelerar la llegada de la fase termófila. En la fase termófila, los microorganismos termófilos descomponen HA y lignocelulosa para producir FA. Mientras se encuentran en la fase de enfriamiento, los microorganismos degradan HA y FA para su crecimiento y reproducción. En la fase de maduración, los microorganismos sintetizan humus utilizando núcleos de AG, aminoácidos y lignina como precursores. En las cuatro fases del compostaje se detectaron diferentes géneros representativos de bacterias y hongos. *Streptomyces*, *Myceliophthora* y *Aspergillus*, mantuvieron alta abundancia en todas las fases del compost.

Foronda-zapata et al. (2021) en su tesis titulado “Efecto de la incorporación de pasto estrella sobre el mejoramiento del proceso y la calidad del producto del compostaje de biorresiduos” evaluó el efecto de la incorporación de Pasto Estrella (PE) como MS, sobre el compostaje de BOM, evaluando cuatro proporciones BOM:PE (A0-100:00, A1-90:10, A2-80:20, A3-70:30), evidenciándose efectos favorables de las mezclas respecto al tratamiento control (A0 de solo BOM). A2 mantuvo las mayores temperaturas; A2 y A3 registraron la mayor reducción de sólidos volátiles (SV) y concentración final de nitrógeno total (NT). Los productos finales de A2 y A3 presentaron mejor calidad en términos de capacidad de intercambio catiónico y nutrientes (fósforo, potasio y NT), densidad aparente, capacidad de retención de humedad y contenido de materia orgánica,

siendo el producto de A2 el de mayor valor agronómico y que mejor se ajusta a la NTC 5167. Proporciones menores o iguales a la de A1 no tienen efecto significativo sobre el proceso y calidad del producto final; proporciones mayores a A3 podrían favorecer la pérdida de NT por aumento en la porosidad, disminuyendo así el valor agrícola del producto.

Maeda (2020) en su investigación titulada “Uso de rastrojo de maíz como agente de carga en el compostaje de estiércol lechero hacia la producción lechera circular japonesa” utilizó paja de trigo como agente estructurante típico, logró un perfil de temperatura suficientemente alto ( $>70$  °C) y una degradación de la materia orgánica activa mediante la mezcla en rastrojo de maíz. Después de la degradación de la materia orgánica activa durante 8 semanas, el  $\text{CO}_2$  la producción fue significativamente menor y se obtuvieron productos finales estables. El nivel de sólidos totales aumentó significativamente, a 48,8–50,4 %, mientras que la relación C/N disminuyó significativamente, de 19,9–21,8 a 11,2–12,8. La emisión de metano de la pila a base de rastrojo de maíz fue de 0,36 % de los sólidos volátiles iniciales, mientras que la emisión de óxido nitroso fue de 0,58 % del N inicial, lo que demuestra que el uso de rastrojo de maíz puede mitigar la emisión de gases de efecto invernadero y que su efecto mitigador fue comparable a los de otros agentes de carga. Juntos, los resultados mostraron que el uso de rastrojo de maíz puede ser un agente de carga alternativo adecuado para el compostaje de estiércol lácteo.

Rastogi et al. (2020) en su artículo científico titulado “Los microbios como aditivos vitales para el compostaje de residuos sólidos” abordaron los factores que podrían ralentizar el proceso de compostaje y afectar la calidad del compost, la revisión mostró una simulación positiva y declaró cómo se pueden lograr excelentes resultados con aditivos microbianos durante el compostaje. Se abordaron los factores que podrían ralentizar el proceso de compostaje y afectar la calidad del compost. Por último, la revisión mostró una simulación positiva y declaró cómo se pueden lograr excelentes resultados con aditivos microbianos durante el compostaje. Se abordaron los factores que podrían ralentizar el proceso de compostaje y afectar la calidad del compost. Por último,

la revisión mostró una simulación positiva y declaró cómo se pueden lograr excelentes resultados con aditivos microbianos durante el compostaje.

Yang et al. (2019) en su investigación titulada “Impacto de los métodos de compostaje en la retención de nitrógeno y las pérdidas durante el compostaje de estiércol lechero” implementaron cuatro métodos de compostaje los resultados mostraron que los índices de germinación (IG) de tres de los tratamientos de compostaje (AnC, MC y AC) superaron el 80 %, lo que cumplió con los requisitos de madurez para los productos compostados. Las emisiones de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) fueron el principal contribuyente a las pérdidas de nitrógeno, mientras que la acumulación de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) las emisiones representaron la proporción más baja de pérdidas de nitrógeno. Las pérdidas acumuladas de N a través del lixiviado del tratamiento de CA fueron las más bajas y representaron el 0,38 % del nitrógeno total inicial (TN). Las pérdidas acumuladas de N de los tratamientos AC, FC, AnC y MC representaron 13,13 %, 15,98 %, 15,08 % y 19,75 %, respectivamente, del TN inicial. En general, el método de CA redujo significativamente las pérdidas de N a través de lixiviados, reduciendo aún más las pérdidas de TN. Esta observación sugiere que el AC podría ser un método apropiado para el manejo de nitrógeno altamente eficiente durante el compostaje de estiércol de lechería.

Zhang et al. (2019) en su investigación titulada “Efectos de la frecuencia de rotación sobre los nutrientes del co-compost de cáscara de *Camellia oleifera* con estiércol de cabra y evaluación de la madurez del co-compost” diseñaron cuatro tratamientos como cada 5 días girando (A1), cada 7 días girando (A2), cada 10 días girando (A3) y cada 15 días girando (A4) para evaluar la madurez de *Camellia oleifera* shell co-compost con estiércol de cabra y optimizando la frecuencia de giro. Durante el compostaje, nitrógeno total (NT), IG, el índice de madurez de Solvita aumentó junto con el proceso de compostaje, mientras que la relación C/N mostró una tendencia opuesta. Para todos los tratamientos, el período termofílico más largo, el nutriente total más alto y la relación C/N más baja se observaron en A2. Una frecuencia de cambio de cada 7 días para el co-compost de cáscara de *Camellia oleifera* y estiércol de cabra podría mejorar la calidad del producto de compostaje. De acuerdo con el análisis de correlación de Spearman, la

relación NT, C/N y IG podrían usarse para evaluar de manera integral la madurez del compost.

### **2.1.2 A nivel nacional**

Garrido-Acosta et al. (2023) en su artículo titulado “Calidad del compost a base de residuos orgánicos urbanos en Leoncio Prado, Perú” determinaron los niveles de nutrientes, metales pesados, microorganismos fecales y la calidad del compost a base de residuos sólidos orgánicos urbanos producidas en la planta de valorización Shapajilla, en la provincia Leoncio Prado de Perú. Se sometieron a compostaje cuatro pilas de residuos sólidos orgánicos y se evaluaron nutrientes, metales pesados, microorganismos fecales y calidad en base a la norma chilena 2880 y española 824. De los resultados, el 95 % de los materiales compostados son residuos de comida, frutas y cáscaras, y no presentan diferencias entre pilas evaluadas, durante el procesamiento, la temperatura alcanzó las diferentes etapas y el pH se incrementó. Se encontraron elevados niveles de pH (>7,50) y bajos en Ca, Mg y K (<1 %); los metales pesados presentaron diferencias y niveles bajos, con ausencia de microorganismos de origen fecal, y los compost son de calidad intermedia(B). El compost producido es de calidad intermedia, libre de metales y microorganismos patógenos y puede ser utilizado como sustrato o enmienda con algunas limitaciones por los elevados niveles de pH y los bajos niveles de Ca, Mg y K.

Guzmán (2023) en su investigación titulada “Síntesis y extracción de sustancias húmicas a partir de residuos orgánicos compostados provenientes de la industria alimentaria Lima, Perú 2022”, evaluó la síntesis y extracción de sustancias húmicas del compost de residuos orgánicos señalados. La metodología consistió en la compostación vertical (120 días) de 4 pilas más microorganismos activados, el agua en la remoción y ventilación; luego siguió la humificación por 60 días más. En los resultados finales, las cuatro (4) pilas de compostación tuvieron valores de síntesis en ácidos húmicos (%) 3,44; 3,30; 3,56 y 2,54 y en ácidos fúlvicos: (%) 1,31; 1,46; 1,28 y 0,83 con rendimientos de compost por encima del 35 % y una humedad sobre el 49 %. Los valores del pH están 5 y 7. Con respecto a la capacidad de intercambio catiónico más baja y la más alta, fue 51,3 meq/100g. Finalmente el compost obtenido proporcionó un buen índice de germinación en el maíz.

Caruajulca et al. (2022) en su investigación titulada “Caracterización fisicoquímica de compost producido con residuos orgánicos obtenidos del mercado mayorista de Chota, Cajamarca, Perú” realizaron la caracterización fisicoquímica del compost producido, la investigación fue de tipo descriptivo, utilizando un diseño de investigación de tipo cuantitativa. Para determinar la calidad del compost se utilizó la norma chilena 2880. Los resultados indican que el pH, la relación del C/N, nitrógeno y fósforo se encuentran dentro de los indicadores de la norma, no ocurriendo lo mismo con el parámetro de materia orgánica que se encuentra por debajo de la norma. El pH se mantuvo en un rango de 5,0 a 7,5 durante todo el proceso y la humedad se mantuvo óptima entre 29 % y 38 %. Se concluye que la calidad del compost de los cuatro tipos en relación a la Norma Chilena 2880 cumple con los parámetros de la clase A.

Rengifo (2021) en su tesis titulada “Optimización del proceso de compostaje de residuos sólidos orgánicos, en el distrito de Contamana, provincia de Ucayali, departamento Loreto” evaluó los valores medibles de los factores del tiempo de producción y los valores de los parámetros fisicoquímicos nutricionales para determinar la calidad del compost producido en pilas de compostaje, para ello se realizaron los siguientes tratamientos: tratamiento 1 (bagazo de caña de azúcar (*Saccharum spp*) y Gallinaza), tratamiento 2 (bagazo de caña de azúcar y Cuyaza), tratamiento 3 (bagazo de caña de azúcar y Vacaza); el tiempo experimental fue de 15, 30 y 45 días. La metodología utilizada tuvo un enfoque cuantitativo, debido a que se usó la estadística, el análisis, y la medición de fenómenos en la producción del compost orgánico. Finalmente, se concluyó que, de los tres tratamientos realizados, el tratamiento 3 reunió todas las características óptimas como un excelente compost orgánico, pues los resultados indican un buen balance de macro y micronutrientes.

Arrieta-Vela (2020) en tesis de grado titulada “Evaluación del proceso de compostaje a base de residuos de cocina con bosta de caballo provenientes de la UNALM” evaluó el compostaje de residuos de cocina, bosta de caballo y rastrojos vegetales. Se establecieron 3 tratamientos a fin de determinar en cuál de ellos es más eficiente el proceso de degradación de los residuos orgánicos, así como mayor la calidad del compost final para fines agronómicos. En el compost final, se midió el contenido de macronutrientes y micronutrientes esenciales, y se realizó una prueba de germinación.

Los resultados demostraron que en el Tratamiento 3, hubo una pérdida de materia orgánica durante el proceso igual a 27 por ciento, resultando este tratamiento más eficiente con respecto a los tratamientos 1 y 2. De igual manera, el Tratamiento 3 resultó de mayor calidad en cuanto a su capacidad de retención de agua, con un valor de 112 por ciento, el mismo cumple lo exigido por la norma de calidad de compost (Ö NORM S 2200), a diferencia del Tratamiento 1 y el Tratamiento 2, cuyos resultados están por encima del rango exigido en dicha norma. Se observó que, al incrementar residuos de cocina entre los Tratamientos 2 y 3, mejoró el contenido de nutrientes esenciales en el compost final; sin embargo, fue el Tratamiento 1 el que obtuvo un mejor contenido de nutrientes. No encontrándose una relación consistente entre el incremento de residuos de cocina y un mejor contenido de nutrientes. Por último, un índice de germinación de 91 por ciento demostró que el Tratamiento 3 presenta mayor madurez y escasa fitotoxicidad, en comparación a los Tratamientos 1 y 2 cuyos índices fueron de 64 por ciento.

Wu-Loli (2020) en su tesis de grado titulada “Evaluación de la biodegradación de la gallinaza a través del compostaje con ayuda de complejo microbiano acf-sr (aqua clean) con sistema automático y monitorizado” probó el complejo microbiano ACF-SR (AQUA CLEAN), analizando la velocidad de descomposición y calidad final fisicoquímica del proceso del compostaje de la gallinaza. La parte experimental se realizó en la granja de aves de la Universidad Nacional Agraria la Molina, realizando 14 biopilas de compostaje a las cuales se aplicó cuatro diferentes ensayos (cada ensayo constaba de tres repeticiones) y dos blancos, que fueron clasificados por las siguientes variables: Porcentaje de gallinaza/rastrojo vegetal y dosis de aplicación del complejo microbiano ACF-SR (AQUA CLEAN). Estas pruebas se apoyaron en la tecnología ARDUINO, el cual midió la temperatura y humedad cada 5 minutos para el seguimiento de la descomposición de la gallinaza. Siendo más sencillo el monitoreo de estos dos parámetros básicos para el compostaje. Concluyendo finalmente que el complejo microbiano ACF-SR (AQUA CLEAN) disminuye el tiempo de descomposición de la mezcla de gallinaza/rastrojo vegetal durante el compostaje, acelerando la degradación entre las etapas mesofílica 1 y mesofílica 2, sin embargo, la aplicación de las bacterias no demostró cambios en la calidad final fisicoquímica del compost, entre los ensayos y los blancos.

Ortiz-Dongo (2020) en su tesis de grado titulada “Efecto del tipo de estiércol y frecuencia de aireación (volteo) en el comportamiento del proceso de compostaje”, determinó el efecto del tipo de estiércol y frecuencia de aireación (volteo) en el proceso de compostaje y en la calidad del compost. En los tratamientos, se utilizaron una proporción de 40 % de estiércol y 60 % de material vegetal. Se evaluaron 4 tratamientos con diferentes tipos de estiércol (vacuno o gallina) y frecuencias de volteos (1 ó 6 volteos cada 2 semanas). Los resultados del estudio mostraron que el mejor tratamiento para la actividad respiratoria fue el T4 (estiércol de gallina y 6 volteos cada 2 semanas), lo cual indicó que tuvo una mayor estabilidad a diferencia de los demás tratamientos; por otro lado, con respecto al porcentaje de materia orgánica, el mejor valor lo obtuvo el tratamiento T2 (estiércol vacuno y 6 volteos cada 2 semanas). El uso del estiércol de gallinas ponedoras en el proceso de compostaje tuvo un efecto favorable sobre la actividad respiratoria, dando así una mejor estabilidad en el producto final, mientras que en la frecuencia de aireación de 6 volteos cada 2 semanas favoreció la estabilidad y materia orgánica del compost; por lo que se concluyó que el uso de estiércol de gallinas ponedoras realizando 6 volteos cada 2 semanas presentó la mejor calidad de compost. Finalmente, la presencia de estiércol vacuno como sustrato en el proceso de compostaje, influyó favorablemente en el rendimiento del compost generado.

Beltrán-Quevedo (2017), en su tesis de maestría titulada “Uso de materiales de soporte en la eficiencia del proceso de compostaje de residuos vegetales de mercado”, evaluó la eficiencia del uso de residuos de corona de piña como material de soporte en el compostaje de residuos vegetales de mercado. Se establecieron 3 tratamientos, TA, TB y TC. El tratamiento de TA consistió en pilas de 200 kg de residuos vegetales de mercado (33,33 % de papa, 33,33 % de camote y 33,33 % de zanahoria) sin piña, el tratamiento TB consistió en pilas de 200 kg de residuos vegetales de mercado (33,33 % de papa, 33,33 % de camote y 33,33 % de zanahoria) con 20 kg de piña (10 % en peso) y el tratamiento TC que consistió en pilas de 200 kg de residuos vegetales de mercado (33,33 % de papa, 33,33 % de camote y 33,33 % de zanahoria) con 60 kg de piña (30 % en peso). Se observó que después de un proceso de compostaje de 105 días, existen diferencias significativas en el incremento de los espacios libres de aire (FAS) con el uso de residuos de corona de piña para los tratamientos TB y TC con respecto al tratamiento TA, sin embargo, no

existen diferencias significativas entre los tratamientos TA, TB y TC en lo que respecta a relación C/N final, pérdida de materia orgánica y pérdida de nitrógeno, mientras que el tratamiento TC presentó mejores resultados con respecto al tratamiento control TA para la respiración microbiana e índice de germinación.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Residuos sólidos**

De acuerdo con el marco normativo peruano, el Decreto Legislativo 1278; se considera residuo sólido a cualquier objeto, material, sustancia o elemento resultante del consumo o uso de un bien o servicio, del cual su poseedor se desprenda o tenga la obligación de desprenderse (D.L. 1278, 2017). Los residuos sólidos pueden representar una amenaza para la salud pública si no se gestionan de forma segura (Vinti et al., 2021), según la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha destacado los riesgos asociados con la eliminación inadecuada de desechos sólidos con respecto a la contaminación del suelo, el agua y el aire y los efectos asociados en la salud de las poblaciones que rodean las áreas involucradas (OMS, 2015), es por ello que su tratamiento se debe gestionar para reducir al máximo su impacto en las matrices ambientales y la salud de la población (Fasano et al., 2021).

### **2.2.2 Fracción orgánica o residuos orgánicos**

Son considerados aquellos residuos de cocina y alimentos, los residuos de jardín, los residuos agrícolas, y los lodos de depuradora, que merecen especial atención debido a la generación de gases de efecto invernadero (GEI), los olores, problemas sanitarios y de salud humana, dentro de estos el pasto, las hojas, las ramas y los desechos domésticos de alimentos, denominados colectivamente “biorresiduos”, constituyen la mayor proporción de los desechos sólidos municipales, los investigadores y organizadores comunitarios señalan que alrededor de un tercio de los desechos orgánicos producidos a nivel mundial son desechos de alimentos (Bellemare et al., 2017).

Los residuos sólidos urbanos son una amenaza ambiental en todo el mundo; sin embargo, la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos es alta y tiene un gran potencial pueden utilizarse para suministrar productos químicos, nutrientes y

combustibles que necesita la humanidad (Ebrahimian et al., 2020; Wainaina et al., 2020), además los mercados laborales relativamente económicos disponibles en los países en desarrollo son dos de los puntos fuertes que aún no se han aprovechado por completo (Hettiarachchi et al., 2018).

### **2.2.3 Problemática ambiental de los residuos orgánicos**

Los residuos orgánicos se consideran un problema ambiental grave, especialmente con el crecimiento exponencial de la población y el aumento de la tasa de consumo de alimentos per cápita que contribuye directamente al aumento de la generación de residuos; generalmente se eliminan en vertederos o incineradores. Además, liberan olores desagradables, contaminan los suelos, las aguas subterráneas y las masas de agua circundantes (Obsa et al., 2022; Shiferaw et al., 2023), además contribuyen a la generación de gases de efecto invernadero (Yeo et al., 2020).

### **2.2.4 Biodegradabilidad**

El desperdicio de alimentos es altamente biodegradable y actúa como un excelente sustrato (Jin et al., 2015), la descomposición orgánica de residuos orgánicos varía significativamente según las regiones, estaciones, esquemas de recolección y características de procesamiento (Browne & Murphy, 2013) además los contenidos de lípidos, C y N, así como la relación C/N, son los componentes principales para la digestión (Y. Li et al., 2017). La optimización de parámetros como el suministro de oxígeno, la disponibilidad de nutrientes, la temperatura y el tiempo y condiciones de operación es crucial para asegurar la biodegradación de la materia orgánica en una medida adecuada, determinando la estabilidad biológica y la madurez del compost (Gnagwar et al., 2019; Policastro & Cesaro, 2023).

### **2.2.5 Compostaje**

El compostaje se puede definir como un proceso aeróbico, bioquímico y microbiano que implica la hidrólisis de la fracción orgánica en un residuo estable y desinfectado (Wei et al., 2017) también es considerado un proceso natural que surge de la sucesión microbiana, marcando la degradación y estabilización de la materia orgánica presente en los residuos (Rastogi et al., 2020), es reconocido como una estrategia eficaz

para el uso sostenible de residuos orgánico (Jin et al., 2021), en este proceso los microbios llevan a cabo la descomposición de la materia orgánica utilizando carbono y nitrógeno como fuentes de energía junto con oxígeno y agua, asegurando la producción de agua, dióxido de carbono, calor y abono que enriquece el suelo; se considera un método limpio y viable e importante dentro del tratamiento de los residuos orgánicos que lo convierten en una estrategia atractiva de biorremediación para los contaminantes orgánicos (C. Lin et al., 2022).

### **2.2.6 Ventajas del compostaje**

El compostaje tiene varias ventajas, como (1) desinfección de patógenos y semillas de malezas, (2) reducción de volumen y olor, (3) estabilización microbiana, (4) reducción de costos de eliminación y (5) producción de abono orgánico (compost) con un valor agregado económico, que puede usarse para reemplazar los fertilizantes químicos cuando se caracterizan por su alta calidad (Garau et al., 2019; L. Lin et al., 2018).

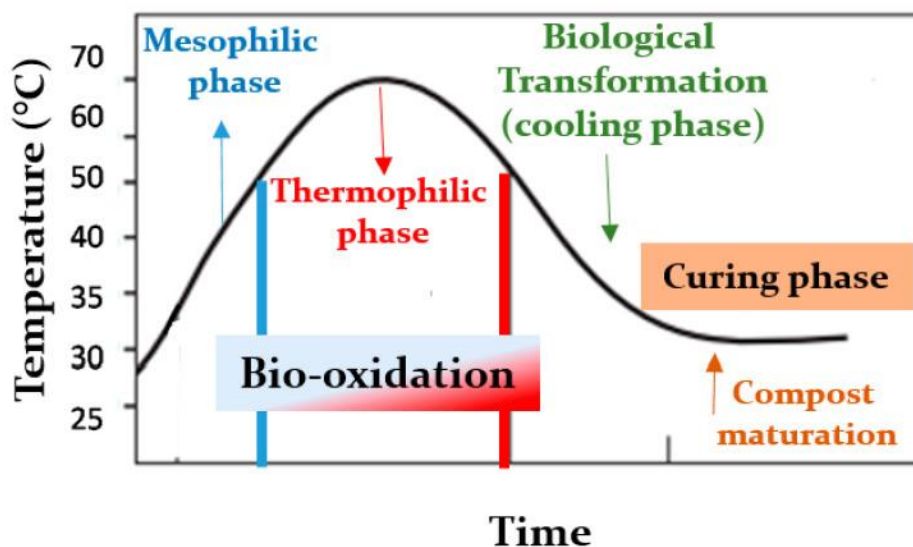
### **2.2.7 Dinámica microbiana durante el proceso de compostaje**

El compostaje es un proceso aeróbico natural mediante el cual los materiales biodegradables sufren una mineralización parcial y biotransformaciones con el metabolismo de una cadena compleja de diversas actividades microbianas utilizando oxígeno atmosférico en condiciones controladas (Keng et al., 2023). La dinámica o sucesión de una comunidad microbiana dentro del compostaje refleja su capacidad degradante para la mezcla de compost (Ling et al., 2014). A lo largo del proceso, las variaciones producidas en un microbioma dependen en gran medida de la composición de las materias primas y los suplementos de nutrientes, las condiciones ambientales (ambientales o de prueba) y las interacciones entre todos estos factores. En este caso, las bacterias y los hongos son los microorganismos más abundantes y que emergen más rápidamente durante el compostaje. Los sustratos utilizados y la microbiota involucrado en el proceso tienen una gran influencia en la calidad del compost formado (Villar et al., 2016). Promueven la degradación orgánica dentro del compostaje al liberar varias enzimas hidrolíticas basadas en sustratos (Echeverría et al., 2012), que rompen las complicadas moléculas estructuradas, formando compuestos solubles en agua (Lee, 2016).

### 2.2.8 Fases del compostaje

El proceso de compostaje se caracteriza por cuatro fases: (1) la fase mesofílica inicial (10–42 °C), durante la cual, la temperatura aumenta rápidamente e inicia la descomposición de la materia orgánica; (2) la fase termofílica (45-70 °C), que se distingue por altas temperaturas prolongadas debido a las extensas actividades metabólicas realizadas por microorganismos endógenos; (3) la fase mesofílica media (65–50 °C), durante la cual, la temperatura disminuye, lo que permite el restablecimiento de los microbios resistentes al calor; (4) la fase de maduración (50–23 °C), durante la cual, la producción de materia orgánica y calor biológico se estabiliza (Albrecht et al., 2010). Estas fases tienen diferentes temperaturas, demanda de oxígeno, estructura de la comunidad microbiana, estabilidad, contenido de carbono, contenido de nitrógeno y perfiles de pH (C. Lin et al., 2022).

**Figura 1**  
*Cambios de temperatura en el proceso de compostaje.*



*Nota.* Obtenido de Papale et al. (2021).

### 2.2.9 Pila de compostaje

La pila de compost está sujeta a condiciones ambientales, que influyen en las emisiones gaseosas y la lixiviación de N de la pila de compost, el cambio de temperatura

en una pila de compostaje está estrechamente relacionado con las actividades microbianas y normalmente se considera uno de los principales parámetros utilizados para monitorear la eficiencia del compostaje (Bustamante et al., 2008). La temperatura en la pila de abono generalmente aumenta rápidamente de 50 a 70 °C dentro de las 24 a 72 h posteriores a la formación de la pila y puede permanecer allí durante varios días dependiendo de las propiedades de la materia prima, el tamaño de la pila y las condiciones ambientales (Papale et al., 2021). Además, la frecuencia de volteo afecta; pH, contenido total de nitrógeno, contenido de humedad, relación C/N, materia seca, carbono total y temperatura dentro de la pila de compostaje (Mohee et al., 2015; Pudełko, 2014).

#### **2.2.10 Descomposición de materia orgánica**

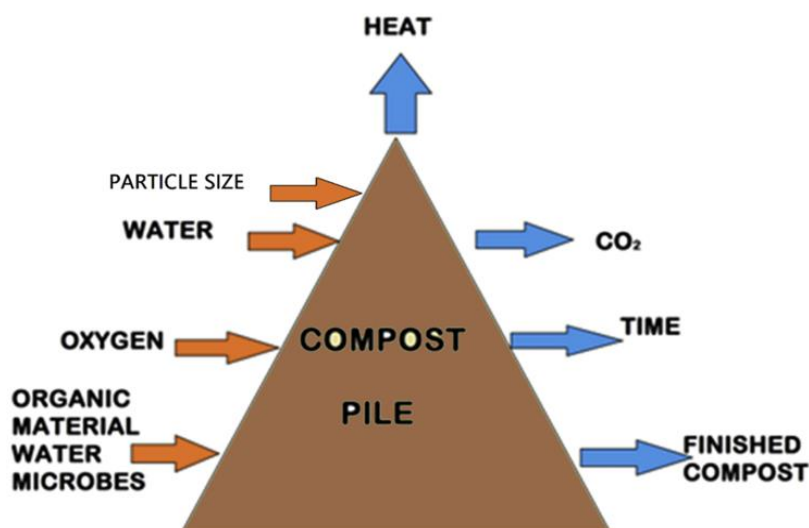
La tasa de descomposición bacteriana fue proporcional a la tasa de crecimiento cuando había suficiente sustrato soluble para el metabolismo bacteriano (Oudart et al., 2015). Durante la fase mesófila-termófila temprana, las bacterias se encontraban en la etapa de crecimiento logarítmico que se sincronizaba con la etapa de descomposición rápida; desde la mitad de la fase termofílica, el crecimiento bacteriano entró en la etapa estable y posiblemente entró más en la fase de descomposición; la duración de la etapa estable de crecimiento bacteriano se relacionó positivamente con el sustrato (Ge et al., 2019). La temperatura entre 50 y 55 °C favorece la descomposición de los residuos y asegura la máxima higienización durante el compostaje; además, las temperaturas y el tiempo del proceso trabajan colectivamente para la eliminación completa de los patógenos en la masa de compost (Salama et al., 2017). La tasa de consumo de oxígeno se puede utilizar para medir el grado de oxidación biológica y descomposición de la materia orgánica (Zheng et al., 2018).

#### **2.2.11 Parámetros de evaluación durante el compostaje**

El proceso de compostaje se ve afectado por factores ambientales y biológicos, como la temperatura, la humedad, el contenido de oxígeno, la composición de la materia orgánica y la presencia de microorganismos (W. Li et al., 2019). En términos más amplios, el compostaje se ve afectado por los factores, clasificados en dos grupos (i) según la formulación de la mezcla de compostaje, tales como balance de nutrientes, pH, tamaño de partícula, porosidad y humedad; y (ii) dependiendo de la gestión del proceso,

como concentración de O<sub>2</sub>, temperatura, contenido de agua y compactación (Q. Li et al., 2013). Quizás, el control de parámetros como el pH, la densidad aparente, la temperatura, la porosidad, el contenido de nutrientes, la relación C/N, el tamaño de partícula, la humedad y el suministro de oxígeno son cruciales para tener una idea exacta de las condiciones óptimas del proceso deseadas (Figura 2). Dentro del compostaje, los microbios requerían C, N, P y K como nutrientes principales (C orgánico degradable) para el suplemento energético y la actividad de desarrollo (Iqbal et al., 2015).

**Figura 2**  
*Componentes del proceso de compostaje.*



*Nota.* Obtenido de Rastogi et al. (2020).

El compostaje es un proceso complejo y variable donde los cambios en cada parámetro causan resultados diferentes, influenciados principalmente por factores como la tasa de aireación de la pila, el tamaño de las partículas, la temperatura, el contenido de agua, el pH, la CE y la C/N (Hwang et al., 2020). Un mal manejo de los factores anteriores puede provocar pérdidas de carbono y nitrógeno, emisiones de gases de efecto invernadero, contaminación por bacterias patógenas y mala calidad del compost, lo que en última instancia conduce a una mala calidad del compost (Modderman, 2019).

### **A. Relación C/N**

Un equilibrio nutricional en forma de una relación C/N óptima es esencial para formular una mezcla de compost eficiente. A medida que el compostaje avanza con el tiempo, las variaciones en C/N proyectaron la tasa de degradación orgánica gobernada por la extensión del carbono transformado en CO<sub>2</sub>. Idealmente, la relación C/N necesaria se encuentra en el rango de 25 a 35; afirmando que los microorganismos requieren 30 partes de C por unidad de parte de N (Kutsanedzie et al., 2015). En el compostaje, el contenido de carbono y nitrógeno de los materiales de compostaje se describe como la principal característica nutricional del sustrato y el carbono se utiliza principalmente como fuente de energía, mientras que el nitrógeno es necesario para el crecimiento y el funcionamiento de las células (C. Lin et al., 2022).

### **B. pH**

Al articular los factores que contribuyen al compostaje, el pH no se considera vital (etapa inicial) con la mayoría de las materias primas ya clasificadas dentro del rango de pH recomendado (Rich & Bharti, 2015). De alguna manera, una disminución del pH en medio del compostaje puede estar relacionada con la volatilización (amoníaco) y la nitrificación microbiana que produce una mayor cantidad de CO<sub>2</sub> y ácidos (Wang et al., 2015). Mientras que, la mineralización de proteínas (producción de amoníaco) y el N impedido, perdido a través de la volatilización del amoníaco (Guo et al., 2012) en las etapas posteriores del compostaje, explican el pH elevado (>8). Para el compostaje, los valores ideales de pH generalmente oscilan entre 5,5 y 8,0 (Cao et al., 2020); sin embargo, se ha demostrado que los valores de pH más bajos influyen negativamente en el compostaje (Cao et al., 2020; S. Wang et al., 2017).

### **C. Contenido de humedad**

Las condiciones de humedad afectan esencialmente la actividad microbiana, la tasa de absorción de oxígeno, la temperatura y el nivel de porosidad dentro del compostaje (Petric et al., 2015). A diferencia del pH, existe una relación inversa entre el contenido de humedad y la temperatura, que muestra un aumento de temperatura a medida que descende el contenido de humedad (Sudharsan Varma & Kalamdhad, 2015). Un mayor contenido de humedad (generalmente >70 %) durante el proceso de compostaje forma encharcamientos que conducen a condiciones anaeróbicas. Un contenido de humedad más bajo (generalmente <40 %) podría causar una deshidratación temprana durante el compostaje, dificultando el proceso biológico (C. Lin et al., 2022).

### **D. Aireación/Suministro de O<sub>2</sub>**

La aireación complementada con un suministro adecuado de O<sub>2</sub> es otro aspecto crítico, proporciona oxígeno principalmente para procesos microbiológicos, control de temperatura, optimización de la humedad y eliminación del exceso de dióxido de carbono. (Latifah et al., 2015). La concentración de oxígeno se correlaciona directamente con la dinámica microbiana (Nakasaki & Hirai, 2017) y la temperatura (mantenida por debajo de 60-65 °C), para garantizar que se suministre suficiente oxígeno dentro del proceso (Latifah et al., 2015). El oxígeno se suministra volteando el compost de forma manual o mecánica según el tamaño del compost y los recursos (C. Lin et al., 2022). Es importante que los microorganismos reciban el oxígeno adecuado para mantener sus actividades metabólicas durante el compostaje. Se recomienda un contenido de oxígeno >10 % durante el proceso de compostaje (Tran et al., 2021).

### **E. Temperatura**

Al igual que el contenido de humedad y la aireación, la temperatura también estimula el crecimiento y la actividad metabólica de la comunidad microbiana dentro de la masa del compost. Puede afectar directamente la tasa de biodegradación de la materia orgánica durante el compostaje (Waszkielis et al., 2013). La temperatura ambiente aceleró la degradación de los sustratos orgánicos y aumentó sus tasas de biodegradabilidad durante el compostaje de residuos sólidos orgánicos (Rastogi et al., 2019). Se ha demostrado que las altas temperaturas secan el compost e inhiben el proceso de compostaje (C. Lin et al., 2022). Además, que calor producido influye en la humedad y la estructura de la comunidad microbiana (Chang et al., 2021).

### **F. Tamaño de partícula**

El tamaño de las partículas en la masa del compost asegura el nivel de porosidad, para asegurar una aireación adecuada y regular el intercambio oxígeno/agua (Zhang & Sun, 2016). Un tamaño y forma de partícula apropiados son un factor importante para estimar los costos operativos del proceso (Ge et al., 2015; Wang & Ai, 2016). También mejoran la mezcla homogénea de los materiales iniciales. Sin embargo, las partículas pequeñas pueden inhibir la penetración de aire y agua dentro de la mezcla, lo que genera zonas anaeróbicas. Por el contrario, los tamaños de partículas más grandes pueden provocar una ventilación excesiva, una disminución de la capacidad de retención de agua y una degradación más lenta (Zhao et al., 2017).

#### **2.2.12 Agentes estructurantes (Bulking Agents)**

Durante el compostaje, los agentes de carga añadidos provocan modificaciones en las propiedades de los RSU. En este caso, las astillas de madera, el aserrín, la cáscara de arroz y los tallos de maíz son suplementos de carga comunes que demostraron un compostaje eficiente de los desechos (Yang et al., 2013; Zhang et al., 2013). Sin embargo, las astillas de madera grandes en lugar de las virutas de madera o el aserrín reforzarían

una buena aireación a través de la pila de compost y proporcionarían menos carbono por unidad de masa (Awasthi et al., 2015). Los agentes estructurantes pueden desarrollar una microbiota eficiente, optimizaría aún más la relación C/N, el contenido de humedad, el pH y desarrollan una porosidad mejorada en el material de materia prima homogeneizando los residuos orgánicos antes del proceso de compostaje y proporciona estructura a las pilas (Nordahl et al., 2023; X. Wang et al., 2015; L. Zhang & Sun, 2016).

### **2.2.13 Madurez del abono orgánico**

La calidad del abono sustenta de manera vital la productividad general dentro de un proceso de degradación de desechos. En una mirada más cercana, la “madurez” y la “estabilidad” son dos parámetros importantes que evaluaron de manera competente la calidad del compost. Básicamente, el término “madurez” validó la idoneidad del compost para fines agrícolas, sujeto a sus efectos biológicos y químicos, mientras que la 'estabilidad' se relacionó indirectamente con la actividad biológica, juzgando la adecuada humidificación de las fracciones orgánicas. Sin embargo, se comprende muy poca información sobre los parámetros universalmente aceptados para determinar la calidad del compost (Rastogi et al., 2020).

### **2.2.14 Calidad de compost**

La calidad del compost puede inducir beneficios de fertilidad (físicos, químicos y biológicos), para prevenir la inmovilización de nutrientes y la supresión de enfermedades en el suelo (Kutsanedzie et al., 2015). Aunque estos índices no son muy confiables, pueden ayudar a proporcionar una idea aproximada de los mismos. Las variaciones físicas manifestadas en el color y el olor de un sustrato como, normalmente con el tiempo, el compost se oscurece (marrón a marrón oscuro) y los olores se vuelven agradables, transformándose de ofensivos a similares al amoníaco y finalmente terrosos son relevantes (Latifah et al., 2015). La generación de compost de alta calidad es fundamental para garantizar el uso eficaz y seguro de este producto en el suelo debido a sus propiedades agronómicas (Policastro & Cesaro, 2023).

### **2.2.15 Macronutrientes y micronutrientes esenciales en el compost**

Los productos de compostaje contienen una variedad considerable de macro y micronutrientes, se considera una buena fuente de nitrógeno, fósforo y potasio, el compost también contiene micronutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. Desde abono, contiene fuentes relativamente estables de materia orgánica, estos nutrientes se suministran en forma de liberación lenta, la adición de abono puede afectar tanto al fertilizante como al ajuste del pH (Manohara & Belagali, 2014; Wankhede & Giripunje, 2016). Los macronutrientes como el nitrógeno, fósforo y el potasio son nutrientes fundamentales para el crecimiento de las plantas. Al final del proceso de compostaje. Los valores obtenidos de N, P y K sobrepasaron los porcentajes establecidos en la legislación española, que indican que el porcentaje de macronutrientes debe ser  $\geq$  al 1 % (Jara-Samaniego et al., 2020).

### **2.2.16 Test de germinación y crecimiento de semillas en compost**

El índice de germinación es una prueba de madurez basada en la germinación de la semilla y el crecimiento inicial de la planta utilizando un extracto líquido del compost (X. Wang et al., 2016); La materia orgánica es un parámetro químico importante para comprobar la estabilidad y madurez del compost elaborado por residuos sólidos urbanos (Heidarzadeh et al., 2019). En los compost inestables se pueden encontrar cantidades importantes de ácidos orgánicos, nitrógeno amoniacal libre ( $\text{NH}_3$ ) u otros compuestos solubles en agua que pueden restringir el desarrollo de las raíces y limitar la germinación de las semillas y, por lo tanto, la madurez implica además la ausencia de ambos compuestos fitotóxicos (Cerdeja et al., 2017). Por lo tanto, el índice de germinación es un indicador sensible que refleja la fitotoxicidad del compost (Song et al., 2018).

## **2.3 Definición de términos**

### **2.3.1 Agentes estructurantes (Bulking Agents)**

Un agente estructurante es un complemento al sustrato (como cascarilla de arroz, aserrín, astillas de madera, totora triturada y otros) pueden desarrollar una microbiota eficiente optimizando el proceso de compostaje (Nordahl et al., 2023; X. Wang et al., 2015; L. Zhang & Sun, 2016).

### **2.3.2 Dinámica de la comunidad microbiana**

La dinámica o sucesión de una comunidad microbiana dentro del compostaje refleja su capacidad degradante, las variaciones producidas en un microbioma dependen en gran medida de la composición de las materias primas y los suplementos de nutrientes, las condiciones y las interacciones entre todos estos factores (Ling et al., 2014).

### **2.3.3 Macronutrientes y micronutrientes esenciales del compost.**

Fuente de nitrógeno, fósforo y potasio, el compost también contiene micronutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, estos elementos son nutrientes fundamentales para el crecimiento de las plantas (Jara-Samaniego et al., 2020).

### **2.3.4 Test de germinación y crecimiento de semillas en compost**

El índice de germinación es una prueba de madurez basada en la germinación de la semilla y el crecimiento inicial de la planta utilizando un extracto líquido del compost (X. Wang et al., 2016); se considera un parámetro esencial para demostrar la estabilidad y madurez del compost (Heidarzadeh et al., 2019).

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Caracterización o tipo del diseño de investigación

De acuerdo con lo establecido, la presente investigación se enfocó dentro de la modalidad de diseño experimental completamente aleatorio (DCA). El diseño de la investigación corresponde a un diseño experimental. Según Hernández, Fernández & Baptista (2014) y Wiersma y Jurs (2008), diseño con grupos de asignación aleatoria y posprueba únicamente.

$RG1 - - - \rightarrow X - - - \rightarrow O1$

$RG2 - - - \rightarrow X - - - \rightarrow O2$

$RG3 - - - \rightarrow X - - - \rightarrow O3$

$RG4 - - - \rightarrow X - - - \rightarrow O4$

Donde:

R: Asignación al azar de residuos orgánicos triturados

G1: Grupo 1, definido como residuos orgánicos triturados antes de recibir el tratamiento.

G2: Grupo 2, definido como residuos orgánicos triturados antes de recibir el tratamiento.

G3: Grupo 3, definido como residuos orgánicos triturados antes de recibir el tratamiento.

G4: Grupo 4, definido como residuos orgánicos triturados antes de recibir el tratamiento.

X: Tratamiento denominado adición de agente estructurante (Totora triturada)

O1: Medición de los parámetros fisicoquímicos, análisis de macronutrientes, micronutrientes y toxicidad del compost obtenido en el grupo 1.

O2: Medición de los parámetros fisicoquímicos, análisis de macronutrientes, micronutrientes y toxicidad del compost obtenido en el grupo 2.

O3: Medición de los parámetros fisicoquímicos, análisis de macronutrientes, micronutrientes y toxicidad del compost obtenido en el grupo 3.

O4: Medición de los parámetros fisicoquímicos, análisis de macronutrientes, micronutrientes y toxicidad del compost obtenido en el grupo 4.

### 3.2 Población y/o muestra de estudio

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la Planta de valorización de residuos orgánicos de la empresa Cal & Cemento Sur S.A., ubicado en la carretera Juliaca Puno Km 11, hacienda Yungura, con coordenadas UTM son 380803.69 m E; 8276833.70 m S, zona 19 L y se encuentra a una altitud de 3830 m.s.n.m.

#### Figura 3

*Planta de valorización de residuos orgánicos crudos.*



#### 3.2.1 Población

Residuos orgánicos generados en la planta industrial Caracoto, ubicado en la Carretera Juliaca Puno, km 11, distrito de Caracoto, provincia de San Román, Puno.

### **3.2.2 Muestra**

Se realizó mediante el método muestral no probabilístico, se recolectó residuos orgánicos crudos generados de forma semanal, el mismo que se recoge de forma interdiaria con peso aproximado de 80 kg/día haciendo un total de 240 kg/semana.

### 3.3 Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD
Variable independiente:  VI: Adición o incorporación totora ( <i>Schoenoplectus tatora</i> ) como agente estructurante	Un agente estructurante es un complemento al sustrato (como cascarilla de arroz, aserrín, astillas de madera y otros) pueden desarrollar una microbiota eficiente. Esto optimizaría aún más la relación C/N y mantendría la calidad de un compost	Caracterización del agente estructurante totora ( <i>Schoenoplectus tatora</i> )	Densidad  pH  Espacio de Aire Libre (FAS)	g/cm <sup>3</sup>  0 a 14  %
			pH Humedad Temperatura Ceniza Degradabilidad	0 a 14 % °C % %
Variable dependiente:  VD: Optimización del proceso de compostaje de residuos orgánicos	La optimización del proceso de compostaje depende de la mejora en el sustrato inicial (características fisicoquímicas), las condiciones ambientales y las interacciones entre todos estos factores, buscando alcanzar una estabilización rápida y acelerando la degradación de la materia orgánica.	Macronutrientes y Micronutrientes esenciales	Análisis de materias orgánicas sólidas  Elementos menores en materia orgánica  Análisis especial de materia orgánica sólida	pH, CE, H <sup>+</sup> , MO, N, P, Ca, Mg, Na.  Fe, Cu, Zn, Mn, B  C/N
		Índice de germinación	Porcentaje de germinación relativa de la semilla (PGR)  Porcentaje de crecimiento relativo de la radícula (PCR)	%  %

### 3.4 Materiales, equipos y reactivos

#### Materiales

- Pala
- Trinche
- Soportes laterales de madera
- Cinta métrica
- Tamiz malla
- Envases de vidrio (Boro 3.3.5)
- Pizeta
- Bolsa Ziploc (20x20 cm) herméticas
- Envases de polietileno
- Crisol
- Placa metálica

#### Equipos

- Triturador eléctrico de residuos sólidos orgánicos
- Vernier digital (Ubermann)
- GPS de mano (Garmin Map 64s)
- Termo-hidrómetro Digital (Boeco HTC-1)
- Mufla (Modelo F6000)
- Multiparámetro WTW 3404
- Balanza analítica (Oahaus Pionner)
- Balanza analítica (Mettler Toledo ML)
- Estufa (Selecta Modelo Conterm)
- Estufa (Thermo Scientific OMS 180)

#### Reactivos

- Agua purificada (QP)
- Etanol ( $C_2H_5OH$  al 96 %)
- Hipoclorito de sodio ( $NaClO$  al 15 %)
- Solución buffer pH 4,7 y 10 (Reactivos en grado analítico)

### 3.5 Acciones y actividades para la ejecución de la investigación

El esquema metodológico del procedimiento experimental se detalla en la figura 6, que comprende lo siguiente.

#### 3.5.1 Caracterización de residuos orgánicos

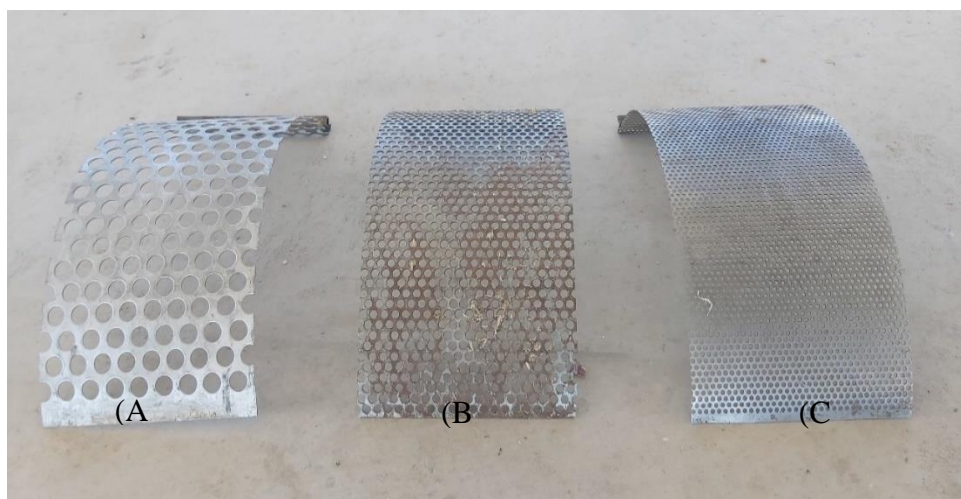
La muestra de residuos orgánicos crudos se recogió de manera puntual del comedor de forma diaria, y posterior a ello se realizó el método de caracterización de los residuos orgánicos crudos.

#### 3.5.2 Caracterización del agente estructurante

Las características del agente estructurante (*Schoenoplectus tatora*) fueron medidas antes de ser mezcladas con el resto de los residuos orgánicos. Previamente la totora fue triturada usando la zaranda (A) de tamaño frangollo grueso.

#### Figura 4

*Zarandas utilizadas en el proceso de trituración del agente estructurante*



*Nota: (A) frangollo grueso, (B) Frangollo pequeño y (C) Afrecho.*

Las variables medidas se detallan a continuación:

#### A. Densidad aparente (DA)

La densidad aparente se determinó siguiendo el método establecido por la Michel & Keener (2015), para lo cual se utilizó un balde de 2,5 litros para luego pesar el balde, el volumen de agua a una

marca conocida, así como el volumen del compost, seguidamente se obtuvieron los resultados de acuerdo a la Ecuación 1:

$$\text{Densidad Aparente (DA)} = \frac{1000 \text{ kg de H}_2\text{O}}{\text{m}^3} * \frac{Wbc - Wb}{Wbw - Wb} \quad (1)$$

Donde: Wb = Peso del balde, Wbw = Peso del balde con agua y Wbc = Peso del balde con compost.

### **B. Espacios Libres de Aire (FAS)**

Los espacios libres de aire (Free Air Space, FAS) se determinaron en función a los datos obtenidos para determinar la densidad aparente y la mezcla de compost con agua a una marca conocida como indica la metodología establecida por Michel & Keener (2015).

$$\text{Espacio libre de aire (FAS)} = \frac{Wbc - Wb}{Wbw - Wb} * 100 \quad (2)$$

Donde: Wb = Peso del balde, Wbw = Peso del balde con agua, Wbc = Peso del balde con compost y peso del balde con compost y agua.

### **C. Capacidad de absorción de agua (WAC)**

Se determinó la capacidad de retención de agua de acuerdo con Adhikari (2005), que consistió en humedecer con agua destilada por 24 horas la muestra para luego secarla a 105 °C por 2 horas hasta que las muestras de agua gravitacional hayan sido drenadas, luego el agua total absorbida fue la diferencia entre el peso de la muestra humedecida y el peso de la muestra seca, calculándose según la siguiente ecuación:

$$\text{Capacidad de absorción de agua (WAC)} = 100 * \frac{(WAB - Wdry)}{Wdry} \quad (3)$$

Dónde: WAB: peso de la muestra humedecida y Wdry: peso de la muestra seca.

#### **D. Relación Carbono/Nitrógeno**

Relación C/N se determinó en función a norma ÖNORM S 2023: Métodos de investigación y control de calidad de compost, que define los métodos de análisis de compost de acuerdo con ÖNORM en S 2200 y S 2022 , la relación carbono nitrógeno de acuerdo con la división entre la concentración de carbono total obtenido por diferencias de pesos de muestra fresca con muestra sometida a calcinación (550 °C) por 5 horas, y el Nitrógeno total determinados por el Método Kjeldahl (Zethner et al., 2000).

#### **3.5.3 Descripción de los tratamientos**

El experimento consistió en 4 tratamientos (T1, T2, T3 y T4), cada uno de ellos constará de 9 repeticiones, haciendo un total de 36 unidades experimentales (camas de compostaje) evaluándose durante todo el proceso experimental.

*T1: Residuos orgánicos triturados (ROT) + Totora triturada 3 % (TT)*

*T2: Residuos orgánicos triturados (ROT) + Totora triturada 5 % (TT)*

*T3: Residuos orgánicos triturados (ROT) + Totora triturada 7 % (TT)*

*T4: Residuos orgánicos triturados (ROT) + Totora triturada 9 % (TT)*

#### **3.5.4 Consideraciones durante el proceso de compostaje.**

##### **A. Pretratamiento de residuos**

Los residuos de mercado biodegradables fueron seleccionados, separando los residuos no biodegradables y aquellos que afectan el proceso de compostaje como: residuos de animales como grasas, carne, restos cocidos, residuos sólidos, entre otros.

##### **B. Trituración y desmenuzamiento**

Luego se procedió a reducir el tamaño de residuos orgánicos crudos a través de la máquina trituradora, la máquina inicialmente convirtió partículas de mayor tamaño de residuos orgánicos recolectados en el tamaño deseado para que puedan ser tratados por procesos biológicos, esta operación permitió que el residuo orgánico aumente la

superficie de aprovechamiento bacteriano para convertirlo en compost en menor cantidad de tiempo posible (Katiyar et al., 2019).

### **C. Formación de pilas de compostaje**

Para la construcción de pilas de compostaje se utilizó pilas de compostaje cielo abierto con soporte lateral de madera, además se utilizó totora triturada como agente estructurante tamaño de frangollo grueso, el mismo que fue fundamental para mejorar las condiciones del proceso de compostaje de residuos orgánicos, incrementando la porosidad del material y la aireación, y propiciando condiciones más favorables de pH, humedad y relación C/N para el desarrollo de microorganismos y reduciendo la generación de lixiviados.

### **D. Regulación de Humedad**

El riego se realizó manualmente con manguera, con una frecuencia establecida de acuerdo a los requerimientos de humedad de las pilas de compostaje, para lo cual se evaluó de forma semanal la humedad de las pilas de compostaje.

### **E. Volteo de las pilas**

Las pilas de compost se voltearon a intervalos de tiempo regulares para garantizar un suministro suficiente de oxígeno y una degradación óptima. Por lo tanto, el suministro de oxígeno a cualquier parte de la pila de compost depende de la temperatura del aire, la humedad, la presión y la distribución de la concentración de oxígeno dentro del compost (Poulsen, 2011).

### **F. Tamizado/Triturado de compost**

Una vez finalizado el compostaje, se realizó el tamizado con ayuda de un tamizador, una pala y una carretilla, el tamizaje permite clasificar el compost terminado en función a la aplicación posterior al compostaje (Stejskal & Jordánková, 2015). Otra alternativa adicional al

proceso de tamizaje es la trituración de compost a través del uso de la máquina triturada, obteniendo compost triturado en mejor tiempo y con las mismas características de tamizaje; de requerir un tamizaje más fino será necesario el uso de un tamizador.

### **3.5.5 Evaluación de los parámetros de campo del proceso de Compostaje**

Esta etapa permite el cumplimiento del objetivo específico 1, que se compone de 8 actividades descritas a continuación:

#### **A. Toma de muestras**

El muestreo se basó en La Norma Austriaca (Ö – NORM) S 2023, que refiere al “Método del Cuarteo”, la cual dicta que es necesario llevar a cabo por lo menos tres cortes de perfil por carga de compost. Todos los análisis se realizaron en muestras recolectadas utilizando un método de muestreo estándar, las muestras se tomarán en diferentes profundidades y diferentes perfiles de la pila, se mezclarán parcialmente con el fin de evaluar los diferentes estados y procesos, excepto las mediciones de temperatura que se realizarán *in situ* (Abdullah et al., 2013).

#### **B. Temperatura**

La temperatura fue evaluada mediante un termómetro de mercurio de 0 a 200 °C que permitirá medir la temperatura central superior de cada pila, para lo cual se introducirá el sensor al 50 % de profundidad desde la superficie de los materiales de compostaje en cuatro posiciones diferentes (Abdullah et al., 2013). Las temperaturas en todas las pilas de compostaje, así como las temperaturas del aire ambiente, se registrarán a las 12:00 del día y se promediará diariamente durante el proceso de compostaje.

#### **C. pH**

Para este parámetro se tomó como referencia a la norma TMECC 04.11. El pH será medido en un extracto soluble en agua 1:5 (p/v) usando

un multiparámetro (WTW 3034) después de 5 min de agitación y 15 min de reposo por 15 min de acuerdo con TMECC 04.11-A, Determinaciones electrométricas de pH para compost, método de suspensión 1:5 (TMECC, 2004).

#### **D. Conductividad**

Para este parámetro se tomó como referencia a la norma TMECC 04.10, la conductividad eléctrica se medirá como un extracto soluble en agua 1:5 (p/v) usando un multiparámetro (WTW 3034) después de 5 min de agitación y 15 min de reposo por 15 min de acuerdo con TMECC 04.10-A, Conductividad eléctrica para compost, método de lechada 1:5 (base de masa) (TMECC, 2004).

#### **E. Densidad Aparente**

La densidad Aparente se determinó siguiendo el método establecido por la Michel & Keener (2015), para lo cual se utilizó un balde de 1 galón para luego pesar el balde, el volumen de agua a una marca conocida, así como el volumen del compost, seguidamente se obtuvieron los resultados de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Densidad\ Aparente = \frac{1000\ kg\ de\ H_2O}{m^3} * \frac{Wbc - Wb}{Wbw - Wb} \quad (4)$$

Donde: Wb=Peso del balde, Wbw=Peso del balde con agua y Wbc=Peso del balde con compost

#### **F. Humedad**

El contenido de humedad se determinó por la diferencia de peso durante 2 horas de secado en horno a 105 °C hasta que no se observaron cambios en el peso seco (J. Wang et al., 2016; Xu et al., 2009).

$$Humedad\ (\%) = \frac{(Peso\ Inicial - Peso\ Final) * 100}{Peso\ inicial}$$

(5)

### G. Ceniza

Para la determinación de ceniza, se pesaron 10 gramos de la muestra de compost en una placa, y posterior a ello se colocó en una estufa a una temperatura de 105 °C durante una hora, este paso tiene como objetivo eliminar la humedad presente en la muestra, permitiendo obtener un peso seco preciso. Posteriormente, se pesó 1 gramo de la muestra seca en un crisol. El siguiente paso implica someter la muestra a altas temperaturas. La muestra se colocó en una mufla a 975 °C durante 30 minutos, este proceso de calcinación contribuye a la descomposición térmica de la materia orgánica, dejando únicamente las cenizas. Posteriormente, la muestra se transfirió a una segunda mufla, esta vez a 405 °C, durante 20 minutos adicionales, esta etapa tiene como objetivo eliminar cualquier residuo orgánico restante y asegurar una completa descomposición de la muestra. Una vez completada la calcinación, el crisol con la muestra se trasladó a un desecador durante 20 minutos, este paso tiene como finalidad eliminar cualquier posible humedad absorbida durante el proceso de manipulación. Después de este período, se vuelve a pesar el crisol con la muestra, registrando este nuevo peso.

### H. Biodegradabilidad

La biodegradabilidad se estimó mediante un balance de materia, teniendo en cuenta que la cantidad de cenizas se conserva constante durante el compostaje. Se define un coeficiente de degradación  $K_b$  (Haug, 1993) a partir de la concentración de cenizas o de materia orgánica al inicio y al final del compostaje.

$$K_b = \frac{(C_f - C_i) * 100}{C_f(100 - C_i)} \quad (6)$$

Donde:  $C_i$  y  $C_f$  son el porcentaje de cenizas al inicio y al final del compostaje respectivamente.

## **I. Relación Carbono/Nitrógeno**

Relación C/N se determinó en función a norma ÖNORM S 2023: Métodos de investigación y control de calidad de compost, que define los métodos de análisis de compost de acuerdo con ÖNORM en S 2200 y S 2022 “criterios de calidad para compost”, la relación carbono nitrógeno de acuerdo con la división entre la concentración de carbono total obtenido por diferencias de pesos de muestra fresca con muestra sometida a calcinación (550 °C) por 5 horas, y el Nitrógeno total determinados por el Método Kjeldahl (Zethner et al., 2000).

### **3.5.6 Evaluación de la calidad agronómica en los compost**

Esta etapa permite el cumplimiento del objetivo específico 2, que se compone de 4 actividades descritas a continuación:

#### **A. Muestreo de compost**

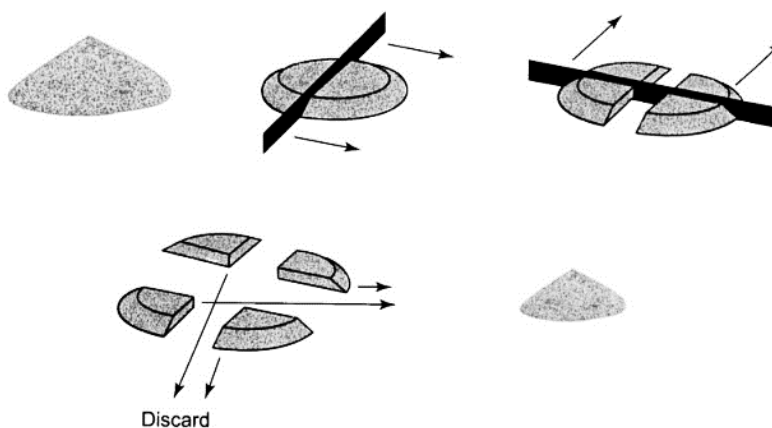
En la etapa post experimental, las muestras de compost se extrajeron de las cajas de maduración según los tratamientos experimentales, posterior a ello, las muestras de compost se homogeneizaron utilizando el método de cono y cuarteo.

#### **B. Obtención de muestras compuestas**

Las muestras de compost se homogeneizaron utilizando el método de cono y cuarteo (Gerlach et al., 2002; Schumacher et al., 1990), el cono de suelo se dividió en cuatro partes (método de cuarteo) y se escogieron las dos partes opuestas (Figura 5) para formar una nueva pila más pequeña, la muestra menor se volvió a mezclar y dividir en cuatro partes, esta operación se repitió hasta obtener la muestra manejable para el proceso de experimentación y envío de muestras al laboratorio.

### Figura 5

*Método de cono y cuarteo para la homogeneización del suelo*



*Nota.* Obtenido de Gerlach et al. (2002).

Se obtuvieron 3 muestras compuestas de 1kg por tratamiento; haciendo un total de 12 muestras para análisis de calidad agronómica del compost, en cuanto al manejo de la muestra, esta se rotuló y preservó con una temperatura de 4 °C.

#### C. Análisis de macronutrientes

Para determinar el contenido de macronutrientes o materia orgánica sólida completa, este se realizó en el laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes (LASPAF) de la Universidad Nacional Agraria La Molina de Lima-Perú (UNALM).

#### D. Análisis de micronutrientes

Para determinar el contenido de macronutrientes o Elementos menores en materia orgánica, este se realizó en el laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes (LASPAF) de la Universidad Nacional Agraria La Molina de Lima-Perú (UNALM).

### 3.5.7 Evaluación de la toxicidad del compost

Esta etapa permite el cumplimiento del objetivo específico 1, que se compone de 4 actividades descritas a continuación:

#### A. Obtención de muestras compuestas

Las muestras de compost se homogeneizaron utilizando el método de cono y cuarteo (Gerlach et al., 2002; Schumacher et al., 1990) hasta obtener la muestra manejable para el proceso de experimentación y traslado de muestras al laboratorio de química de la Universidad Nacional de Juliaca para determinar la fitotoxicidad del compost.

#### B. Evaluación de la madurez del proceso de compostaje, así como la fitotoxicidad

Como indica la norma California Compost Quality Council (2001), con la finalidad de evaluar la madurez del proceso de compostaje, así como la fitotoxicidad del compost final, se realizó la prueba de germinación de acuerdo al Test de Zucconi et al. (1981). Se obtuvieron extractos de compost acuoso para determinar el índice de germinación de semillas (IG), se mezclaron muestras sólidas frescas con agua desionizada en una proporción de 1:10 (m/v) y se agitaron magnéticamente durante 15 minutos (F. Yang et al., 2014). El IG de la semilla se utilizó para evaluar la fitotoxicidad (Sellami et al., 2008); Se distribuyeron uniformemente 20 semillas de cebada (*Hordeum vulgare* L.) y quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) sobre gasa en placas Petri (10 cm de diámetro) y se humedecieron con 8 mL del extracto de compost. Se incubaron tres placas replicadas por tratamiento y semilla para cada muestra a 25 °C durante 72 h (primera lectura) y 1 semana (segunda lectura). Para la muestra como control, 8 mL de agua destilada reemplazaron el extracto para cada tratamiento. Posteriormente, se midieron el número de semillas en germinación y la longitud de las raíces. El IG se calculó mediante la fórmula (Zucconi et al., 1981).

### C. Determinación del Índice de germinación

Se determinó el porcentaje de germinación relativo (PGR), crecimiento de la radícula relativo (CRR) para obtener luego el Índice de germinación, de acuerdo con las siguientes fórmulas establecidas por (Zucconi et al., 1981):

#### Porcentaje de germinación relativa de la semilla (PGR)

$$PGR (\%) = \frac{GMn}{Gc} * 100 \quad (7)$$

En donde: GMn: Número de semillas germinadas en la muestra “n” (n=1,2,3,4), Gc: Número de semillas germinadas en la muestra control.

#### Porcentaje de crecimiento relativa de la radícula (PCR)

$$CCR (\%) = \frac{LMn}{Lc} * 100 \quad (8)$$

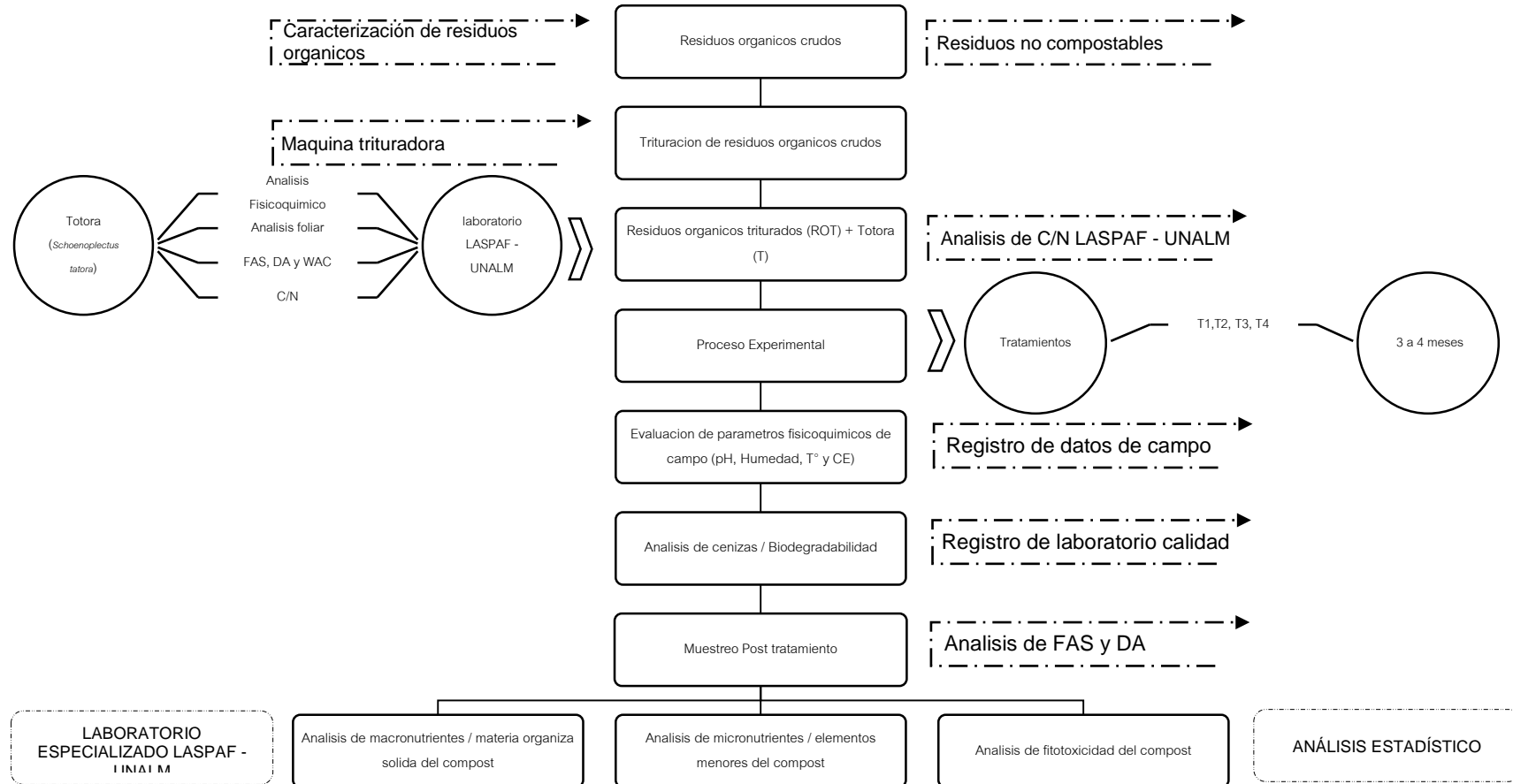
Donde: LMn = Longitud promedio de las radículas en la muestra “n” (n=1,2,3,4), Lc = Longitud promedio de las raíces en la muestra control.

#### Índice de germinación IG

$$IG (\%) = \frac{(\% \text{ de PGR})(\% \text{ de PCR})}{100} \quad (9)$$

Donde: % de PGR: Porcentaje de germinación relativo y % de CRR: Crecimiento de radícula relativo

**Figura 6**  
*Esquema metodológico*



### 3.6 Tratamiento de datos

En la presente investigación se aplicó el método de Correlación de Pearson con un nivel de confianza de 95 %, siendo el nivel de significancia del 5 % para evaluar el grado de correlación entre las variables independiente y dependiente. Además, se realizó el análisis de varianza (ANOVA) con diseño completamente aleatorio (DCA) con la finalidad de evaluar las diferencias entre las medias de los tratamientos, todos los análisis fueron realizados a un nivel de significancia del 5 %. Para ello se utilizará el Software SPSS versión IBM SPSS 29.0.2.0, Minitab versión 18.1.0. y R-Studio.

**Tabla 1**

*Análisis de varianza (ANOVA-DCA)*

Fuentes de Variación (FV)	Grados de libertad (GL)	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	Prueba F	Valor P significancia
Tratamientos (t)	$t - 1$	$SC_t$	$CM_t = \frac{SC_t}{t-1}$	$\frac{SC_t}{SCE}$	$P (F > F_\alpha)$
Error (E)	$n - 1$	SCE	$CME = \frac{SCE}{n-1}$		
Total	$n - 1$	$SC_{total}$			

*Nota: n, Número total de observaciones; F, Prueba estadística F o Fisher;  $F_\alpha$ , Prueba F con un nivel de significancia. Fuente: Cervantes & Marquez (2007).*

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### Análisis de supuestos

Previo al análisis de datos, es importante saber si los resultados siguen una distribución normal; por lo tanto, se realizó la prueba de Shapiro-Wilk debido a que es apropiada para muestras menores a 30. Por otro lado, también se realizó la prueba de homocedasticidad a través de la prueba de Levene con la finalidad de ver la variabilidad entre los grupos.

Los supuestos del modelo de Normalidad de Shapiro-Wilk se contrasta las hipótesis:

H0 = La muestra presenta una distribución normal

H1 = La muestra no presenta una distribución normal

#### Tabla 2

*Análisis de supuesto prueba de normalidad de parámetros evaluados en el estudio*

Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk			
Parámetros	Estadístico	gl	Sig.
C/N Sustrato inicial	0,92227	3,0	0,3052
DA Sustrato inicial (kg/m <sup>3</sup> )	0,95786	3,0	0,7528
FAS Sustrato inicial (%)	0,94519	3,0	0,568
T° max	0,94839	3,0	0,6135
pH inicial (1:1)	0,94775	3,0	0,6044
pH final (1:1)	0,90320	3,0	0,1744
CE inicial (μS/cm)	0,95775	3,0	0,7513
CE final (μS/cm)	0,95124	3,0	0,6551
H° inicial (%)	0,91872	3,0	0,2755
H° final (%)	0,93825	3,0	0,4758
Kb Compost	0,96974	3,0	0,9080
DA compost (kg/m <sup>3</sup> )	0,96124	3,0	0,8014
FAS compost (%)	0,96579	3,0	0,8621

C/N compost	0,96740	3,0	0,8817
M.O. (%)	0,91948	3,0	0,2816
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,92711	3,0	0,3504
K <sub>2</sub> O (%)	0,78884	3,0	0,7014
CaO (%)	0,97737	3,0	0,9710
MgO (%)	0,91346	3,0	0,2362
Na (%)	0,89573	3,0	0,1397
Fe (ppm)	0,97096	3,0	0,9206
Cu (ppm)	0,82483	3,0	0,0182
Zn (ppm)	0,96363	3,0	0,8341
Mn (ppm)	0,98071	3,0	0,9863
B (ppm)	0,9866	3,0	0,9982
IG (%) Quinoa	0,96132	3,0	0,8025
IG (%) Cebada	0,92004	3,0	0,2863

---

*Fuente: Análisis de Datos Software Minitab versión 18.1.0.*

Se muestra en la Tabla 2, la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, podemos determinar para los parámetros del proceso de compostaje, macronutrientes, micronutrientes esenciales e Índices de germinación en los diferentes tratamientos con un P-valor superior al nivel de significancia de 0,05. Por lo tanto, afirmamos que los datos provienen de una distribución normal, en consecuencia, se optó utilizar estadística paramétrica.

Prueba de homocedasticidad de varianza de Levene se contrasta las hipótesis:

H<sub>0</sub> = La varianza es igual entre los grupos

H<sub>1</sub> = La varianza no es igual entre los grupos

Como se muestra en la tabla 3, la prueba de homogeneidad de varianza para los parámetros del proceso de compostaje, macronutrientes, micronutrientes esenciales e Índices de germinación en los diferentes tratamientos; muestran un P-valor superior al nivel de significancia de 0,05, entonces aceptamos la hipótesis nula.

**Tabla 3***Análisis de supuesto prueba de homogeneidad de varianza de parámetros evaluados*

Prueba de homogeneidad de varianza de Levene			
Parámetros	Estadístico	gl	Sig.
C/N Sustrato inicial	0,5420	3,0	0,6669
DA Sustrato inicial (kg/m <sup>3</sup> )	0,4445	3,0	0,7278
FAS Sustrato inicial (%)	0,1786	3,0	0,9080
T° max	0,2566	3,0	0,8546
pH inicial (1:1)	0,3322	3,0	0,8026
pH final (1:1)	0,4236	3,0	0,7414
CE inicial (μS/cm)	1,0294	3,0	0,4298
CE final (μS/cm)	0,5107	3,0	0,686
H° inicial (%)	0,5209	3,0	0,6797
H° final (%)	0,4554	3,0	0,7208
Kb Compost	0,5267	3,0	0,6762
DA compost (kg/m <sup>3</sup> )	0,9746	3,0	0,4512
FAS compost (%)	0,5066	3,0	0,6885
C/N compost	0,3132	3,0	0,8156
M.O. (%)	0,5152	3,0	0,6832
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,8509	3,0	0,5041
K <sub>2</sub> O (%)	1,8611	3,0	0,2145
CaO (%)	0,9539	3,0	0,4596
MgO (%)	0,0300	3,0	0,9924
Na (%)	0,5448	3,0	0,6653
Fe (ppm)	0,5259	3,0	0,6767
Cu (ppm)	0,8942	3,0	0,4848
Zn (ppm)	1,5885	3,0	0,2667
Mn (ppm)	0,9150	3,0	0,4759
B (ppm)	0,6043	3,0	0,6304
IG (%) Quinoa	0,7084	3,0	0,5736

Prueba de homogeneidad de varianza de Levene			
Parámetros	Estadístico	gl	Sig.
IG (%) Cebada	1,4908	3,0	0,2891

*Fuente: Análisis de Datos Software Minitab versión 18.1.0.*

Analizando los dos supuestos, la prueba de Shapiro-Wilk que nos indica que todos nuestros parámetros de investigación se comportan como una distribución normal y la prueba de homogeneidad de varianza de Levene afirma que la variabilidad es igual entre los grupos. En consecuencia, se realizó la prueba estadística de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Además, se realizó el análisis de varianza (ANOVA) con diseño completamente aleatorio (DCA) con la finalidad de evaluar las diferencias entre las medias de los tratamientos. El detalle del análisis de varianza se detalla en el Anexo 28.

En la presente investigación, se aplicó el método de Correlación de Pearson con un nivel de confianza de 95 %, siendo el nivel de significancia del 5 % para evaluar el grado de correlación entre las variables independiente y dependiente

**Tabla 4***Prueba de correlación de Pearson de parámetros evaluados – primera parte*

Parámetros	C/N Sustrato inicial	DA Sustrato inicial (kg/m <sup>3</sup> )	FAS Sustrato inicial (%)	Tiempo de Compostaje	T° max	pH inicial (1:1)	pH final (1:1)	CE inicial (μS/c)	CE final (μS/cm)	H° inicial (%)	H° final (%)	Kb Compost	DA compost (kg/m <sup>3</sup> )
DA Sustrato inicial (kg/m <sup>3</sup> )	0,394												
FAS Sustrato inicial (%)	-0,408	-0,999											
Tiempo de Compostaje	0,711	0,907	-0,909										
T° max	-0,759	-0,854	0,857	-0,979									
pH inicial (1:1)	-0,502	-0,538	0,531	-0,682	0,69								
pH final (1:1)	-0,535	-0,809	0,802	-0,907	0,904	0,714							
CE inicial (μS/c)	0,762	0,66	-0,679	0,734	-0,723	-0,375	-0,405						
CE final (μS/cm)	0,575	0,823	-0,815	0,932	-0,916	-0,765	-0,979	0,453					
H° inicial (%)	0,294	0,928	-0,935	0,786	-0,686	-0,365	-0,614	0,689	0,641				
H° final (%)	-0,358	0,252	-0,263	-0,097	0,145	0,424	0,32	0,282	-0,332	0,418			
Kb Compost	0,434	0,978	-0,982	0,879	-0,832	-0,439	-0,711	0,751	0,732	0,944	0,366		
DA compost (kg/m <sup>3</sup> )	0,594	0,95	-0,956	0,932	-0,896	-0,552	-0,746	0,814	0,789	0,902	0,214	0,974	
FAS compost (%)	-0,720	-0,914	0,921	-0,966	0,944	0,567	0,781	-0,865	-0,811	-0,839	-0,113	-0,932	-0,973
C/N Compost	0,972	0,287	-0,298	0,646	-0,701	-0,481	-0,518	0,646	0,553	0,181	-0,498	0,31	0,478

**Tabla 5***Prueba de correlación de Pearson de parámetros evaluados – segunda parte*

Parámetros	FAS compost (%)	C/N Compost	M.O. (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na (%)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	B (ppm)	IG (%) Quinua
C/N Compost	-0.622													
M.O. (%)	-0,365	0,257												
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	-0,683	0,163	-0,134											
K <sub>2</sub> O (%)	0,349	0,02	-0,618	-0,005										
CaO (%)	-0,428	0,619	-0,361	0,573	0,552									
MgO (%)	-0,205	0,46	-0,392	0,476	0,538	0,841								
Na (%)	-0,445	0,758	0,644	-0,223	-0,429	0,035	-0,127							
Fe (ppm)	-0,609	0,758	-0,23	0,572	0,422	0,949	0,725	0,212						
Cu (ppm)	-0,29	0,18	-0,361	0,734	0,454	0,729	0,822	-0,371	0,646					
Zn (ppm)	-0,27	0,047	-0,545	0,795	0,488	0,77	0,718	-0,517	0,644	0,894				
Mn (ppm)	0,979	-0,599	-0,475	-0,644	0,351	-0,38	-0,123	-0,457	-0,57	-0,23	-0,21			
B (ppm)	-0,646	0,102	0,271	0,639	-0,085	0,146	0,179	-0,093	0,253	0,385	0,28	-0,67		
IG (%) Quinua	0,363	-0,448	-0,759	0,354	0,611	0,366	0,486	-0,822	0,153	0,672	0,76	0,413	-0,06	
IG (%) Cebada	0,346	-0,429	-0,768	0,402	0,627	0,386	0,504	-0,841	0,171	0,673	0,779	0,392	-0,02	0,948

A continuación, se detallan los resultados de las acciones y actividades ejecutadas en la presente investigación:

#### 4.1 Caracterización de residuos orgánicos crudos

Las características de los residuos sólidos orgánicos crudos generados se asemejan a los de un residuo de restaurante, ya que estos fueron recolectados en su totalidad de la concesionaria que brinda el servicio de alimentación.

**Tabla 6**

*Características de los residuos orgánicos crudos.*

Residuos orgánicos crudos	Características de los residuos	Residuo predominante	Porcentaje de representación
Vegetales	Compuesto por restos vegetales como: Camote, zapallo, zanahoria, api, poro, cebolla, mundos de habas, papa, arveja, tomate y lechuga	Verduras de depuración	90 %
Frutas	Compuesto por restos de frutas como: cascara de manzana, durazno, piña, sandía, mandarina, naranja, etc.	Frutas de corte (piña y sandía)	10 %

#### 4.2 Caracterización de los residuos orgánicos crudos triturados

Caracterización de algunos parámetros de campo obteniendo los siguientes resultados

**Tabla 7**

*pH y Conductividad eléctrica de los residuos orgánicos triturados*

Tipo	Código	pH (1:1)	Prom pH (1:1)	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Prom CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
Residuos orgánicos crudos triturados	ROT - 1	4,88	4,71	1205,00	1811,67
	ROT - 2	4,59		1360,52	
	ROT - 3	4,65		1390,60	

El pH inicial de los residuos orgánicos triturados es en promedio 4,71 moderadamente a ligeramente ácido, está influenciado por el tipo de desechos orgánicos, normalmente los residuos orgánicos crudos son ligeramente ácidos. La conductividad eléctrica de 1811,67  $\mu\text{S}/\text{cm}$  indica la presencia de sales solubles en baja concentración.

**Tabla 8***Humedad y ceniza de los residuos orgánicos triturados*

Tipo	Código	H° (%)	Prom H° (%)	(Kb)	Biodegradabilidad (Kb)
Residuos orgánicos crudos triturados	ROT - 1	84,8		0,17	
	ROT - 2	85,4	85,5	0,14	0,17
	ROT - 3	86,3		0,22	

Por otra parte, la humedad inicial de los residuos orgánicos es alta, debido a la trituración y liberación de líquido con un promedio del 85,5 % de humedad y un promedio de índice de biodegradabilidad de 0,17.

### 4.3 Caracterización del agente estructurante *Schoenoplectus tatora*

Las características del agente estructurante triturado *Schoenoplectus tatora* se detallan a continuación:

#### 4.3.1 Parámetros químicos

**Tabla 9**

*Caracterización de parámetros químicos de la totora (Schoenoplectus tatora)*

Tratamientos	Código	pH (1:1)	Prom pH (1:1)	CE (μS/cm)	Prom CE (μS/cm)	CENIZA (%)	Prom CENIZA (%)
Totora triturada <i>Schoenoplectus tatora</i>	TT - 1	8,48		1785		124	
	TT - 2	8,54	8,55	1800	1811,67	125	123 %
	TT - 3	8,63		1850		120	

La totora (*Schoenoplectus tatora*) posee un pH de 8,55 ligeramente alcalino y una conductividad de 1811,67 considerado ligeramente salino, y un contenido de ceniza de 123 %.

#### 4.3.2 Análisis Foliar de la Totora

**Tabla 10**

*Análisis foliar de la totora (Schoenoplectus tatora)*

N. Lab.	Código	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	S %	Na %	Zn ppm	Cu ppm	Mn ppm	Fe ppm	B ppm	M.S. %	C %
3617	TT	1,05	0,10	1,09	0,49	0,07	0,35	0,07	24	6	1905	325	33	86,12	52,28

En relación al análisis foliar de la totora (*Schoenoplectus tatora*) posee un alto contenido de Carbono (C) con un valor de 52,28 % y nitrógeno (N) con 1,05 % además, de presentar contenido de macroelementos y microelementos en cantidades menores, siendo los más resaltantes el contenido de potasio (K) con 1,09 % y Manganeseo (Mn) con 1905 ppm.

### 4.3.3 Densidad Aparente (DA)

**Tabla 11**

*Densidad Aparente (DA) de la totora (Schoenoplectus tatora)*

Tratamientos	Código	Wb	Wbw	Wbc	Densidad Aparente (DA) (kg/m <sup>3</sup> )	Prom DA <i>Schoenoplectus tatora</i> (kg/m <sup>3</sup> )
Totora triturada <i>Schoenoplectus tatora</i>	DA TT-1	119	2610	255	54,60	54,6
	DA TT-2	119	2610	256	55,00	
	DA TT-3	119	2610	254	54,20	

Los resultados de densidad aparente (DA) de la totora triturada fue en promedio de 54,6 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.3.4 Espacios Libres de Aire (FAS)

**Tabla 12**

*Espacios Libres de Aire (FAS) de la totora (Schoenoplectus tatora)*

Tratamientos	Código	Wb Peso del balde	Wbw Peso del balde con agua	Wbc Peso del balde con <i>Totora</i> <i>triturada</i>	Wbcw Peso del balde con <i>Totora</i> <i>triturada</i> + agua	Espacios Libres de Aire (FAS) (%)	Prom Espacios Libres de Aire (FAS) (%)
Totora triturada <i>Schoenoplectus tatora</i>	FAS TT-1	119	2610	255	2266	80,73 %	80,77 %
	FAS TT-2	119	2610	256	2270	80,85 %	
	FAS TT-3	119	2610	254	2265	80,73 %	

Los resultados de Espacios Libres de Aire (FAS) de la totora triturada fue en promedio de 80,77 %, siendo este un valor muy aceptable para su uso como agente estructurante.

### 4.3.5 Capacidad de Absorción de agua (WAC)

**Tabla 13**

*Capacidad de Absorción de agua (WAC) de la totora (Schoenoplectus tatora)*

Tratamientos	Código	Wab Muestra húmeda	Wdry Muestra seca	Capacidad de absorción de agua (WAC)	Prom WAC <i>Schoenoplectus tatora</i>
Totora triturada <i>Schoenoplectus tatora</i>	WAC TT-1	10	4,91	103,67 %	103,53 %
	WAC TT-2	10	4,92	103,25 %	
	WAC TT-3	10	4,91	103,67 %	

En relación a la Capacidad de Absorción de agua (WAC) de la totora (*Schoenoplectus tatora*), este posee una alta capacidad de absorción de agua con un valor de 103,53 %, por lo que es ideal para regulación de humedad y/o lixiviados del proceso de compostaje.

## 4.4 Caracterización de sustratos iniciales

A continuación, se detalla los resultados obtenidos a raíz de la caracterización de los sustratos iniciales para el proceso de compostaje.

### 4.4.1 Análisis especial de C/N

En la tabla 14, se muestran los resultados de Análisis especial de C/N en sustratos iniciales del proceso de experimentación, siendo el sustrato del tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) el que mayor relación de C/N con 20,83, seguido de T2 (ROT + 5 % TT) y T4 (ROT + 9

% TT) con un valor de 19,62 y 18,90 y finalmente el tratamiento T3 (ROT + 7 % TT) con un valor de 14,32. Además, la relación C/N del sustrato inicial presenta una correlación positiva considerable en relación al tiempo de compostaje con un valor de 0,711.

**Tabla 14**

*Análisis especial de C/N en sustratos iniciales*

Tratamientos	Código	N (%)	Prom N (%)	C (%)	Prom C (%)	Relación C/N	Prom C/N
T1 (ROT + 3 % TT)	ROT+T T1-1	2,14	2,17	43,67	45,11	20,43	20,83
	ROT+T T1-2	2,17		45,73		21,03	
	ROT+T T1-3	2,18		45,93		21,03	
T2 (ROT + 5 % TT)	ROT+T T2-1	2,00	2,04	40,21	40,00	20,13	19,62
	ROT+T T2-2	1,95		38,74		19,86	
	ROT+T T2-3	2,18		41,07		18,88	
T3 (ROT + 7 % TT)	ROT+T T3-1	3,07	3,04	43,43	43,48	14,14	14,32
	ROT+T T3-2	3,00		42,91		14,32	
	ROT+T T3-3	3,04		44,10		14,49	
T4 (ROT + 9 % TT)	ROT+T T4-1	2,27	2,38	43,30	44,91	19,05	18,90
	ROT+T T4-2	2,32		44,15		19,00	
	ROT+T T4-3	2,53		47,27		18,65	

Los resultados de Análisis especial de C/N en sustratos iniciales fueron significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos y estadísticamente similares los tratamientos T2 (ROT + 5 % TT) y T4 (ROT + 9 % TT) (Ver tabla 16), siendo el tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) el mejor tratamiento con una media C/N de 20,83. El informe de ensayo del análisis especial de C/N se detalla en el Anexo 2, 3, 4 y 5.

**Tabla 15***Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) Análisis especial de C/N en sustratos iniciales*

Parámetro	Tratamientos	N	Media	Agrupación	
Análisis especial de C/N en sustratos iniciales	T1 (ROT + 3 % TT)	3	20,830	A	
	T2 (ROT + 5 % TT)	3	19,623		B
	T4 (ROT + 9 % TT)	3	18,900		B
	T3 (ROT + 7 % TT)	3	14,317		C

**4.4.2 Densidad Aparente (DA) de sustratos iniciales**

En la tabla 16, se muestran los resultados de Densidad Aparente (DA) de sustratos iniciales del proceso de experimentación, siendo el sustrato del tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) el que mayor densidad aparente con  $511,04 \text{ kg/m}^3$ , seguido del tratamiento T2 (ROT + 5 % TT) con  $452,03 \text{ kg/m}^3$ , seguido de T3 (ROT + 7 % TT) con un valor de  $426,74 \text{ kg/m}^3$ , y finalmente el tratamiento T4 (ROT + 9 % TT) con un valor de  $366,12 \text{ kg/m}^3$ . La Densidad Aparente (DA) de sustratos iniciales presenta una correlación negativa fuerte de  $-0,999$  en relación al FAS Sustrato inicial (%), lo que significa que la FAS influye negativamente en la Densidad Aparente (DA) aparente del sustrato inicial.

**Tabla 16***Densidad Aparente (DA) de sustratos iniciales ROT + TT*

Tratamientos	Código	Wb Peso del balde	Web Peso del balde con agua	Wbc Peso del balde con sustrato inicial	Densidad Aparente (DA) (kg/m <sup>3</sup> )	Prom DA Sustrato Inicial (kg/m <sup>3</sup> )
T1 (ROT + 3 % TT)	DA SI T1-1	119	2610	1392	511,04	511,04
	DA SI T1-2	119	2610	1395	512,24	
	DA SI T1-3	119	2610	1389	509,84	
T2 (ROT + 5 % TT)	DA SI T2-1	119	2610	1245	452,03	452,03
	DA SI T2-2	119	2610	1241	450,42	
	DA SI T2-3	119	2610	1249	453,63	
T3 (ROT + 7 % TT)	DA SI T3-1	119	2610	1182	426,74	426,74
	DA SI T3-2	119	2610	1180	425,93	
	DA SI T3-3	119	2610	1184	427,54	
T4 (ROT + 9 % TT)	DA SI T4-1	119	2610	1031	366,12	366,12
	DA SI T4-2	119	2610	1029	365,32	
	DA SI T4-3	119	2610	1033	366,92	

Los resultados de Densidad Aparente (DA) de sustratos iniciales fueron significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos (Ver tabla 17), siendo el tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) el que mayor densidad aparente con una media de 511,04 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 17**

*Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) Análisis de densidad Aparente (DA) de sustratos iniciales*

Parámetro	Tratamientos	N	Media	Agrupación	
Densidad Aparente (DA) de sustratos iniciales	T1 (ROT + 3 % TT)	3	511,040	A	
	T2 (ROT + 5 % TT)	3	452,027		B
	T3 (ROT + 7 % TT)	3	426,737		C
	T4 (ROT + 9 % TT)	3	366,120		D

#### 4.4.3 Espacios Libres de Aire (FAS) de sustratos iniciales

En la tabla 18, se muestran los resultados de Espacios Libres de Aire (FAS) de sustratos iniciales del proceso de experimentación, siendo el sustrato del tratamiento T4 (ROT + 9 % TT) el que mayor contenido de espacios de aire libre (FAS) con 64,87 %, seguido del tratamiento T3 (ROT + 7 % TT) con 58,42 %, seguido de T2 (ROT + 5 % TT) con un valor de 55,44 %, y finalmente el tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) con un valor de 49,22 %. Los Espacios Libres de Aire (FAS) sustrato inicial (%) presentan una correlación negativa fuerte de -0,935 en relación la H° inicial (%), lo que significa que la humedad reduce los espacios de aire libre presentes en el sustrato inicial.

**Tabla 18***Espacios Libres de Aire (FAS) de sustratos iniciales ROT + TT*

Tratamientos	Código	Wb Peso del balde	Wbw Peso del balde con agua	Wbc Peso del balde con compost	Wbcw Peso del compost + Agua	Espacios Libres de Aire (FAS)	Prom FAS Sustrato Inicial
T1 (ROT + 3 % TT)	FAS SI T1-1	119	2610	1392	2621	49,34	49,19
	FAS SI T1-2	119	2610	1390	2616	49,22	
	FAS SI T1-3	119	2610	1394	2615	49,02	
T2 (ROT + 5 % TT)	FAS SI T2-1	119	2610	1245	2626	55,44	55,31
	FAS SI T2-2	119	2610	1243	2620	55,28	
	FAS SI T2-3	119	2610	1247	2622	55,20	
T3 (ROT + 7 % TT)	FAS SI T3-1	119	2610	1182	2635	58,33	58,42
	FAS SI T3-2	119	2610	1180	2638	58,53	
	FAS SI T3-3	119	2610	1184	2639	58,41	
T4 (ROT + 9 % TT)	FAS SI T4-1	119	2610	1031	2647	64,87	64,86
	FAS SI T4-2	119	2610	1028	2641	64,75	
	FAS SI T4-3	119	2610	1034	2652	64,95	

Los resultados de Espacios Libres de Aire (FAS) de sustratos iniciales fueron significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos (Ver tabla 19), siendo el tratamiento T4 (ROT + 9 % TT) el mejor tratamiento con un valor de 64,86 % de espacio de aire libre.

**Tabla 19**

*Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) Análisis de Espacios Libres de Aire (FAS) de sustratos iniciales*

Parámetro	Tratamientos	N	Media	Agrupación
Espacios Libres de Aire (FAS) de sustratos iniciales	T4 (ROT + 9 % TT)	3	64,8602	A
	T3 (ROT + 7 % TT)	3	58,4237	B
	T2 (ROT + 5 % TT)	3	55,3058	C
	T1 (ROT + 3 % TT)	3	49,1904	D

#### **4.5 Evaluación de los parámetros de campo del proceso de Compostaje**

##### **4.5.1 Comportamiento de la Temperatura en los diferentes tratamientos**

En el Anexo 6, 7, 8 y 9, se muestran los resultados del comportamiento de la temperatura a lo largo del proceso de experimentación, siendo el tratamiento T3 (ROT + 7 % TT) y T4 (ROT + 9 % TT) los que mayor temperatura alcanzaron con 49,70 y 48,59 °C, seguido del tratamiento T2 (ROT + 5 % TT) con 44,55 °C y finalmente el tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) con un valor de 37,37 °C.

Los resultados de Análisis de temperatura máxima fueron significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos y estadísticamente similares los tratamientos (Ver tabla 21), siendo el tratamiento T3 (ROT + 7 % TT) y T4 (ROT + 9 % TT) el mejor tratamiento con una temperatura máxima de 49,70 y 48,59 °C respectivamente. El detalle de comportamiento de la temperatura se detalla en el Anexo 6, 7, 8 y 9.

**Tabla 20**

*Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) Análisis de la temperatura máxima alcanzada ( $^{\circ}\text{C}$ )*

Parámetro	Tratamientos	N	Media		Agrupación
Temperatura máxima $^{\circ}\text{C}$	T3 (ROT + 7 % TT)	3	49,704	A	
	T4 (ROT + 9 % TT)	3	48,593	A	
	T2 (ROT + 5 % TT)	3	44,556		B
	T1 (ROT + 3 % TT)	3	37,370		C

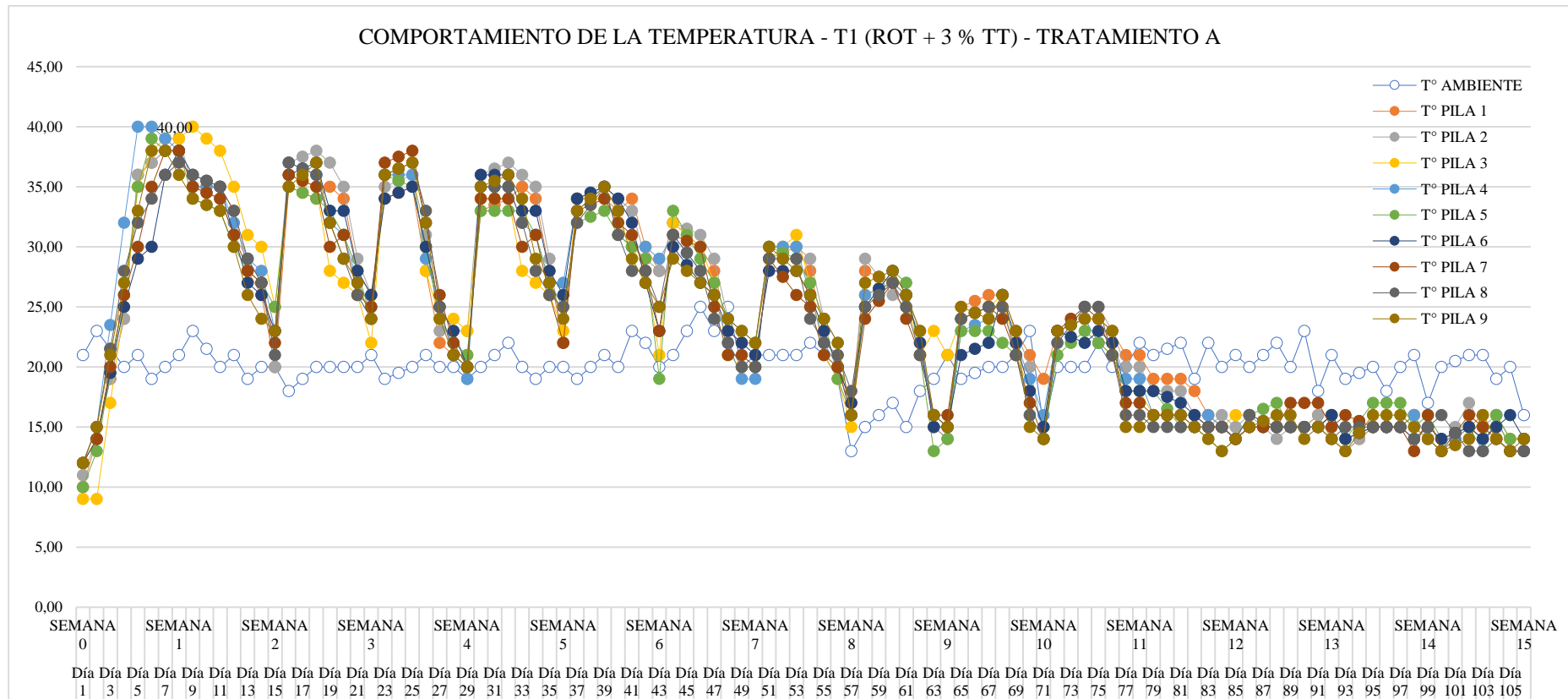
En el Anexo 6, se muestran los resultados del tiempo de compostaje a lo largo del proceso de experimentación, siendo el tratamiento T3 (ROT + 7 % TT) y T4 (ROT + 9 % TT) los que menor tiempo de compostaje tuvieron con 71 días equivalente a 10 semanas, seguido del tratamiento T2 (ROT + 5 % TT) con 85 días equivalente a 12 semanas y finalmente el tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) con 106 días equivalente a 15 semanas. El tiempo de compostaje presenta una correlación positiva fuerte en DA Sustrato inicial ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) con un valor de 0,907, una correlación positiva considerable en relación al Kb Compost con un valor de 0,879, seguido de la  $\text{H}^{\circ}$  inicial (%) con un valor de 0,786 y finalmente la relación C/N del sustrato inicial con un valor de 0,711, otro factor que tiene influencia negativa en el tiempo de compostaje es FAS sustrato inicial (%) con una correlación negativa fuerte de -0,909; Por consiguiente podemos afirmar que parámetros como DA sustrato inicial ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), Kb Compost,  $\text{N}^{\circ}$  inicial (%) y la relación C/N del sustrato inicial influye en el tiempo de compostaje.

Los resultados de Análisis de temperatura máxima fueron significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos y estadísticamente similares los tratamientos T3 (ROT + 7 % TT) y T4 (ROT + 9 % TT) (Ver tabla 22), siendo el tratamiento T3 (ROT + 7 % TT) y T4 (ROT + 9 % TT) los que menor tiempo de compostaje tuvieron con 71 días equivalente a 10 semanas.

**Tabla 21**

*Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) Análisis del tiempo de compostaje (Días)*

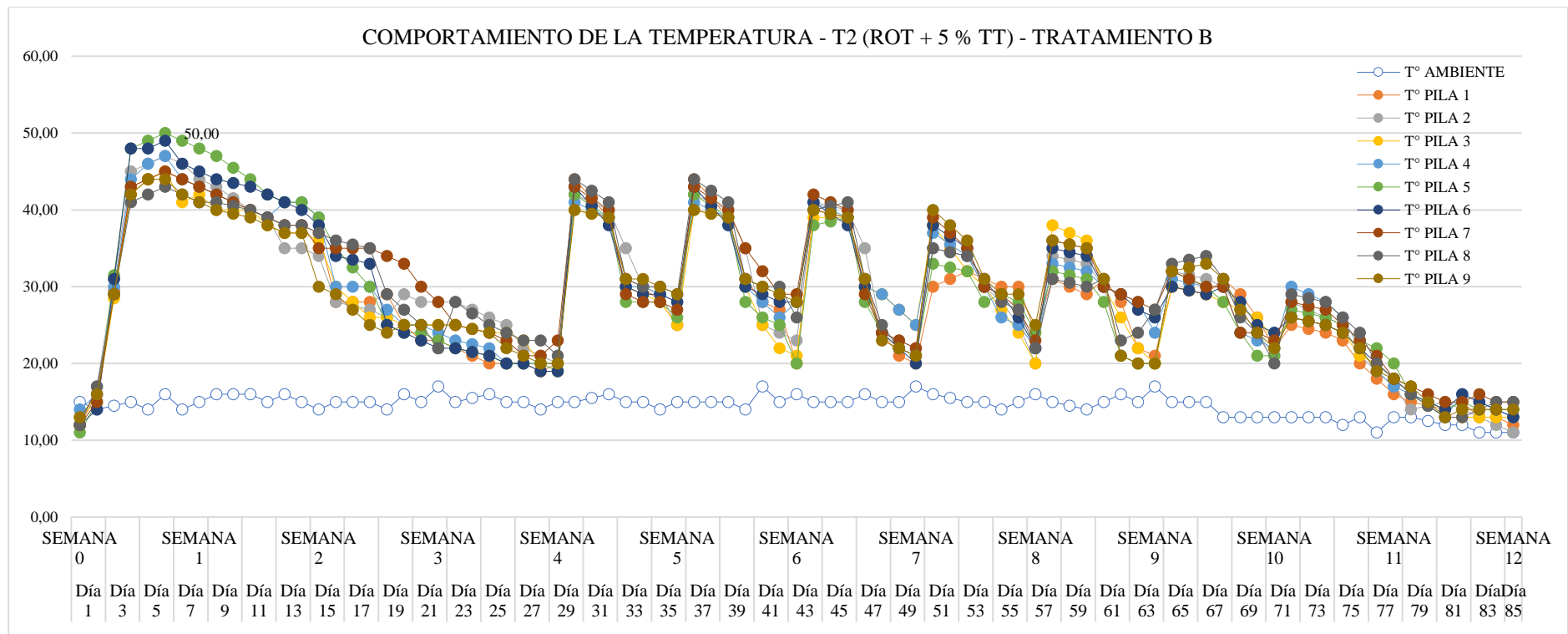
Parámetro	Tratamientos	N	Media	Agrupación	
Tiempo de compostaje (Días)	T1 (ROT + 3 % TT)	3	106	A	
	T2 (ROT + 5 % TT)	3	85		B
	T3 (ROT + 7 % TT)	3	71		C
	T4 (ROT + 9 % TT)	3	71		C

**Figura 7***Comportamiento de la temperatura - T1 (ROT + 3 % TT)*

En relación al tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) la temperatura máxima alcanzada fue de 40,0 °C se tuvieron problemas en el incremento de la temperatura además de que fue necesario realizar 9 volteos para optimizar el compostaje, ya que la temperatura disminuía cada semana, el periodo para la finalización del compostaje fue de 106 días equivalente a 15 semanas.

**Figura 8**

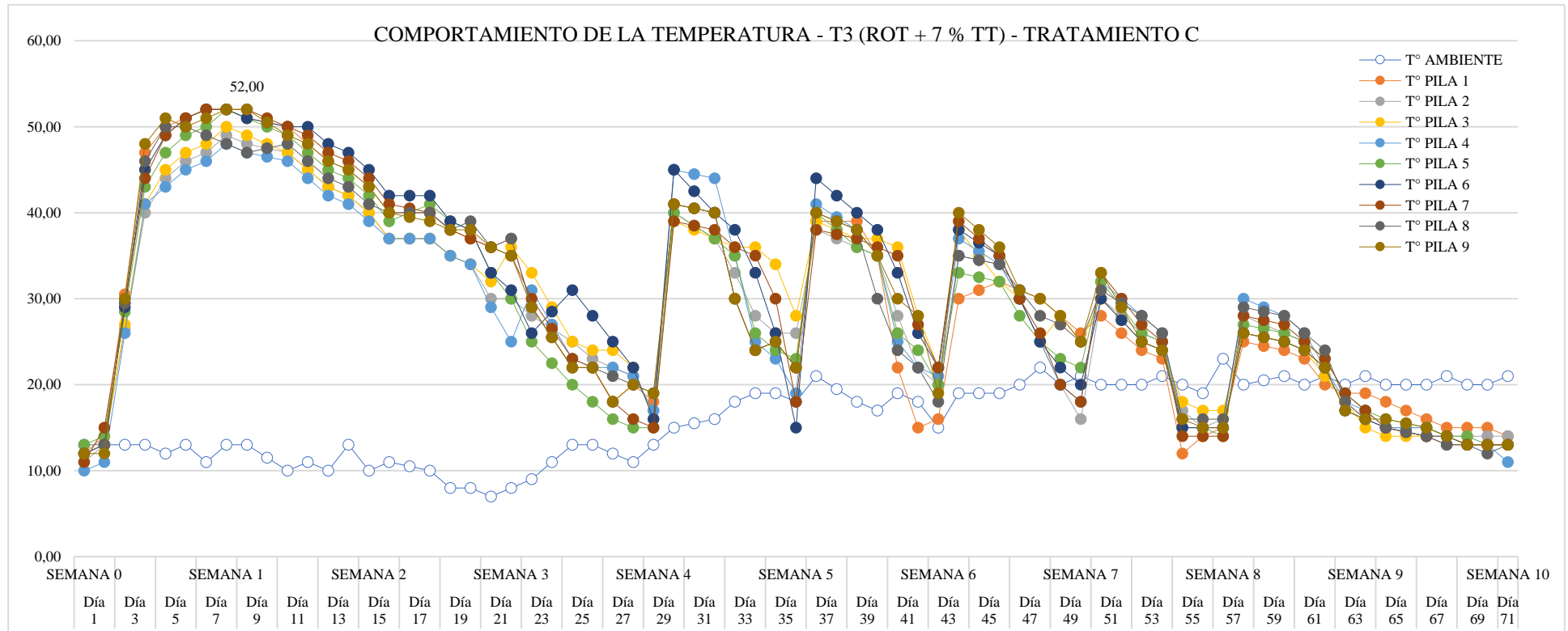
*Comportamiento de la temperatura – T2 (ROT + 5 % TT)*



En relación al tratamiento T2 (ROT + 5 % TT) la temperatura máxima alcanzada fue de 50,0 °C, fue necesario realizar 7 volteos para optimizar el compostaje, el periodo para la finalización del compostaje fue de 85 días, equivalente a 12 semanas.

**Figura 9**

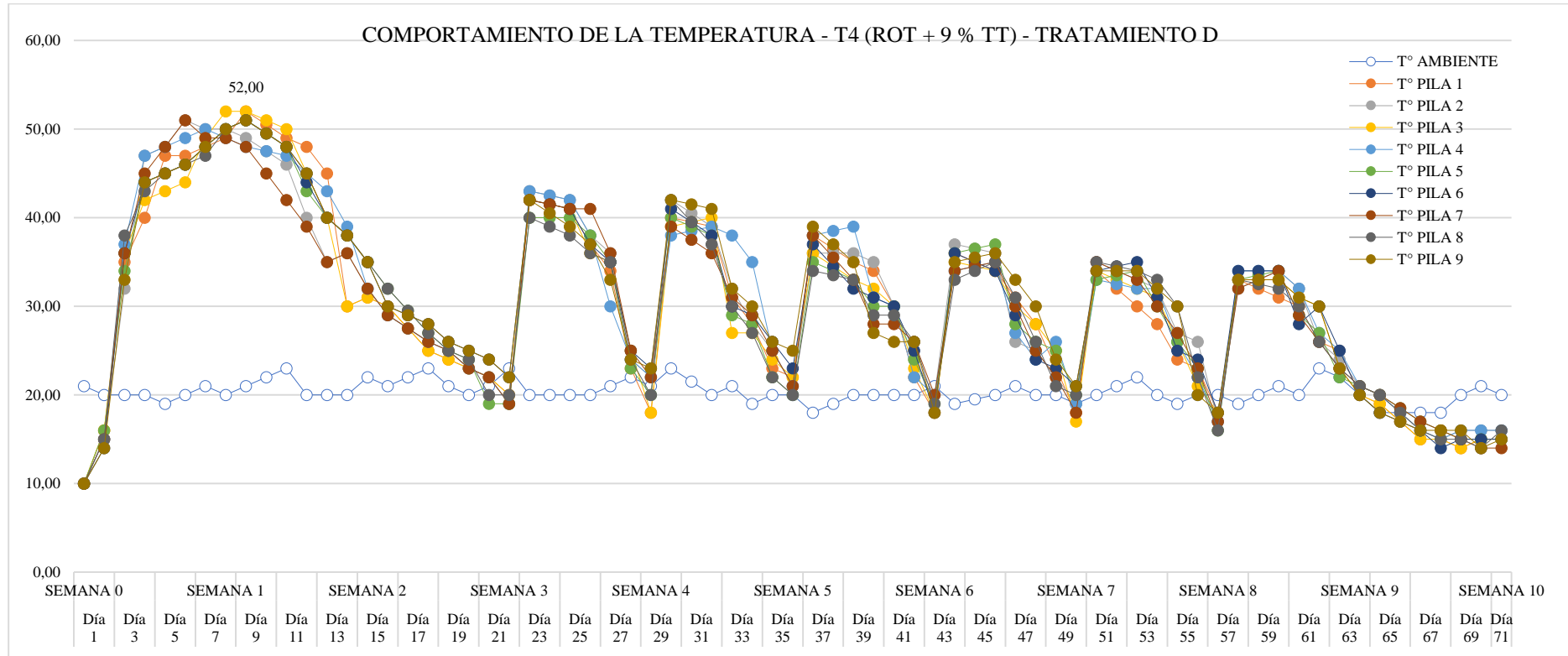
*Comportamiento de la temperatura - T3 (ROT + 7 % TT)*



En relación al tratamiento T3 (ROT + 7 % TT) la temperatura máxima alcanzada fue de 52,0 °C, fue necesario realizar 5 volteos para optimizar el compostaje, el periodo para la finalización del compostaje fue de 71 días, equivalente a 10 semanas.

**Figura 10**

Comportamiento de la temperatura - T4 (ROT + 9 % TT)



En relación al tratamiento T4 (ROT + 9 % TT) la temperatura máxima alcanzada fue de 52,0 °C, fue necesario realizar 6 volteos para optimizar el compostaje, el periodo para la finalización del compostaje fue de 71 días, equivalente a 10 semanas.

#### 4.5.2 Comportamiento de la Conductividad Eléctrica en los diferentes tratamientos

En el Anexo 10, 11, 12 y 13 se muestran los resultados del comportamiento de la conductividad eléctrica a lo largo del proceso de experimentación, siendo el tratamiento T2 (ROT + 5 % TT) 1549,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  el de mayor concentración en la etapa inicial y T1 (ROT + 3 % TT) en la etapa final con 2326,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Los resultados de Análisis de la Conductividad Eléctrica inicial y final fueron significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos y estadísticamente similares los tratamientos T2 (ROT + 5 % TT) y T1 (ROT + 3 % TT); T4 (ROT + 9 % TT) y T3 (ROT + 7 % TT) (Ver tabla 23 y 24), siendo el tratamiento T4 (ROT + 9 % TT) el mejor tratamiento en la etapa final. El detalle de comportamiento de la Conductividad Eléctrica se detalla en el Anexo 10, 11, 12 y 13.

**Tabla 22**

*Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) Análisis de la Conductividad Eléctrica inicial ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )*

Parámetro	Tratamientos	N	Media	Agrupación
Conductividad Eléctrica inicial	T2 (ROT + 5 % TT)	3	1549,6	A
	T1 (ROT + 3 % TT)	3	1380,0	A
	T4 (ROT + 9 % TT)	3	858,0	B
	T3 (ROT + 7 % TT)	3	717,2	B

**Tabla 23**

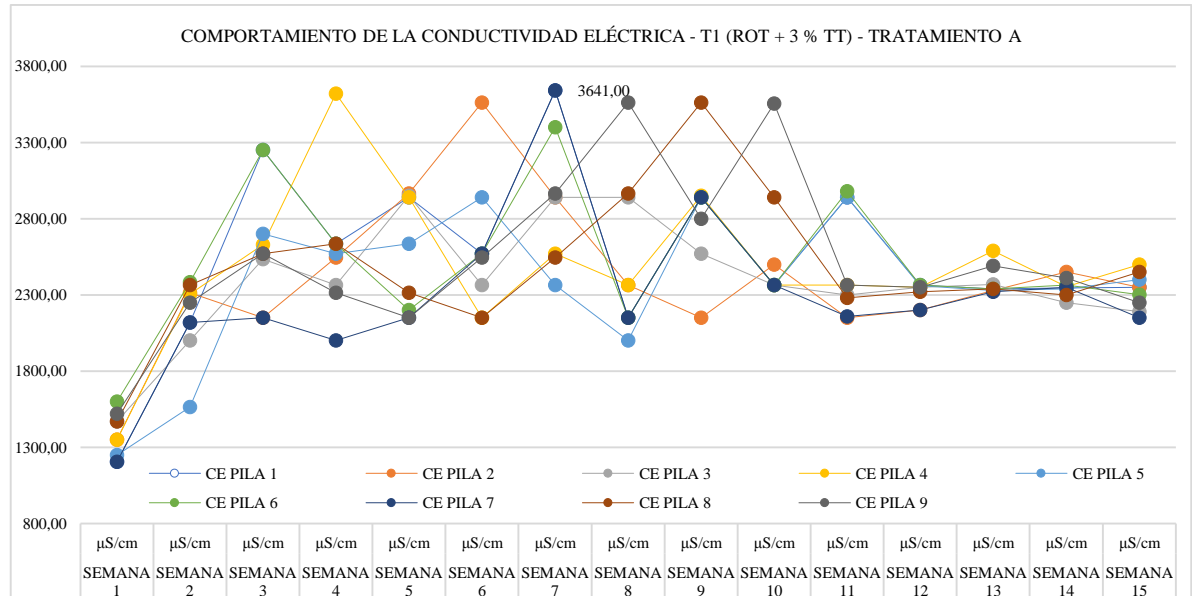
*Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) Análisis de la Conductividad Eléctrica final ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )*

Parámetro	Tratamientos	N	Media	Agrupación
Conductividad Eléctrica final	T1 (ROT + 3 % TT)	3	2326,9	A
	T2 (ROT + 5 % TT)	3	1329,8	B
	T3 (ROT + 7 % TT)	3	1284,3	B
	T4 (ROT + 9 % TT)	3	1270,0	B

*Figura 11. Comportamiento de la conductividad eléctrica - T1 (ROT + 3 % TT)*

**Figura 12**

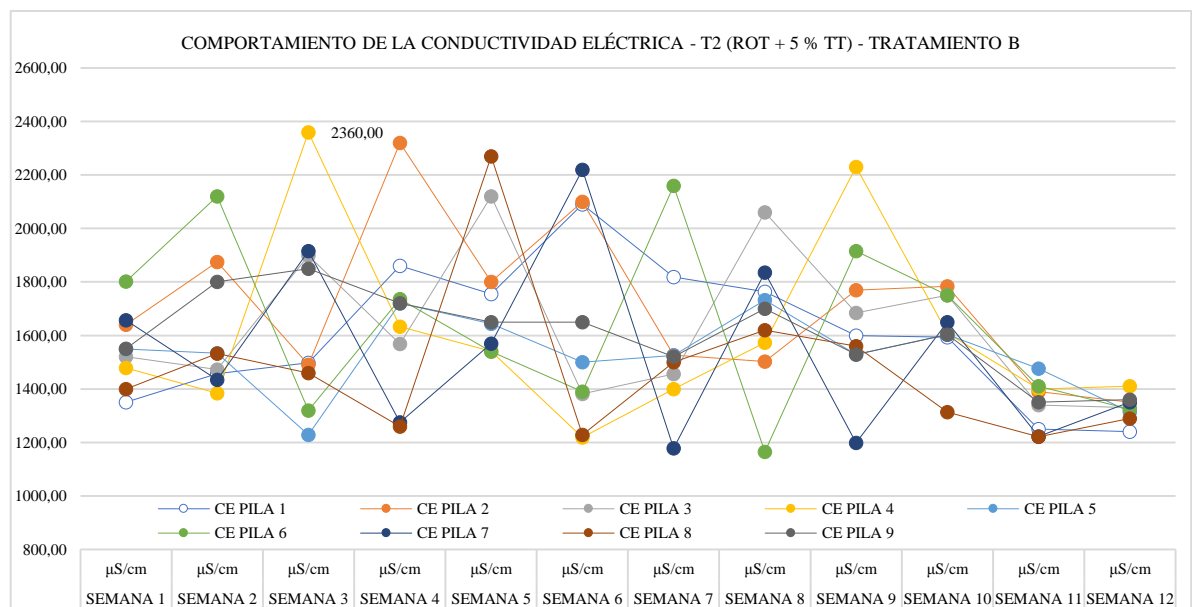
*Comportamiento de la conductividad eléctrica - T1 (ROT + 3 % TT)*



En relación al tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) la conductividad máxima alcanzada fue de 3641  $\mu\text{S/cm}$  el comportamiento de la conductividad es irregular aumentaron gradualmente, pero con fluctuaciones, como se evidencia en la figura, el periodo de evaluación de la CE en el T1, fue de 15 semanas.

**Figura 13**

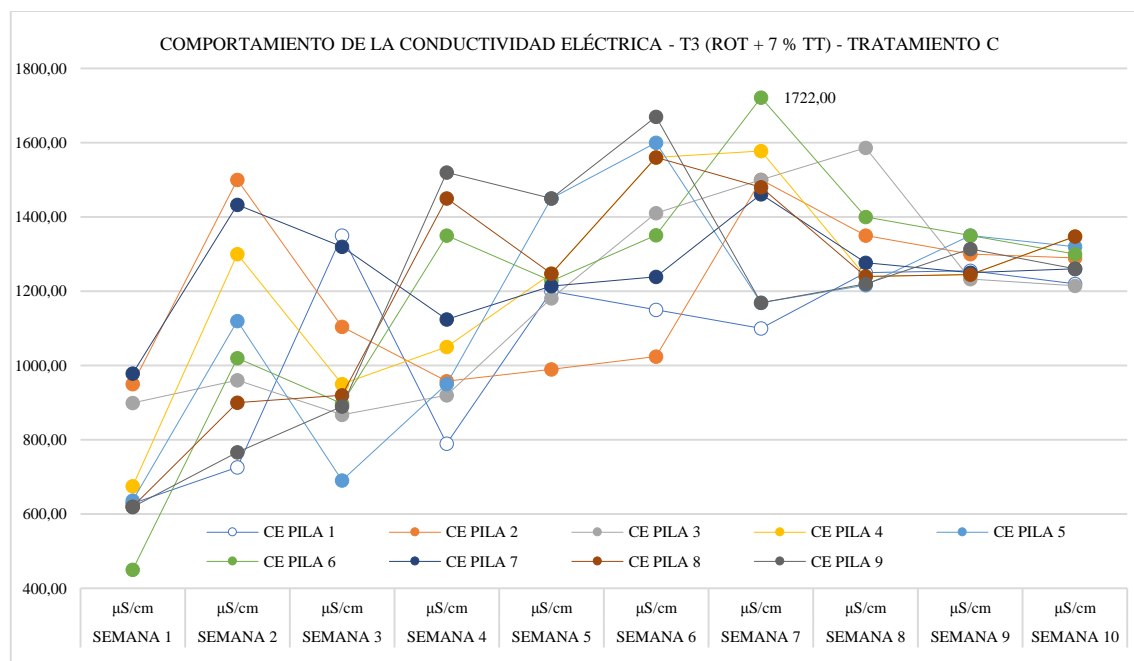
*Comportamiento de la conductividad eléctrica - T2 (ROT + 5 % TT)*



En relación al tratamiento T2 (ROT + 5 % TT) la conductividad máxima alcanzada fue de 2360  $\mu\text{S}/\text{cm}$  el comportamiento de la conductividad es irregular, aumentaron gradualmente, pero con fluctuaciones, como se evidencia en la figura, el periodo de evaluación de la CE en el T2, fue de 12 semanas.

**Figura 14**

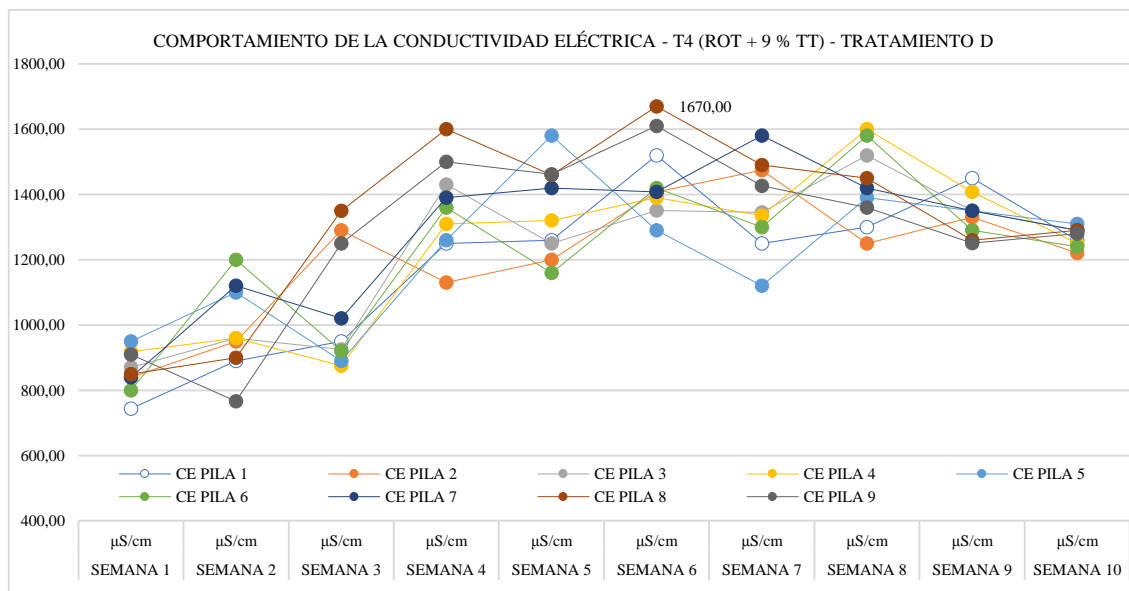
*Comportamiento de la conductividad eléctrica - T3 (ROT + 7 % TT)*



En relación al tratamiento T3 (ROT + 7 % TT) la conductividad máxima alcanzada fue de 1772  $\mu\text{S}/\text{cm}$  el comportamiento de la conductividad es irregular, aumentaron gradualmente, pero con fluctuaciones, como se evidencia en la figura, el periodo de evaluación de la CE en el T3, fue de 10 semanas.

**Figura 15**

*Comportamiento de la conductividad eléctrica - T4 (ROT + 9 % TT)*



En relación al tratamiento T4 (ROT + 9 % TT) la conductividad máxima alcanzada fue de 1670  $\mu\text{S}/\text{cm}$  el comportamiento de la conductividad es irregular, aumentaron gradualmente, pero con fluctuaciones, como se evidencia en la figura, el periodo de evaluación de la CE en el T4, fue de 10 semanas.

#### 4.5.3 Comportamiento de la Potencial de hidrógeno en los diferentes tratamientos

En el Anexo 14, 15, 16 y 17 se muestran los resultados del comportamiento del potencial de hidrógeno a lo largo del proceso de experimentación, siendo el tratamiento con valores iniciales más altos el T3 (ROT + 7 % TT), T2 (ROT + 5 % TT) y T4 (ROT + 9 % TT) con pH de 5,667, 5,640 y 5,537 respectivamente en la etapa inicial y T4 (ROT + 9 % TT) en la etapa final con 9,950.

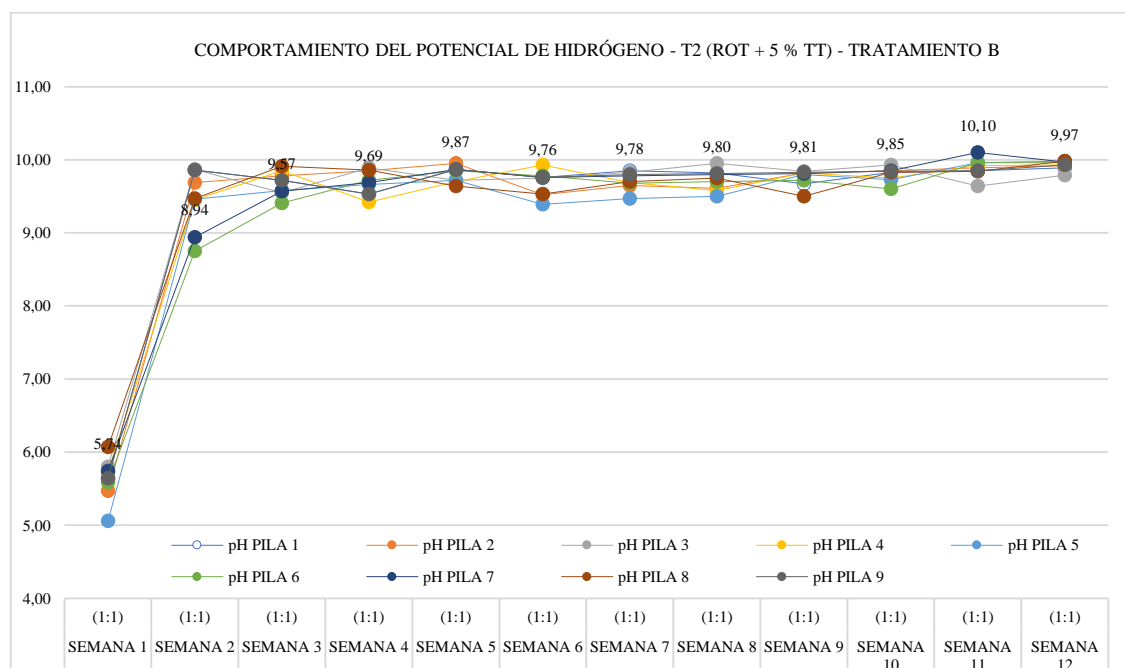
Los resultados de Análisis de potencial de hidrógeno inicial y final fueron significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos y estadísticamente similares (Ver tabla 24 y 25). El detalle de comportamiento de la potencial de hidrógeno se detalla en el Anexo 14, 15, 16 y 17.



En relación al tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) el potencial de hidrógeno inicial fue en promedio 5,01; posterior a la semana 2 aumentaron gradualmente, pero con fluctuaciones como se evidencia en la figura, el periodo de evaluación de la pH en el T1 fue de 15 semanas; el valor de pH final fue en promedio 9,25.

### Figura 17

*Comportamiento del potencial de hidrógeno - T2 (ROT + 5 % TT)*



En relación al tratamiento T2 (ROT + 5 % TT) el potencial de hidrógeno inicial fue en promedio 5,64; posterior a la semana 2 aumentaron gradualmente, pero con fluctuaciones como se evidencia en la figura, el periodo de evaluación de la pH en el T2 fue de 12 semanas; el valor de pH final fue en promedio 9,91.



En relación al tratamiento T4 (ROT + 9 % TT) el potencial de hidrógeno inicial fue entre promedio 5,53; posterior a la semana 2 aumentaron gradualmente, pero con fluctuaciones como se evidencia en la figura, el periodo de evaluación de la pH en el T4 fue de 10 semanas; el valor de pH final fue en promedio 9,95.

#### 4.5.4 Comportamiento de la humedad en los diferentes tratamientos

En el Anexo 18, 19, 20 y 21 se muestran los resultados del comportamiento de la humedad a lo largo del proceso de experimentación, siendo el tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) con 82,69 % el de mayor concentración de humedad en la etapa inicial y T2 (ROT + 5 % TT) con 61,567 % de humedad en la etapa final.

Los resultados de Análisis de Humedad inicial y final fueron significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos y estadísticamente diferente en todos los tratamientos (Ver tabla 27), siendo el tratamiento T3 (ROT + 7 % TT) y T4 (ROT + 9 % TT) el mejor tratamiento en la etapa inicial con una humedad de 67,31 y 75,41 % ideal para el proceso de compostaje. El detalle de comportamiento de la Humedad se detalla en el Anexo 18, 19, 20 y 21.

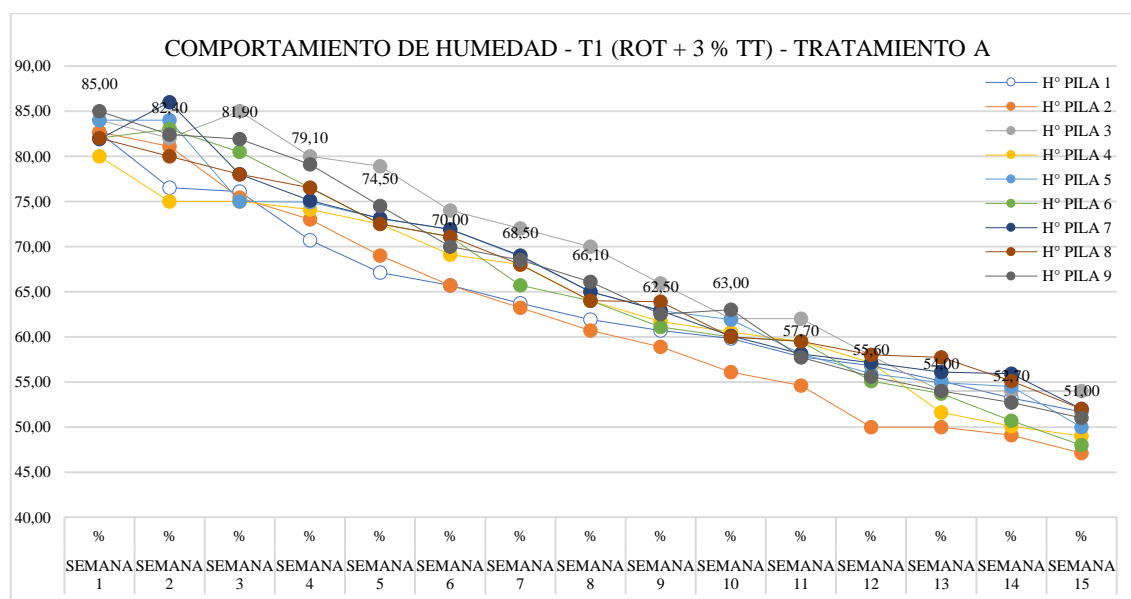
**Tabla 26**

*Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) Análisis de la humedad inicial (%)*

Parámetro	Tratamientos	N	Media	Agrupación	
Humedad inicial (%)	T1 (ROT + 3 % TT)	3	82,69	A	
	T2 (ROT + 5 % TT)	3	79,53	A	B
	T3 (ROT + 7 % TT)	3	75,41		B
	T4 (ROT + 9 % TT)	3	67,31		C

**Tabla 27**Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) Análisis de la humedad final (%)

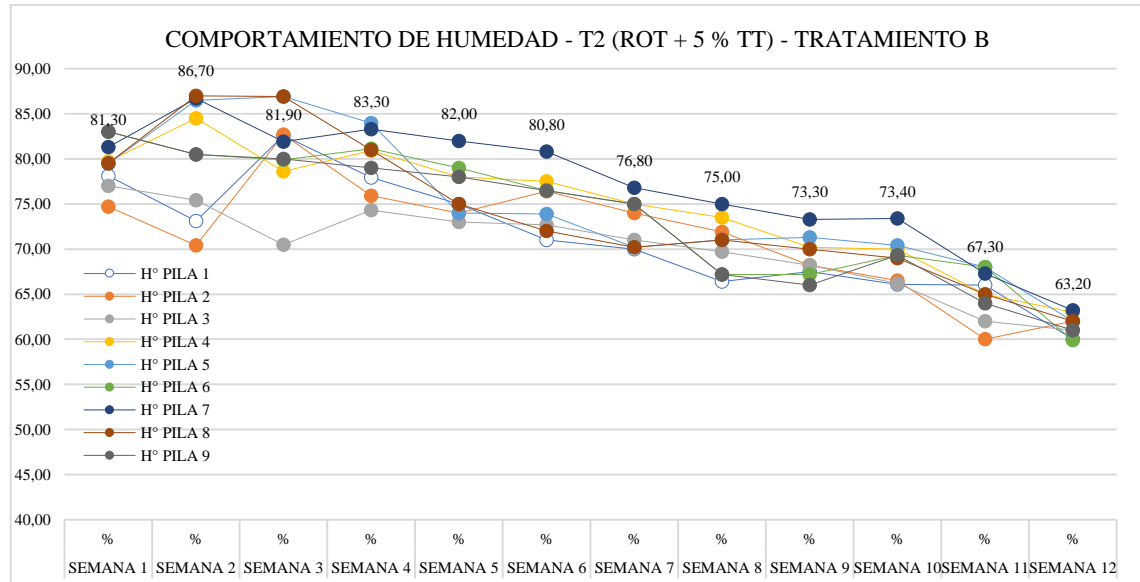
Parámetro	Tratamientos	N	Media	Agrupación
Humedad final (%)	T2 (ROT + 5 % TT)	3	61,567	A
	T3 (ROT + 7 % TT)	3	58,523	A
	T1 (ROT + 3 % TT)	3	50,353	B
	T4 (ROT + 9 % TT)	3	46,567	C

**Figura 20***Comportamiento de humedad - T1 (ROT + 3 % TT)*

En relación al tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) la humedad inicial fue en promedio 82,69 %; posterior y de forma gradual con fluctuaciones comenzaron a descender como se evidencia en la figura, el periodo de evaluación de la H° en el T1 fue de 15 semanas; el valor de humedad final fue en promedio 50,35 %.

**Figura 21**

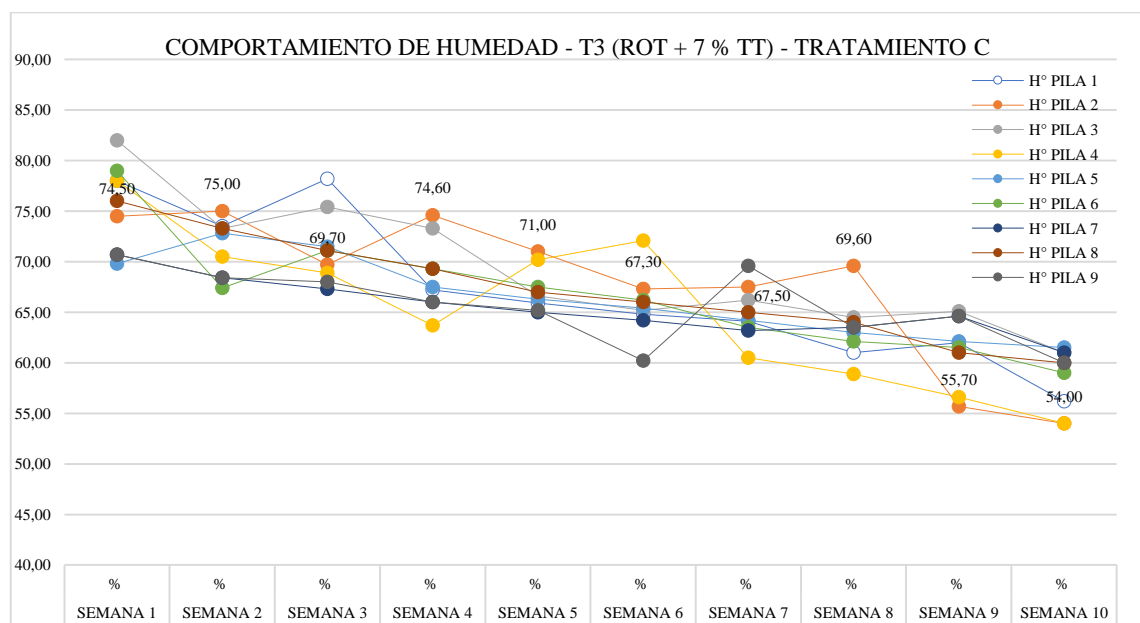
*Comportamiento de humedad - T2 (ROT + 5 % TT)*



En relación al tratamiento T2 (ROT + 5 % TT) la humedad inicial fue en promedio 79,63 %; posterior y de forma gradual con fluctuaciones comenzaron a descender como se evidencia en la figura, el periodo de evaluación de la H° en el T2 fue de 12 semanas; el valor de humedad final fue en promedio 61,56 %.

**Figura 22**

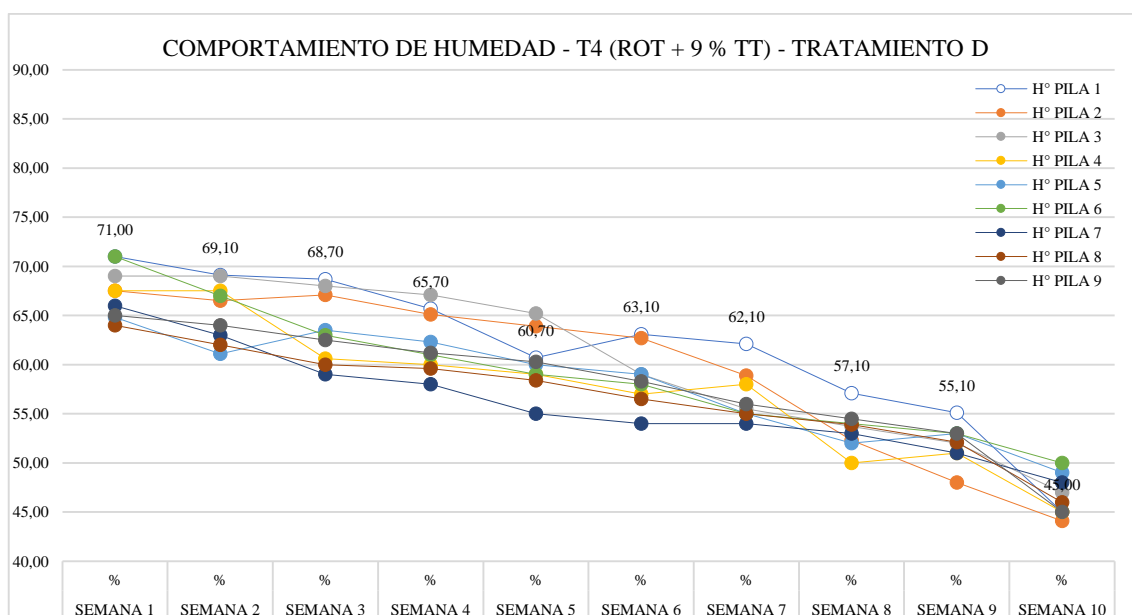
*Comportamiento de humedad - T3 (ROT + 7 % TT)*



En relación al tratamiento T3 (ROT + 7 % TT) la humedad inicial fue en promedio 75,41 %; posterior y de forma gradual con fluctuaciones comenzaron a descender como se evidencia en la figura, el periodo de evaluación de la H° en el T3 fue de 10 semanas; el valor de humedad final fue en promedio 58,52 %.

**Figura 23**

*Comportamiento de humedad - T4 (ROT + 9 % TT)*



En relación al tratamiento T4 (ROT + 9 % TT) la humedad inicial fue en promedio 67,31 %; posterior y de forma gradual con fluctuaciones comenzaron a descender como se evidencia en la figura, el periodo de evaluación de la H° en el T4 fue de 10 semanas; el valor de humedad final fue en promedio 46,56 %.

#### 4.5.5 Comportamiento de la Biodegradabilidad en los diferentes tratamientos

En la tabla 28, se muestran los resultados de Coeficiente de Biodegradabilidad (Kb) del proceso de experimentación, siendo el sustrato del tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) el que mejor coeficiente de degradabilidad presento con 0,13, seguido del tratamiento T2 (ROT + 5 % TT) con un coeficiente de degradabilidad -0,03, seguido de T3 (ROT + 7 % TT) con un valor de -0,24, y finalmente el tratamiento T4 (ROT + 9 % TT) con un valor de -0,49.

**Tabla 28**

Coeficiente de Biodegradabilidad (Kb) de los diferentes tratamientos

Tratamientos	Código	Ceniza Inicial (Ci)	Ceniza Final (Cf)	Coeficiente de Biodegradabilidad (Kb)	Prom Coeficiente de Biodegradabilidad (Kb)
T1 (ROT + 3 % TT)	D T1-1	71,00	73,80	0,13	0,13
	D T1-2	71,50	73,90	0,11	
	D T1-3	71,20	74,00	0,13	
T2 (ROT + 5 % TT)	D T2-1	72,90	72,60	-0,02	-0,03
	D T2-2	73,10	72,80	-0,02	
	D T2-3	73,50	72,50	-0,05	
T3 (ROT + 7 % TT)	D T3-1	75,90	71,60	-0,25	-0,24
	D T3-2	75,10	71,70	-0,19	
	D T3-3	76,00	71,40	-0,27	
T4 (ROT + 9 % TT)	D T4-1	77,90	70,00	-0,51	-0,49
	D T4-2	77,60	70,20	-0,47	
	D T4-3	78,00	70,30	-0,50	

Los resultados de Análisis del Coeficiente de Biodegradabilidad (Kb) fueron significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos (Ver tabla 29), siendo el tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) el mejor tratamiento con un coeficiente de degradabilidad de 0,13.

**Tabla 29**Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) Análisis del Coeficiente de Biodegradabilidad (Kb)

Parámetro	Tratamientos	N	Media	Agrupación
Coeficiente de degradabilidad	T1 (ROT + 3 % TT)	3	0,123	A
	T2 (ROT + 5 % TT)	3	-0,027	B
	T3 (ROT + 7 % TT)	3	-0,236	C
	T4 (ROT + 9 % TT)	3	-0,493	D

## 4.6 Evaluación de la calidad agronómica en los compost

### 4.6.1 Parámetros fisicoquímicos del compost obtenido

En la tabla 30, se muestran los resultados de análisis de Parámetros fisicoquímicos pH, CE y Humedad de las muestras de compost obtenido del proceso de experimentación, el valor de pH oscilo entre 9,24 y 9,47, en relación a la conductividad eléctrica este oscilo entre 17,68 a 20,69 dS/m y la humedad se encuentra en rangos de 33,70 % a 40,05 %.

**Tabla 30**

*Parámetros fisicoquímicos pH, CE y Humedad del compost final*

Tratamientos	Código	pH (1:1)	Prom pH	CE (dS/m)	Prom CE (dS/m)	Hd (%)	Prom Hd (%)
T1 (ROT + 3 % TT)	MC T1-1	9,50	9,4967	21,12	20,6933	38,89	38,8932
	MC T1-2	9,54		20,88		39,00	
	MC T1-3	9,45		20,08		38,79	
T2 (ROT + 5 % TT)	MC T2-1	9,07	9,0933	19,89	19,2567	33,86	33,7048
	MC T2-2	9,06		19,53		33,16	
	MC T2-3	9,15		18,35		34,09	
T3 (ROT + 7 % TT)	MC T3-1	9,24	9,2600	21,00	20,2767	39,17	40,0586
	MC T3-2	9,22		21,93		40,69	
	MC T3-3	9,32		17,90		40,32	
T4 (ROT + 9 % TT)	MC T4-1	9,20	9,2433	17,60	17,6867	37,04	37,3741
	MC T4-2	9,28		17,77		37,78	
	MC T4-3	9,25		17,69		37,31	

#### 4.6.2 Densidad aparente (DA) del compost obtenido

En la tabla 31, se muestran los resultados de Densidad Aparente (DA) del compost obtenido del proceso de experimentación, siendo el tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) el que mayor densidad aparente con 1105,58 kg/m<sup>3</sup>, seguido del tratamiento T2 (ROT + 5 % TT) con 1100,36 kg/m<sup>3</sup>, seguido de T3 (ROT + 7 % TT) con un valor de 1092,33 kg/m<sup>3</sup>, y finalmente el tratamiento T4 (ROT + 9 % TT) con un valor de 1088,32 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 31**

*Densidad Aparente (DA) del compost obtenido*

Tratamientos	Código	Wb Peso del balde	Wbw Peso del balde con agua	Wbc Peso del balde con sustrato inicial	Densidad Aparente (DA) (kg/m <sup>3</sup> )	Prom DA Compost final (kg/m <sup>3</sup> )
T1 (ROT + 3 % TT)	DA CF T1-1	119	2610	2873	1105,58	1105,58
	DA CF T1-2	119	2610	2876	1106,78	
	DA CF T1-3	119	2610	2870	1104,38	
T2 (ROT + 5 % TT)	DA CF T2-1	119	2610	2860	1100,36	1100,36
	DA CF T2-2	119	2610	2865	1102,37	
	DA CF T2-3	119	2610	2855	1098,35	
T3 (ROT + 7 % TT)	DA CF T3-1	119	2610	2840	1092,33	1092,33
	DA CF T3-2	119	2610	2843	1093,54	
	DA CF T3-3	119	2610	2837	1091,13	
T4 (ROT + 9 % TT)	DA CF T4-1	119	2610	2830	1088,32	1088,32
	DA CF T4-2	119	2610	2831	1088,72	
	DA CF T4-3	119	2610	2829	1087,92	

Los resultados de Densidad Aparente (DA) de sustratos iniciales fueron significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos (Ver tabla 32), siendo el tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) el que mayor densidad aparente con una media de 1105,58 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 32**

*Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) Análisis de densidad Aparente (DA) de compost obtenido*

Parámetro	Tratamientos	N	Media	Agrupación
Densidad Aparente (DA) de compost obtenido	T1 (ROT + 3 % TT)	3	1105,58	A
	T2 (ROT + 5 % TT)	3	1100,36	B
	T3 (ROT + 7 % TT)	3	1092,33	C
	T4 (ROT + 9 % TT)	3	1088,32	D

#### 4.6.3 Espacios Libres de Aire (FAS) del compost obtenido

En la tabla 33, se muestran los resultados de Espacios Libres de Aire (FAS) del compost obtenido del proceso de experimentación, siendo el sustrato del tratamiento T4 (ROT + 9 % TT) el que mayor contenido de espacios de aire libre (FAS) con 64,87 %, seguido del tratamiento T3 (ROT + 7 % TT) con 58,42 %, seguido de T2 (ROT + 5 % TT) con un valor de 55,44 %, y finalmente el tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) con un valor de 49,22 %.

**Tabla 33***Espacios Libres de Aire (FAS) del compost obtenido*

Tratamientos	Código	Wb Peso del balde	Web Peso del balde con agua	Wbc Peso del balde con compost	Wbcw Peso del compost + Agua	Espacios Libres de Aire (FAS)	Prom FAS Compost final
T1 (ROT + 3 % TT)	FAS CF T1-1	119	2610	813	2870	82,58	82,66
	FAS CF T1-2	119	2610	815	2875	82,70	
	FAS CF T1-3	119	2610	811	2871	82,70	
T2 (ROT + 5 % TT)	FAS CF T2-1	119	2610	756	2860	84,46	84,58
	FAS CF T2-2	119	2610	758	2865	84,58	
	FAS CF T2-3	119	2610	754	2864	84,70	
T3 (ROT + 7 % TT)	FAS CF T3-1	119	2610	666	2862	88,16	88,08
	FAS CF T3-2	119	2610	669	2863	88,08	
	FAS CF T3-3	119	2610	663	2855	88,00	
T4 (ROT + 9 % TT)	FAS CF T4-1	119	2610	630	2832	88,40	88,36
	FAS CF T4-2	119	2610	633	2834	88,36	
	FAS CF T4-3	119	2610	627	2827	88,32	

Los resultados de Espacios Libres de Aire (FAS) de sustratos iniciales fueron significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos (Ver tabla 33), siendo el tratamiento T4 (ROT + 9 % TT) el mejor tratamiento con un valor de 88,36 % de espacio de aire libre.

**Tabla 34**

*Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) Análisis de Espacios Libres de Aire (FAS) de sustratos iniciales*

Parámetro	Tratamientos	N	Media	Agrupación	
Espacios Libres de Aire (FAS) de sustratos iniciales	T4 (ROT + 9 % TT)	3	88,3581	A	
	T3 (ROT + 7 % TT)	3	88,0771		B
	T2 (ROT + 5 % TT)	3	84,5845		C
	T1 (ROT + 3 % TT)	3	82,6576		D

#### 4.6.4 Análisis especial de materia orgánica sólida C/N compost

En la tabla 35, se muestran los resultados de Análisis especial de C/N en muestras de compost obtenido, siendo el compost del tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) el que mayor relación de C/N con 11,81, seguido de T4 (ROT + 9 % TT) y T2 (ROT + 5 % TT) con un valor de 10,87 y 10,54 respectivamente, y finalmente el tratamiento T3 (ROT + 7 % TT) con un valor de 6,96.

**Tabla 35***Análisis especial de C/N del compost final*

Tratamientos	Código	N (%)	Prom N (%)	C (%)	Prom C (%)	Relación C/N	Prom C/N
T1 (ROT + 3 % TT)	MC T1-1	2,90		34,96		12,04	11,81
	MC T1-2	3,09	2,99	35,13	35,26	11,37	
	MC T1-3	2,97		35,70		12,03	
T2 (ROT + 5 % TT)	MC T2-1	2,99		31,35		10,50	10,54
	MC T2-2	2,95	2,99	32,09	31,46	10,88	
	MC T2-3	3,02		30,94		10,23	
T3 (ROT + 7 % TT)	MC T3-1	4,83		33,02		6,84	6,96
	MC T3-2	4,31	4,63	30,56	32,18	7,10	
	MC T3-3	4,75		32,94		6,93	
T4 (ROT + 9 % TT)	MC T4-1	2,95		32,08		10,88	10,87
	MC T4-2	2,99	2,96	31,98	32,13	10,71	
	MC T4-3	2,93		32,34		11,03	

Los resultados de Análisis especial de C/N del compost obtenido fueron significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos y estadísticamente similares los tratamientos T4 (ROT + 9 % TT) y T2 (ROT + 5 % TT) (Ver tabla 36), siendo el tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) el mejor tratamiento con una media C/N de 11,813. El informe de ensayo del análisis especial de C/N se detalla en el Anexo 22, 23, 24 y 25.

**Tabla 36***Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) Análisis especial de C/N en sustratos iniciales*

Parámetro	Tratamientos	N	Media	Agrupación
Análisis especial de C/N en compost obtenido	T1 (ROT + 3 % TT)	3	11,813	A
	T4 (ROT + 9 % TT)	3	10,873	B
	T2 (ROT + 5 % TT)	3	10,537	B
	T3 (ROT + 7 % TT)	3	6,9567	C

#### 4.6.5 Macronutrientes o Análisis de materias orgánicas sólidas

En la tabla 37, se muestran los resultados de análisis de macronutrientes esenciales del compost obtenido, siendo el tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) el que presenta mayor contenido de materia orgánica (M.O.) con 57,73 %, seguido del tratamiento T3 (ROT + 7 % TT) con 55,47 %, seguido del T4 (ROT + 9 % TT) con 55,39 % y finalmente el T2 (ROT + 5 % TT) con 54,24 % ; en relación a fósforo ( $P_2O_5$ ) el T2 (ROT + 5 % TT) presenta mayor contenido con un promedio de 1,908 %; en relación al potasio ( $K_2O$ ) el T2 (ROT + 5 % TT) presenta mayor contenido con un promedio de 4,157 %; en relación al calcio (CaO) el T2 (ROT + 5 % TT) presenta mayor contenido con un promedio de 12,250 %; en relación al magnesio (MgO) el T2 (ROT + 5 % TT) presenta mayor contenido con un promedio de 0,9446 % y finalmente el sodio (Na) el T1 (ROT + 3 % TT) presenta mayor contenido con un promedio de 0,7783 %. El informe de ensayo del análisis especial de macronutrientes esenciales se detalla en el Anexo 22, 23, 24 y 25.

**Tabla 37***Análisis de Macronutrientes del compost obtenido*

Tratamientos	Código	M.O. (%)	Prom M.O. (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Prom P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Prom K <sub>2</sub> O (%)	CaO (%)	Prom CaO (%)	MgO (%)	Prom MgO (%)	Na (%)	Prom Na (%)
T1 (ROT + 3 % TT)	MC T1-1	56,92		1,73		3,62		9,66		0,83		0,72	
	MC T1-2	58,43	57,7393	1,76	1,7598	3,24	2,9616	9,14	9,2400	0,72	0,7861	0,81	0,7783
	MC T1-3	57,87		1,78		2,03		8,93		0,82		0,81	
T2 (ROT + 5 % TT)	MC T2-1	54,04		1,92		4,16		12,88		0,92		0,63	
	MC T2-2	55,33	54,2414	1,91	1,9088	4,13	4,1576	11,73	12,2500	1,00	0,9446	0,62	0,6117
	MC T2-3	53,35		1,89		4,19		12,15		0,92		0,59	
T3 (ROT + 7 % TT)	MC T3-1	56,93		1,65		3,46		7,26		0,79		0,60	
	MC T3-2	52,69	55,4714	1,68	1,6749	3,49	3,4044	7,19	7,0280	0,75	0,7445	0,58	0,5850
	MC T3-3	56,80		1,70		3,25		6,64		0,69		0,58	
T4 (ROT + 9 % TT)	MC T4-1	55,31		1,61		4,07		9,70		0,84		0,72	
	MC T4-2	55,13	55,3948	1,47	1,5516	4,04	4,0620	9,66	9,6833	0,80	0,8472	0,71	0,7133
	MC T4-3	55,75		1,58		4,08		9,70		0,90		0,72	

Los resultados de análisis de Materia orgánica del compost obtenido fueron significativamente similares ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos (Ver tabla 38), siendo el tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) el mejor tratamiento con de 57,74 % de materia orgánica.

**Tabla 38**

*Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) Análisis de materia orgánica (M.O.) en compost obtenido*

Parámetro	Tratamientos	N	Media	Agrupación
Materia orgánica (M.O.)	T1 (ROT + 3 % TT)	3	57,74	A
	T3 (ROT + 7 % TT)	3	55,47	A
	T4 (ROT + 9 % TT)	3	55,39	A
	T2 (ROT + 5 % TT)	3	54,24	A

Los resultados de análisis de fósforo ( $P_2O_5$ ) del compost obtenido fueron significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos (Ver tabla 39), siendo el tratamiento T2 (ROT + 5 % TT) el mejor tratamiento con 1,906 % de fósforo.

**Tabla 39**

*Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) Análisis de macronutrientes en compost obtenido – fósforo ( $P_2O_5$ )*

Parámetro	Tratamientos	N	Media	Agrupación
Fósforo ( $P_2O_5$ ) (%)	T2 (ROT + 5 % TT)	3	1,9066	A
	T1 (ROT + 3 % TT)	3	1,7567	B
	T3 (ROT + 7 % TT)	3	1,6767	B
	T4 (ROT + 9 % TT)	3	1,5533	C

Los resultados de análisis de potasio ( $K_2O$ ) del compost obtenido fueron significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos y estadísticamente similares los tratamientos T2 (ROT + 5 % TT), T4 (ROT + 9 % TT) y T3 (ROT + 7 % TT), T1 (ROT + 3 % TT) (Ver tabla 40), siendo el tratamiento T2 (ROT + 5 % TT) el mejor tratamiento con 4,16 % de potasio.

**Tabla 40**

*Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) Análisis de macronutrientes en compost obtenido - potasio ( $K_2O$ )*

Parámetro	Tratamientos	N	Media	Agrupación
Potasio ( $K_2O$ ) (%)	T2 (ROT + 5 % TT)	3	4.160	A
	T4 (ROT + 9 % TT)	3	4,063	A
	T3 (ROT + 7 % TT)	3	3,400	B
	T1 (ROT + 3 % TT)	3	2,963	B

Los resultados de análisis de calcio (CaO) del compost obtenido fueron significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos y estadísticamente similares los tratamientos T4 (ROT + 9 % TT) y T1 (ROT + 3 % TT) (Ver tabla 41), siendo el tratamiento T2 (ROT + 5 % TT) el mejor tratamiento con 12,25 % de calcio.

**Tabla 41**

*Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) Análisis de macronutrientes en compost obtenido - calcio (CaO)*

Parámetro	Tratamientos	N	Media	Agrupación
Calcio (CaO) (%)	T2 (ROT + 5 % TT)	3	12,253	A
	T4 (ROT + 9 % TT)	3	9,686	B
	T1 (ROT + 3 % TT)	3	9,243	B
	T3 (ROT + 7 % TT)	3	7,030	C

Los resultados de análisis de magnesio (MgO) del compost obtenido fueron significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos y estadísticamente similares los tratamientos T4 (ROT + 9 % TT) y T1 (ROT + 3 % TT) (Ver tabla 42), siendo el tratamiento T2 (ROT + 5 % TT) el mejor tratamiento con 0,946 % de magnesio.

**Tabla 42**

*Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) Análisis de macronutrientes en compost obtenido - magnesio (MgO)*

Parámetro	Tratamientos	N	Media	Agrupación	
Magnesio (MgO) (%)	T2 (ROT + 5 % TT)	3	0,946	A	
	T4 (ROT + 9 % TT)	3	0,846	A	B
	T1 (ROT + 3 % TT)	3	0,790		B
	T3 (ROT + 7 % TT)	3	0,743		B

Los resultados de análisis de sodio (Na) del compost obtenido fueron significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos y estadísticamente similares los tratamientos T2 (ROT + 5 % TT), T4 (ROT + 9 % TT) y T1 (ROT + 3 % TT) y T3 (ROT + 7 % TT) (Ver tabla 43), siendo el tratamiento T2 (ROT + 5 % TT) el mejor tratamiento con 0,780 % de sodio.

**Tabla 43**

*Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) Análisis de macronutrientes en compost obtenido – sodio (Na)*

Parámetro	Tratamientos	N	Media	Agrupación	
Sodio (NaO) (%)	T2 (ROT + 5 % TT)	3	0,780	A	
	T4 (ROT + 9 % TT)	3	0,716	A	
	T1 (ROT + 3 % TT)	3	0,613		B
	T3 (ROT + 7 % TT)	3	0,586		B

#### **4.6.6 Micronutrientes o Elementos menores del compost obtenido**

En la tabla 44, se muestran los resultados de análisis de micronutrientes o elementos menores del compost obtenido, siendo el tratamiento T2 (ROT + 5 % TT) el que presenta mayor contenido de hierro (Fe) con 3038,3 ppm, seguido del tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) con 2425 ppm, seguido del T4 (ROT + 9 % TT) con 2232,5 ppm y finalmente el T3 (ROT + 7 % TT) con 1324,2 ppm; en relación al cobre (Cu) el T2 (ROT + 5 % TT) presenta mayor contenido con un promedio de 89,8 ppm; en relación al zinc (Zn) el T2 (ROT + 5 % TT) presenta mayor contenido con un promedio de 750 ppm; en relación al manganeso (Mn) el T4 (ROT + 9 % TT) presenta mayor contenido con un promedio de 730,8 ppm; y finalmente el moro (B) donde el T4 (ROT + 9 % TT) presenta mayor contenido con un promedio de 65,7 ppm. El informe de ensayo del análisis especial de micronutrientes o elementos menores se detalla en el Anexo 22, 23, 24 y 25.

**Tabla 44***Micronutrientes o elementos menores del compost final*

Tratamientos	Código	Fe (ppm)	Prom Fe (ppm)	Cu (ppm)	Prom Cu (ppm)	Zn (ppm)	Prom Zn (ppm)	Mn (ppm)	Prom Mn (ppm)	B (ppm)	Prom B (ppm)
T1 (ROT + 3 % TT)	MC T1-1	2660,0		23,5		100,0		390,0		78,2	
	MC T1-2	2437,5	2425,8	22,0	23,0	105,0	101,7	395,0	406,7	63,9	65,7
	MC T1-3	2180,0		23,5		100,0		435,0		55,1	
T2 (ROT + 5 % TT)	MC T2-1	3160,0		73,5		750,0		505,0		62,3	
	MC T2-2	2995,0	3038,3	125,0	89,8	725,0	750,0	535,0	531,7	71,0	63,2
	MC T2-3	2960,0		71,0		775,0		555,0		56,2	
T3 (ROT + 7 % TT)	MC T3-1	1150,0		25,0		175,0		710,0		61,6	
	MC T3-2	1542,5	1324,2	22,0	22,5	185,0	173,3	772,5	712,5	55,0	58,2
	MC T3-3	1280,0		20,5		160,0		655,0		58,2	
T4 (ROT + 9 % TT)	MC T4-1	2247,5		21,3		95,0		712,3		48,1	
	MC T4-2	2330,00	2232,5	18,50	24,0	105,00	104,2	730,00	730,8	38,07	45,7
	MC T4-3	2120,00		32,25		112,50		750,00		50,82	

Los resultados de análisis de hierro (Fe) del compost obtenido fueron significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos y estadísticamente similares los tratamientos T1 (ROT + 3 % TT) y T4 (ROT + 9 % TT) (Ver tabla 46), siendo el tratamiento T2 (ROT + 5 % TT) el mejor tratamiento con 3038,3 ppm de Fe.

**Tabla 45**

*Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) Análisis de microelementos en compost obtenido – hierro (Fe)*

Parámetro	Tratamientos	N	Media	Agrupación
Hierro (Fe) ppm	T2 (ROT + 5 % TT)	3	3038,3	A
	T1 (ROT + 3 % TT)	3	2426,0	B
	T4 (ROT + 9 % TT)	3	2232,5	B
	T3 (ROT + 7 % TT)	3	1324,0	C

Los resultados de análisis de cobre (Cu) del compost obtenido fueron significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos y estadísticamente similares los tratamientos T4 (ROT + 9 % TT), T1 (ROT + 3 % TT) y T3 (ROT + 7 % TT) (Ver tabla 47), siendo el tratamiento T2 (ROT + 5 % TT) el mejor tratamiento con 89,8 ppm de Cu.

**Tabla 46**

*Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) Análisis de microelementos en compost obtenido - cobre (Cu)*

Parámetro	Tratamientos	N	Media	Agrupación
Cobre (Cu) ppm	T2 (ROT + 5 % TT)	3	89,80	A
	T4 (ROT + 9 % TT)	3	24,02	B
	T1 (ROT + 3 % TT)	3	23,00	B
	T3 (ROT + 7 % TT)	3	22,50	B

Los resultados de análisis de zinc (Zn) del compost obtenido fueron significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos y estadísticamente similares los tratamientos T3 (ROT + 7 % TT) y T4 (ROT + 9 % TT) (Ver tabla 48), siendo el tratamiento T2 (ROT + 5 % TT) el mejor tratamiento con 750,0 ppm de Zn.

**Tabla 47**

*Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) Análisis de microelementos en compost obtenido – zinc (Zn)*

Parámetro	Tratamientos	N	Media	Agrupación
Zinc (Zn) ppm	T2 (ROT + 5 % TT)	3	750,00	A
	T3 (ROT + 7 % TT)	3	173,33	B
	T4 (ROT + 9 % TT)	3	104,17	B
	T1 (ROT + 3 % TT)	3	101,67	C

Los resultados de análisis de manganeso (Mn) del compost obtenido fueron significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos y estadísticamente similares los tratamientos T4 (ROT + 9 % TT) y T3 (ROT + 7 % TT) (Ver tabla 49), siendo el tratamiento T4 (ROT + 9 % TT) el mejor tratamiento con 730,80 ppm de Zn.

**Tabla 48**

*Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) Análisis de microelementos en compost obtenido – manganeso (Mn)*

Parámetro	Tratamientos	N	Media	Agrupación
Manganeso (Mn) ppm	T4 (ROT + 9 % TT)	3	730,8	A
	T3 (ROT + 7 % TT)	3	712,5	A
	T2 (ROT + 5 % TT)	3	531,7	B
	T1 (ROT + 3 % TT)	3	406,7	C

Los resultados de análisis de boro (B) del compost obtenido fueron significativamente similares ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos (Ver tabla 50), siendo el tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) el mejor tratamiento con 65,73 ppm de boro.

**Tabla 49**

*Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) Análisis de microelementos en compost obtenido – Boro (B)*

Parámetro	Tratamientos	N	Media	Agrupación
Boro (B) ppm	T1 (ROT + 3 % TT)	3	65,73	A
	T2 (ROT + 5 % TT)	3	63,17	A
	T3 (ROT + 7 % TT)	3	58,27	A
	T4 (ROT + 9 % TT)	3	45,66	A

## **4.7 Evaluación de la toxicidad del compost**

### **4.7.1 Índice de germinación IG (%) de la quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*)**

En la tabla 51, se muestran los resultados de análisis de índice de germinación (%IG) de la quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) del compost obtenido, siendo el tratamiento T2 (ROT + 5 % TT) con un Porcentaje de germinación relativo (%PGR) de 95 % y Porcentaje de Crecimiento de radícula relativo (%CRR) de 85,55 % dando un Índice de germinación (%IG) con 76,87 %, seguido del tratamiento T3 (ROT + 7 % TT) con IG de 64,69 %, seguido del T4 (ROT + 9 % TT) con IG de 55,99 % y finalmente el T1 (ROT + 3 % TT) con IG de 37,62 %. El comportamiento de la germinación y evaluación del crecimiento radicular se detalla en el Anexo 26.

**Tabla 50***Índice de Germinación (%) de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.)*

Tratamientos	Total, de semillas	Semillas germinadas	Prom semillas germinadas	PRG (%)	PROM crecimiento radicular CCR	PROM CCR (mm)	CCR (%)	Índice de germinación IG (%)
T CONTROL-Q1	20	14			27,714			
T CONTROL-Q2	20	13	13,3	100,00 %	27,057	27,552	100,0 %	94,69 %
T CONTROL-Q3	20	13			27,885			
T1 (ROT + 3 % TT) - Q1	20	9			15,861			
T1 (ROT + 3 % TT) - Q2	20	10	9,7	72,50 %	14,971	15,126	54,90 %	37,62 %
T1 (ROT + 3 % TT) - Q3	20	10			14,545			
T2 (ROT + 5 % TT) - Q1	20	12			24,443			
T2 (ROT + 5 % TT) - Q2	20	13	12,7	95,00 %	23,936	23,571	85,55 %	76,87 %
T2 (ROT + 5 % TT) - Q3	20	13			22,333			
T3 (ROT + 7 % TT) - Q1	20	12			21,409			
T3 (ROT + 7 % TT) - Q2	20	13	12,0	90,00 %	20,795	20,910	75,89 %	64,69 %
T3 (ROT + 7 % TT) - Q3	20	11			20,525			
T4 (ROT + 9 % TT) - Q1	20	11			21,056			
T4 (ROT + 9 % TT) - Q2	20	12	11,3	85,00 %	18,547	19,188	69,64 %	55,99 %
T4 (ROT + 9 % TT) - Q3	20	11			17,961			

Los resultados de análisis de Índice de Germinación (%) de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) del compost obtenido fueron significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos y estadísticamente similares los tratamientos T3 (ROT + 7 % TT) y T2 (ROT + 5 % TT) (Ver tabla 52), siendo el tratamiento T2 (ROT + 5 % TT) el mejor tratamiento con un índice de germinación promedio de 76,87 %.

**Tabla 51**

*Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) Índice de Germinación (%) de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)*

Parámetro	Tratamientos	N	Media	Agrupación
Índice de Germinación (%) de la quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.)	T2 (ROT + 5 % TT)	3	76,87	A
	T3 (ROT + 7 % TT)	3	64,69	B
	T4 (ROT + 9 % TT)	3	55,99	B
	T1 (ROT + 3 % TT)	3	37,62	C

#### 4.7.2 Índice de germinación IG (%) de la cebada (*Hordeum vulgare* L.)

En la tabla 52, se muestran los resultados de análisis de índice de germinación (% IG) de la cebada (*Hordeum vulgare* L.) del compost obtenido, siendo el tratamiento T2 (ROT + 5 % TT) con un Porcentaje de germinación relativo (%PGR) de 93,75 % y Porcentaje de Crecimiento de radícula relativo (%CRR) de 88,77 % dando un Índice de germinación (%IG) con 77,66 %, seguido del tratamiento T3 (ROT + 7 % TT) con IG de 64,87 %, seguido del T4 (ROT + 9 % TT) con IG de 56,59 % y finalmente el T1 (ROT + 3 % TT) con IG de 38,77 %. El comportamiento de la germinación y evaluación del crecimiento radicular se detalla en el Anexo 27.

**Tabla 52***Índice de Germinación (%) de la cebada (Hordeum vulgare L.)*

Tratamientos	Total, de semillas	Semillas germinadas	Prom semillas germinadas	PRG (%)	PROM crecimiento radicular CCR	PROM CCR (mm)	CCR (%)	Índice de germinación IG (%)
T CONTROL-Q1	20,00	17,00			100,60			
T CONTROL-Q2	20,00	16,00	16,00	100,00 %	99,40	99,73	100,00 %	93,34 %
T CONTROL-Q3	20,00	15,00			99,20			
T1 (ROT + 3 % TT) - C1	20,00	12,00			57,00			
T1 (ROT + 3 % TT) - C2	20,00	11,00	11,33	70,83 %	59,60	58,37	58,53 %	38,77 %
T1 (ROT + 3 % TT) - C3	20,00	11,00						
T2 (ROT + 5 % TT) - C1	20,00	11,00			58,52			
T2 (ROT + 5 % TT) - C2	20,00	15,00			89,44			
T2 (ROT + 5 % TT) - C3	20,00	15,00	15,00	93,75 %	88,43	88,53	88,77 %	77,66 %
T3 (ROT + 7 % TT) - C1	20,00	15,00			87,73			
T3 (ROT + 7 % TT) - C2	20,00	13,00			78,81			
T3 (ROT + 7 % TT) - C3	20,00	15,00	14,00	87,50 %	78,94	79,24	79,45 %	64,87 %
T4 (ROT + 9 % TT) - C1	20,00	14,00			79,98			
T4 (ROT + 9 % TT) - C2	20,00	13,00			74,07			
T4 (ROT + 9 % TT) - C3	20,00	12,00	13,00	81,25 %	74,24	74,43	74,63 %	56,59 %
T CONTROL-Q1	20,00	14,00			74,97			

Los resultados de análisis de Índice de Germinación (%) de la cebada (*Hordeum vulgare* L.) del compost obtenido fueron significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos y estadísticamente similares los tratamientos T3 (ROT + 7 % TT) y T2 (ROT + 5 % TT) (Ver tabla 53), siendo el tratamiento T2 (ROT + 5 % TT) el mejor tratamiento con un índice de germinación promedio de 77,65 %.

**Tabla 53**

*Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) Índice de Germinación (%) de la cebada (*Hordeum vulgare* L.)*

Parámetro	Tratamientos	N	Media	Agrupación
Índice de Germinación (%) de la quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.)	T2 (ROT + 5 % TT)	3	77,65	A
	T3 (ROT + 7 % TT)	3	64,87	B
	T4 (ROT + 9 % TT)	3	56,59	B
	T1 (ROT + 3 % TT)	3	38,65	C

## DISCUSIÓN

### 5.1 Caracterización de los residuos orgánicos crudos triturados

El tamaño de las partículas de los materiales de compostaje iniciales es importante en dos aspectos. En primer lugar, el tamaño de la partícula determina la superficie que los microbios pueden consumir. En segundo lugar, el tamaño de las partículas dicta qué tan homogéneos se mezclan los materiales iniciales. Las partículas más pequeñas tienen superficies más grandes que permitirían una degradación efectiva. También mejoran la mezcla homogénea de los materiales iniciales (C. Lin et al., 2022). El tamaño de las partículas en la masa del compost asegura el nivel de porosidad, para asegurar una aireación adecuada y regular el intercambio oxígeno/agua (Zhang & Sun, 2016).

En el presente estudio, los valores de pH inicial de los residuos orgánicos triturados fue en promedio 4,71 moderadamente a ligeramente ácido, está influenciado por el tipo de desechos orgánicos, normalmente los residuos orgánicos crudos son ligeramente ácidos. La conductividad eléctrica del residuo orgánico triturado fue de 1811,67  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Según Noor et al. (2021) indica la presencia de sales solubles en baja concentración. Por otra parte, la humedad inicial de los residuos orgánicos es alta, debido a la trituración y liberación de líquido con un promedio del 85,5 % de humedad. Según Lin et al. (2022), afirma que un mayor contenido de humedad (generalmente >70 %) durante el proceso de compostaje forma lixiviados que conducen a condiciones anaeróbicas, siendo un parámetro fundamental en el proceso de compostaje.

### 5.2 Caracterización del agente estructurante *Schoenoplectus tatora*

El agente estructurante totora (*Schoenoplectus tatora*) añadidos a los residuos orgánicos triturado provocan modificaciones en las propiedades iniciales del sustrato, la totora (*Schoenoplectus tatora*) posee un pH de 8,55 ligeramente alcalino y una conductividad de 1811,67 considerados ligeramente salino, en relación al análisis foliar de la totora (*Schoenoplectus tatora*) posee un alto contenido de Carbono (C) con un valor de 52,28 % y nitrógeno (N) con 1,05 % además de presentar contenido de

macroelementos y microelementos en cantidades menores, siendo los más resaltantes el contenido de potasio (K) con 1,09 % y Manganeseo (Mn) con 1905 ppm.

Los agentes estructurantes pueden desarrollar una microbiota eficiente, optimizaría aún más la relación C/N, el contenido de humedad, el pH y desarrollan una porosidad mejorada en el material de materia prima homogeneizando los residuos orgánicos antes del proceso de compostaje y proporciona estructura a las pilas (Nordahl et al., 2023; X. Wang et al., 2015; L. Zhang & Sun, 2016). Por lo tanto, para optimizar la C/N dentro del compostaje, se recomienda una amplia variedad de agentes de carga como aditivos a los residuos. Se sabe que desarrollan una porosidad mejorada en el material de materia prima y homogeneizan los desechos antes del compostaje (X. Wang et al., 2015). Las hojas secas y la paja, que son agentes de carga comunes, tienen una relación C/N muy alta y, cuando se agregan a la mezcla de compost, aumentan la relación C/N inicial. Sin embargo, los tipos de carbono, por ejemplo, la lignina, en estos agentes de carga, son complejos y difíciles de degradar; para el presente estudio, la totora triturada posee un alto contenido de Carbono (C) con un valor de 52,28 % y nitrógeno (N) con 1,05 %.

Los microorganismos aeróbicos del compost requieren oxígeno para respirar, por lo que el suministro de oxígeno es crucial durante el compostaje. Es importante que los microorganismos reciban el oxígeno adecuado para mantener sus actividades metabólicas durante el compostaje. Se recomienda un contenido de oxígeno >10 % en el gas de compost durante el proceso de compostaje. Frente a ello el agente estructurante totora (*Schoenoplectus tatora*) presenta una densidad aparente (DA) de la totora triturada fue en promedio de 54,6 kg/m<sup>3</sup> y los resultados de Espacios Libres de Aire (FAS) de la totora triturada fue en promedio de 80,77 % siendo este un valor muy aceptable para su uso como agente estructurante y finalmente la totora (*Schoenoplectus tatora*) este posee una alta capacidad de absorción de agua con un valor de 103,53 % por lo que es ideal para regulación de humedad y/o lixiviados del proceso de compostaje.

### **5.3 Caracterización de sustratos iniciales**

En el compostaje, el contenido de carbono y nitrógeno de los materiales de compostaje se describe como la principal característica nutricional del sustrato. El carbono se utiliza principalmente como fuente de energía, mientras que el nitrógeno es

necesario para el crecimiento y el funcionamiento de las células. La relación C/N se utiliza en el compostaje para evaluar si los microbios tienen suficientes nutrientes, muestra el contenido de nitrógeno y la relación C/N de los materiales de compostaje comúnmente utilizados. Generalmente, el estiércol animal y los lodos de depuradora suelen ser ricos en nitrógeno procedente de la orina y tienen relaciones C/N más bajas, mientras que los materiales lignocelulósicos como el trigo y la paja de arroz tienen más carbono y, por tanto, una relación C/N alta. El consenso entre la mayoría de los investigadores es que una relación C/N inicial de 25 a 30 es ideal para el proceso de compostaje. Sin embargo, dado que el rango supone una mineralización completa de carbono, se ha demostrado que las relaciones C/N más bajas, de hasta 14, funcionan bien (X. Wang et al., 2015). Sin embargo, en la presente investigación los resultados de Análisis especial de C/N en sustratos iniciales del proceso de experimentación, fueron para tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) el que mayor relación de C/N con 20,83, seguido de T2 (ROT + 5 % TT) y T4 (ROT + 9 % TT) con un valor de 19,62 y 18,90, y finalmente el tratamiento T3 (ROT + 7 % TT) con un valor de 14,32. Una relación C/N adecuada es vital para mantener la población microbiana en la forma más activa para acelerar el proceso de compostaje.

Para optimizar la aireación se añadió el agente estructurante *Schoenoplectus tatora* que proporcionó la integridad estructural de la mezcla de compost, influirá en el suministro de oxígeno en el compost. En el presente estudio los sustratos presentaron Espacios Libres de Aire (FAS) de sustratos iniciales del proceso de experimentación, siendo el sustrato del tratamiento T4 (ROT + 9 % TT) el que mayor contenido de espacios de aire libre (FAS) con 64,87 %, seguido del tratamiento T3 (ROT + 7 % TT) con 58,42 %, seguido de T2 (ROT + 5 % TT) con un valor de 55,44 %, y finalmente el tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) con un valor de 49,22 %. La concentración de oxígeno se correlaciona directamente con la dinámica microbiana (Nakasaki & Hirai, 2017) y la temperatura (mantenida por debajo de 60-65 °C), para garantizar que se suministre suficiente oxígeno dentro del proceso (Latifah et al., 2015). Es importante que los microorganismos reciban el oxígeno adecuado para mantener sus actividades metabólicas

durante el compostaje, se recomienda un contenido de oxígeno >10 % en el gas de compost durante el proceso de compostaje (Tran et al., 2021).

## **5.4 Evaluación de los parámetros de campo del proceso de Compostaje**

### **5.4.1 Comportamiento de la Temperatura en los diferentes tratamientos**

La temperatura se considera un indicador principal del compost, ya que está estrechamente relacionada con la descomposición de la materia orgánica y el crecimiento de microorganismos y comunidades microbianas (Gao et al., 2022). La evolución de la temperatura observada durante el compostaje fue típica de este proceso, observando mejores comportamientos en los tratamientos T3 (ROT + 7 % TT) y T4 (ROT + 9 % TT), quienes presentan mayor contenido de agente estructurante *Schoenoplectus tatora*. Al inicio del proceso, el aumento de temperatura fue dinámico, lo que se relacionó con la fase activa del compostaje, comportamientos similares fueron evidenciados por Drózdź et al. (2020).

En la presente investigación, se observó que la temperatura de los diferentes tratamientos aumentó rápidamente en los primeros 4 días y alcanzó la temperatura máxima de 40 °C para el tratamiento T1 (ROT + 3 % TT), 50 °C para el T2 (ROT + 5 % TT) y 52 °C para el tratamiento T3 (ROT + 7 % TT) y T4 (ROT + 9 % TT) los que mayor temperatura promedio alcanzaron, el tiempo de compostaje de las pilas fueron de 15, 12, 10 y 10 semanas respectivamente. Según Manga et al. (2023), la incapacidad de alcanzar rangos de temperatura altos puede deberse a las condiciones ambientales, lo que puede atribuirse a la naturaleza altamente porosa de los materiales de compostaje.

Según Keng et al. (2023) la temperatura del proceso de compostaje aumentó de alrededor de 35 °C el primer día a 65-70 °C después de dos semanas antes de caer a 40-50 °C en el tercer mes y en el quinto mes, la temperatura volvió gradualmente a la temperatura ambiente. Resultados similares fueron evidenciados por Varma et al. (2018) quienes observaron un aumento de temperatura en 24 a 48 h debido a una mayor materia orgánica biodegradable y una mayor actividad bacteriana, observación un máximo de 66,5 °C con fase termófila observada durante más de 7 días por encima de 50 °C. Datos

similares fueron reportados por Papale et al. (2021) quien afirma que la temperatura en la pila de compost generalmente aumenta rápidamente de 50 a 70 °C dentro de las 24 a 72 h posteriores a la formación de la pila y puede permanecer así durante varios días dependiendo de las propiedades de la materia prima, el tamaño de la pila y las condiciones ambientales.

La optimización de la temperatura y degradación de los residuos orgánicos se dio a través de aireación manual de pilas de compostaje, el tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) y T2 (ROT + 5 % TT) requirieron entre 9 y 7 volteos respectivamente a diferencia del tratamiento T3 (ROT + 7 % TT) y T4 (ROT + 9 % TT) quienes requirieron 5 a 6 volteos respectivamente en cada volteo se tuvo un incremento de temperatura y paulatinamente iba descendiendo hasta repetir la misma secuencia. Los resultados del presente estudio estuvieron en línea con lo descrito por Manga et al. (2023) que menciona que las operaciones de volteo provocaron algunas interrupciones en el perfil de temperatura de todas las pilas de compostaje, con una caída repentina inmediatamente después de cada volteo, seguida de una rápida recuperación de las altas temperaturas dentro de un período de compostaje de 24 h; esto representó la recuperación de las actividades metabólicas de los microorganismos, lo que podría haberse debido al aumento en el suministro de sustrato orgánico fácilmente disponible para la biomasa microbiana mediante la incorporación de material menos degradado en las capas externas a la sección interna de las pilas de compostaje. Otros autores, como Ekinici et al. (2022), afirman que los sistemas de pilas estáticas deben airearse para mantener la actividad microbiológica y las temperaturas adecuadas para satisfacer los criterios. Según los datos reportados por Storey et al. (2015), afirma que el aumento de temperatura durante el compostaje reduce la población de bacterias mesófilas y la proporción de microflora en la etapa posterior del compostaje depende de la disponibilidad de oxígeno.

En el presente estudio, se observó que la temperatura ambiente influye en el proceso de compostaje. Datos similares fueron reportados por Lin et al. (2022), quien afirma que la temperatura ambiente influye en el periodo de compostaje; este efecto es más pronunciado para el compostaje realizado al aire libre, por ejemplo, compostaje en hileras y en el sitio que están expuestos a los elementos. De la misma manera, Zhou et al.

(2018) sostiene que la temperatura tardaba un día más en aumentar durante el invierno, a diferencia del verano, sobre todo si se desarrollaba compostaje en hileras.

#### **5.4.2 Comportamiento de la Conductividad Eléctrica en los diferentes tratamientos**

En el compostaje, los valores de CE reflejan la salinidad del compost, y algunos autores lo han sugerido como un índice para evaluar la eficiencia del proceso de compostaje, así como la madurez o estabilidad del compost (Liu et al., 2011; Manga et al., 2023). En nuestro estudio, los resultados del comportamiento de la conductividad eléctrica a lo largo del proceso de experimentación tuvo fluctuaciones, siendo el tratamiento T2 (ROT + 5 % TT) 1549,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  el de mayor concentración en la etapa inicial y T1 (ROT + 3 % TT) en la etapa final con 2326,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Resultados similares fueron reportados por Manga et al. (2023) donde los valores promedio iniciales de CE de las pilas de compostaje SSD (0,87 mS/cm), SCH (1,94 mS/cm) y SBW (1,88 mS/cm) aumentaron gradualmente, pero con fluctuaciones, especialmente en la fase termófila hasta la fase final, además valores de CE de 0,98, 2,35 y 2,12 mS/cm, respectivamente, al final del proceso de compostaje. Estos aumentos en los valores de CE pueden atribuirse a la mineralización de la materia orgánica y al efecto de concentración de sal soluble resultante principalmente de la pérdida de peso neto. Este comportamiento también fue observado por Cerda et al. (2017), demostró que el pH inicial de 5 retrasó la degradación de siete a diez días y también aumentó la conductividad eléctrica del compost maduro final por encima de los estándares aceptables ( $\leq 4 \text{ mS}/\text{cm}^{-1}$ ).

Las pilas de compostaje de los diferentes tratamientos exhibieron los valores promedio de CE más altos especialmente durante la fase termófila alcanzando valores de 3641  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) a diferencia de los demás tratamientos T2 (ROT + 5 % TT), T3 (ROT + 7 % TT) y T4 (ROT + 9 % TT) que debido a una mayor concentración de agente estructurante *Schoenoplectus tatora* se tuvieron valor de CE más estables. Esta afirmación concuerda con lo observado por Manga et al. (2023), quien menciona que este comportamiento se debe al efecto de dilución de los valores de CE, ya que el aserrín se caracteriza por valores de CE considerablemente bajos. Nuestros

resultados indican que los tipos de agentes de carga estudiados tienen un efecto estadísticamente significativo sobre los valores de CE durante el proceso de compostaje.

En relación a la NTP 201.208:2021. FERTILIZANTES. Compost a partir de residuos sólidos orgánicos municipales mencionan que la conductividad eléctrica del compost debe encontrarse en el rango de 2 a 4 dS/m requisitos muy diferentes a los establecidos por la Norma Chilena Oficial Compost Clasificación y requisitos. NCh 2880. Of 2004 que menciona que se puede obtener dos tipos de compost de clase A, la conductividad eléctrica CE debe ser menor a 3 dS/m y para la clase B, la conductividad eléctrica CE debe ser menor a 8 dS/m. Al respecto, los resultados finales del compost obtenido en la presente investigación se encuentran muy por debajo de lo establecido por ambas normas y para el compost de clase A con un valor de conductividad eléctrica que oscila entre 1270  $\mu\text{S}/\text{cm}$  T4 (ROT + 9 % TT) y 2326,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$  T1 (ROT + 3 % TT)

#### **5.4.3 Comportamiento de la Potencial de hidrógeno en los diferentes tratamientos**

Los resultados del comportamiento de la conductividad eléctrica a lo largo del proceso de experimentación, siendo el tratamiento con valores iniciales más altos el T3 (ROT + 7 % TT), T2 (ROT + 5 % TT) y T4 (ROT + 9 % TT) con pH de 5,667, 5,640 y 5,537 respectivamente y finalmente el T1 (ROT + 3 % TT) con 5,010. Para el compostaje, los valores ideales de pH generalmente oscilan entre 5,5 y 8,0 (Cao et al., 2020). De alguna manera, una disminución del pH en medio del compostaje puede estar relacionada con la volatilización (amoníaco) y la nitrificación microbiana que produce una mayor cantidad de  $\text{CO}_2$  y ácidos (Wang et al., 2015) y la liberación de ácidos orgánicos principalmente en la etapa inicial (San Martín et al., 2020). Mientras que, la mineralización de proteínas (producción de amoníaco) y el N impedido, perdido a través de la volatilización del amoníaco (Guo et al., 2012) en las etapas posteriores del compostaje, explican el pH elevado (>8). Por el contrario, Zhang & Sun, (2018) observaron actividades microbianas reducidas y un pH excedido (9,0), manifestado por la presencia de compuestos nitrogenados en la masa de compost, el pH elevado provoca la alcalinización de la masa de compost que puede dificultar la supervivencia de microorganismos sensibles al pH, contribuyendo profusamente al saneamiento del compost (Hachicha et al., 2009).

Los cambios dinámicos en el pH durante la degradación del compostaje de residuos orgánicos pueden tener un impacto no solo en la degradación de los residuos sólidos, sino también en la emisión de gases de efecto invernadero. Inicialmente, se reduce mediante la producción de ácidos orgánicos y la amonificación se inhibe cuando el pH es bajo (J. Zhang et al., 2020). A medida que aumenta la temperatura de la pila, la descomposición de los ácidos orgánicos contribuye al aumento del pH, lo que promueve la liberación de amoníaco en el proceso de amonificación y mineralización del nitrógeno orgánico (W. M. Zhang et al., 2020). Resultados similares fueron obtenidos en la presente investigación, donde T1 (ROT + 3 % TT) tuvo un pH final promedio de 9,25, T2 (ROT + 5 % TT) con 9,91, T3 (ROT + 7 % TT) con 9,93 y finalmente el T4 (ROT + 9 % TT) con 9,95; el valor del pH tiende a aumentar. ya que se descomponen todos los ácidos orgánicos, así como el efecto alcalino de las sales inorgánicas que tienden a unirse al material orgánico.

En relación a la NTP 201.208:2021. FERTILIZANTES. Compost a partir de residuos sólidos orgánicos municipales y la Norma Chilena Oficial Compost Clasificación y requisitos. NCh 2880. Of 2004 mencionan que el pH del compost debe ser mayor a 6,5 y menor a 8,5. Al respecto los resultados finales del compost obtenido en la presente investigación se encuentran por encima de los rangos establecidos por ambas normas con un valor de un pH final que oscila entre 9,25 y 9,95. Según Pilar et al. (2015) el exceso de pH se da cuando en la mezcla hay una mayor cantidad de material rico en nitrógeno, asociado a humedad y altas temperaturas, se produce amoníaco alcalinizando el medio y una forma de reducir dicho exceso es a través de la adición de material estructurante.

#### **5.4.4 Comportamiento de la humedad en los diferentes tratamientos**

El contenido de humedad también varió a lo largo del proceso de compostaje dependiendo de la temperatura y la aireación. Por este motivo, el contenido de humedad se ajusta continuamente a lo largo del proceso experimental, en la presente investigación el comportamiento de la humedad en la etapa inicial, donde el tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) con 82,69 %, seguido de T2 (ROT + 5 % TT) la humedad inicial fue en promedio 79,63 %, seguido de T3 (ROT + 7 % TT) la humedad inicial fue en promedio 75,41 % y

finalmente el T4 (ROT + 9 % TT) la humedad inicial fue en promedio 67,31 % el de menor concentración de humedad en la etapa inicial y el más ideal para el proceso de compostaje. Según Lin et al. (2022), afirma que un mayor contenido de humedad (generalmente >70 %) durante el proceso de compostaje forma encharcamientos que conducen a condiciones anaeróbicas. De la misma forma, Petric et al. (2015), afirma que las condiciones de humedad afectan esencialmente la actividad microbiana, la tasa de absorción de oxígeno, la temperatura y el nivel de porosidad dentro del compostaje. Un estudio similar realizado Manga et al. (2023), donde para mantener los límites de contenido de humedad recomendados de 50 a 65 % para condiciones de compostaje aeróbico efectivas durante todo el proceso de compostaje fue necesario el riego.

En relación a la NTP 201.208:2021. FERTILIZANTES. Compost a partir de residuos sólidos orgánicos municipales mencionan que el contenido de humedad del compost debe ser mayor al 35 % y menor 50 % del peso del producto en base húmeda y la Norma Chilena Oficial Compost Clasificación y requisitos. Noche 2880. Of 2004 que menciona que la humedad del compost debe oscilar entre el 30 y 45 %. Al respecto los resultados finales del compost obtenido en la presente investigación se encuentran dentro de los rangos establecidos por ambas normas a excepción del T2 (ROT + 5 % TT) con un valor de 33,704 % que no se encuentra dentro de lo establecido por la NTP 201.208:2021, pero sí cumple lo establecido por la norma chilena.

## **5.5 Evaluación de la calidad agronómica en los compost**

### **5.5.1 Análisis especial de materia orgánica sólida C/N**

En relación al análisis especial de materia orgánica sólida, los resultados de análisis especial de C/N en muestras de compost obtenido, siendo el compost del tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) el que mayor relación de C/N con 11,81, seguido de T4 (ROT + 9 % TT) y T2 (ROT + 5 % TT) con un valor de 10,87 y 10,54 respectivamente, y finalmente el tratamiento T3 (ROT + 7 % TT) con un valor de 6,96. De manera similar, Vázquez et al. (2020) sostiene que el compost tiene un alto poder fertilizante con un contenido de nitrógeno del 2,5 a 3,6 % y relaciones C/N entre 11 y 15. Otros estudios obtuvieron resultados dentro del rango, según Manga et al (2023), la relación C/N inicial media más alta que disminuyó gradualmente de 28,9 a 10,8 después de 21 semanas de

compostaje de lodos fecales. Los resultados son consistentes con las investigaciones realizadas por Hassanzadeh et al. (2023), donde la relación C/N en la pila de control fue de  $14,23 \pm 1,7$  %, que disminuyó un 25,23 % después de 60 días y alcanzó  $10,64 \pm 1,2$  %.

Durante el proceso de compostaje, la relación C/N disminuyó casi uniformemente a medida que aumentó el consumo de C por parte de los microorganismos como fuente de energía tanto para construir la textura celular como para producir varios compuestos de N durante el proceso de compostaje. Según Rahman et al. (2020), en el compostaje de desechos de jardín obtuvo las relaciones C/N del producto de compost maduro de 10:1 y 15:1. Por lo tanto, la evaluación de la C/N del compost final es fundamental para asegurar que su eventual utilización contribuya a resultados positivos. El mismo comportamiento fue reportado por Confesor et al. (2008), quien afirma que la relación C/N inferiores a 15 son un indicio de estabilidad y madurez del compost. En concreto, Hachicha et al. (2012), sugirieron que una proporción de compost maduro de C/N era inferior a 20:1, mientras que Bernal et al. (1998), sugirieron una relación C/N preferible de 15:1 o inferior.

Según Manga et al. (2023), la disminución gradual de la relación C/N ha sido bien documentada en la literatura y se atribuye a la disminución del carbono orgánico y al aumento del nitrógeno total a medida que avanza el proceso de compostaje y la diferencia significativa exhibida en los valores de la relación C/N probablemente se haya debido a la diferencia en las proporciones de fuentes de carbono fácilmente biodegradables dentro de la materia prima de compostaje. Los resultados obtenidos por C. Lin et al. (2022), que afirmaron en el proceso de compostaje, el contenido de carbono y nitrógeno de los materiales de compostaje se describe como la principal característica nutricional del sustrato y el carbono se utiliza principalmente como fuente de energía, mientras que el nitrógeno es necesario para el crecimiento y el funcionamiento de las células. Las investigaciones se correlacionaron positivamente F. Yang et al. (2014), quienes afirmaron que durante el compostaje, la relación C/N disminuye como consecuencia de la disminución de ambos elementos, lo que ocurre a un ritmo mayor para el C que para el N. Además otros autores como X. Wang et al. (2016) sostienen que la relación C/N soluble es un indicador que determina la madurez y estabilidad del compost. Este

comportamiento fue estudiado por Raut et al. (2008), donde la reducción de la relación C/N por debajo de 20 indica un proceso de compostaje rápido.

En relación a la NTP 201.208:2021. FERTILIZANTES. Compost a partir de residuos sólidos orgánicos municipales mencionan que la relación óptima C/N la relación óptima debe estar en el rango de 25:1 a 35:1 requisitos muy diferentes a los establecidos por la Norma Chilena Oficial Compost Clasificación y requisitos. Noche 2880. Of 2004 que menciona que se puede obtener dos tipos de compost de clase A, el valor de la relación C/N debe ser menor o igual a 25 y para la clase B, el valor de la relación C/N debe ser menor o igual a 30. Al respecto, los resultados obtenidos en la presente investigación se encuentran muy por debajo de lo establecido para el compost de clase A con un valor de C/N final que oscila entre 6,96 y 11,81.

### **5.5.2 Análisis de macronutrientes esenciales del compost obtenido**

En la presente investigación, los resultados de análisis de macronutrientes esenciales del compost obtenido, muestran que el tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) es el que presenta mayor contenido de materia orgánica (M.O.) con 57,73 %, seguido del tratamiento T3 (ROT + 7 % TT) con 55,47 %, seguido del T4 (ROT + 9 % TT) con 55,39 % y finalmente el T2 (ROT + 5 % TT) con 54,24 % ; en relación a fósforo ( $P_2O_5$ ) el T2 (ROT + 5 % TT) presenta mayor contenido con un promedio de 1,908 %; en relación al potasio ( $K_2O$ ) el T2 (ROT + 5 % TT) presenta mayor contenido con un promedio de 4,157 %; en relación al calcio (Cao) el T2 (ROT + 5 % TT) presenta mayor contenido con un promedio de 12,250 %; en relación al magnesio (MgO) el T2 (ROT + 5 % TT) presenta mayor contenido con un promedio de 0,9446 % y finalmente el sodio (Na) el T1 (ROT + 3 % TT) presenta mayor contenido con un promedio de 0,7783 %.

En relación a la NTP 201.208:2021. FERTILIZANTES. Compost a partir de residuos sólidos orgánicos municipales y Norma Chilena Oficial Compost Clasificación y requisitos. NCh 2880. Of 2004, mencionan que el contenido de materia orgánica presente en el compost debe ser igual o mayor al 20 % y Según la Norma de Fertilizantes Orgánicos (NY 525/T-2021) Materia orgánica (basado en peso seco) debe ser  $\geq 30,0$  %, al respecto en la presente investigación se obtuvieron concentraciones de Materia Orgánica (M.O.) entre 54,24 y 57,73 % valores muy superiores a los establecidos por las

tres normas, además la NTP 201.208:2021, estableció rangos mínimos y máximos para estos macronutrientes considerando 0,3 a 1,5 % para nitrógeno (N), seguido de 0,1 a 1,0 % para fósforo (P), seguido de 0,3 a 1,0 % para potasio (K) y 0,2 a 0,7 % para magnesio y finalmente entre 2 y 6 % para calcio. Al respecto los resultados obtenidos en la presente investigación se encuentran por encima de los rangos establecidos por la NTP, nitrógeno (N) en la con valores entre 2,96 y 4,63 %, fósforo (P) entre 1,55 y 1,90 %, potasio (K) con valores entre 2,96 y 4,15 %, magnesio con valores entre 0,74 y 0,94 % y calcio con valores entre 7,02 y 12,25 %. Según Crohn (2016), el abono que contiene más del 1 % de sodio se considera bastante rico en sodio.

Estos valores son consistentes con resultados obtenidos Norma Chilena Oficial Compost Clasificación y requisitos. NCh 2880. Of 2004 en el ítem 5.4.1 “Contenido de nutrientes” establece que el compost debe tener contenidos de nitrógeno total mayor o igual al 0,5 %, expresado sobre la base seca, el mismo que se cumple en la presente investigación con resultados que oscilan entre 2,96 y 4,63 %. A diferencia de los índices requeridos por la Norma de Fertilizantes Orgánicos (Nueva York 525/T-2021) indican que el contenido total de nutrientes (basado en peso seco) debe ser  $\geq 4,0$  % y en fracción de masa de humedad (muestra fresca)  $\geq 3,0$  %, al respecto el potasio (K) sobrepasa en tres tratamientos con valores entre 3,40 y 4,15 % y calcio con valores entre 7,02 y 12,25 %. Los demás parámetros se encuentran con valores inferiores a los establecidos por dicha norma.

Datos similares fueron reportados por Moubareck et al. (2023), en cuanto a los macronutrientes, el contenido en Carbono se encontró entre 22,1 y 28,8 % inferior a lo evidenciado en el presente estudio, en relación al potasio entre 0,32 y 0,95 %, seguido del sodio entre 0,11 y 0,45 % y el fósforo entre 0,05 mg/kg y 0,31 mg/kg y nitrógeno fue el más bajo con cantidades entre 0,02 % y 0,15 %. inferiores a los valores reportados en el presente estudio. Resultados diferentes fueron obtenidos por Keng et al. (2023), en términos de contenido de nutrientes, el nitrógeno, fósforo y potasio totales del compost final fueron 3, 1,43 y 2 %, respectivamente en el compostaje de biorresiduos industriales. Otros comportamientos fueron obtenidos por Vázquez et al. (2020), resultados del compostaje de los biorresiduos que generan los comedores universitarios donde el

contenido de fósforo fue 5,31 y 8,65 mg/kg, los valores de K oscilaron entre 11,95 y 19,70 mg/kg y Mg entre 2,78 y 3,45 mg/kg mientras que los valores de Ca osciló entre 101,0 y 81,7 mg/kg.

Según Noor et al. (2021), el contenido de fósforo total (P) aumentó durante el proceso de compostaje en todos los tratamientos, el aumento en el contenido de P total se debió principalmente al contenido de P en la mezcla de compost y al proceso de descomposición de la materia orgánica durante el proceso de compostaje. Otros autores, como Wei et al. (2016), llegaron a resultados similares. De la misma forma, Noor et al. (2021), afirma que los tratamientos con enmiendas inorgánicas han mostrado contenidos de K total reducidos en comparación con los tratamientos de compost solo orgánico. Finalmente, Noor et al. (2021), afirma que las enmiendas inorgánicas han mejorado significativamente la calidad nutricional del compost. Los resultados obtenidos por Wei et al. (2022), demostraron que el aumento de fósforo total y potasio total se atribuyó al “efecto de concentración”, en el que la materia orgánica se perdió en forma de CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>O, mientras que fósforo total y potasio total aún quedaron retenidos en el compost.

Según Manga et al. (2022), observaron que todas las pilas de compostaje mostraron un aumento en las concentraciones de algunos metales pesados (Zn, Pb, Cr, Cu) y macro y micronutrientes (Na, Mn, Mg, Ca, TP, TK) al final del proceso de compostaje. Un comportamiento similar fue observado por Yáñez et al. (2009). Se cree que este aumento en los aspectos nutricionales y el contenido de metales pesados se debió al efecto de concentración resultante de una degradación significativa de la materia, y por lo tanto, una pérdida neta de peso seco. Al respecto, Jara-Samaniego et al. (2020), menciona que los macronutrientes como el nitrógeno, fósforo y el potasio son nutrientes fundamentales para el crecimiento de las plantas, al final del proceso de compostaje. Los valores obtenidos de N, P y K sobrepasaron ampliamente los porcentajes establecidos en la legislación española, que indican que el porcentaje de macronutrientes debe ser  $\geq$  al 1 %.

Tal como lo indica Policastro & Cesaro (2023), la estabilidad y madurez son consecuencia de la adecuada biodegradación de compuestos orgánicos en presencia de

nutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). De manera similar, según F. Yang et al. (2014), el carbono y el nitrógeno son fundamentales para que los microorganismos ganen energía y construyan nuevas células y, por lo tanto, la relación C/N se utiliza como parámetro de control del proceso.

### **5.5.3 Análisis de micronutrientes o elementos menores del compost obtenido**

Los resultados de análisis de micronutrientes o elementos menores del compost obtenido, siendo el tratamiento T2 (ROT + 5 % TT) el que presenta mayor contenido de hierro (Fe) con 3038,3 ppm, seguido del tratamiento T1 (ROT + 3 % TT) con 2425 ppm, seguido del T4 (ROT + 9 % TT) con 2232,5 ppm y finalmente el T3 (ROT + 7 % TT) con 1324,2 ppm; en relación al cobre (Cu) el T2 (ROT + 5 % TT) presenta mayor contenido con un promedio de 89,8 ppm; en relación al Zinc (Zn) el T2 (ROT + 5 % TT) presenta mayor contenido con un promedio de 750 ppm; en relación al manganeso (Mn) el T4 (ROT + 9 % TT) presenta mayor contenido con un promedio de 730,8 ppm; y finalmente el boro (B) donde el T4 (ROT + 9 % TT) presenta mayor contenido con un promedio de 65,7 ppm.

En comparación de los datos de revisión de los estándares de compost basados en los estándares de Indonesia (SNI 19-7030-2004), los valores establecidos son Hierro Fe máximo, cobre (Cu) máximo 100 ppm, Zinc (Zn) máximo 500 ppm, Manganeso (Mn) valor no establecido y boro (B) (ppm) y el Ministro de Agricultura (Reglamento N° 261/KPTS/SR.310/M/4/2019), los valores establecidos son Hierro Fe 15000 ppm máximo, cobre (Cu) valor no establecido ppm, Zinc (Zn) máximo 5000 ppm, y boro (B) ppm valor no establecido. Al respecto, todos los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos reglamentados.

Según Supriatna et al. (2022), los micronutrientes Mn, Zn y Cu son necesarios en el proceso de crecimiento de las plantas en cantidades moderadas, pero según los resultados de la revisión, estos microelementos aún están por debajo de los límites requeridos, a saber, 115,44 ppm, 443,18 ppm y 52,50 ppm, respectivamente. Por lo tanto, fueron clasificados como seguros. El Cu es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas que se necesita en bajas concentraciones porque cantidades excesivas causan fitotoxicidad. Además, Supriatna et al. (2022), indica que el Mn es un nutriente que las

plantas necesitan en pequeñas cantidades, desempeñando un papel fundamental en la síntesis de clorofila, una coenzima, y actúa como activador de varias enzimas respiratorias en reacciones metabólicas y fotosintéticas.

Según György & Szilveszter (2010), el compost es una fuente de macro, micronutrientes, materia orgánica y compuestos que apoyan y promueven el crecimiento de las plantas. Según Noor et al. (2021), durante el compostaje, los residuos pasan por un proceso de mineralización para convertir los elementos unidos en formas inorgánicas solubles, en consecuencia, cuando el compost se aplica al suelo, los nutrientes están en forma biodisponible y las plantas pueden absorberlos fácilmente. Las investigaciones se correlacionaron positivamente Hashim et al., (2022), quien afirma que en los niveles de nitrógeno (N) del compost, también están presentes micronutrientes como el hierro.

#### **5.5.4 Evaluación de la toxicidad del compost**

Los resultados de la prueba de germinación de semillas mostraron una tasa de germinación exitosa la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) del compost obtenido, siendo el tratamiento T2 (ROT + 5 % TT) con un Porcentaje de germinación relativo (%PGR) de 95 % y Porcentaje de Crecimiento de radícula relativo (%CRR) de 85,55 % dando un Índice de germinación (%IG) con 76,87 %, seguido del tratamiento T3 (ROT + 7 % TT) con IG de 64,69 %, seguido del T4 (ROT + 9 % TT) con IG de 55,99 % y finalmente el T1 (ROT + 3 % TT) con IG de 37,62 % e índice de germinación (%IG) de la cebada (*Hordeum vulgare* L.) del compost obtenido, siendo el tratamiento T2 (ROT + 5 % TT) con un Porcentaje de germinación relativo (%PGR) de 93,75 % y Porcentaje de crecimiento de radícula relativo (%CRR) de 88,77 % dando un Índice de germinación (%IG) con 77,66 %, seguido del tratamiento T3 (ROT + 7 % TT) con IG de 64,87 %, seguido del T4 (ROT + 9 % TT) con IG de 56,59 % y finalmente el T1 (ROT + 3 % TT) con IG de 38,77 %. Lo que sugiere que el compost obtenido es compatible para la aplicación al suelo. En particular, esta prueba fue crucial como uno de los procesos de evaluación final realizados sobre la idoneidad específica del compost para su utilización.

Los valores de índice de germinación obtenidos en la presente investigación son similares a los reportados por J. Wang et al. (2019), que produjo un compost maduro

después de 60 días con un índice de germinación >80 %. Datos similares fueron obtenidos por Rahman et al. (2020), donde la prueba de germinación con *Vigna radiata* mostraron una tasa de germinación altamente exitosa de más del 95 % después de 72 h , lo que sugirió que los compost eran compatibles con la aplicación al suelo. De la misma forma, Wang et al. (2022), obtuvo un índice de germinación (IG) de las muestras compostadas fue superior al 60 % para el proceso de compostaje de residuos alimentarios y residuos de jardín con una duración de 91 días. Contrarios a lo mencionado, Ravindran et al. (2017) realizó el estudio 10 sitios con la aplicación de estiércol, se indicó fitotoxicidad (<50 % IG) en tres sitios para tomate, dos sitios para rábano, un sitio para zanahoria y cebolla. Se observó fitotoxicidad moderada (>50 %, pero <80 % IG) en cuatro sitios para tomate, seis para rábano, cuatro para zanahoria y cuatro para cebolla. Se observó fitotoxicidad limitada o nula (>80 % IG) en tres sitios para tomate, dos para rábano, cinco para zanahoria y cinco para cebolla.

Otros autores demostraron que existe una fuerte relación entre la frecuencia de giro y algunos indicadores fisicoquímicos del compost o la madurez del compost el mismo que podría afectar el índice de germinación (IG) de las pilas de compostaje (Soto-Paz et al., 2020). Comportamientos similares fueron reportados por Ma et al. (2022), quien evidencio que a medida que avanzaba el proceso de compostaje, los valores de IG de CMS1, CMS3 y CMS5 aumentaron, alcanzando 91,6 %, 93,77 % y 124,36 % al final del tiempo de compostaje, respectivamente, resultados similares fueron obtenidos Yang et al. (2013), quien afirma que el IG siempre aumenta con la degradación de materiales tóxicos en la pila de compostaje. Según Jiang et al. (2023) el índice de crecimiento (IG) de todas las especies aumentó progresivamente a lo largo del proceso de compostaje, al finalizar el compostaje, C2 exhibió un valor de IG de 112 %. Según Ma et al. (2022), el compost se reconoce básicamente y suficientemente maduro cuando el valor de IG es superior al 50 % y lo suficientemente maduro cuando el valor de IG alcanza el 80 % (Ma et al., 2022).

La determinación de la fitotoxicidad es un parámetro crucial para comprobar la madurez del compost (Ravindran et al., 2017). La cuantificación de la fitotoxicidad se basa principalmente en el índice de germinación (IG) y este valor se deriva del

rendimiento de las plántulas del cultivo, la germinación relativa de las semillas y el alargamiento relativo de las raíces durante el período de ensayo. Según Paradelo et al. (2008), sugirieron que los valores de IG inferiores al 50 % indicaban un medio fitotóxico, mientras que aquellos entre el 50 % y el 80 % indicaban fitotoxicidad moderada y los valores de IG superiores al 80 % indicaban falta de fitotoxicidad. Por otro lado, Y. Li et al. (2023), afirma que el IG por encima del 70 % sugiere que el compost se descompusieron completamente y no presentan toxicidad para las plantas. Otros autores como L. Li et al. (2021) y G. Zhou et al. (2019), afirman que se considera maduro y libre de fitotoxinas cuando tiene un IG superior al 80 %. Muy por el contrario, Keng et al. (2023), considera que un índice de germinación GI superior al 50 % representa la no fitotoxicidad del compost.

## CONCLUSIONES

1. El proceso de compostaje mediante la incorporación de Totorá (*Schoenoplectus tatora*) como agente estructurante causa un efecto positivo mejorando significativamente los parámetros de compostaje como la relación C/N, la humedad, temperatura, el pH y biodegradabilidad del residuo orgánico triturado, optimizando la porosidad para facilitar una mejor aireación, mejorando la mezcla homogénea de los materiales orgánicos iniciales evitando la generación de lixiviados y mejorando el desarrollo de una microbiota eficiente; buscando alcanzar una estabilización rápida y acelerando la degradación de la materia orgánica, reduciendo el tiempo de compostaje.
2. La calidad agronómica en los compost obtenidos de los diferentes tratamientos, mediante el análisis de macronutrientes y micronutrientes esenciales muestran un comportamiento diferenciado según el tratamiento aplicado con un contenido en materia orgánica que oscila entre 54,241 y 57,739 %, fósforo ( $P_2O_5$ ) entre 1,552 y 1,909 %, potasio ( $K_2O$ ) entre 2,962 y 4,158 %, calcio ( $CaO$ ) entre 7,028 y 12,250, magnesio ( $MgO$ ) 0,744 y 0,786 y sodio ( $Na$ ) entre 0,585 y 0,778 %, además el compost presenta microelementos como Fe (ppm) que oscila entre 1324,2 y 3038,3 ppm, Cu (ppm) entre 22,5 y 89,8, Zn (ppm) entre 104,2 y 750 ppm, Mn (ppm) entre 406,7 y 730,8 y finalmente B (ppm) entre 45,7 y 65,7 ppm, todas las pilas de compostaje exhibieron micro y macronutrientes considerablemente altos en el compost final ideales para el uso agrícola.
3. La incorporación de Totorá (*Schoenoplectus tatora*) como agente estructurante del proceso de compostaje de residuos orgánicos genera un compost estable, de moderada fitotoxicidad con una tasa de germinación exitosa la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) con un porcentaje de germinación relativo (%PGR) de 95,00 % y porcentaje de crecimiento de radícula relativo (%CRR) de 85,55 % dando un índice de germinación (%IG) con 76,87 % y la cebada (*Hordeum vulgare* L.) con un porcentaje de germinación relativo (%PGR) de 93,75 % y porcentaje de crecimiento de radícula relativo (%CRR) de 88,77 % dando un índice de germinación (%IG) con 77,66 % siendo el mejor tratamiento T2 (ROT + 5 % TT).

## **RECOMENDACIONES**

1. Realizar futuros estudios para probar diferentes agentes estructurantes disponibles localmente, así como combinaciones para la optimización de procesos de compostaje de residuos orgánicos.
2. Realizar la aplicación de agentes estructurantes disponibles localmente en el compostaje de lodos residuales y/o residuos compostables con alto contenido de lixiviados.
3. Estimar la influencia de los agentes estructurantes en la dinámica de las poblaciones microbianas del compostaje y su impacto en desarrollo de una comunidad de microbiota eficiente

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdul, M., Sadi, T., Ahmad, A. A., Masri, I. N., Mohammad Yusoff, M., Kamaruddin, H., Shakri, N. A., Hamid, M. A. A., & Ab. Malek, R. (2020). Inventory and composting of yard waste in Serdang, Selangor, Malaysia. *Heliyon*, 6(7), e04486. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04486>
- Abdullah, N., Chin, N. L., Mokhtar, M. N., & Taip, F. S. (2013). Effects of bulking agents, load size or starter cultures in kitchen-waste composting. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/2251-7715-2-3>
- Adhikari, B. K. (2005). Urban food waste composting. In *McGill University* (Issue December). McGill University. <https://escholarship.mcgill.ca/downloads/cr56n143h.pdf>
- Albrecht, R., Périsol, C., Ruaudel, F., Petit, J. Le, & Terrom, G. (2010). Functional changes in culturable microbial communities during a co-composting process : Carbon source utilization and co-metabolism. *Waste Management*, 30(5), 764–770. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.12.008>
- Arrieta-Vela, G. (2020). Evaluación del proceso de compostaje a base de residuos de cocina con bosta de caballo provenientes de la UNALM [Universidad Nacional Agraria La Molina]. In *Repositorio Institucional UNALM*. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4698/arrieta-vela-gabriela.pdf?sequence=1>
- Awasthi, M. K., Pandey, A. K., Bundela, P. S., & Khan, J. (2015). Co-composting of organic fraction of municipal solid waste mixed with different bulking waste: Characterization of physicochemical parameters and microbial enzymatic dynamic. *Bioresource Technology*, 182, 200–207. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.104>

- Azizi, A. B., Lim, M. P. M., Noor, Z. M., & Abdullah, N. (2013). Ecotoxicology and Environmental Safety Vermiremoval of heavy metal in sewage sludge by utilising *Lumbricus rubellus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *90*, 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.12.006>
- Bakar, A. A., Mahmood, N. Z., Da Silva, J. A. T., Abdullah, N., & Jamaludin, A. A. (2011). Vermicomposting of sewage sludge by *Lumbricus rubellus* using spent mushroom compost as feed material: Effect on concentration of heavy metals. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, *16*(5), 1036–1043. <https://doi.org/10.1007/s12257-011-0147-y>
- Bellemare, M. F., Cakir, M., Peterson, H. H., Novak, L., & Rudi, J. (2017). On the measurement of food waste. *American Journal of Agricultural Economics*, *0*(0), 1–11. <https://doi.org/10.1093/ajae/aax034>
- Beltrán-Quevedo, M. A. (2017). Uso de materiales de soporte en la eficiencia del proceso de compostaje de residuos vegetales de mercado [Universidad Nacional Agraria La Molina]. In *Repositorio Institucional UNALM*. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3130/quevedo-beltran-miguel-angel.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Bernal, M. P., Paredes, C., Sánchez-Monedero, M. A., & Cegarra, J. (1998). Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology*, *63*(1), 91–99. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(97\)00084-9](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(97)00084-9)
- Bezama, A., Aguayo, P., Konrad, O., Navia, R., & Lorber, K. E. (2007). Investigations on mechanical biological treatment of waste in South America : Towards more sustainable MSW management strategies. *Waste Management*, *27*, 228–237. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.01.010>
- Browne, J. D., & Murphy, J. D. (2013). Assessment of the resource associated with biomethane from food waste. *Applied Energy*, *104*, 170–177. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.11.017>

- Bustamante, M. A., Paredes, C., Marhuenda-Egea, F. C., Pérez-Espinosa, A., Bernal, M. P., & Moral, R. (2008). Co-composting of distillery wastes with animal manures: Carbon and nitrogen transformations in the evaluation of compost stability. *Chemosphere*, 72(4), 551–557. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.03.030>
- California Compost Quality Council. (2001). Compost Maturity Index. In *CIWMB* (Issue June, pp. 1–26). <https://solvita.com/wp-content/uploads/2014/04/CA-Maturity-Index-2001.pdf>
- Cao, Y., Wang, X., Liu, L., Velthof, G. L., Misselbrook, T., Bai, Z., & Ma, L. (2020). Acidification of manure reduces gaseous emissions and nutrient losses from subsequent composting process. *Journal of Environmental Management*, 264(January), 110454. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110454>
- Caruajulca, J., Sánchez, A., Chávarry, P., Chávez, A., Vega, M., & Sánchez, O. (2022). Caracterización fisicoquímica de compost producido con residuos orgánicos obtenidos del mercado mayorista de Chota , Cajamarca , Perú Physicochemical characterization of compost produced with organic waste obtained from the Chota wholesale market , Cajama. *Revista Ciencia Nor@ndina*, 5(2), 126–138. <https://doi.org/10.37518/2663-6360X2022v5n2p126>
- Cerda, A., Artola, A., Font, X., Barrena, R., Gea, T., Sánchez, A., Cerda, A., Artola, A., Font, X., Barrena, R., & Gea, T. (2017). Composting of food wastes : Status and challenges. *Bioresource Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.133>
- Chang, R., Li, Y., Li, N., Wu, X., & Chen, Q. (2021). Effect of microbial transformation induced by metallic compound additives and temperature variations during composting on suppression of soil-borne pathogens. *Journal of Environmental Management*, 279(January 2020), 111816. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111816>

- Confesor, R., Hamlett, J., Shannon, R. & Graves, R. (2008). Potential Pollutants from Farm, Food and Yard Waste Composts at Differing Ages: Part I. Physical and Chemical Properties. *Compost Science and Utilization*, 16(4), 228–238. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2008.10702384>
- Crohn, D. (2016). Assessing Compost Quality for Agriculture. *Assessing Compost Quality for Agriculture*. <https://doi.org/10.3733/ucanr.8514>
- Drózdź, D., Malińska, K., Kacprzak, M., Mrowiec, M., Szczypiór, A., Postawa, P., & Stachowiak, T. (2020). Potential of Fish Pond Sediments Composts as Organic Fertilizers. In *Waste and Biomass Valorization* (Vol. 11, Issue 10, pp. 5151–5163). <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01074-6>
- Ebrahimian, F., Karimi, K., & Kumar, R. (2020). Sustainable biofuels and bioplastic production from the organic fraction of municipal solid waste. *Waste Management*, 116, 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.049>
- Echeverria, M. C., Cardelli, R., Bedini, S., Colombini, A., Incrocci, L., Castagna, A., Agnolucci, M., Cristani, C., Ranieri, A., Saviozzi, A., & Nuti, M. (2012). Microbially-enhanced composting of wet olive husks. *Bioresource Technology*, 104, 509–517. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.11.042>
- Ekinci, K., Tosun, İ., Sülük, K., Şevik, F., Kumbul, B. S., & Bitrak, N. B. (2022). Evaluation of Forced Aerated and Turned Pile Composting of Rose Oil Processing Wastes. *Environment Protection Engineering*, 48(1), 99–115. <https://doi.org/10.37190/epe220107>
- Fasano, F., Addante, A. S., Valenzano, B., & Scannicchio, G. (2021). Variables influencing per capita production, separate collection, and costs of municipal solid waste in the Apulia Region (Italy): An experience of deep learning. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2), 1–23. <https://doi.org/10.3390/ijerph18020752>

- Foronda-zapata, K., Arias-giraldo, C., Soto-paz, J., Marmolejo-rebellón, L. F., & Torres-lozada, P. (2021). Efecto de la incorporación de pasto estrella sobre el mejoramiento del proceso y la calidad del producto del compostaje de biorresiduos Effect Of Grass Star Incorporation On The Composting Biowaste Process And On The Quality Of The Product Efeito da incor. *Revista EIA*, *57*, 1–11.
- Gao, Y., Zhang, C., Tan, L., Wei, X., Li, Q., Zheng, X., & Liu, F. (2022). Full-Scale of a Compost Process Using Swine Manure , Human Feces , and Rice Straw as Feedstock. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, *10*(July), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.928032>
- Garau, M., Garau, G., Diquattro, S., Paolo, P., & Castaldi, P. (2019). Ecotoxicology and Environmental Safety Mobility , bioaccessibility and toxicity of potentially toxic elements in a contaminated soil treated with municipal solid waste compost. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *186*(July), 109766. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109766>
- Garrido-Acosta, L. R., Florida-rofner, N., Cipriano, J. N.-, & Rengifo-rojas, A. (2023). Calidad del compost a base de residuos orgánicos urbanos en Leoncio Prado, Perú. *Editorial Lasallista*, *18*(1), 118–137. <https://doi.org/10.22507/pml.v18n1a8>
- Ge, J., Huang, G., Huang, J., Zeng, J., & Han, L. (2015). Modeling of oxygen uptake rate evolution in pig manure-wheat straw aerobic composting process. *Chemical Engineering Journal*, *276*, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.04.067>
- Ge, J., Huang, G., Sun, X., Yin, H., & Han, L. (2019). New insights into the kinetics of bacterial growth and decay in pig manure – wheat straw aerobic composting based on an optimized PMA – qPCR method. *Open Access*. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13380>
- Gerlach, R. W., Dobb, D. E., Raab, G. A., & Nocerino, J. M. (2002). Gy sampling theory in environmental studies. 1. Assessing soil splitting protocols. *Journal of Chemometrics*, *16*(7), 321–328. <https://doi.org/10.1002/cem.705>

- Gnagwar, S., Singh, S., Mahajan, S., & Verma, S. K. (2019). Design and fabrication of waste food composting machine. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 2159–2163.
- Graça, J., Murphy, B., Pentlavalli, P., Allen, C. C. R., Bird, E., Gaffney, M., Duggan, T., & Kelleher, B. (2021). Bacterium consortium drives compost stability and degradation of organic contaminants in in-vessel composting process of the mechanically separated organic fraction of municipal solid waste (MS-OFMSW). *Bioresource Technology Reports*, 13(January), 100621. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100621>
- Guo, X., Gu, J., Gao, H., Qin, Q., Chen, Z., Shao, L., Chen, L., Li, H., Zhang, W., Chen, S., & Liu, J. (2012). Effects of Cu on metabolisms and enzyme activities of microbial communities in the process of composting. *Bioresource Technology*, 108, 140–148. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.12.087>
- Gupta, R., Mutiyar, P. K., Rawat, N. K., Saini, M. S., & Garg, V. K. (2007). Development of a water hyacinth based vermireactor using an epigeic earthworm *Eisenia foetida*. *Bioresource Technology*, 98(1), 2605–2610. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.09.007>
- Guzmán, J. (2023). Síntesis y extracción de sustancias húmicas a partir de residuos orgánicos compostados provenientes de la industria alimentaria Lima , Perú 2022 Synthesis and extraction of humic substances from composted organic waste from the food industry Lima , Peru 2. *La Revista DÉKAMU AGROPEC*, 4(1), 134–148. <https://doi.org/10.55996/dekamuagropec.v4i1.149>
- György, F., & Szilveszter, B. (2010). Sociology, Organic Farming, Climate Change and Soil Science. *Sustainable Agriculture Reviews*, 478. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3333-8>

- Hachicha, R., Rekik, O., Hachicha, S., Ferchichi, M., Woodward, S., Moncef, N., Cegarra, J., & Mechichi, T. (2012). Co-composting of spent coffee ground with olive mill wastewater sludge and poultry manure and effect of *Trametes versicolor* inoculation on the compost maturity. *Chemosphere*, 88(6), 677–682. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.03.053>
- Hashim, S., Waqas, M., Rudra, R. P., Khan, A. A., Mirani, A. A., Sultan, T., Ehsan, F., Abid, M., & Saifullah, M. (2022). On-Farm Composting of Agricultural Waste Materials for Sustainable Agriculture in Pakistan. *Scientifica*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/5831832>
- Hassanzadeh Moghimi, O., Nabi Bidhendi, G., Daryabeigi Zand, A., Rabiee Abyaneh, M., & Nabi Bidhendi, A. (2023). Effect of forest-based biochar on maturity indices and bio-availability of heavy metals during the composting process of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW). *Scientific Reports*, 13(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42835-2>
- Haug, R. T. (1993). Compost Engineering. In *Lewis Publishers*. LEWIS PUBLISHERS. <https://www.routledge.com/The-Practical-Handbook-of-Compost-Engineering/Haug/p/book/9780873713733>
- Heidarzadeh, M. H., Amani, H., & Javadian, B. (2019). Improving municipal solid waste compost process by cycle time reduction through inoculation of *Aspergillus niger*. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 17(1), 295–303. <https://doi.org/10.1007/s40201-019-00348-z>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2014). Metodología de la investigación. In *McGRAW-HILL* (6ta edición). <http://www.casadellibro.com/libro-metodologia-de-la-investigacion-5-ed-incluye-cd-rom/9786071502919/1960006>
- Hettiarachchi, H., Meegoda, J. N., & Ryu, S. (2018). Organic waste buyback as a viable method to enhance sustainable municipal solid waste management in developing countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(11), 1–15. <https://doi.org/10.3390/ijerph15112483>

- Hwang, H. Y., Kim, S. H., Kim, M. S., Park, S. J., & Lee, C. H. (2020). Co - composting of chicken manure with organic wastes : characterization of gases emissions and compost quality. *Applied Biological Chemistry*. <https://doi.org/10.1186/s13765-019-0483-8>
- Iqbal, M. K., Nadeem, A., Sherazi, F., & Khan, R. A. (2015). Optimization of process parameters for kitchen waste composting by response surface methodology. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *12*(5), 1759–1768. <https://doi.org/10.1007/s13762-014-0543-x>
- Jara-Samaniego, J., Gallegos, J., & Pullopaxi, A. (2020). Biotransformación De Residuos Orgánicos Generados En La Escuela Superior Politécnica De Chimborazo-Ecuador Mediante Compostaje. *InterSedes*, *21*(44), 202–221. <https://doi.org/10.15517/isucr.v21i44.43944>
- Jiang, H., Zhang, Y., Cui, R., Ren, L., Zhang, M., & Wang, Y. (2023). Effects of Two Different Proportions of Microbial Formulations on Microbial Communities in Kitchen Waste Composting. *Microorganisms*, *11*(10). <https://doi.org/10.3390/microorganisms11102605>
- Jin, Y., Chen, T., Chen, X., & Yu, Z. (2015). Life-cycle assessment of energy consumption and environmental impact of an integrated food waste-based biogas plant. *Applied Energy*, *151*(July 2010), 227–236. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.058>
- Jin, Y., Miao, Y., Geng, Y., Huang, M., Zhang, Y., Song, X., Li, S., & Zou, J. (2021). Calcium superphosphate-mediated reshaping of denitrifying bacteria community contributed to n<sub>2</sub> o mitigation in pig manure windrow composting. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(1), 1–11. <https://doi.org/10.3390/ijerph18010171>
- Karadag, D., Özkaya, B., Ölmez, E., Nissilä, M. E., & Çakmakç, M. (2013). Profiling of bacterial community in a full-scale aerobic composting plant. *International Biodeterioration & Biodegradation*, *77*. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.10.011>

- Katiyar, A., Gaur, A., & Kaur, M. G. (2019). Design and Construction of a Shredding Machine for Recycling and Management of Organic Waste. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, Volume-3(Issue-4), 707–712. <https://doi.org/10.31142/ijtsrd23889>
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-tata, P., & Woerden, F. Van. (2018). WHAT A WASTE 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. In *World Bank Group*. <https://espas.secure.europarl.europa.eu/orbis/system/files/generated/document/en/211329ov.pdf>
- Keng, Z. X., Jean, J., Tan, M., Phoon, B. L., Khoo, C. C., Khoiroh, I., Chong, S., Supramaniam, C., Singh, A., & Pan, G. (2023). Aerated Static Pile Composting for Industrial Biowastes : From Engineering to Microbiology. *Bioengineering Article*, 1–16.
- Kutsanedzie, F., Ofori, V., & Diaba, K. S. (2015). Maturity and Safety of Compost Processed in HV and TW Composting Systems. *International Journal of Science, Technology and Society*, 3(4), 202–209. <https://doi.org/10.11648/j.ijsts.20150304.24>
- Latifah, O., Ahmed, O. H., Susilawati, K., & Majid, N. M. (2015). Compost maturity and nitrogen availability by co-composting of paddy husk and chicken manure amended with clinoptilolite zeolite. *WM&R*. <https://doi.org/10.1177/0734242X15576771>
- Lee, Y. (2016). Various Microorganisms' Roles in Composting: A Review. *APEC Youth Scientist Journal*, 8(1), 11–15. <http://www.sigs.or.kr>
- Li, L., Guo, X., Zhao, T., & Li, T. (2021). Green waste composting with bean dregs, tea residue, and biochar: Effects on organic matter degradation, humification and compost maturity. *Environmental Technology and Innovation*, 24(35), 101887. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101887>
- Li, Q., Wang, X. C., Zhang, H. H., Shi, H. L., Hu, T., & Ngo, H. H. (2013). Characteristics of nitrogen transformation and microbial community in an aerobic composting reactor under two typical temperatures. *Bioresource Technology*, 137, 270–277.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.03.092>

- Li, W., Liu, Y., Hou, Q., Huang, W., Zheng, H., Gao, X., Yu, J., Zhang, L. H., & Sun, Z. (2019). *Lactobacillus plantarum* improves the efficiency of sheep manure composting and the quality of the final product. *Bioresource Technology*, 122456. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122456>
- Li, Y., Jin, Y., Borrion, A., Li, H., & Li, J. (2017). Effects of organic composition on the anaerobic biodegradability of food waste. *Bioresource Technology*, 243, 836–845. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.028>
- Li, Y., Li, J., Chang, Y., Li, R., Zhou, K., Zhan, Y., Wei, R., & Wei, Y. (2023). Comparing bacterial dynamics for the conversion of organics and humus components during manure composting from different sources. *Frontiers in Microbiology*, 14(September), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1281633>
- Lin, C., Cheruiyot, N. K., Bui, X. T., & Ngo, H. H. (2022). Composting and its application in bioremediation of organic contaminants. *Bioengineered*, 13(1), 1073–1089. <https://doi.org/10.1080/21655979.2021.2017624>
- Lin, L., Xu, F., Ge, X., & Li, Y. (2018). Improving the sustainability of organic waste management practices in the food-energy-water nexus: A comparative review of anaerobic digestion and composting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89(February), 151–167. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.025>
- Ling, N., Deng, K., Song, Y., Wu, Y., Zhao, J., Raza, W., Huang, Q., & Shen, Q. (2014). Variation of rhizosphere bacterial community in watermelon continuous monocropping soil by long-term application of a novel bioorganic fertilizer. *Microbiological Research*, 169(7–8), 570–578. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.10.004>
- Liu, D., Zhang, R., Wu, H., Xu, D., Tang, Z., Yu, G., Xu, Z., & Shen, Q. (2011). Changes in biochemical and microbiological parameters during the period of rapid composting of dairy manure with rice chaff. *Bioresource Technology*, 102(19), 9040–9049. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.07.052>

- Ma, Q., Li, Y., Xue, J., Cheng, D., & Li, Z. (2022). Effects of Turning Frequency on Ammonia Emission during the Composting of Chicken Manure and Soybean Straw. *Molecules*, 27(2), 1–21. <https://doi.org/10.3390/molecules27020472>
- Maeda, K. (2020). Use of corn stover as bulking agent in dairy manure composting toward Japanese circular dairy farming. *PLoS ONE*, 1–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241064>
- Manga, M., Evans, B. E., Ngasala, T. M., & Camargo-Valero, M. A. (2022). Recycling of Faecal Sludge: Nitrogen, Carbon and Organic Matter Transformation during Co-Composting of Faecal Sludge with Different Bulking Agents. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(17). <https://doi.org/10.3390/ijerph191710592>
- Manga, M., Muoghalu, C., Camargo-Valero, M. A., & Evans, B. E. (2023). Effect of Turning Frequency on the Survival of Fecal Indicator Microorganisms during Aerobic Composting of Fecal Sludge with Sawdust. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3). <https://doi.org/10.3390/ijerph20032668>
- Manohara, B., & Belagali, S. L. (2014). Characterization of Essential Nutrients and Heavy Metals during Municipal Solid Waste. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(2), 9664–9672.
- Michel, F. M., & Keener, H. M. (2015). Ohio Compost Operator Education Course. *The Ohio State University*, 14. [https://ocamm.osu.edu/sites/ocamm/files/imce/Compost/Compost-Calculations/Lab\\_workbook.pdf](https://ocamm.osu.edu/sites/ocamm/files/imce/Compost/Compost-Calculations/Lab_workbook.pdf)
- Modderman, C. (2019). Composting with or without Additives The Composting Process. *ASA Special Publications*, 245–254. <https://doi.org/10.2134/asaspecpub67.c19>

- Mohee, R., Boojhawon, A., Sewhoo, B., Rungasamy, S., Somaroo, G. D., & Mudhoo, A. (2015). Assessing the potential of coal ash and bagasse ash as inorganic amendments during composting of municipal solid wastes. *Journal of Environmental Management*, *159*, 209–217. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.05.008>
- Moubareck, C. A., Alawlaqi, B., & Alhajeri, S. (2023). Characterization of physicochemical parameters and bacterial diversity of composted organic food wastes in Dubai. *Heliyon*, *9*(6), e16426. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16426>
- Nakasaki, K., & Hirai, H. (2017). Temperature control strategy to enhance the activity of yeast inoculated into compost raw material for accelerated composting. *Waste Management*, *65*, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.04.019>
- Noor, R. S., Sun, Y., Qu, J., Hussain, F., Waqas, M. M., Shah, A. N., & Noor, R. (2021). Quantifying the effects of co-composting organic biomass mixtures with inorganic amendments to obtain value-added bioproducts. *PLoS ONE*, *16*(7 July), 1–22. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253714>
- Nordahl, S. L., Preble, C. V., Kirchstetter, T. W., & Scown, C. D. (2023). Greenhouse Gas and Air Pollutant Emissions from Composting. *Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c05846>
- Obsa, O., Tadesse, M., Kim, D. G., Asaye, Z., Yimer, F., Gebrehiwot, M., Brüggemann, N., & Prost, K. (2022). Organic Waste Generation and Its Valorization Potential through Composting in Shashemene, Southern Ethiopia. *Sustainability (Switzerland)*, *14*(6), 1–19. <https://doi.org/10.3390/su14063660>
- OMS. (2015). Waste and human health. *WHO Meeting Report, November*, 35. [http://www.euro.who.int/pubrequest%0Ahttp://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0003/317226/Waste-human-health-Evidence-needs-mtg-report.pdf?ua=1](http://www.euro.who.int/pubrequest%0Ahttp://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0003/317226/Waste-human-health-Evidence-needs-mtg-report.pdf?ua=1)
- Ortíz-Dongo, L. F. (2020). Efecto del tipo de estiércol y frecuencia de aireación (volteo) en el comportamiento del proceso de compostaje. In *Repositorio Institucional UNALM*.

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4430/ortiz-dongo-luis-felipe.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Oudart, D., Robin, P., Paillat, J. M., & Paul, E. (2015). Modelling nitrogen and carbon interactions in composting of animal manure in naturally aerated piles. *Waste Management*, *46*, 588–598. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.07.044>
- Papale, M., Romano, I., Finore, I., Giudice, A. Lo, Piccolo, A., Cangemi, S., Meo, V. Di, Nicolaus, B., & Poli, A. (2021). Prokaryotic diversity of the composting thermophilic phase: The case of ground coffee compost. *Microorganisms*, *9*(2), 1–19. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9020218>
- Paradelo, R., Moldes, A. B., Rodríguez, M., & Barral, M. T. (2008). Relación entre metales pesados y fitotoxicidad en composts. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, *6*(2), 143–151. <https://doi.org/10.1080/11358120809487639>
- Petric, I., Avdihod, E., & Ibri, N. (2015). Numerical simulation of composting process for mixture of organic fraction of municipal solid waste and poultry manure. *Ecological Engineering*, *75*, 242–249. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.12.003>
- Pilar, R., María, M., & Alberto, P. (2015). Manual de compostaje del agricultor. In *Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe*.
- Policastro, G., & Cesaro, A. (2023). Composting of Organic Solid Waste of Municipal Origin : The Role of Research in Enhancing Its Sustainability. *International Journal of Environmental Research and Public Health*.
- Poulsen, T. G. (2011). Oxygen and Carbon Dioxide Distribution And Movement in Passively Aerated Compost Piles. *Compost Science and Utilization*, *19*(1), 25–32. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2011.10736973>
- Pudelko, K. (2014). Effect of forced ventilation during composting on *Agaricus bisporus* substrate selectivity. *International Biodeterioration & Biodegradation*, *93*, 153–161. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.03.021>

- Puyuelo, B., Gea, T., & Sánchez, A. (2010). A new control strategy for the composting process based on the oxygen uptake rate. *Chemical Engineering Journal Journal*, *165*, 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.09.011>
- Rastogi, M., Nandal, M., & Khosla, B. (2020). Microbes as vital additives for solid waste composting. *Heliyon*, *6*(2), e03343. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03343>
- Rastogi, M., Nandal, M., & Nain, L. (2019). Seasonal variation induced stability of municipal solid waste compost: an enzyme kinetics study. *SN Applied Sciences*, *1*(8). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0889-2>
- Raut, M. P., Prince William, S. P. M., Bhattacharyya, J. K., Chakrabarti, T., & Devotta, S. (2008). Microbial dynamics and enzyme activities during rapid composting of municipal solid waste - A compost maturity analysis perspective. *Bioresource Technology*, *99*(14), 6512–6519. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.11.030>
- Ravindran, B., Mupambwa, H. A., Silwana, S., & Mnkeni, P. N. S. (2017). Assessment of nutrient quality, heavy metals and phytotoxic properties of chicken manure on selected commercial vegetable crops. *Heliyon*, *3*(12), e00493. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2017.e00493>
- Rengifo Barboza, I. M. (2021). Optimización del proceso de compostaje de residuos sólidos orgánicos, en el distrito de Contamana, provincia de Ucayali, departamento Loreto. In *Repositorio Institucional - UNU*. [http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/5355/B5\\_2022\\_UNU\\_AMBIE\\_NTAL\\_2021\\_T\\_ISABEL\\_RENGIFO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/5355/B5_2022_UNU_AMBIE_NTAL_2021_T_ISABEL_RENGIFO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rich, N., & Bharti, A. (2015). Assessment of different types of in-vessel composters and its effect on stabilization of MSW compost. *International Research Journal of Engineering and Technology*, *2*(3), 805–813. [www.irjet.net](http://www.irjet.net)
- Salama, Y., Chennaoui, M., Amraoui, M. El, & Mountadar, M. (2017). A Review of Compost Produced from Biological Wastes: Sugarcane Industry Waste. *International Journal of Food Science and Biotechnology*, *1*(1), 24. <https://doi.org/10.11648/j.ijfsb.20160101.14>

- San Martín Ruiz, M., Reiser, M., & Kranert, M. (2020). Enhanced composting as a way to a climate-friendly management of coffee by-products. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(19), 24312–24319. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08742-z>
- Sangwan, P., Kaushik, C. P., & Garg, V. K. (2008). *Feasibility of utilization of horse dung spiked filter cake in vermicomposters using exotic earthworm Eisenia foetida*. 99, 2442–2448. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.04.061>
- Schumacher, B. A., Shines, K. C., Burton, J. V., & Papp, M. L. (1990). Comparison of Three Methods for Soil Homogenization. *Soil Science Society of America Journal*, 54(4), 1187–1190. <https://doi.org/10.2136/sssaj1990.03615995005400040046x>
- Sellami, F., Hachicha, S., Chtourou, M., Medhioub, K., & Ammar, E. (2008). Maturity assessment of composted olive mill wastes using UV spectra and humification parameters. *Bioresource Technology*, 99, 6900–6907. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.01.055>
- Shiferaw, A., Tsega, N. T., Alemu, A., Endalew, M., & Bitew, B. D. (2023). On-Site Solid Waste Handling Practice and Associated Factors among Condominium Residents in Gondar City, Northwest Ethiopia, 2021: A Community-Based Cross-Sectional Study. *Journal of Environmental and Public Health*, 2023, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2023/5267790>
- Song, C., Li, M., Qi, H., Zhang, Y., Liu, D., Xia, X., Pan, H., & Xi, B. (2018). Impact of anti-acidification microbial consortium on carbohydrate metabolism of key microbes during food waste composting. *Bioresource Technology*, 259(March), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.03.022>
- Soto-Paz, J., Oviedo-Ocaña, E. R., Manyoma, P. C., Marmolejo-Rebellón, L. F., Torres-Lozada, P., Barrena, R., Sánchez, A., & Komilis, D. (2020). Influence of mixing ratio and turning frequency on the co-composting of biowaste with sugarcane filter cake: a mixture experimental design. *Waste and Biomass Valorization*, 11(6), 2475–2489. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00592-2>

- Stejskal, B., & Jordánková, K. (2015). Compost Oversize Fraction Composition. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas*, 352, 1303–1311. <https://doi.org/http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2015.4.3.094>
- Storey, S., Chualain, D. N., Doyle, O., Clipson, N., & Doyle, E. (2015). Comparison of bacterial succession in green waste composts amended with inorganic fertiliser and wastewater treatment plant sludge. *Bioresource Technology*, 179, 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.11.107>
- Sudharsan Varma, V., & Kalamdhad, A. S. (2015). Evolution of chemical and biological characterization during thermophilic composting of vegetable waste using rotary drum composter. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(6), 2015–2024. <https://doi.org/10.1007/s13762-014-0582-3>
- Supriatna, J., Setiawati, M. R., Sudirja, R., Suherman, C., & Bonneau, X. (2022). Composting for a More Sustainable Palm Oil Waste Management: A Systematic Literature Review. *Scientific World Journal*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/5073059>
- TMECC. (2004). Test Methods for the Examination of Composting and Compost. *The U.S. Composting Council, December 1995*. <http://compostingcouncil.org/tmecc/>
- Tran, H., Lin, C., Bui, X., Ngo, H., Kiprotich, N., Hoang, H., & Vu, C. (2021). Science of the Total Environment Aerobic composting remediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil . Current and future perspectives. *Science of the Total Environment*, 753, 142250. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142250>
- Varma, V. S., Dhamodharan, K., & Kalamdhad, A. S. (2018). Characterization of bacterial community structure during in-vessel composting of agricultural waste by 16S rRNA sequencing. *3 Biotech*, 8(7), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1319-7>
- Vázquez, M. A., Plana, R., Pérez, C., & Soto, M. (2020). Development of Technologies for Local Composting of Food Waste from Universities. *Environmental Research and Research and Public Health*.

- Villar, I., Alves, D., Garrido, J., & Mato, S. (2016). Evolution of microbial dynamics during the maturation phase of the composting of different types of waste. *Waste Management*, *54*, 83–92. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.05.011>
- Vinti, G., Bauza, V., Clasen, T., Medlicott, K., Tudor, T., Zurbrügg, C., & Vaccari, M. (2021). Municipal solid waste management and adverse health outcomes: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(8), 1–26. <https://doi.org/10.3390/ijerph18084331>
- Wainaina, S., Awasthi, M. K., Sarsaiya, S., Chen, H., Singh, E., Kumar, A., Ravindran, B., Awasthi, S. K., Liu, T., Duan, Y., Kumar, S., Zhang, Z., & Taherzadeh, M. J. (2020). Resource recovery and circular economy from organic solid waste using aerobic and anaerobic digestion technologies. *Bioresource Technology*, *301*(November 2019), 122778. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122778>
- Wang, J., Du, X., Zhang, Y., Li, T., & Liao, X. (2016). Effect of Substrate on Identification of Microbial Communities in Poultry Carcass Composting and Microorganisms Associated with Poultry Carcass Decomposition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *64*(36), 6838–6847. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b02442>
- Wang, J., Liu, Z., Xia, J., & Chen, Y. (2019). Effect of microbial inoculation on physicochemical properties and bacterial community structure of citrus peel composting. *Bioresource Technology*, *291*(July), 121843. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121843>
- Wang, S., Zhong, X., Wang, T., Sun, Z., Tang, Y., & Kida, K. (2017). Aerobic composting of distilled grain waste eluted from a Chinese spirit-making process: the effects of initial pH adjustment. *Bioresource Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.051>

- Wang, X., Cui, H., Shi, J., Zhao, X., Zhao, Y., & Wei, Z. (2015). Relationship between bacterial diversity and environmental parameters during composting of different raw materials. *Bioresource Technology*, *198*, 395–402. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.09.041>
- Wang, X., He, X., & Liang, J. (2022). Succession of Microbial Community during the Co-Composting of Food Waste Digestate and Garden Waste. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(16). <https://doi.org/10.3390/ijerph19169945>
- Wang, X., Selvam, A., & Wong, J. W. C. (2016). Influence of lime on struvite formation and nitrogen conservation during food waste composting. *Bioresource Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.02.117>
- Wang, Y., & Ai, P. (2016). Integrating particle physical geometry into composting degradation kinetics. *Bioresource Technology*, *200*(October), 514–520. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.10.073>
- Wankhede, A., & Giripunje, S. (2016). Review on determination of macronutrients from compost. *2016 International Conference on Information Communication and Embedded Systems, ICICES 2016*, *3*, 3–7. <https://doi.org/10.1109/ICICES.2016.7518898>
- Waszkielis, K. M., Wronowski, R., Chlebus, W., Białobrzewski, I., Dach, J., Pilarski, K., & Janczak, D. (2013). The effect of temperature, composition and phase of the composting process on the thermal conductivity of the substrate. *Ecological Engineering*, *61*, 354–357. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.09.024>
- Wei, Y., Li, J., Shi, D., Liu, G., Zhao, Y., & Shimaoka, T. (2017). Resources , Conservation and Recycling Environmental challenges impeding the composting of biodegradable municipal solid waste : A critical review. *“Resources, Conservation & Recycling,”* *122*, 51–65. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.01.024>

- Wei, Y., Liang, Z., & Zhang, Y. (2022). Evolution of physicochemical properties and bacterial community in aerobic composting of swine manure based on a patent compost tray. *Bioresource Technology*, 343(January), 126136. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126136>
- Wei, Y., Wei, Z., Cao, Z., Zhao, Y., Zhao, X., Lu, Q., Wang, X., & Zhang, X. (2016). A regulating method for the distribution of phosphorus fractions based on environmental parameters related to the key phosphate-solubilizing bacteria during composting. *Bioresource Technology*, 211, 610–617. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.141>
- Wu-Loli, D. A. (2020). Evaluación de la biodegradación de la gallinaza a través del compostaje con ayuda de complejo microbiano ACF-SR (AQUA CLEAN) con sistema automático y monitorizado. In *Repositorio Institucional UNALM*. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4516/wu-loli-diego-antonio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Xu, W., Reuter, T., Inglis, G. D., Larney, F. J., Alexander, T. W., Guan, J., Stanford, K., Xu, Y., & McAllister, T. A. (2009). A Biosecure Composting System for Disposal of Cattle Carcasses and Manure Following Infectious Disease Outbreak. *Journal of Environmental Quality*, 38(2), 437–450. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0168>
- Yáñez, R., Alonso, J. L., & Díaz, M. J. (2009). Influence of bulking agent on sewage sludge composting process. *Bioresource Technology*, 100(23), 5827–5833. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.05.073>
- Yang, F., Li, G., Shi, H., & Wang, Y. (2014). Effects of phosphogypsum and superphosphate on compost maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting. *Waste Management*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.11.012>
- Yang, F., Li, G. X., Yang, Q. Y., & Luo, W. H. (2013). Effect of bulking agents on maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting. *Chemosphere*, 93(7), 1393–1399. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.07.002>

- Yang, X., Liu, E., Zhu, X., Wang, H., Liu, H., Liu, X., & Dong, W. (2019). Impact of composting methods on nitrogen retention and losses during dairy manure composting. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(18), 1–18. <https://doi.org/10.3390/ijerph16183324>
- Yeo, D., Dongo, K., Mertenat, A., Lüssenhop, P., Körner, I., & Zurbrügg, C. (2020). Material flows and greenhouse gas emissions reduction potential of decentralized composting in sub-Saharan Africa: A case study in Tiassalé, Côte D'Ivoire. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(19), 1–15. <https://doi.org/10.3390/ijerph17197229>
- Zahra, K., Farhan, M., Kanwal, A., Sharif, F., Hayyat, M. U., Shahzad, L., & Ghafoor, G. Z. (2023). Investigating the role of bulking agents in compost maturity. *Scientific Reports*, 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41891-y>
- Zeng, J., Yin, H., Shen, X., Liu, N., Ge, J., Han, L., & Huang, G. (2018). Effect of aeration interval on oxygen consumption and GHG emission during pig manure composting. *Bioresource Technology*, *250*(September 2017), 214–220. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.11.010>
- Zethner, G., Bettina, G., & Florian, A. (2000). Qualität von komposten aus der getrennten sammlung. In *Umweltbundesamt*. <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/M133.pdf>
- Zhang, H., Schuchardt, F., Li, G., Yang, J., & Yang, Q. (2013). Emission of volatile sulfur compounds during composting of municipal solid waste (MSW). *Waste Management*, *33*(4), 957–963. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.11.008>
- Zhang, J., Ying, Y., Li, X., & Yao, X. (2020). Physical and chemical properties of *Camellia oleifera* shell composts with different additives and its maturity evaluation system. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(28), 35294–35302. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09861-3>

- Zhang, J., Ying, Y., & Yao, X. (2019). Effects of turning frequency on the nutrients of *Camellia oleifera* shell co-compost with goat dung and evaluation of co-compost maturity. *PLoS ONE*, *14*(9), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222841>
- Zhang, L., & Sun, X. (2016). Influence of bulking agents on physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage composting of green waste. *Waste Management*, *48*, 115–126. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.11.032>
- Zhang, L., & Sun, X. (2018). Evaluation of maifanite and silage as amendments for green waste composting. *Waste Management*, *77*, 435–446. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.028>
- Zhang, W. M., Yu, C. X., Wang, X. J., & Hai, L. (2020). Increased abundance of nitrogen transforming bacteria by higher C/N ratio reduces the total losses of N and C in chicken manure and corn stover mix composting. *Bioresource Technology*, *297*, 122410. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122410>
- Zhang, Y., Chen, M., Guo, J., Liu, N., Yi, W., Yuan, Z., & Zeng, L. (2022). Study on dynamic changes of microbial community and lignocellulose transformation mechanism during green waste composting. *Engineering*, August 2021, 376–390. <https://doi.org/10.1002/elsc.202100102>
- Zhao, G. H., Yu, Y. L., Zhou, X. T., Lu, B. Y., Li, Z. M., & Feng, Y. J. (2017). Effects of drying pretreatment and particle size adjustment on the composting process of discarded flue-cured tobacco leaves. *Waste Management and Research*, *35*(5), 534–540. <https://doi.org/10.1177/0734242X17690448>
- Zheng, G., Chen, T., Yu, J., Gao, D., & Shen, Y. (2015). Impact of composting strategies on the degradation of nonylphenol in sewage sludge. *Ecotoxicology*, *24*(10), 2081–2087. <https://doi.org/10.1007/s10646-015-1558-x>
- Zheng, G., Wang, Y., Wang, X., Yang, J., & Chen, T. (2018). Oxygen Monitoring Equipment for Sewage-Sludge Composting and Its Application to Aeration Optimization. *MDPI Sensors*. <https://doi.org/10.3390/s18114017>

- Zhou, H. Bin, Shen, Y., Meng, H., Gao, D., & Chen, T. (2018). Effect of air temperature and aeration strategy on water removal during sewage sludge composting. *Drying Technology*, 36(12), 1474–1480. <https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1409757>
- Zhou, G., Xu, X., Qiu, X., & Zhang, J. (2019). Biochar influences the succession of microbial communities and the metabolic functions during rice straw composting with pig manure. *Bioresource Technology*, 272, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.135>
- Zucconi, F., Forte, M., Monac, A., & De Beritodi, M. (1981). Biological Evaluation of Compost Maturity. *Biocycle*, 27–29. [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1476180](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1476180)

## ANEXOS

Anexo 1. Informe de ensayo análisis foliar de la totora *Schoenoplectus tatora*

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



## INFORME DE ANALISIS FOLIAR

SOLICITANTE : REYNALDO SALAS SUCATICONA  
 PROCEDENCIA : PUNO/ SAN ROMAN/ JULIACA  
 MUESTRA DE : TOTORA TRITURADA  
 REFERENCIA : H.R. 81606  
 BOLETA : 6250  
 FECHA : 09/01/2024

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	S %	Na %	Zn ppm	Cu ppm	Mn ppm	Fe ppm	B ppm	M.S. %	C %
3617		1.05	0.10	1.09	0.49	0.07	0.35	0.07	24	6	1905	325	33	86.12	52.28



*Lily Tello Peramás*  
 Dra. Lily Tello Peramás  
 Jefe de Laboratorio

Anexo 2. Informe de ensayo análisis especial de materia orgánica Tratamiento T1 (ROT + 3 % TT)



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



**INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE  
 MATERIA ORGANICA**

SOLICITANTE : REYNALDO SALAS SUCATICONA  
 PROCEDENCIA : PUNO/ SAN ROMÁN/ JULIACA  
 MUESTRA DE : RESIDUOS ORGÁNICOS TRITURADOS MÁS TOTORA  
 REFERENCIA : H.R. 81605  
 BOLETA : 6250  
 FECHA : 05/01/2024

Nº LAB	CLAVES	N %	C %	Relación C/N
968	ROT+T T1-1	2.14	43.67	20.43
969	ROT+T T1-2	2.17	45.73	21.03
970	ROT+T T1-3	2.18	45.93	21.03



*Dra. Lily Tello Peramás*  
 Jefa de Laboratorio

*Anexo 3. Informe de ensayo análisis especial de materia orgánica Tratamiento T2 (ROT + 5 % TT)*



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



**INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE  
 MATERIA ORGANICA**

SOLICITANTE : REYNALDO SALAS SUCATICONA  
 PROCEDENCIA : PUNO/ SAN ROMÁN/ JULIACA  
 MUESTRA DE : RESIDUOS ORGÁNICO TRITURADOS MAS TOTORA  
 REFERENCIA : H.R. 80662  
 FACTURA : 6006  
 FECHA : 20/09/2023

N° LAB	CLAVES	N %	C %	Relación C/N
595	ROT+T T2-1	2.00	40.21	20.13
596	ROT+T T2-2	1.95	38.74	19.86
597	ROT+T T2-3	2.18	41.07	18.88

*Dr. Constantino Calderón Mendoza*  
 Jefe de Laboratorio

*Anexo 4. Informe de ensayo análisis especial de materia orgánica Tratamiento T1 (ROT + 7 % TT)*



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



**INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE  
 MATERIA ORGANICA**

SOLICITANTE : REYNALDO SALAS SUCATICONA  
 PROCEDENCIA : PUNO/ SAN ROMÁN/ JULIACA  
 MUESTRA DE : RESIDUOS ORGÁNICOS TRITURADOS MÁS TOTORA  
 REFERENCIA : H.R. 81130  
 BOLETA : 6102  
 FECHA : 08/11/2023

Nº LAB	CLAVES	N %	C %	Relación C/N
756	ROT+T T3-1	3.07	43.43	14.14
757	ROT+T T3-2	3.00	42.91	14.32
758	ROT+T T3-3	3.04	44.10	14.49

*Dr. Constantino Calderón Mendoza*  
 Jefe de Laboratorio

Anexo 5. Informe de ensayo análisis especial de materia orgánica Tratamiento T1 (ROT + 9 % TT)



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



**INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE  
 MATERIA ORGANICA**

SOLICITANTE : REYNALDO SALAS SUCATICONA  
 PROCEDENCIA : PUNO/ SAN ROMÁN/ JULIACA  
 MUESTRA DE : RESIDUOS ORGÁNICOS TRITURADOS MÁS TOTORA  
 REFERENCIA : H.R. 81351  
 BOLETA : 6176  
 FECHA : 07/12/2023

Nº LAB	CLAVES	N %	C %	Relación C/N
841	ROT+T T4-1	2.27	43.30	19.05
842	ROT+T T4-2	2.32	44.15	19.00
843	ROT+T T4-3	2.53	47.27	18.65



*Constantino Calderón Mendoza*  
 Jefe de Laboratorio

Anexo 6. Comportamiento de la temperatura - T1 (ROT + 3 % TT) - Tratamiento A

COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA - T1 (ROT + 3 % TT) - TRATAMIENTO A													
FECHA	Día		T° AMBIENTE	T° PILA 1	T° PILA 2	T° PILA 3	T° PILA 4	T° PILA 5	T° PILA 6	T° PILA 7	T° PILA 8	T° PILA 9	T° PROM T1
25/8/2023	Día 1	SEMANA 0	21,00	10,00	11,00	9,00	12,00	10,00	12,00	12,00	12,00	12,00	11,11
26/8/2023	Día 2		23,00	14,00	14,00	9,00	15,00	13,00	14,00	14,00	15,00	15,00	13,67
27/8/2023	Día 3		21,50	19,00	19,00	17,00	23,50	19,50	19,50	20,00	21,50	21,00	20,00
28/8/2023	Día 4		20,00	24,00	24,00	25,00	32,00	26,00	25,00	26,00	28,00	27,00	26,33
29/8/2023	Día 5		21,00	36,00	36,00	35,00	40,00	35,00	29,00	30,00	32,00	33,00	34,00
30/8/2023	Día 6		19,00	37,00	37,00	38,00	40,00	39,00	30,00	35,00	34,00	38,00	36,44
31/8/2023	Día 7		20,00	38,00	38,00	39,00	39,00	38,00	36,00	38,00	36,00	38,00	37,78
1/9/2023	Día 8	SEMANA 1	21,00	38,00	39,00	39,00	38,00	38,00	38,00	38,00	37,00	36,00	37,89
2/9/2023	Día 9		23,00	35,00	35,00	40,00	35,00	34,00	36,00	35,00	36,00	34,00	35,56
3/9/2023	Día 10		21,50	35,00	34,50	39,00	35,00	33,50	35,50	34,50	35,50	33,50	35,11
4/9/2023	Día 11		20,00	35,00	34,00	38,00	35,00	33,00	35,00	34,00	35,00	33,00	34,67
5/9/2023	Día 12		21,00	33,00	31,00	35,00	32,00	30,00	31,00	31,00	33,00	30,00	31,78
6/9/2023	Día 13		19,00	28,00	29,00	31,00	29,00	28,00	27,00	28,00	29,00	26,00	28,33
7/9/2023	Día 14		20,00	26,00	27,00	30,00	28,00	27,00	26,00	27,00	27,00	24,00	26,89
8/9/2023	Día 15	SEMANA 2	20,00	20,00	20,00	25,00	23,00	25,00	23,00	22,00	21,00	23,00	22,44
9/9/2023	Día 16		18,00	35,00	37,00	36,00	37,00	35,00	36,00	36,00	37,00	35,00	36,00
10/9/2023	Día 17		19,00	34,50	37,50	35,50	36,50	34,50	36,50	35,50	36,50	36,00	35,89
11/9/2023	Día 18		20,00	34,00	38,00	35,00	36,00	34,00	37,00	35,00	36,00	37,00	35,78
12/9/2023	Día 19		20,00	35,00	37,00	28,00	32,00	33,00	33,00	30,00	32,00	32,00	32,44
13/9/2023	Día 20		20,00	34,00	35,00	27,00	31,00	31,00	33,00	31,00	29,00	29,00	31,11
14/9/2023	Día 21		20,00	28,00	29,00	26,00	27,00	28,00	28,00	26,00	26,00	27,00	27,22
15/9/2023	Día 22	SEMANA 3	21,00	26,00	26,00	22,00	25,00	24,00	26,00	25,00	24,00	24,00	24,67

## COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA - T1 (ROT + 3 % TT) - TRATAMIENTO A

FECHA	Día		T° AMBIENTE	T° PILA 1	T° PILA 2	T° PILA 3	T° PILA 4	T° PILA 5	T° PILA 6	T° PILA 7	T° PILA 8	T° PILA 9	T° PROM T1
16/9/2023	Día 23		19,00	34,00	35,00	36,00	36,00	36,00	34,00	37,00	36,00	36,00	35,56
17/9/2023	Día 24		19,50	34,50	35,50	36,50	36,00	35,50	34,50	37,50	36,50	36,50	35,89
18/9/2023	Día 25		20,00	35,00	36,00	37,00	36,00	35,00	35,00	38,00	37,00	37,00	36,22
19/9/2023	Día 26		21,00	28,00	31,00	28,00	29,00	30,00	30,00	32,00	33,00	32,00	30,33
20/9/2023	Día 27		20,00	22,00	23,00	24,00	25,00	24,00	25,00	26,00	25,00	24,00	24,22
21/9/2023	Día 28		20,00	21,00	23,00	24,00	21,00	22,00	23,00	22,00	21,00	21,00	22,00
22/9/2023	Día 29	SEMANA 4	19,00	21,00	23,00	23,00	19,00	21,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,78
23/9/2023	Día 30		20,00	33,00	36,00	34,00	35,00	33,00	36,00	34,00	35,00	35,00	34,56
24/9/2023	Día 31		21,00	33,50	36,50	34,00	35,00	33,00	36,00	34,00	35,00	35,50	34,72
25/9/2023	Día 32		22,00	34,00	37,00	34,00	35,00	33,00	36,00	34,00	35,00	36,00	34,89
26/9/2023	Día 33		20,00	35,00	36,00	28,00	32,00	33,00	33,00	30,00	32,00	34,00	32,56
27/9/2023	Día 34		19,00	34,00	35,00	27,00	31,00	31,00	33,00	31,00	28,00	29,00	31,00
28/9/2023	Día 35		20,00	28,00	29,00	26,00	27,00	27,00	28,00	26,00	26,00	27,00	27,11
29/9/2023	Día 36	SEMANA 5	20,00	22,00	22,00	23,00	27,00	25,00	26,00	22,00	25,00	24,00	24,00
30/9/2023	Día 37		19,00	34,00	33,00	34,00	34,00	32,00	34,00	33,00	32,00	33,00	33,22
1/10/2023	Día 38		20,00	34,00	34,00	34,00	34,50	32,50	34,50	33,50	33,50	34,00	33,83
2/10/2023	Día 39		21,00	34,00	35,00	34,00	35,00	33,00	35,00	34,00	35,00	35,00	34,44
3/10/2023	Día 40		20,00	33,00	34,00	32,00	31,00	31,00	34,00	32,00	31,00	33,00	32,33
4/10/2023	Día 41		23,00	34,00	33,00	30,00	30,00	30,00	32,00	31,00	28,00	29,00	30,78
5/10/2023	Día 42		22,00	30,00	29,00	28,00	30,00	29,00	27,00	28,00	28,00	27,00	28,44
6/10/2023	Día 43	SEMANA 6	20,00	28,00	28,00	21,00	29,00	19,00	23,00	23,00	25,00	25,00	24,56
7/10/2023	Día 44		21,00	32,00	32,00	32,00	31,00	33,00	30,00	31,00	31,00	29,00	31,22
8/10/2023	Día 45		23,00	31,00	31,50	31,00	29,50	31,00	28,50	30,50	29,50	28,00	30,06
9/10/2023	Día 46		25,00	30,00	31,00	30,00	28,00	29,00	27,00	30,00	28,00	27,00	28,89
10/10/2023	Día 47		23,00	28,00	29,00	27,00	26,00	27,00	26,00	25,00	24,00	26,00	26,44

## COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA - T1 (ROT + 3 % TT) - TRATAMIENTO A

FECHA	Día		T° AMBIENTE	T° PILA 1	T° PILA 2	T° PILA 3	T° PILA 4	T° PILA 5	T° PILA 6	T° PILA 7	T° PILA 8	T° PILA 9	T° PROM T1
11/10/2023	Día 48		25,00	23,00	24,00	21,00	22,00	24,00	23,00	21,00	22,00	24,00	22,67
12/10/2023	Día 49		20,00	22,00	22,00	20,00	19,00	23,00	22,00	21,00	20,00	23,00	21,33
13/10/2023	Día 50	SEMANA 7	21,00	22,00	22,00	20,00	19,00	22,00	21,00	20,00	20,00	22,00	20,89
14/10/2023	Día 51		21,00	29,00	30,00	29,00	30,00	30,00	28,00	29,00	29,00	30,00	29,33
15/10/2023	Día 52		21,00	29,50	30,00	30,00	30,00	29,50	28,00	27,50	29,00	29,00	29,17
16/10/2023	Día 53		21,00	30,00	30,00	31,00	30,00	29,00	28,00	26,00	29,00	28,00	29,00
17/10/2023	Día 54		22,00	28,00	29,00	27,00	26,00	27,00	26,00	25,00	24,00	26,00	26,44
18/10/2023	Día 55		21,00	23,00	24,00	21,00	22,00	24,00	23,00	21,00	22,00	24,00	22,67
19/10/2023	Día 56		19,00	20,00	22,00	19,00	20,00	19,00	20,00	20,00	21,00	22,00	20,33
20/10/2023	Día 57	SEMANA 8	13,00	17,00	16,00	15,00	16,00	16,00	17,00	16,00	18,00	16,00	16,33
21/10/2023	Día 58		15,00	28,00	29,00	26,00	26,00	25,00	25,00	24,00	25,00	27,00	26,11
22/10/2023	Día 59		16,00	27,50	27,50	26,50	26,50	26,50	26,50	25,50	26,00	27,50	26,67
23/10/2023	Día 60		17,00	27,00	26,00	27,00	27,00	28,00	28,00	27,00	27,00	28,00	27,22
24/10/2023	Día 61		15,00	26,00	25,00	26,00	26,00	27,00	26,00	24,00	25,00	26,00	25,67
25/10/2023	Día 62		18,00	23,00	23,00	21,00	22,00	21,00	22,00	21,00	21,00	23,00	21,89
26/10/2023	Día 63		19,00	15,00	15,00	23,00	16,00	13,00	15,00	16,00	16,00	16,00	16,11
27/10/2023	Día 64	SEMANA 9	21,00	14,00	14,00	21,00	15,00	14,00	15,00	16,00	15,00	15,00	15,44
28/10/2023	Día 65		19,00	25,00	24,00	24,00	23,00	23,00	21,00	24,00	24,00	25,00	23,67
29/10/2023	Día 66		19,50	25,50	24,50	24,50	23,50	23,00	21,50	24,50	24,50	24,50	24,00
30/10/2023	Día 67		20,00	26,00	25,00	25,00	24,00	23,00	22,00	25,00	25,00	24,00	24,33
31/10/2023	Día 68		20,00	26,00	25,00	26,00	26,00	22,00	26,00	24,00	25,00	26,00	25,11
1/11/2023	Día 69		21,00	23,00	23,00	21,00	22,00	21,00	22,00	21,00	21,00	23,00	21,89
2/11/2023	Día 70		23,00	21,00	20,00	18,00	19,00	16,00	18,00	17,00	16,00	15,00	17,78
3/11/2023	Día 71	SEMANA 10	15,00	19,00	14,00	15,00	16,00	14,00	15,00	14,00	14,00	14,00	15,00
4/11/2023	Día 72		20,00	23,00	22,00	23,00	23,00	21,00	23,00	23,00	22,00	23,00	22,56

## COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA - T1 (ROT + 3 % TT) - TRATAMIENTO A

FECHA	Día		T° AMBIENTE	T° PILA 1	T° PILA 2	T° PILA 3	T° PILA 4	T° PILA 5	T° PILA 6	T° PILA 7	T° PILA 8	T° PILA 9	T° PROM T1
5/11/2023	Día 73		20,00	23,50	23,50	23,50	23,50	22,00	22,50	24,00	23,50	23,50	23,28
6/11/2023	Día 74		20,00	24,00	25,00	24,00	24,00	23,00	22,00	25,00	25,00	24,00	24,00
7/11/2023	Día 75		22,00	24,00	25,00	22,00	22,00	22,00	23,00	24,00	25,00	24,00	23,44
8/11/2023	Día 76		20,00	23,00	23,00	21,00	22,00	21,00	22,00	21,00	21,00	23,00	21,89
9/11/2023	Día 77		20,00	21,00	20,00	18,00	19,00	18,00	18,00	17,00	16,00	15,00	18,00
10/11/2023	Día 78	SEMANA 11	22,00	21,00	20,00	18,00	19,00	18,00	18,00	17,00	16,00	15,00	18,00
11/11/2023	Día 79		21,00	19,00	18,00	16,00	16,00	18,00	18,00	16,00	15,00	16,00	16,89
12/11/2023	Día 80		21,50	19,00	18,00	16,00	16,00	16,50	17,50	16,00	15,00	16,00	16,67
13/11/2023	Día 81		22,00	19,00	18,00	16,00	16,00	15,00	17,00	16,00	15,00	16,00	16,44
14/11/2023	Día 82		19,00	18,00	16,00	16,00	16,00	15,00	16,00	15,00	15,00	15,00	15,78
15/11/2023	Día 83		22,00	16,00	15,00	15,00	16,00	14,00	15,00	15,00	15,00	14,00	15,00
16/11/2023	Día 84		20,00	15,00	16,00	15,00	15,00	13,00	15,00	15,00	15,00	13,00	14,67
17/11/2023	Día 85	SEMANA 12	21,00	14,00	15,00	16,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,33
18/11/2023	Día 86		20,00	15,00	16,00	16,00	16,00	16,00	15,00	15,00	16,00	15,00	15,56
19/11/2023	Día 87		21,00	15,00	15,00	15,50	15,50	16,50	15,00	15,00	15,50	15,50	15,39
20/11/2023	Día 88		22,00	15,00	14,00	15,00	15,00	17,00	15,00	15,00	15,00	16,00	15,22
21/11/2023	Día 89		20,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	17,00	15,00	16,00	15,33
22/11/2023	Día 90		23,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	17,00	15,00	14,00	15,11
23/11/2023	Día 91		18,00	16,00	16,00	15,00	15,00	15,00	15,00	17,00	15,00	15,00	15,44
24/11/2023	Día 92	SEMANA 13	21,00	14,00	14,00	16,00	16,00	16,00	16,00	15,00	14,00	14,00	15,00
25/11/2023	Día 93		19,00	13,00	13,00	14,00	14,00	14,00	14,00	16,00	15,00	13,00	14,00
26/11/2023	Día 94		19,50	14,00	14,00	14,50	14,50	15,50	14,50	15,50	15,00	14,50	14,67
27/11/2023	Día 95		20,00	15,00	15,00	15,00	15,00	17,00	15,00	15,00	15,00	16,00	15,33
28/11/2023	Día 96		18,00	15,00	15,00	15,00	15,00	17,00	15,00	15,00	15,00	16,00	15,33
29/11/2023	Día 97		20,00	15,00	15,00	15,00	15,00	17,00	15,00	15,00	15,00	16,00	15,33

## COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA - T1 (ROT + 3 % TT) - TRATAMIENTO A

FECHA	Día		T° AMBIENTE	T° PILA 1	T° PILA 2	T° PILA 3	T° PILA 4	T° PILA 5	T° PILA 6	T° PILA 7	T° PILA 8	T° PILA 9	T° PROM T1
30/11/2023	Día 98		21,00	16,00	16,00	16,00	16,00	15,00	14,00	13,00	14,00	15,00	15,00
1/12/2023	Día 99	SEMANA 14	17,00	14,00	14,00	14,00	14,00	16,00	15,00	16,00	15,00	14,00	14,67
2/12/2023	Día 100		20,00	13,00	13,00	13,00	13,00	14,00	14,00	13,00	16,00	13,00	13,56
3/12/2023	Día 101		20,50	14,00	15,00	14,00	14,00	14,50	14,50	14,50	14,50	13,50	14,28
4/12/2023	Día 102		21,00	15,00	17,00	15,00	15,00	15,00	15,00	16,00	13,00	14,00	15,00
5/12/2023	Día 103		21,00	16,00	15,00	14,00	13,00	14,00	14,00	15,00	13,00	16,00	14,44
6/12/2023	Día 104		19,00	14,00	16,00	15,00	16,00	16,00	15,00	14,00	14,00	14,00	14,89
7/12/2023	Día 105		20,00	13,00	14,00	14,00	13,00	14,00	16,00	13,00	13,00	13,00	13,67
8/12/2023	Día 106	SEMANA 15	16,00	13,00	14,00	14,00	13,00	14,00	14,00	13,00	13,00	14,00	13,56

Anexo 7. Comportamiento de la temperatura - T2 (ROT + 5 % TT) - Tratamiento B

COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA - T2 (ROT + 5 % TT) - TRATAMIENTO B													
FECHA	Día	S	T° AMBIENTE	T° PILA 1	T° PILA 2	T° PILA 3	T° PILA 4	T° PILA 5	T° PILA 6	T° PILA 7	T° PILA 8	T° PILA 9	T° PROM T2
17/3/2023	Día 1	SEMANA 0	15,00	12,00	12,00	13,00	14,00	11,00	12,00	12,00	12,00	13,00	12,33
18/3/2023	Día 2		14,00	16,00	17,00	15,00	16,00	15,00	14,00	15,00	17,00	16,00	15,67
19/3/2023	Día 3		14,50	29,50	31,00	28,50	30,00	31,50	31,00	29,00	29,00	29,00	29,83
20/3/2023	Día 4		15,00	43,00	45,00	42,00	44,00	48,00	48,00	43,00	41,00	42,00	44,00
21/3/2023	Día 5		14,00	44,00	46,00	44,00	46,00	49,00	48,00	44,00	42,00	44,00	45,22
22/3/2023	Día 6		16,00	45,00	47,00	45,00	47,00	50,00	49,00	45,00	43,00	44,00	46,11
23/3/2023	Día 7		14,00	44,00	46,00	41,00	44,00	49,00	46,00	44,00	42,00	42,00	44,22
24/3/2023	Día 8	SEMANA 1	15,00	43,00	44,00	42,00	43,00	48,00	45,00	43,00	41,00	41,00	43,33
25/3/2023	Día 9		16,00	42,00	43,00	40,00	42,00	47,00	44,00	42,00	41,00	40,00	42,33
26/3/2023	Día 10		16,00	41,00	41,50	40,00	41,00	45,50	43,50	41,00	40,50	39,50	41,50
27/3/2023	Día 11		16,00	40,00	40,00	40,00	40,00	44,00	43,00	40,00	40,00	39,00	40,67
28/3/2023	Día 12		15,00	39,00	39,00	38,00	39,00	42,00	42,00	39,00	39,00	38,00	39,44
29/3/2023	Día 13		16,00	38,00	35,00	37,00	41,00	41,00	41,00	38,00	38,00	37,00	38,44
30/3/2023	Día 14		15,00	38,00	35,00	37,00	41,00	41,00	40,00	38,00	38,00	37,00	38,33
31/3/2023	Día 15	SEMANA 2	14,00	37,00	34,00	36,00	39,00	39,00	38,00	35,00	37,00	30,00	36,11
1/4/2023	Día 16		15,00	28,00	28,00	30,00	30,00	35,00	34,00	35,00	36,00	29,00	31,67
2/4/2023	Día 17		15,00	28,00	27,50	28,00	30,00	32,50	33,50	35,00	35,50	27,00	30,78
3/4/2023	Día 18		15,00	28,00	27,00	26,00	30,00	30,00	33,00	35,00	35,00	25,00	29,89
4/4/2023	Día 19		14,00	29,00	26,00	26,00	27,00	25,00	25,00	34,00	29,00	24,00	27,22
5/4/2023	Día 20		16,00	25,00	29,00	25,00	25,00	24,00	24,00	33,00	27,00	25,00	26,33
6/4/2023	Día 21		15,00	23,00	28,00	25,00	25,00	24,00	23,00	30,00	25,00	25,00	25,33
7/4/2023	Día 22	SEMANA 3	17,00	23,00	28,00	25,00	24,00	23,00	22,00	28,00	22,00	25,00	24,44
8/4/2023	Día 23		15,00	22,00	28,00	25,00	23,00	22,00	22,00	25,00	28,00	25,00	24,44
9/4/2023	Día 24		15,50	21,00	27,00	24,50	22,50	21,50	21,50	24,50	26,50	24,50	23,72

## COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA - T2 (ROT + 5 % TT) - TRATAMIENTO B

FECHA	Día	S	T° AMBIENTE	T° PILA 1	T° PILA 2	T° PILA 3	T° PILA 4	T° PILA 5	T° PILA 6	T° PILA 7	T° PILA 8	T° PILA 9	T° PROM T2
10/4/2023	Día 25		16,00	20,00	26,00	24,00	22,00	21,00	21,00	24,00	25,00	24,00	23,00
11/4/2023	Día 26		15,00	20,00	25,00	24,00	20,00	20,00	20,00	23,00	24,00	22,00	22,00
12/4/2023	Día 27		15,00	20,00	22,00	23,00	20,00	20,00	20,00	21,00	23,00	21,00	21,11
13/4/2023	Día 28		14,00	19,00	21,00	20,00	20,00	20,00	19,00	21,00	23,00	20,00	20,33
14/4/2023	Día 29	SEMANA 4	15,00	20,00	20,00	20,00	20,00	19,00	19,00	23,00	21,00	20,00	20,22
15/4/2023	Día 30		15,00	44,00	42,00	40,00	41,00	42,00	43,00	43,00	44,00	40,00	42,11
16/4/2023	Día 31		15,50	41,50	41,00	39,50	40,00	40,50	40,50	41,50	42,50	39,50	40,72
17/4/2023	Día 32		16,00	39,00	40,00	39,00	39,00	39,00	38,00	40,00	41,00	39,00	39,33
18/4/2023	Día 33		15,00	31,00	35,00	30,00	30,00	28,00	30,00	29,00	31,00	31,00	30,56
19/4/2023	Día 34		15,00	30,00	30,00	29,00	30,00	28,00	29,00	28,00	30,00	31,00	29,44
20/4/2023	Día 35		14,00	28,00	29,00	28,00	29,00	28,00	29,00	28,00	30,00	30,00	28,78
21/4/2023	Día 36	SEMANA 5	15,00	25,00	25,00	25,00	28,00	26,00	28,00	27,00	29,00	29,00	26,89
22/4/2023	Día 37		15,00	44,00	42,00	40,00	41,00	42,00	43,00	43,00	44,00	40,00	42,11
23/4/2023	Día 38		15,00	41,50	41,00	39,50	40,00	40,50	40,50	41,50	42,50	39,50	40,72
24/4/2023	Día 39		15,00	39,00	40,00	39,00	39,00	39,00	38,00	40,00	41,00	39,00	39,33
25/4/2023	Día 40		14,00	31,00	35,00	30,00	30,00	28,00	30,00	35,00	31,00	31,00	31,22
26/4/2023	Día 41		17,00	28,00	25,00	25,00	28,00	26,00	29,00	32,00	30,00	30,00	28,11
27/4/2023	Día 42		15,00	27,00	24,00	22,00	26,00	25,00	28,00	29,00	30,00	29,00	26,67
28/4/2023	Día 43	SEMANA 6	16,00	20,00	23,00	21,00	28,00	20,00	28,00	29,00	26,00	28,00	24,78
29/4/2023	Día 44		15,00	40,00	41,00	39,00	41,00	38,00	41,00	42,00	40,00	40,00	40,22
30/4/2023	Día 45		15,00	39,50	40,50	39,00	40,00	38,50	39,50	41,00	40,50	39,50	39,78
1/5/2023	Día 46		15,00	39,00	40,00	39,00	39,00	39,00	38,00	40,00	41,00	39,00	39,33
2/5/2023	Día 47		16,00	31,00	35,00	30,00	30,00	28,00	30,00	29,00	31,00	31,00	30,56
3/5/2023	Día 48		15,00	24,00	24,00	29,00	29,00	24,00	24,00	24,00	25,00	23,00	25,11
4/5/2023	Día 49		15,00	21,00	23,00	27,00	27,00	22,00	22,00	23,00	22,00	22,00	23,22
5/5/2023	Día 50	SEMANA 7	17,00	20,00	22,00	25,00	25,00	21,00	20,00	22,00	21,00	21,00	21,89

## COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA - T2 (ROT + 5 % TT) - TRATAMIENTO B

FECHA	Día	S	T° AMBIENTE	T° PILA 1	T° PILA 2	T° PILA 3	T° PILA 4	T° PILA 5	T° PILA 6	T° PILA 7	T° PILA 8	T° PILA 9	T° PROM T2
6/5/2023	Día 51		16,00	30,00	35,00	38,00	37,00	33,00	38,00	39,00	35,00	40,00	36,11
7/5/2023	Día 52		15,50	31,00	34,50	35,00	35,50	32,50	36,50	37,00	34,50	38,00	34,94
8/5/2023	Día 53		15,00	32,00	34,00	32,00	34,00	32,00	35,00	35,00	34,00	36,00	33,78
9/5/2023	Día 54		15,00	31,00	30,00	30,00	30,00	28,00	30,00	30,00	31,00	31,00	30,11
10/5/2023	Día 55		14,00	30,00	28,00	27,00	26,00	29,00	29,00	29,00	28,00	29,00	28,33
11/5/2023	Día 56		15,00	30,00	25,00	24,00	25,00	28,00	26,00	27,00	27,00	29,00	26,78
12/5/2023	Día 57	SEMANA 8	16,00	24,00	20,00	20,00	22,00	24,00	22,00	23,00	22,00	25,00	22,44
13/5/2023	Día 58		15,00	31,00	34,00	38,00	33,00	32,00	35,00	36,00	31,00	36,00	34,00
14/5/2023	Día 59		14,50	30,00	33,50	37,00	32,50	31,50	34,50	35,50	30,50	35,50	33,39
15/5/2023	Día 60		14,00	29,00	33,00	36,00	32,00	31,00	34,00	35,00	30,00	35,00	32,78
16/5/2023	Día 61		15,00	31,00	30,00	30,00	30,00	28,00	30,00	30,00	31,00	31,00	30,11
17/5/2023	Día 62		16,00	28,00	21,00	26,00	29,00	21,00	29,00	29,00	23,00	21,00	25,22
18/5/2023	Día 63		15,00	22,00	20,00	22,00	28,00	20,00	27,00	28,00	24,00	20,00	23,44
19/5/2023	Día 64	SEMANA 9	17,00	21,00	20,00	20,00	24,00	20,00	26,00	27,00	27,00	20,00	22,78
20/5/2023	Día 65		15,00	30,00	32,00	30,00	31,00	32,00	30,00	32,00	33,00	32,00	31,33
21/5/2023	Día 66		15,00	29,50	31,50	29,50	30,50	31,00	29,50	31,00	33,50	32,50	30,94
22/5/2023	Día 67		15,00	29,00	31,00	29,00	30,00	30,00	29,00	30,00	34,00	33,00	30,56
23/5/2023	Día 68		13,00	31,00	30,00	28,00	30,00	28,00	30,00	30,00	31,00	31,00	29,89
24/5/2023	Día 69		13,00	29,00	27,00	27,00	24,00	24,00	28,00	24,00	26,00	27,00	26,22
25/5/2023	Día 70		13,00	26,00	24,00	26,00	23,00	21,00	25,00	24,00	24,00	24,00	24,11
26/5/2023	Día 71	SEMANA 10	13,00	22,00	21,00	23,00	22,00	21,00	24,00	23,00	20,00	22,00	22,00
27/5/2023	Día 72		13,00	25,00	28,00	26,00	30,00	27,00	26,00	28,00	29,00	26,00	27,22
28/5/2023	Día 73		13,00	24,50	27,00	25,50	29,00	26,50	25,50	27,50	28,50	25,50	26,61
29/5/2023	Día 74		13,00	24,00	26,00	25,00	28,00	26,00	25,00	27,00	28,00	25,00	26,00
30/5/2023	Día 75		12,00	23,00	25,00	24,00	26,00	25,00	24,00	25,00	26,00	24,00	24,67
31/5/2023	Día 76		13,00	20,00	21,00	21,00	22,00	23,00	22,00	23,00	24,00	22,00	22,00

## COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA - T2 (ROT + 5 % TT) - TRATAMIENTO B

FECHA	Día	S	T° AMBIENTE	T° PILA 1	T° PILA 2	T° PILA 3	T° PILA 4	T° PILA 5	T° PILA 6	T° PILA 7	T° PILA 8	T° PILA 9	T° PROM T2
1/6/2023	Día 77		11,00	18,00	19,00	20,00	19,00	22,00	20,00	21,00	20,00	19,00	19,78
2/6/2023	Día 78	SEMANA 11	13,00	16,00	17,00	18,00	17,00	20,00	18,00	18,00	18,00	18,00	17,78
3/6/2023	Día 79		13,00	15,00	14,00	16,00	16,00	16,00	16,00	17,00	16,00	17,00	15,89
4/6/2023	Día 80		12,50	14,50	14,50	14,50	14,50	15,00	15,00	16,00	14,50	15,00	14,83
5/6/2023	Día 81		12,00	14,00	15,00	13,00	13,00	14,00	14,00	15,00	13,00	13,00	13,78
6/6/2023	Día 82		12,00	15,00	14,00	13,00	16,00	15,00	16,00	15,00	13,00	14,00	14,56
7/6/2023	Día 83		11,00	13,00	13,00	13,00	15,00	14,00	15,00	16,00	14,00	14,00	14,11
8/6/2023	Día 84		11,00	13,00	12,00	13,00	14,00	14,00	14,00	15,00	15,00	14,00	13,78
9/6/2023	Día 85	SEMANA 12	11,00	12,00	11,00	13,00	13,00	14,00	13,00	15,00	15,00	14,00	13,33

Anexo 8. Comportamiento de la temperatura - T3 (ROT + 7 % TT) - Tratamiento C

COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA - T3 (ROT + 7 % TT) - TRATAMIENTO C													
FECHA	Día	S	T° AMBIENTE	T° PILA 1	T° PILA 2	T° PILA 3	T° PILA 4	T° PILA 5	T° PILA 6	T° PILA 7	T° PILA 8	T° PILA 9	T° PROM T3
26/5/2023	Día 1	SEMANA 0	13,00	12,00	11,00	12,00	10,00	13,00	12,00	11,00	12,00	12,00	11,67
27/5/2023	Día 2		13,00	14,00	13,00	13,00	11,00	14,00	13,00	15,00	13,00	12,00	13,11
28/5/2023	Día 3		13,00	30,50	26,50	27,00	26,00	28,50	29,00	29,50	29,50	30,00	28,50
29/5/2023	Día 4		13,00	47,00	40,00	41,00	41,00	43,00	45,00	44,00	46,00	48,00	43,89
30/5/2023	Día 5		12,00	50,00	44,00	45,00	43,00	47,00	49,00	49,00	50,00	51,00	47,56
31/5/2023	Día 6		13,00	51,00	46,00	47,00	45,00	49,00	51,00	51,00	50,00	50,00	48,89
1/6/2023	Día 7		11,00	52,00	47,00	48,00	46,00	50,00	52,00	52,00	49,00	51,00	49,67
2/6/2023	Día 8	SEMANA 1	13,00	52,00	49,00	50,00	48,00	52,00	52,00	52,00	48,00	52,00	50,56
3/6/2023	Día 9		13,00	51,00	48,00	49,00	47,00	51,00	51,00	52,00	47,00	52,00	49,78
4/6/2023	Día 10		11,50	50,50	47,50	48,00	46,50	50,00	50,50	51,00	47,50	50,50	49,11
5/6/2023	Día 11		10,00	50,00	47,00	47,00	46,00	49,00	50,00	50,00	48,00	49,00	48,44
6/6/2023	Día 12		11,00	48,00	45,00	45,00	44,00	47,00	50,00	49,00	46,00	48,00	46,89
7/6/2023	Día 13		10,00	46,00	43,00	43,00	42,00	45,00	48,00	47,00	44,00	46,00	44,89
8/6/2023	Día 14		13,00	45,00	42,00	42,00	41,00	44,00	47,00	46,00	43,00	45,00	43,89
9/6/2023	Día 15	SEMANA 2	10,00	43,00	40,00	40,00	39,00	42,00	45,00	44,00	41,00	43,00	41,89
10/6/2023	Día 16		11,00	40,00	37,00	37,00	37,00	39,00	42,00	41,00	40,00	40,00	39,22
11/6/2023	Día 17		10,50	40,00	37,00	37,00	37,00	40,00	42,00	40,50	40,00	39,50	39,22
12/6/2023	Día 18		10,00	40,00	37,00	37,00	37,00	41,00	42,00	40,00	40,00	39,00	39,22
13/6/2023	Día 19		8,00	38,00	35,00	35,00	35,00	39,00	39,00	38,00	38,00	38,00	37,22
14/6/2023	Día 20		8,00	37,00	34,00	34,00	34,00	38,00	38,00	37,00	39,00	38,00	36,56

## COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA - T3 (ROT + 7 % TT) - TRATAMIENTO C

FECHA	Día	S	T° AMBIENTE	T° PILA 1	T° PILA 2	T° PILA 3	T° PILA 4	T° PILA 5	T° PILA 6	T° PILA 7	T° PILA 8	T° PILA 9	T° PROM T3
15/6/2023	Día 21		7,00	36,00	30,00	32,00	29,00	33,00	33,00	36,00	36,00	36,00	33,44
16/6/2023	Día 22	SEMANA 3	8,00	37,00	30,00	36,00	25,00	30,00	31,00	35,00	37,00	35,00	32,89
17/6/2023	Día 23		9,00	29,00	28,00	33,00	31,00	25,00	26,00	30,00	29,00	29,00	28,89
18/6/2023	Día 24		11,00	25,50	26,50	29,00	27,00	22,50	28,50	26,50	25,50	25,50	26,28
19/6/2023	Día 25		13,00	22,00	25,00	25,00	23,00	20,00	31,00	23,00	22,00	22,00	23,67
20/6/2023	Día 26		13,00	22,00	23,00	24,00	22,00	18,00	28,00	22,00	22,00	22,00	22,56
21/6/2023	Día 27		12,00	18,00	22,00	24,00	22,00	16,00	25,00	18,00	21,00	18,00	20,44
22/6/2023	Día 28		11,00	20,00	21,00	22,00	21,00	15,00	22,00	16,00	20,00	20,00	19,67
23/6/2023	Día 29	SEMANA 4	13,00	18,00	17,00	16,00	17,00	15,00	16,00	15,00	19,00	19,00	16,89
24/6/2023	Día 30		15,00	41,00	40,00	39,00	45,00	40,00	45,00	39,00	41,00	41,00	41,22
25/6/2023	Día 31		15,50	40,50	38,50	38,00	44,50	38,50	42,50	38,50	40,50	40,50	40,22
26/6/2023	Día 32		16,00	40,00	37,00	37,00	44,00	37,00	40,00	38,00	40,00	40,00	39,22
27/6/2023	Día 33		18,00	30,00	33,00	36,00	35,00	35,00	38,00	36,00	30,00	30,00	33,67
28/6/2023	Día 34		19,00	24,00	28,00	36,00	25,00	26,00	33,00	35,00	24,00	24,00	28,33
29/6/2023	Día 35		19,00	25,00	26,00	34,00	23,00	24,00	26,00	30,00	25,00	25,00	26,44
30/6/2023	Día 36	SEMANA 5	18,00	22,00	26,00	28,00	19,00	23,00	15,00	18,00	22,00	22,00	21,67
1/7/2023	Día 37		21,00	39,00	38,00	39,00	41,00	40,00	44,00	38,00	40,00	40,00	39,89
2/7/2023	Día 38		19,50	39,00	37,00	38,00	39,50	38,00	42,00	37,50	39,00	39,00	38,78
3/7/2023	Día 39		18,00	39,00	36,00	37,00	38,00	36,00	40,00	37,00	38,00	38,00	37,67
4/7/2023	Día 40		17,00	35,00	35,00	37,00	35,00	35,00	38,00	36,00	30,00	35,00	35,11
5/7/2023	Día 41		19,00	22,00	28,00	36,00	25,00	26,00	33,00	35,00	24,00	30,00	28,78
6/7/2023	Día 42		18,00	15,00	22,00	28,00	22,00	24,00	26,00	27,00	22,00	28,00	23,78
7/7/2023	Día 43	SEMANA 6	15,00	16,00	20,00	22,00	21,00	20,00	22,00	22,00	18,00	19,00	20,00

## COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA - T3 (ROT + 7 % TT) - TRATAMIENTO C

FECHA	Día	S	T° AMBIENTE	T° PILA 1	T° PILA 2	T° PILA 3	T° PILA 4	T° PILA 5	T° PILA 6	T° PILA 7	T° PILA 8	T° PILA 9	T° PROM T3
8/7/2023	Día 44		19,00	30,00	35,00	38,00	37,00	33,00	38,00	39,00	35,00	40,00	36,11
9/7/2023	Día 45		19,00	31,00	34,50	35,00	35,50	32,50	36,50	37,00	34,50	38,00	34,94
10/7/2023	Día 46		19,00	32,00	34,00	32,00	34,00	32,00	35,00	35,00	34,00	36,00	33,78
11/7/2023	Día 47		20,00	31,00	30,00	30,00	30,00	28,00	30,00	30,00	31,00	31,00	30,11
12/7/2023	Día 48		22,00	30,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	26,00	28,00	30,00	26,56
13/7/2023	Día 49		20,00	28,00	20,00	28,00	20,00	23,00	22,00	20,00	27,00	28,00	24,00
14/7/2023	Día 50	SEMANA 7	21,00	26,00	16,00	25,00	18,00	22,00	20,00	18,00	25,00	25,00	21,67
15/7/2023	Día 51		20,00	28,00	30,00	30,00	32,00	32,00	30,00	33,00	31,00	33,00	31,00
16/7/2023	Día 52		20,00	26,00	28,00	27,50	30,00	29,00	27,50	30,00	29,50	29,00	28,50
17/7/2023	Día 53		20,00	24,00	26,00	25,00	28,00	26,00	25,00	27,00	28,00	25,00	26,00
18/7/2023	Día 54		21,00	23,00	25,00	24,00	26,00	25,00	24,00	25,00	26,00	24,00	24,67
19/7/2023	Día 55		20,00	12,00	17,00	18,00	15,00	15,00	15,00	14,00	16,00	16,00	15,33
20/7/2023	Día 56		19,00	14,00	15,00	17,00	15,00	15,00	15,00	14,00	16,00	15,00	15,11
21/7/2023	Día 57	SEMANA 8	23,00	15,00	16,00	17,00	15,00	14,00	15,00	14,00	16,00	15,00	15,22
22/7/2023	Día 58		20,00	25,00	28,00	26,00	30,00	27,00	26,00	28,00	29,00	26,00	27,22
23/7/2023	Día 59		20,50	24,50	27,00	25,50	29,00	26,50	25,50	27,50	28,50	25,50	26,61
24/7/2023	Día 60		21,00	24,00	26,00	25,00	28,00	26,00	25,00	27,00	28,00	25,00	26,00
25/7/2023	Día 61		20,00	23,00	25,00	24,00	26,00	25,00	24,00	25,00	26,00	24,00	24,67
26/7/2023	Día 62		21,00	20,00	21,00	21,00	22,00	23,00	22,00	23,00	24,00	22,00	22,00
27/7/2023	Día 63		20,00	19,00	18,00	18,00	18,00	19,00	17,00	19,00	18,00	17,00	18,11
28/7/2023	Día 64	SEMANA 9	21,00	19,00	16,00	15,00	17,00	17,00	16,00	17,00	16,00	16,00	16,56
29/7/2023	Día 65		20,00	18,00	15,00	14,00	15,00	16,00	15,00	15,00	15,00	16,00	15,44
30/7/2023	Día 66		20,00	17,00	15,00	14,00	15,00	15,50	14,50	14,50	14,50	15,50	15,06



*Anexo 9. Comportamiento de la temperatura - T4 (ROT + 9 % TT) - Tratamiento D*

COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA - T4 (ROT + 9 % TT) - TRATAMIENTO D													
FECHA	Día	S	T° AMBIENTE	T° PILA 1	T° PILA 2	T° PILA 3	T° PILA 4	T° PILA 5	T° PILA 6	T° PILA 7	T° PILA 8	T° PILA 9	T° PROM T4
4/8/2023	Día 1	SEMANA 0	21,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
5/8/2023	Día 2		20,00	16,00	15,00	16,00	15,00	16,00	14,00	15,00	15,00	14,00	15,11
6/8/2023	Día 3		20,00	35,00	32,00	36,00	37,00	34,00	36,00	36,00	38,00	33,00	35,22
7/8/2023	Día 4		20,00	40,00	47,00	42,00	47,00	44,00	44,00	45,00	43,00	44,00	44,00
8/8/2023	Día 5		19,00	47,00	48,00	43,00	48,00	45,00	45,00	48,00	45,00	45,00	46,00
9/8/2023	Día 6		20,00	47,00	51,00	44,00	49,00	46,00	46,00	51,00	46,00	46,00	47,33
10/8/2023	Día 7		21,00	48,00	50,00	49,00	50,00	48,00	48,00	49,00	47,00	48,00	48,56
11/8/2023	Día 8	SEMANA 1	20,00	49,00	50,00	52,00	49,00	50,00	50,00	49,00	50,00	50,00	49,89
12/8/2023	Día 9		21,00	52,00	49,00	52,00	48,00	51,00	51,00	48,00	51,00	51,00	50,33
13/8/2023	Día 10		22,00	50,50	47,50	51,00	47,50	49,50	49,50	45,00	49,50	49,50	48,83
14/8/2023	Día 11		23,00	49,00	46,00	50,00	47,00	48,00	48,00	42,00	48,00	48,00	47,33
15/8/2023	Día 12		20,00	48,00	40,00	45,00	45,00	43,00	44,00	39,00	45,00	45,00	43,78
16/8/2023	Día 13		20,00	45,00	35,00	40,00	43,00	40,00	40,00	35,00	40,00	40,00	39,78
17/8/2023	Día 14		20,00	30,00	36,00	30,00	39,00	38,00	38,00	36,00	38,00	38,00	35,89
18/8/2023	Día 15	SEMANA 2	22,00	31,00	32,00	31,00	32,00	35,00	35,00	32,00	35,00	35,00	33,11
19/8/2023	Día 16		21,00	30,00	29,00	30,00	29,00	32,00	30,00	29,00	32,00	30,00	30,11
20/8/2023	Día 17		22,00	27,50	27,50	27,50	27,50	29,50	29,00	27,50	29,50	29,00	28,28
21/8/2023	Día 18		23,00	25,00	26,00	25,00	26,00	27,00	28,00	26,00	27,00	28,00	26,44
22/8/2023	Día 19		21,00	24,00	25,00	24,00	25,00	25,00	26,00	25,00	25,00	26,00	25,00
23/8/2023	Día 20		20,00	23,00	23,00	23,00	23,00	24,00	25,00	23,00	24,00	25,00	23,67

## COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA - T4 (ROT + 9 % TT) - TRATAMIENTO D

FECHA	Día	S	T° AMBIENTE	T° PILA 1	T° PILA 2	T° PILA 3	T° PILA 4	T° PILA 5	T° PILA 6	T° PILA 7	T° PILA 8	T° PILA 9	T° PROM T4
24/8/2023	Día 21		21,00	22,00	22,00	22,00	22,00	19,00	24,00	22,00	20,00	24,00	21,89
25/8/2023	Día 22	SEMANA 3	23,00	20,00	19,00	20,00	19,00	19,00	22,00	19,00	20,00	22,00	20,00
26/8/2023	Día 23		20,00	42,00	43,00	42,00	43,00	40,00	42,00	42,00	40,00	42,00	41,78
27/8/2023	Día 24		20,00	41,50	42,50	41,50	42,50	40,00	41,50	41,50	39,00	40,50	41,17
28/8/2023	Día 25		20,00	41,00	42,00	41,00	42,00	40,00	41,00	41,00	38,00	39,00	40,56
29/8/2023	Día 26		20,00	37,00	38,00	36,00	38,00	38,00	37,00	41,00	36,00	37,00	37,56
30/8/2023	Día 27		21,00	34,00	36,00	35,00	30,00	35,00	35,00	36,00	35,00	33,00	34,33
31/8/2023	Día 28		22,00	23,00	24,00	25,00	24,00	23,00	25,00	25,00	24,00	24,00	24,11
1/9/2023	Día 29	SEMANA 4	21,00	18,00	22,00	18,00	22,00	20,00	23,00	22,00	20,00	23,00	20,89
2/9/2023	Día 30		23,00	40,00	42,00	39,00	38,00	40,00	41,00	39,00	42,00	42,00	40,33
3/9/2023	Día 31		21,50	39,50	40,50	39,50	38,50	39,00	39,50	37,50	39,50	41,50	39,44
4/9/2023	Día 32		20,00	39,00	39,00	40,00	39,00	38,00	38,00	36,00	37,00	41,00	38,56
5/9/2023	Día 33		21,00	31,00	32,00	27,00	38,00	29,00	30,00	31,00	30,00	32,00	31,11
6/9/2023	Día 34		19,00	28,00	28,00	27,00	35,00	28,00	29,00	29,00	27,00	30,00	29,00
7/9/2023	Día 35		20,00	23,00	25,00	24,00	25,00	22,00	26,00	25,00	22,00	26,00	24,22
8/9/2023	Día 36	SEMANA 5	20,00	22,00	21,00	22,00	21,00	20,00	23,00	21,00	20,00	25,00	21,67
9/9/2023	Día 37		18,00	38,00	36,00	36,00	38,00	35,00	37,00	38,00	34,00	39,00	36,78
10/9/2023	Día 38		19,00	36,50	36,00	34,50	38,50	34,00	34,50	35,50	33,50	37,00	35,56
11/9/2023	Día 39		20,00	35,00	36,00	33,00	39,00	33,00	32,00	33,00	33,00	35,00	34,33
12/9/2023	Día 40		20,00	34,00	35,00	32,00	31,00	30,00	31,00	28,00	29,00	27,00	30,78
13/9/2023	Día 41		20,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	28,00	29,00	26,00	29,22
14/9/2023	Día 42		20,00	22,00	24,00	23,00	22,00	24,00	25,00	26,00	26,00	26,00	24,22
15/9/2023	Día 43	SEMANA 6	21,00	18,00	20,00	18,00	20,00	19,00	18,00	20,00	19,00	18,00	18,89

## COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA - T4 (ROT + 9 % TT) - TRATAMIENTO D

FECHA	Día	S	T° AMBIENTE	T° PILA 1	T° PILA 2	T° PILA 3	T° PILA 4	T° PILA 5	T° PILA 6	T° PILA 7	T° PILA 8	T° PILA 9	T° PROM T4
16/9/2023	Día 44		19,00	36,00	37,00	35,00	34,00	36,00	36,00	34,00	33,00	35,00	35,11
17/9/2023	Día 45		19,50	35,00	36,50	34,50	34,50	36,50	35,00	34,50	34,00	35,50	35,11
18/9/2023	Día 46		20,00	34,00	36,00	34,00	35,00	37,00	34,00	35,00	35,00	36,00	35,11
19/9/2023	Día 47		21,00	31,00	26,00	30,00	27,00	28,00	29,00	30,00	31,00	33,00	29,44
20/9/2023	Día 48		20,00	28,00	25,00	28,00	24,00	26,00	24,00	25,00	26,00	30,00	26,22
21/9/2023	Día 49		20,00	23,00	22,00	25,00	26,00	25,00	23,00	22,00	21,00	24,00	23,44
22/9/2023	Día 50	SEMANA 7	19,00	18,00	19,00	17,00	19,00	20,00	21,00	18,00	20,00	21,00	19,22
23/9/2023	Día 51		20,00	34,00	35,00	34,00	33,00	33,00	34,00	35,00	35,00	34,00	34,11
24/9/2023	Día 52		21,00	32,00	34,00	33,00	32,50	33,50	34,50	34,00	34,50	34,00	33,56
25/9/2023	Día 53		22,00	30,00	33,00	32,00	32,00	34,00	35,00	33,00	34,00	34,00	33,00
26/9/2023	Día 54		20,00	28,00	32,00	31,00	32,00	30,00	31,00	30,00	33,00	32,00	31,00
27/9/2023	Día 55		19,00	24,00	27,00	26,00	26,00	26,00	25,00	27,00	30,00	30,00	26,78
28/9/2023	Día 56		20,00	23,00	26,00	21,00	22,00	23,00	24,00	23,00	22,00	20,00	22,67
29/9/2023	Día 57	SEMANA 8	20,00	18,00	17,00	18,00	17,00	16,00	18,00	17,00	16,00	18,00	17,22
30/9/2023	Día 58		19,00	33,00	32,00	33,00	34,00	33,00	34,00	32,00	33,00	33,00	33,00
1/10/2023	Día 59		20,00	32,00	33,00	33,00	34,00	33,50	34,00	33,00	32,50	33,00	33,11
2/10/2023	Día 60		21,00	31,00	34,00	33,00	34,00	34,00	34,00	34,00	32,00	33,00	33,22
3/10/2023	Día 61		20,00	30,00	32,00	31,00	32,00	29,00	28,00	29,00	30,00	31,00	30,22
4/10/2023	Día 62		23,00	26,00	26,00	30,00	27,00	27,00	30,00	26,00	26,00	30,00	27,56
5/10/2023	Día 63		22,00	25,00	24,00	23,00	25,00	22,00	25,00	23,00	23,00	23,00	23,67
6/10/2023	Día 64	SEMANA 9	20,00	20,00	21,00	20,00	21,00	21,00	20,00	21,00	21,00	20,00	20,56
7/10/2023	Día 65		18,00	19,00	20,00	19,00	20,00	20,00	18,00	20,00	20,00	18,00	19,33
8/10/2023	Día 66		18,00	17,00	18,00	17,00	18,00	18,50	17,00	18,50	18,00	17,00	17,67

## COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA - T4 (ROT + 9 % TT) - TRATAMIENTO D

FECHA	Día	S	T° AMBIENTE	T° PILA 1	T° PILA 2	T° PILA 3	T° PILA 4	T° PILA 5	T° PILA 6	T° PILA 7	T° PILA 8	T° PILA 9	T° PROM T4
9/10/2023	Día 67		18,00	15,00	16,00	15,00	16,00	17,00	16,00	17,00	16,00	16,00	16,00
10/10/2023	Día 68		18,00	15,00	15,00	15,00	15,00	16,00	14,00	16,00	15,00	16,00	15,22
11/10/2023	Día 69		20,00	14,00	16,00	14,00	16,00	15,00	15,00	15,00	15,00	16,00	15,11
12/10/2023	Día 70		21,00	15,00	16,00	15,00	16,00	15,00	15,00	14,00	14,00	14,00	14,89
13/10/2023	Día 71	SEMANA 10	20,00	15,00	16,00	15,00	16,00	15,00	15,00	14,00	16,00	15,00	15,22

*Anexo10. Comportamiento de la conductividad eléctrica - T1 (ROT + 3 % TT) - Tratamiento A*

COMPORTAMIENTO DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA - T1 (ROT + 3 % TT) - TRATAMIENTO A												
FECHA	SEMANA	UNIDAD	CE PILA 1	CE PILA 2	CE PILA 3	CE PILA 4	CE PILA 5	CE PILA 6	CE PILA 7	CE PILA 8	CE PILA 9	CE PROM T1
25/8/2023	SEMANA 1	μS/cm	1205,00	1350,00	1470,00	1350,00	1250,00	1600,00	1205,00	1470,00	1520,00	1380,00
1/9/2023	SEMANA 2	μS/cm	2120,00	2315,00	2002,00	2305,00	1564,00	2384,00	2120,00	2365,00	2250,00	2158,33
8/9/2023	SEMANA 3	μS/cm	3250,00	2150,00	2535,00	2630,00	2700,00	3250,00	2150,00	2571,00	2571,00	2645,22
15/9/2023	SEMANA 4	μS/cm	2635,00	2546,00	2365,00	3621,00	2571,00	2635,00	2002,00	2635,00	2315,00	2591,67
22/9/2023	SEMANA 5	μS/cm	2941,00	2965,00	2951,00	2941,00	2635,00	2200,00	2150,00	2315,00	2150,00	2583,11
29/9/2023	SEMANA 6	μS/cm	2571,00	3562,00	2365,00	2150,00	2941,00	2571,00	2571,00	2150,00	2546,00	2603,00
6/10/2023	SEMANA 7	μS/cm	3641,00	2941,00	2941,00	2571,00	2365,00	3400,00	3641,00	2546,00	2965,00	3001,22
13/10/2023	SEMANA 8	μS/cm	2150,00	2365,00	2941,00	2365,00	2002,00	2150,00	2150,00	2965,00	3562,00	2516,67
20/10/2023	SEMANA 9	μS/cm	2941,00	2150,00	2571,00	2951,00	2941,00	2941,00	2941,00	3562,00	2800,00	2866,44
27/10/2023	SEMANA 10	μS/cm	2365,00	2500,00	2365,00	2365,00	2365,00	2365,00	2365,00	2941,00	3555,00	2576,22
3/11/2023	SEMANA 11	μS/cm	2941,00	2150,00	2300,00	2365,00	2941,00	2980,00	2160,00	2280,00	2365,00	2498,00
10/11/2023	SEMANA 12	μS/cm	2365,00	2200,00	2350,00	2350,00	2360,00	2365,00	2200,00	2320,00	2350,00	2317,78
17/11/2023	SEMANA 13	μS/cm	2340,00	2330,00	2370,00	2590,00	2330,00	2340,00	2320,00	2340,00	2490,00	2383,33
24/11/2023	SEMANA 14	μS/cm	2345,00	2450,00	2250,00	2355,00	2340,00	2364,00	2350,00	2300,00	2410,00	2351,56
1/12/2023	SEMANA 15	μS/cm	2350,00	2350,00	2190,00	2500,00	2400,00	2302,00	2150,00	2450,00	2250,00	2326,89

*Anexo 11. Comportamiento de la conductividad eléctrica - T2 (ROT + 5 % TT) - Tratamiento B*

COMPORTAMIENTO DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA - T2 (ROT + 5 % TT) - TRATAMIENTO B												
FECHA	SEMANA	UNIDAD	CE PILA 1	CE PILA 2	CE PILA 3	CE PILA 4	CE PILA 5	CE PILA 6	CE PILA 7	CE PILA 8	CE PILA 9	CE PROM T2
17/3/2023	SEMANA 1	μS/cm	1350,00	1640,00	1520,00	1478,00	1549,00	1802,00	1657,00	1400,00	1550,00	1549,56
24/3/2023	SEMANA 2	μS/cm	1457,00	1875,00	1472,00	1384,00	1534,00	2120,00	1434,00	1532,00	1800,00	1623,11
31/3/2023	SEMANA 3	μS/cm	1498,00	1490,00	1899,00	2360,00	1229,00	1319,00	1916,00	1460,00	1850,00	1669,00
7/4/2023	SEMANA 4	μS/cm	1860,00	2320,00	1568,00	1633,00	1720,00	1736,00	1275,00	1260,00	1720,00	1676,89
14/4/2023	SEMANA 5	μS/cm	1755,00	1800,00	2120,00	1541,00	1644,00	1540,00	1570,00	2270,00	1650,00	1765,56
21/4/2023	SEMANA 6	μS/cm	2090,00	2100,00	1382,00	1219,00	1500,00	1390,00	2220,00	1228,00	1650,00	1642,11
28/4/2023	SEMANA 7	μS/cm	1818,00	1526,00	1456,00	1400,00	1525,00	2160,00	1178,00	1500,00	1520,00	1564,78
5/5/2023	SEMANA 8	μS/cm	1763,00	1502,00	2060,00	1573,00	1732,00	1165,00	1835,00	1620,00	1700,00	1661,11
12/5/2023	SEMANA 9	μS/cm	1600,00	1769,00	1684,00	2230,00	1529,00	1916,00	1198,00	1560,00	1529,00	1668,33
19/5/2023	SEMANA 10	μS/cm	1593,00	1784,00	1750,00	1609,00	1603,00	1750,00	1650,00	1313,00	1603,00	1628,33
26/5/2023	SEMANA 11	μS/cm	1250,00	1390,00	1340,00	1400,00	1476,00	1410,00	1222,00	1221,00	1350,00	1339,89
2/6/2023	SEMANA 12	μS/cm	1240,00	1350,00	1330,00	1410,00	1314,00	1324,00	1350,00	1290,00	1360,00	1329,78

*Anexo 12. Comportamiento de la conductividad eléctrica - T3 (ROT + 7 % TT) - Tratamiento C*

COMPORTAMIENTO DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA - T3 (ROT + 7 % TT) - TRATAMIENTO C												
FECHA	SEMANA	PARÁMETRO	CE PILA 1	CE PILA 2	CE PILA 3	CE PILA 4	CE PILA 5	CE PILA 6	CE PILA 7	CE PILA 8	CE PILA 9	CE PROM T3
26/5/2023	SEMANA 1	μS/cm	628,00	950,00	899,00	675,00	636,00	450,00	978,00	620,00	619,00	717,22
2/6/2023	SEMANA 2	μS/cm	726,00	1500,00	960,00	1300,00	1120,00	1020,00	1433,00	900,00	766,00	1080,56
9/6/2023	SEMANA 3	μS/cm	1350,00	1104,00	867,00	950,00	690,00	897,00	1320,00	920,00	890,00	998,67
16/6/2023	SEMANA 4	μS/cm	790,00	958,00	920,00	1050,00	950,00	1350,00	1124,00	1450,00	1520,00	1123,56
23/6/2023	SEMANA 5	μS/cm	1200,00	990,00	1181,00	1247,00	1450,00	1228,00	1214,00	1247,00	1450,00	1245,22
30/6/2023	SEMANA 6	μS/cm	1150,00	1024,00	1410,00	1560,00	1600,00	1351,00	1239,00	1560,00	1670,00	1396,00
7/7/2023	SEMANA 7	μS/cm	1100,00	1500,00	1500,00	1578,00	1169,00	1722,00	1461,00	1480,00	1169,00	1408,78
14/7/2023	SEMANA 8	μS/cm	1250,00	1350,00	1586,00	1240,00	1216,00	1400,00	1277,00	1240,00	1220,00	1308,78
21/7/2023	SEMANA 9	μS/cm	1255,00	1300,00	1233,00	1245,00	1350,00	1350,00	1250,00	1245,00	1314,00	1282,44
28/7/2023	SEMANA 10	μS/cm	1220,00	1290,00	1215,00	1347,00	1320,00	1300,00	1260,00	1347,00	1260,00	1284,33

*Anexo 13. Comportamiento de la conductividad eléctrica - T4 (ROT + 9 % TT) - Tratamiento D*

COMPORTAMIENTO DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA - T4 (ROT + 9 % TT) - TRATAMIENTO D												
FECHA	SEMANA	PARÁMETRO	CE PILA 1	CE PILA 2	CE PILA 3	CE PILA 4	CE PILA 5	CE PILA 6	CE PILA 7	CE PILA 8	CE PILA 9	CE PROM T4
4/8/2023	SEMANA 1	μS/cm	744,00	840,00	870,00	918,00	950,00	800,00	840,00	850,00	910,00	858,00
11/8/2023	SEMANA 2	μS/cm	890,00	950,00	960,00	960,00	1100,00	1200,00	1120,00	900,00	766,00	982,89
18/8/2023	SEMANA 3	μS/cm	950,00	1290,00	925,00	875,00	890,00	920,00	1020,00	1350,00	1250,00	1052,22
25/8/2023	SEMANA 4	μS/cm	1250,00	1130,00	1430,00	1310,00	1260,00	1360,00	1390,00	1600,00	1500,00	1358,89
1/9/2023	SEMANA 5	μS/cm	1260,00	1200,00	1250,00	1320,00	1580,00	1160,00	1420,00	1460,00	1462,00	1345,78
8/9/2023	SEMANA 6	μS/cm	1520,00	1408,00	1351,00	1390,00	1290,00	1420,00	1408,00	1670,00	1610,00	1451,89
15/9/2023	SEMANA 7	μS/cm	1250,00	1474,00	1345,00	1335,00	1120,00	1300,00	1580,00	1490,00	1426,00	1368,89
22/9/2023	SEMANA 8	μS/cm	1300,00	1250,00	1520,00	1600,00	1390,00	1580,00	1420,00	1450,00	1360,00	1430,00
29/9/2023	SEMANA 9	μS/cm	1450,00	1330,00	1350,00	1408,00	1350,00	1290,00	1350,00	1260,00	1251,00	1337,67
6/10/2023	SEMANA 10	μS/cm	1260,00	1220,00	1290,00	1250,00	1310,00	1240,00	1290,00	1290,00	1280,00	1270,00

Anexo 14. Comportamiento del potencial de hidrógeno - T1 (ROT + 3 % TT) - Tratamiento A

COMPORTAMIENTO DEL POTENCIAL DE HIDRÓGENO - T1 (ROT + 3 % TT) - TRATAMIENTO A												
FECHA	SEMANA	UNIDAD	pH PILA 1	pH PILA 2	pH PILA 3	pH PILA 4	pH PILA 5	pH PILA 6	pH PILA 7	pH PILA 8	pH PILA 9	pH PROM T1
25/8/2023	SEMANA 1	(1:1)	5,02	4,99	5,01	4,85	4,20	5,10	5,73	4,95	5,22	5,01
1/9/2023	SEMANA 2	(1:1)	9,10	8,94	8,53	8,60	8,00	8,70	9,00	9,51	9,90	8,92
8/9/2023	SEMANA 3	(1:1)	9,08	9,05	9,00	9,80	9,40	9,22	9,45	9,11	10,12	9,36
15/9/2023	SEMANA 4	(1:1)	9,20	8,99	9,45	9,50	9,48	9,15	9,51	9,00	9,20	9,28
22/9/2023	SEMANA 5	(1:1)	9,00	9,10	9,51	9,58	9,69	10,12	9,05	9,20	9,81	9,45
29/9/2023	SEMANA 6	(1:1)	9,10	8,82	9,11	9,89	9,75	9,45	9,20	9,81	9,76	9,43
6/10/2023	SEMANA 7	(1:1)	9,20	9,00	9,81	9,04	9,80	9,51	9,81	9,76	9,68	9,51
13/10/2023	SEMANA 8	(1:1)	9,81	9,76	9,76	9,00	9,50	9,20	9,76	9,68	9,90	9,60
20/10/2023	SEMANA 9	(1:1)	9,76	9,90	9,51	9,10	9,20	9,81	9,68	9,90	9,10	9,55
27/10/2023	SEMANA 10	(1:1)	9,68	8,98	9,11	9,20	9,81	9,76	9,90	8,98	9,20	9,40
3/11/2023	SEMANA 11	(1:1)	9,90	9,00	9,20	9,81	9,76	9,68	8,98	9,20	9,81	9,48
10/11/2023	SEMANA 12	(1:1)	8,98	9,20	9,81	9,76	9,68	9,90	9,00	9,81	9,76	9,54
17/11/2023	SEMANA 13	(1:1)	9,20	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,40	9,07
24/11/2023	SEMANA 14	(1:1)	9,20	9,20	9,10	9,30	9,10	9,20	9,10	9,20	9,40	9,20
1/12/2023	SEMANA 15	(1:1)	9,30	9,30	9,20	9,40	9,25	9,32	9,30	9,20	9,00	9,25

*Anexo 15. Comportamiento del potencial de hidrógeno - T2 (ROT + 5 % TT) - Tratamiento B*

COMPORTAMIENTO DEL POTENCIAL DE HIDRÓGENO - T2 (ROT + 5 % TT) - TRATAMIENTO B												
FECHA	SEMANA	UNIDAD	pH PILA 1	pH PILA 2	pH PILA 3	pH PILA 4	pH PILA 5	pH PILA 6	pH PILA 7	pH PILA 8	pH PILA 9	pH PROM T2
17/3/2023	SEMANA 1	(1:1)	5,64	5,47	5,80	5,73	5,06	5,59	5,74	6,07	5,64	5,64
24/3/2023	SEMANA 2	(1:1)	9,86	9,69	9,87	9,45	9,46	8,75	8,94	9,47	9,86	9,48
31/3/2023	SEMANA 3	(1:1)	9,72	9,78	9,55	9,85	9,58	9,41	9,57	9,91	9,72	9,68
7/4/2023	SEMANA 4	(1:1)	9,53	9,85	9,89	9,42	9,66	9,72	9,69	9,86	9,53	9,68
14/4/2023	SEMANA 5	(1:1)	9,87	9,95	9,72	9,70	9,72	9,85	9,87	9,64	9,87	9,80
21/4/2023	SEMANA 6	(1:1)	9,76	9,52	9,75	9,93	9,39	9,78	9,76	9,53	9,76	9,69
28/4/2023	SEMANA 7	(1:1)	9,85	9,65	9,83	9,69	9,47	9,68	9,78	9,70	9,80	9,72
5/5/2023	SEMANA 8	(1:1)	9,82	9,61	9,95	9,58	9,50	9,70	9,80	9,75	9,81	9,72
12/5/2023	SEMANA 9	(1:1)	9,67	9,82	9,84	9,82	9,80	9,72	9,81	9,50	9,83	9,76
19/5/2023	SEMANA 10	(1:1)	9,83	9,85	9,93	9,75	9,73	9,60	9,85	9,83	9,84	9,80
26/5/2023	SEMANA 11	(1:1)	9,85	9,89	9,64	9,92	9,96	9,96	10,10	9,84	9,85	9,89
2/6/2023	SEMANA 12	(1:1)	9,89	9,92	9,79	9,93	9,98	9,96	9,97	9,98	9,93	9,93

*Anexo 16. Comportamiento del potencial de hidrógeno - T3 (ROT + 7 % TT) - Tratamiento C*

COMPORTAMIENTO DEL POTENCIAL DE HIDRÓGENO - T3 (ROT + 7 % TT) - TRATAMIENTO C												
FECHA	SEMANA	PARÁMETRO	pH PILA 1	pH PILA 2	pH PILA 3	pH PILA 4	pH PILA 5	pH PILA 6	pH PILA 7	pH PILA 8	pH PILA 9	pH PROM T3
26/5/2023	SEMANA 1	(1:1)	5,36	5,22	5,51	5,55	6,44	6,20	6,17	5,36	5,22	5,67
2/6/2023	SEMANA 2	(1:1)	9,40	9,68	9,13	9,43	9,76	9,56	9,60	9,40	9,68	9,52
9/6/2023	SEMANA 3	(1:1)	9,86	9,66	9,34	9,44	9,10	9,80	9,53	9,86	9,66	9,58
16/6/2023	SEMANA 4	(1:1)	9,80	9,65	9,45	9,03	9,35	9,40	9,54	9,50	9,65	9,49
23/6/2023	SEMANA 5	(1:1)	9,59	9,75	9,58	9,66	9,53	9,52	9,90	9,71	9,75	9,67
30/6/2023	SEMANA 6	(1:1)	9,71	9,24	9,64	9,62	9,59	9,91	9,51	9,85	9,55	9,62
7/7/2023	SEMANA 7	(1:1)	9,80	9,81	9,75	9,72	9,79	9,57	9,75	9,91	9,81	9,77
14/7/2023	SEMANA 8	(1:1)	9,91	9,57	9,78	9,80	9,74	9,56	9,80	9,95	9,57	9,74
21/7/2023	SEMANA 9	(1:1)	9,95	9,41	10,00	9,60	9,90	9,80	9,95	9,80	9,41	9,76
28/7/2023	SEMANA 10	(1:1)	9,97	9,88	9,97	9,99	9,95	9,89	9,98	9,59	10,02	9,92

*Anexo 17. Comportamiento del potencial de hidrógeno - T4 (ROT + 9 % TT) - Tratamiento D*

COMPORTAMIENTO DEL POTENCIAL DE HIDRÓGENO - T4 (ROT + 9 % TT) - TRATAMIENTO D												
FECHA	SEMANA	PARÁMETRO	pH PILA 1	pH PILA 2	pH PILA 3	pH PILA 4	pH PILA 5	pH PILA 6	pH PILA 7	pH PILA 8	pH PILA 9	pH PROM T4
4/8/2023	SEMANA 1	(1:1)	5,74	5,92	5,60	5,12	5,22	5,92	5,60	5,60	5,12	5,54
11/8/2023	SEMANA 2	(1:1)	9,45	9,30	9,91	9,80	8,95	9,99	9,91	9,20	9,80	9,59
18/8/2023	SEMANA 3	(1:1)	9,70	9,60	9,53	9,47	9,32	9,80	9,50	9,53	9,47	9,55
25/8/2023	SEMANA 4	(1:1)	8,95	9,84	9,37	9,48	9,38	9,84	9,37	9,37	9,48	9,45
1/9/2023	SEMANA 5	(1:1)	9,31	9,86	9,57	9,64	9,37	9,86	9,60	9,57	9,64	9,60
8/9/2023	SEMANA 6	(1:1)	9,57	9,45	9,63	9,81	9,16	9,45	9,63	9,96	9,81	9,61
15/9/2023	SEMANA 7	(1:1)	9,53	9,54	9,78	9,63	9,60	9,56	9,78	9,98	9,79	9,69
22/9/2023	SEMANA 8	(1:1)	9,73	9,78	9,95	9,75	9,97	9,78	9,82	9,82	9,90	9,83
29/9/2023	SEMANA 9	(1:1)	9,93	9,81	9,90	10,20	9,98	9,81	9,90	9,90	9,80	9,91
6/10/2023	SEMANA 10	(1:1)	9,94	9,93	9,93	9,94	9,99	9,95	9,93	9,96	9,98	9,95

Anexo 18. Comportamiento de humedad - T1 (ROT + 3 % TT) - Tratamiento A

COMPORTAMIENTO DE HUMEDAD - T1 (ROT + 3 % TT) - TRATAMIENTO A												
FECHA	SEMANA	HUMEDAD	H° PILA 1	H° PILA 2	H° PILA 3	H° PILA 4	H° PILA 5	H° PILA 6	H° PILA 7	H° PILA 8	H° PILA 9	H° PROM T1
25/8/2023	SEMANA 1	%	82,60	82,70	84,00	80,00	84,00	82,00	81,90	82,00	85,00	82,69
1/9/2023	SEMANA 2	%	76,50	81,10	82,00	75,00	84,00	83,00	86,00	80,00	82,40	81,11
8/9/2023	SEMANA 3	%	76,10	75,40	85,00	75,00	75,00	80,50	78,00	78,00	81,90	78,32
15/9/2023	SEMANA 4	%	70,70	73,00	80,00	74,10	74,90	76,50	75,10	76,50	79,10	75,54
22/9/2023	SEMANA 5	%	67,10	69,00	78,90	72,50	73,10	72,50	73,10	72,50	74,50	72,58
29/9/2023	SEMANA 6	%	65,70	65,70	74,00	69,10	71,90	71,10	71,90	71,10	70,00	70,06
6/10/2023	SEMANA 7	%	63,70	63,20	72,00	68,00	68,90	65,70	69,00	68,00	68,50	67,44
13/10/2023	SEMANA 8	%	61,90	60,70	70,00	64,00	65,00	64,00	65,00	64,00	66,10	64,52
20/10/2023	SEMANA 9	%	60,70	58,90	65,90	61,70	62,90	61,10	62,90	63,90	62,50	62,28
27/10/2023	SEMANA 10	%	59,80	56,10	62,00	60,50	61,90	60,00	60,10	60,00	63,00	60,38
3/11/2023	SEMANA 11	%	57,80	54,60	62,00	59,50	58,10	59,50	58,10	59,50	57,70	58,53
10/11/2023	SEMANA 12	%	56,80	50,00	57,90	57,10	55,90	55,10	57,10	58,00	55,60	55,94
17/11/2023	SEMANA 13	%	55,10	50,00	54,00	51,60	54,90	53,70	56,10	57,70	54,00	54,12
24/11/2023	SEMANA 14	%	53,20	49,10	54,00	50,10	54,50	50,70	55,90	55,10	52,70	52,81
1/12/2023	SEMANA 15	%	51,70	47,10	54,00	49,00	50,00	48,00	52,00	52,00	51,00	50,53

*Anexo 19. Comportamiento de humedad - T2 (ROT + 5 % TT) - Tratamiento B*

COMPORTAMIENTO DE HUMEDAD - T2 (ROT + 5 % TT) - TRATAMIENTO B												
FECHA	SEMANA	HUMEDAD	H° PILA 1	H° PILA 2	H° PILA 3	H° PILA 4	H° PILA 5	H° PILA 6	H° PILA 7	H° PILA 8	H° PILA 9	H° PROM T2
17/3/2023	SEMANA 1	%	78,10	74,70	77,00	79,70	79,50	83,00	81,30	79,50	83,00	79,53
24/3/2023	SEMANA 2	%	73,10	70,40	75,40	84,50	86,50	80,50	86,70	87,00	80,50	80,51
31/3/2023	SEMANA 3	%	82,60	82,70	70,50	78,60	86,90	79,90	81,90	86,90	80,00	81,11
7/4/2023	SEMANA 4	%	77,93	75,93	74,30	80,93	83,97	81,13	83,30	81,00	79,00	79,72
14/4/2023	SEMANA 5	%	75,00	74,00	73,00	78,00	74,00	79,00	82,00	75,00	78,00	76,44
21/4/2023	SEMANA 6	%	71,00	76,40	72,70	77,50	73,90	76,50	80,80	72,00	76,50	75,26
28/4/2023	SEMANA 7	%	70,00	74,00	71,00	75,00	70,20	75,00	76,80	70,20	75,00	73,02
5/5/2023	SEMANA 8	%	66,40	71,90	69,70	73,50	71,00	67,20	75,00	71,00	67,20	70,32
12/5/2023	SEMANA 9	%	67,50	68,20	68,20	70,20	71,30	67,20	73,30	70,00	66,00	69,10
19/5/2023	SEMANA 10	%	66,10	66,50	66,20	70,00	70,40	69,30	73,40	69,00	69,30	68,91
26/5/2023	SEMANA 11	%	66,00	60,00	62,00	65,00	68,00	68,00	67,30	65,00	64,00	65,03
2/6/2023	SEMANA 12	%	60,00	62,00	61,00	63,00	62,00	59,90	63,20	62,00	61,00	61,57

Anexo 20. Comportamiento de humedad - T3 (ROT + 7 % TT) - Tratamiento C

COMPORTAMIENTO DE HUMEDAD - T3 (ROT + 7 % TT) - TRATAMIENTO C												
FECHA	SEMANA	HUMEDAD	H° PILA 1	H° PILA 2	H° PILA 3	H° PILA 4	H° PILA 5	H° PILA 6	H° PILA 7	H° PILA 8	H° PILA 9	H° PROM T3
26/5/2023	SEMANA 1	%	78,00	74,50	82,00	78,00	69,80	79,00	70,70	76,00	70,70	75,41
2/6/2023	SEMANA 2	%	73,50	75,00	73,30	70,50	72,80	67,40	68,40	73,30	68,40	71,40
9/6/2023	SEMANA 3	%	78,20	69,70	75,40	68,90	71,50	71,10	67,30	71,10	68,00	71,24
16/6/2023	SEMANA 4	%	67,20	74,60	73,30	63,70	67,50	69,30	66,00	69,30	66,00	68,54
23/6/2023	SEMANA 5	%	65,90	71,00	66,60	70,20	66,30	67,50	65,00	67,00	65,20	67,19
30/6/2023	SEMANA 6	%	64,80	67,30	65,20	72,10	65,40	66,20	64,20	66,00	60,20	65,71
7/7/2023	SEMANA 7	%	64,10	67,50	66,20	60,50	64,20	63,50	63,20	65,00	69,60	64,87
14/7/2023	SEMANA 8	%	61,00	69,60	64,50	58,90	63,00	62,10	63,50	64,00	63,50	63,34
21/7/2023	SEMANA 9	%	62,00	55,70	65,10	56,60	62,10	61,50	64,60	61,00	64,60	61,47
28/7/2023	SEMANA 10	%	56,20	54,00	61,00	54,00	61,50	59,00	61,00	60,00	60,00	58,52

*Anexo 21. Comportamiento de humedad - T4 (ROT + 9 % TT) - Tratamiento D*

COMPORTAMIENTO DE HUMEDAD - T4 (ROT + 9 % TT) - TRATAMIENTO D												
FECHA	SEMANA	HUMEDAD	H° PILA 1	H° PILA 2	H° PILA 3	H° PILA 4	H° PILA 5	H° PILA 6	H° PILA 7	H° PILA 8	H° PILA 9	H° PROM T3
4/8/2023	SEMANA 1	%	71,00	67,50	69,00	67,50	64,80	71,00	66,00	64,00	65,00	67,31
11/8/2023	SEMANA 2	%	69,10	66,50	69,00	67,50	61,10	67,00	63,00	62,00	64,00	65,47
18/8/2023	SEMANA 3	%	68,70	67,10	68,00	60,60	63,50	63,00	59,00	60,00	62,50	63,60
25/8/2023	SEMANA 4	%	65,70	65,10	67,10	60,00	62,30	61,00	58,00	59,60	61,20	62,22
1/9/2023	SEMANA 5	%	60,70	63,90	65,20	59,00	60,00	59,00	55,00	58,40	60,30	60,17
8/9/2023	SEMANA 6	%	63,10	62,70	59,00	57,00	59,00	58,00	54,00	56,50	58,30	58,62
15/9/2023	SEMANA 7	%	62,10	58,90	55,50	58,00	55,00	55,00	54,00	55,00	56,00	56,61
22/9/2023	SEMANA 8	%	57,10	52,30	53,70	50,00	52,00	54,00	53,00	53,90	54,50	53,39
29/9/2023	SEMANA 9	%	55,10	48,00	52,00	51,00	53,00	53,00	51,00	52,10	53,00	52,02
6/10/2023	SEMANA 10	%	45,00	44,10	47,00	45,00	49,00	50,00	48,00	46,00	45,00	46,57

Anexo 22. Informe de ensayo sobre análisis de materia orgánica – macronutrientes y micronutrientes esenciales en muestras de compost – Tratamiento T1 (ROT + 3 % TT)



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



### INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : REYNALDO SALAS SUCATICONA  
 PROCEDENCIA : PUNO/ SAN ROMÁN/ JULIACA  
 MUESTRA DE : COMPOST  
 REFERENCIA : H.R. 81604  
 BOLETA : 6250  
 FECHA : 05/01/2024

N° LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %
965	MC T1-1	9.50	21.12	56.92	2.90	1.73	3.62
966	MC T1-2	9.54	20.88	58.43	3.09	1.76	3.24
967	MC T1-3	9.45	20.08	57.87	2.97	1.78	2.03

N° LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %	C %
965	MC T1-1	9.66	0.83	38.89	0.72	34.96
966	MC T1-2	9.14	0.72	39.00	0.81	35.13
967	MC T1-3	8.93	0.82	38.79	0.81	35.70

N° LAB	CLAVES	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	B ppm	Relación C/N
965	MC T1-1	2660.00	23.50	100.00	390.00	78.16	12.04
966	MC T1-2	2437.50	22.00	105.00	395.00	63.93	11.37
967	MC T1-3	2180.00	23.50	100.00	435.00	55.09	12.03

M.O. por oxidación.



*Lily Tello Peramás*  
 Jefa de Laboratorio

*Anexo 23. Informe de ensayo sobre análisis de materia orgánica – macronutrientes y micronutrientes esenciales en muestras de compost – Tratamiento T2 (ROT + 5 % TT)*



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



### INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : REYNALDO SALAS SUCATICONA  
 PROCEDENCIA : PUNO/ SAN ROMÁN/ JULIACA  
 MUESTRA DE : COMPOST  
 REFERENCIA : H.R. 80661  
 BOLETA : 6006  
 FECHA : 20/09/2023

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %
592	MC T2-1	9.07	19.89	54.04	2.99	1.92	4.16
593	MC T2-2	9.06	19.53	55.33	2.95	1.91	4.13
594	MC T2-3	9.15	18.35	53.35	3.02	1.89	4.19

Nº LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %	C %
592	MC T2-1	12.88	0.92	33.86	0.63	31.35
593	MC T2-2	11.73	1.00	33.16	0.62	32.09
594	MC T2-3	12.15	0.92	34.09	0.59	30.94

Nº LAB	CLAVES	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	B ppm	Relación C/N
592	MC T2-1	3160	74	750	505	62	10.50
593	MC T2-2	2995	125	725	535	71	10.88
594	MC T2-3	2960	71	775	555	56	10.23

M.O. por oxidación.



*Constantino Calderón Mendoza*  
 Jefe de Laboratorio

*Anexo 24. Informe de ensayo sobre análisis de materia orgánica – macronutrientes y micronutrientes esenciales en muestras de compost – Tratamiento T3 (ROT + 7 % TT)*



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



### INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : REYNALDO SALAS SUCATICONA  
 PROCEDENCIA : PUNO/ SAN ROMÁN/ JULIACA  
 MUESTRA DE : COMPOST  
 REFERENCIA : H.R. 81129  
 BOLETA : 6102  
 FECHA : 08/11/2023

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %
753	MC T3-1	9.24	21.00	56.93	4.83	1.65	3.46
754	MC T3-2	9.22	21.93	52.69	4.31	1.68	3.49
755	MC T3-3	9.32	17.90	56.80	4.75	1.70	3.25

Nº LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %	C %
753	MC T3-1	7.26	0.79	39.17	0.60	33.02
754	MC T3-2	7.19	0.75	40.69	0.58	30.56
755	MC T3-3	6.64	0.69	40.32	0.58	32.94

Nº LAB	CLAVES	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	B ppm	Relación C/N
753	MC T3-1	1150.00	25.00	175.00	710.00	61.57	6.84
754	MC T3-2	1542.50	22.00	185.00	772.50	54.97	7.10
755	MC T3-3	1280.00	20.50	160.00	655.00	58.18	6.93

M.O. por oxidación.

*Dr. Constantino Calderón Mendoza*  
 Jefe de Laboratorio

*Anexo 25. Informe de ensayo sobre análisis de materia orgánica – macronutrientes y micronutrientes esenciales en muestras de compost – Tratamiento T2 (ROT + 5 % TT)*



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



### INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : REYNALDO SALAS SUCATICONA  
 PROCEDENCIA : PUNO/ SAN ROMÁN/ JULIACA  
 MUESTRA DE : COMPOST  
 REFERENCIA : H.R. 81350  
 BOLETA : 6176  
 FECHA : 07/12/2023

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %
838	MC T4-1	9.20	17.80	55.31	2.95	1.61	4.07
839	MC T4-2	9.28	17.77	55.13	2.99	1.47	4.04
840	MC T4-3	9.25	17.89	55.75	2.93	1.58	4.08

Nº LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %	C %
838	MC T4-1	9.70	0.84	37.04	0.72	32.08
839	MC T4-2	9.66	0.80	37.78	0.71	31.98
840	MC T4-3	9.70	0.90	37.31	0.72	32.34

Nº LAB	CLAVES	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	B ppm	Relación C/N
838	MC T4-1	2247.50	21.25	95.00	712.25	48.10	10.88
839	MC T4-2	2330.00	18.50	105.00	730.00	38.07	10.71
840	MC T4-3	2120.00	32.25	112.50	750.00	50.82	11.03

M.O. por oxidación.



*Constantino Calderón Mendoza*  
 Jefe de Laboratorio

Anexo 26. Cálculo del crecimiento radicular de la quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*)

Tratamientos	Total de semillas	Semillas germinadas	Crecimiento radicular (mm) de la quinua ( <i>Chenopodium quinoa Willd.</i> )																				
			CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	CR7	CR8	CR9	CR10	CR11	CR12	CR13	CR14	CR15	CR16	CR17	CR18	CR19	CR20	PROM
T-Q1	20	14	22,44	33,39	31,63	32,10	33,50	29,36	25,00	24,90	22,50	28,50	32,20	26,00	22,00	27,00	33,50	29,36	25,00	24,90	22,50	28,50	27,714
T-Q2	20	13	18,63	34,50	28,50	32,00	33,20	27,20	26,00	26,70	24,20	29,00	30,00	24,90	25,00	21,90	33,20	26,00	25,00	24,00	24,20	27,00	27,057
T-Q3	20	13	25,25	31,65	26,90	27,80	39,10	25,10	28,00	24,50	25,70	24,60	28,00	30,00	28,50	25,60	39,10	25,10	28,00	24,50	25,70	24,60	27,885
T1-Q1	20	9	17,20	14,90	16,43	15,60	16,00	17,20	14,90	16,43	15,60	16,00	14,60	13,90	16,43	15,60	16,00	17,20	14,90	16,43	15,90	16,00	15,861
T1-Q2	20	10	18,20	16,10	13,44	15,20	14,00	18,20	16,10	13,44	15,20	14,00	15,00	14,80	12,00	15,20	13,00	16,80	16,10	13,44	15,20	14,00	14,971
T1-Q3	20	10	15,30	13,90	12,15	14,20	17,00	15,30	13,90	12,15	14,20	17,00	18,00	12,90	12,15	14,20	17,00	15,30	13,90	12,15	14,20	16,00	14,545
T2-Q1	20	12	18,50	22,43	24,50	26,30	27,00	22,90	26,50	18,50	22,43	24,50	26,30	27,00	22,90	26,30	27,00	22,90	26,50	27,00	22,90	26,50	24,443
T2-Q2	20	13	16,48	21,35	19,73	25,20	28,00	26,00	24,00	16,48	21,35	19,73	25,20	28,00	26,00	25,20	28,00	26,00	24,00	28,00	26,00	24,00	23,936
T2-Q3	20	13	19,50	22,60	16,73	25,00	22,00	25,00	22,00	19,50	22,60	16,73	25,00	22,00	25,00	25,00	22,00	25,00	22,00	22,00	25,00	22,00	22,333
T3-Q1	20	12	25,00	16,78	20,60	22,00	21,00	22,60	15,60	20,60	22,00	20,60	22,00	24,00	22,60	19,80	20,60	22,00	24,00	22,60	24,00	19,80	21,409
T3-Q2	20	13	26,00	19,50	18,90	22,10	21,00	22,10	25,00	19,50	22,10	16,20	22,10	21,00	22,10	17,00	16,20	22,10	21,00	22,10	17,00	22,90	20,795
T3-Q3	20	11	18,00	19,00	22,50	23,40	20,00	19,80	20,60	15,90	23,40	15,90	23,40	20,00	19,80	22,60	19,50	23,40	20,00	19,80	23,00	20,50	20,525
T4-Q1	20	11	19,00	22,00	21,00	22,60	15,60	20,60	22,00	20,60	22,00	24,00	22,60	19,80	20,60	20,00	20,41	20,83	21,25	21,66	22,08	22,50	21,056
T4-Q2	20	12	18,93	22,10	21,00	22,10	22,00	19,50	22,10	16,20	19,00	21,00	22,10	17,00	16,20	17,00	15,00	16,17	16,00	15,95	15,85	15,74	18,547
T4-Q1	20	11	22,60	23,40	20,00	19,80	20,60	15,90	23,40	16,20	16,39	16,28	16,20	16,39	16,28	16,17	16,06	15,95	15,85	15,74	19,00	17,00	17,961

Anexo 27. Cálculo del crecimiento radicular de la cebada (*Hordeum vulgare* L.)

Tratamientos	Total de semillas	Semillas germinadas	Crecimiento radicular (mm) de la cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> L.)																				
			CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	CR7	CR8	CR9	CR10	CR11	CR12	CR13	CR14	CR15	CR16	CR17	CR18	CR19	CR20	PROM
T0 -C1	20	17	107,00	102,60	100,00	105,00	105,70	98,00	107,30	91,00	99,00	105,00	120,10	102,70	98,90	88,00	109,20	102,90	85,00	95,00	100,50	89,00	100,60
T0 -C2	20	16	105,00	120,20	125,00	105,00	102,00	90,80	98,50	95,00	95,00	89,20	100,00	94,30	99,00	98,00	95,00	95,00	91,00	109,00	89,00	92,00	99,40
T0 -C3	20	15	107,00	89,00	102,15	105,11	109,00	95,00	97,20	92,00	97,60	97,00	95,20	96,40	95,20	109,00	90,10	97,00	102,00	106,00	107,10	95,00	99,20
T1-C1	20	12	60,00	37,37	50,77	59,11	49,76	58,00	67,00	60,00	60,00	37,37	50,77	59,11	49,76	57,00	67,00	60,00	62,00	75,00	65,00	55,00	57,00
T1-C2	20	11	72,00	55,00	49,00	55,00	60,50	59,00	62,00	55,00	72,00	55,00	49,00	55,00	60,50	59,00	61,00	55,00	55,00	70,00	75,00	58,00	59,60
T1-C3	20	11	65,00	50,23	60,50	52,00	65,00	55,00	55,00	52,00	65,00	50,23	60,50	52,00	64,00	55,00	55,00	52,00	75,00	55,00	62,00	70,00	58,52
T2-C1	20	15	88,00	79,00	96,55	105,44	90,20	92,50	88,90	95,60	88,00	88,00	61,44	96,55	88,00	61,44	96,55	105,44	90,20	92,50	88,90	95,60	89,44
T2-C2	20	15	85,00	75,00	98,11	105,11	88,00	80,00	78,00	92,00	85,00	85,00	79,00	98,11	85,00	85,00	98,11	105,11	88,00	89,00	78,00	92,00	88,43
T2-C3	20	15	75,00	99,80	105,61	88,50	85,00	84,00	80,00	79,00	75,00	75,00	99,80	105,61	75,00	99,80	98,00	88,50	85,00	88,00	89,00	79,00	87,73
T3-C1	20	13	79,00	75,00	71,00	71,45	96,20	79,00	75,00	71,00	79,00	85,00	69,00	79,23	72,00	98,50	72,00	85,00	69,00	79,23	72,00	98,50	78,81
T3-C2	20	15	80,00	97,50	76,30	75,20	72,00	79,00	75,00	71,00	71,45	96,20	71,45	79,00	75,00	71,00	71,45	96,20	97,50	76,30	75,20	72,00	78,94
T3-C3	20	14	85,00	69,00	79,23	72,00	98,50	80,00	97,50	76,30	75,20	72,00	75,20	80,00	97,50	76,30	75,20	72,00	69,00	79,23	72,00	98,50	79,98
T4-C1	20	13	60,90	74,05	72,00	69,00	71,00	71,45	96,20	79,00	75,00	71,00	79,00	85,00	69,00	79,23	74,05	72,00	69,00	75,00	70,50	69,00	74,07
T4-C2	20	12	60,50	97,24	52,00	70,00	76,30	75,20	72,00	79,00	74,00	71,00	71,45	96,20	71,45	79,00	97,24	52,00	70,00	69,90	74,50	75,90	74,24
T4-C3	20	14	65,20	69,00	68,50	71,00	79,23	72,00	98,50	80,00	97,50	76,30	75,20	72,00	75,20	80,00	69,00	63,00	71,00	70,50	75,20	71,00	74,97

*Anexo 28. Análisis de varianza ANOVA - parámetros de compost obtenido, macronutrientes, micronutrientes e índice de germinación*

**Análisis de Varianza de parámetros del compost**

**Hipótesis estadística**

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los valores de los parámetros de compost final evaluados.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los valores de los parámetros de compost final evaluados.

Nivel de significancia Alfa= 5 % = 0,05

En la siguiente tabla, se presenta los resultados entre los valores de los parámetros evaluados en el presente estudio, se muestra la prueba de significancia de p-valor de 0,000 siendo menor a ( $p < 0,05$ ); por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y afirmamos que, si existe diferencia significativa entre los valores de parámetros evaluados; así mismo, esto nos indica que la adición de agente estructurante totora (*Schoenoplectus tatora*) influye en el comportamiento de los diferentes parámetros evaluados en el estudio.

*Análisis de varianza paramétrica del compost final*

Parámetros de compost final	Fuente	GL	SC Ajustado	MC Ajustado	Valor F	Valor p	CV
pH final (1:1)	Tratamientos	3	1.03563	0,345211	125,91	0,000	3,18
	Error	8	0,02193	0,002742			
	Total	11	1,05757				
CE final ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Tratamientos	3	2403009	801003	495,39	0,000	30,18
	Error	8	12935	1617			
	Total	11	2415945				
H° final (%)	Tratamientos	3	438,04	146,013	88,57	0,000	11,81
	Error	8	13,19	1,649			
	Total	11	451,23				
T° max	Tratamientos	3	280,284	93,428	74,93	0,000	11,4
	Error	8	9,975	1,247			
	Total	11	290,259				
C/N Compost	Tratamientos	3	40,778	13,5927	182,98	0,000	19,31
	Error	8	0,5943	0,0743			
	Total	11	41,3723				

DA compost (kg/m <sup>3</sup> )	Tratamientos	3	544,59	181,531	102,38	0,000	0,65
	Error	8	14,18	1,773			
	Total	11	558,78				
FAS compost (%)	Tratamientos	3	69,0728	23,0243	3361,59	0,000	2,92
	Error	8	0,0548	0,0068			
	Total	11	69,1276				

### **Análisis de Varianza de parámetros de macronutrientes del compost**

#### **Hipótesis estadística**

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los valores de los parámetros de macronutrientes evaluados.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los valores de los parámetros de macronutrientes evaluados.

Nivel de significancia Alfa= 5% = 0,05

En la siguiente tabla, se presenta los resultados entre los valores de los parámetros evaluados en el presente estudio, se muestra la prueba de significancia de p-valor de 0,000 siendo menor a ( $p < 0,05$ ); por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y afirmamos que, si existe diferencia significativa entre los valores de parámetros de macronutrientes evaluados; así mismo, esto nos indica que la adición de agente estructurante totora (*Schoenoplectus tatora*) influye en el comportamiento de los diferentes macronutrientes de compost obtenido a excepción de la Materia Orgánica donde no se presentaron diferencias significativas.

*Análisis de varianza paramétrica de macronutrientes del compost*

Parámetro de macronutrientes	Fuente	GL	SC Ajustado	MC Ajustado	Valor F	Valor p	CV
M,O, (%)	Tratamientos	3	19,31	6,436	3,43	0,073	3,170
	Error	8	15,02	1,877			
	Total	11	34,33				
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Tratamientos	3	0,1974	0,0658	37,96	0,000	8,040
	Error	8	0,01387	0,001733			
	Total	11	0,21127				
K <sub>2</sub> O (%)	Tratamientos	3	2,895	0,9649	5,45	0,025	17,170
	Error	8	1,416	0,177			
	Total	11	4,31				
CaO (%)	Tratamientos	3	41,313	13,7711	92,47	0,000	20,580
	Error	8	1,191	0,1489			
	Total	11	42,505				
MgO (%)	Tratamientos	3	0,06897	0,022989	8,44	0,007	10,920
	Error	8	0,0218	0,002725			
	Total	11	0,09077				
Na (%)	Tratamientos	3	0,073092	0,024364	29,53	0,000	12,630
	Error	8	0,0066	0,000825			
	Total	11	0,079692				

**Análisis de Varianza de parámetros de micronutrientes del compost****Hipótesis estadística**

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los valores de los parámetros de micronutrientes evaluados.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los valores de los parámetros de micronutrientes evaluados.

Nivel de significancia Alfa= 5% = 0,05

En la siguiente tabla, se presenta los resultados entre los valores de los parámetros evaluados en el presente estudio, se muestra la prueba de significancia de p-valor de 0,000 siendo menor a ( $p < 0,05$ ); por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y afirmamos que, si existe diferencia significativa entre los valores de parámetros de micronutrientes evaluados; así mismo, esto nos indica que la adición de agente estructurante totora (*Schoenoplectus tatora*) influye en el comportamiento de los diferentes micronutrientes

del compost obtenido a excepción del micronutriente B (ppm) donde no se presentaron diferencias significativas.

*Análisis de varianza paramétrica de micronutrientes del compost*

Parámetro de micronutrientes	Fuente	GL	SC Ajustado	MC Ajustado	Valor F	Valor p	CV
Fe (ppm)	Tratamientos	3	4529256	1509752	50,21	0,000	29,20
	Error	8	240563	30070			
	Total	11	4769818				
Cu (ppm)	Tratamientos	3	10002	3334	13,50	0,002	82,830
	Error	8	1976	247			
	Total	11	11978				
Zn (ppm)	Tratamientos	3	884931	294977	1358,17	0,000	100,570
	Error	8	1738	217			
	Total	11	886668				
Mn (ppm)	Tratamientos	3	884931	294977	1358,17	0,000	24,030
	Error	8	1738	217			
	Total	11	886668				
B (ppm)	Tratamientos	3	715,8	238,59	3,86	0,056	18,020
	Error	8	494,5	61,81			
	Total	11	1210,2				

**Análisis de Varianza de parámetros del compost**

**Hipótesis estadística**

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los valores de los parámetros de toxicidad evaluados.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los valores de los parámetros de toxicidad evaluados.

Nivel de significancia Alfa= 5% = 0,05

En la siguiente tabla, se presenta los resultados entre los valores de los parámetros evaluados en el presente estudio, se muestra la prueba de significancia de p-valor de 0,000 siendo menor a ( $p < 0,05$ ); por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y afirmamos que, si existe diferencia significativa entre los valores de parámetros de toxicidad evaluados; así mismo, esto nos indica que la adición de agente estructurante totora (*Schoenoplectus tatora*) influye en el comportamiento del índice de germinación de quinua y cebada.

*Análisis de varianza paramétrica de índice de germinación*

Parámetro de toxicidad	Fuente	GL	SC Ajustado	MC Ajustado	Valor F	Valor p	CV
IG (%) Quinoa	Tratamientos	3	2453,5	817,84	50,62	0,000	26,030
	Error	8	129,2	16,16			
	Total	11	2582,8				
IG (%) Cebada	Tratamientos	3	2403,83	801,28	70,22	0,000	25,340
	Error	8	91,29	11,41			
	Total	11	2495,11				

*Anexo 29. Panel fotográfico*



*Planta de valorización de residuos sólidos orgánicos crudos*



*Máquina trituradora de residuos sólidos orgánicos crudos.*



*Secado y almacenamiento del agente estructurante *Schoenoplectus tatora*.*



*Trituración del agente estructurante *Schoenoplectus tatora*.*



*Agente estructurante *Schoenoplectus tatora* triturado.*



*Almacenamiento de residuos sólidos orgánicos crudos.*



*Caracterización de residuos sólidos orgánicos crudos.*



*Trituración de los residuos sólidos orgánicos crudos.*



*Salida de residuos sólidos orgánicos triturados*



*Traslado de residuos sólidos orgánicos triturados*



*Conformación de pilas de compostaje.*



*Residuos sólidos orgánicos triturados previa aplicación del agente estructurante *Schoenoplectus tatora*.*



*Aplicación del agente estructurante Schoenoplectus tatora.*



*Homogeneización del agente estructurante Schoenoplectus tatora.*



*Residuos sólidos orgánicos crudos + Agente estructurante Schoenoplectus tatora*



*Conformación de camas de compostaje.*



*Vista panorámica de la conformación de camas de compostaje.*



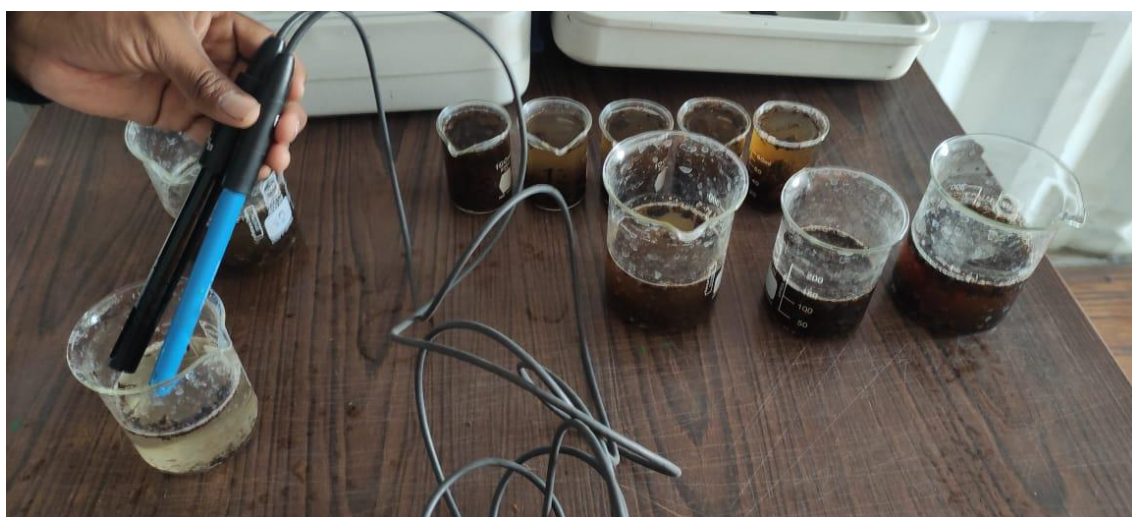
*Control de parámetros de campo*



*Cajas de maduración final.*



*Determinación de pH - Frecuencia semanal.*



*Determinación de pH y Conductividad - Frecuencia semanal.*



*Determinación de Humedad - Frecuencia Semanal.*



*Determinación de cenizas en muestras de compost - Frecuencia Mensual*



*Pesado de muestras para la determinación de cenizas*



*Colocación de muestras en la estufa para la determinación de cenizas.*



*Secado de muestras previo al peso final obtenido.*



*Mufla Modelo F6000 con certificado de calibración N° E1382-1492C - 2021.1*



*Pesaje de muestras de cenizas post tratamiento.*



*Determinación de densidad aparente (DA), Espacios Libres de Aire (FAS) y Capacidad de absorción de agua (WAC) de Schoenoplectus tatora.*



*Pesaje de balde para la determinación de densidad aparente (DA), Espacios Libres de Aire (FAS) en muestras de compost.*



*Balde + Compost para la determinación de densidad aparente (DA), Espacios Libres de Aire (FAS) en muestras de compost.*



*Determinación del peso de balde + Compost para la determinación de densidad aparente (DA), Espacios Libres de Aire (FAS) en muestras de compost.*



*Determinación del peso del balde con compost y agua para la determinación de densidad aparente (DA), Espacios Libres de Aire (FAS) en muestras de compost.*



*Vista panorámica de los tratamientos T1 (ROT + 3 % TT), T2 (ROT + 5 % TT), T3 (ROT + 7 % TT) y T4 (ROT + 9 % TT).*



*Balde + Residuo orgánico triturado para la determinación de densidad aparente (DA), Espacios Libres de Aire (FAS) en muestras de compost inicial.*



*Determinación del peso del Balde + Residuo orgánico triturado para la determinación de densidad aparente (DA), Espacios Libres de Aire (FAS) en muestras de compost inicial.*



*Tamizaje de compost obtenido post tratamiento*



*Homogeneización de compost previo muestreo.*



*Muestras de compost para análisis de materia orgánica sólida y microelementos triplicado por tratamiento.*



*Muestras de Residuo Orgánico Triturado para análisis de materia orgánica especial triplicado por tratamiento.*



*Envió de muestras al laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes (LASPAF) de la Universidad Nacional Agraria La Molina de Lima-Perú (UNALM).*



*Muestras de compost para análisis de toxicidad de compost.*



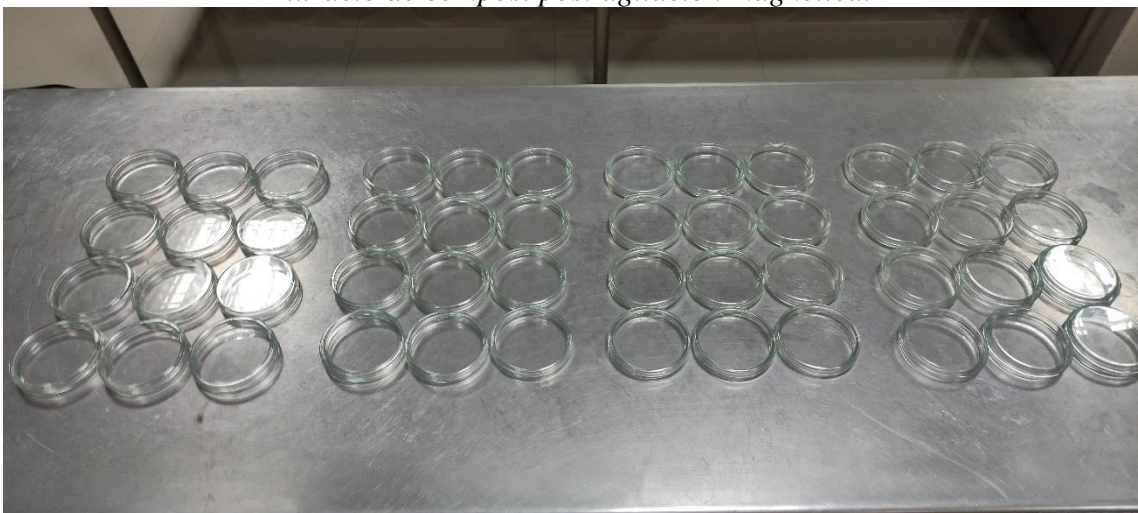
*Pesado de muestras de compost para determinación de toxicidad de compost.*



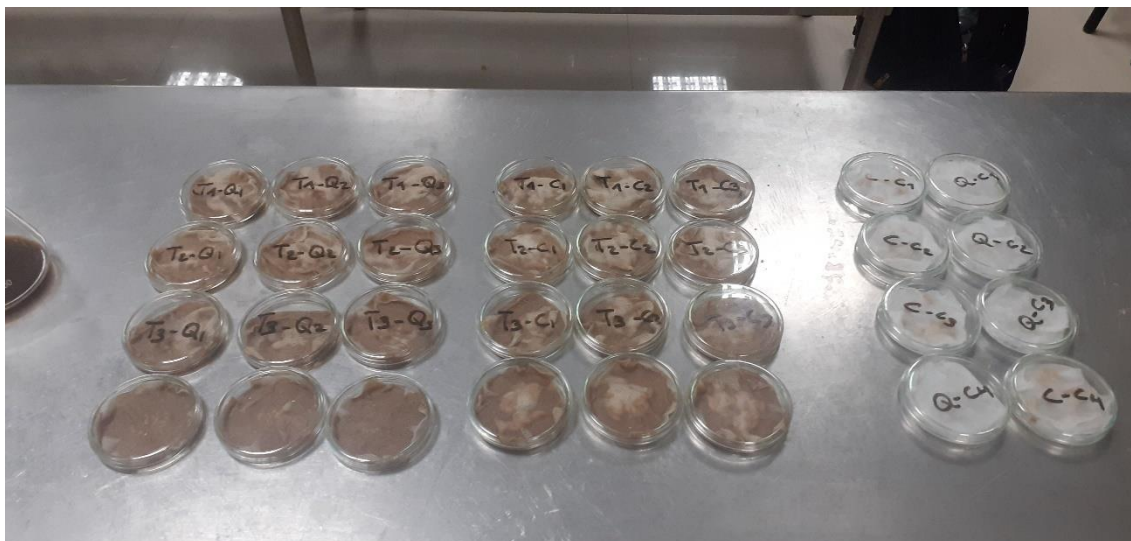
*Proceso de agitación magnética durante 15 minutos.*



*Extracto de compost post agitación magnética.*



*Placas petri para las pruebas de germinación.*



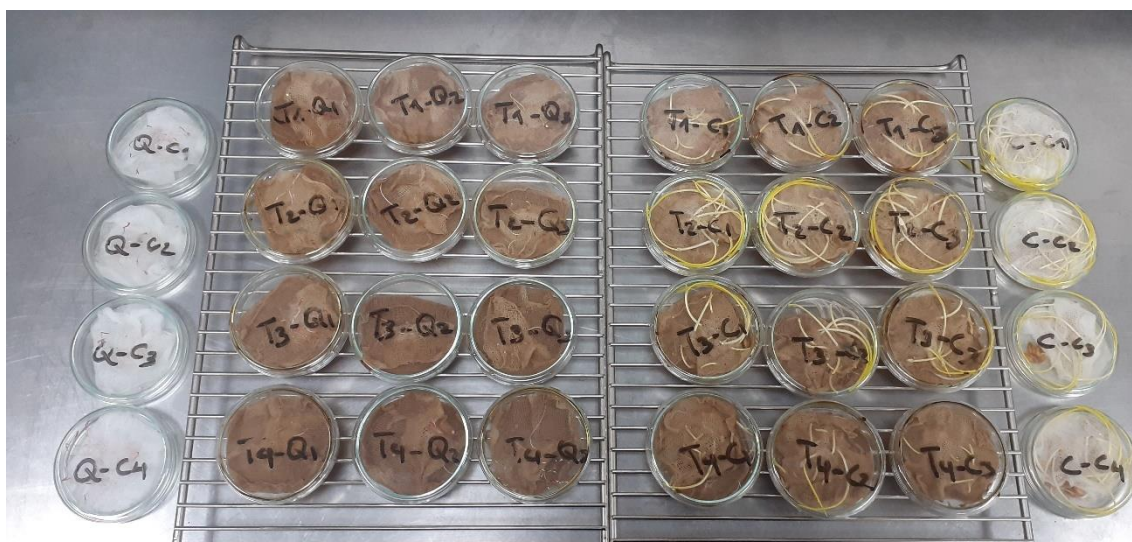
*Distribución de semillas de cebada (*Hordeum vulgare* L.) y quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) con extracto de compost y agua destilada (Control)*



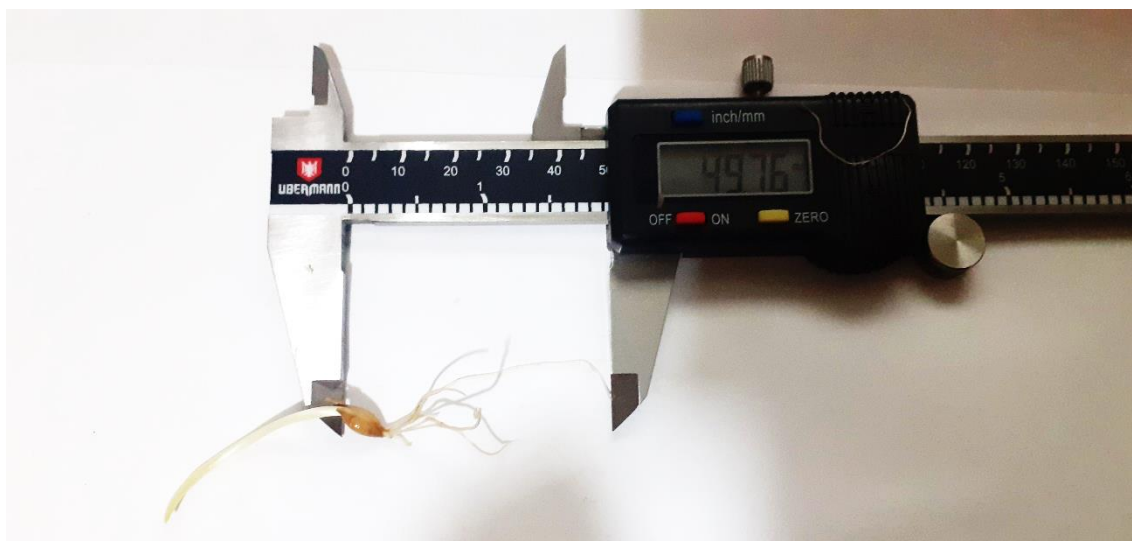
*Incubación de tres placas replicadas por tratamiento y semilla para cada muestra a 25 °C durante 72 h.*



*Evaluación del crecimiento radicular y germinación después de 3 días (72 h)*



*Evaluación del crecimiento radicular y germinación después de 7 días (1 semana)*



*Medición del crecimiento radicular de las semillas de cebada (*Hordeum vulgare* L.).*



*Medición del crecimiento radicular de las semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.).*



*Vista fotográfica de los diferentes tratamientos en relación al crecimiento radicular de las semillas de cebada (*Hordeum vulgare* L.) después de 7 días.*



*Vista fotográfica de los diferentes tratamientos en relación al crecimiento radicular de las semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) después de 7 días.*