

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

DETERMINACIÓN DEL EFECTO COMPOSTAJE DE LODOS
DE DOS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EN LA CIUDAD DE TACNA
CON FINES AGRÍCOLAS

TESIS

Presentada por:

Bach. Gabriela Mamani Coaquera

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

TACNA - PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

TESIS

**DETERMINACIÓN DEL EFECTO COMPOSTAJE DE LODOS
DE DOS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EN LA CIUDAD DE TACNA CON
FINES AGRÍCOLAS**

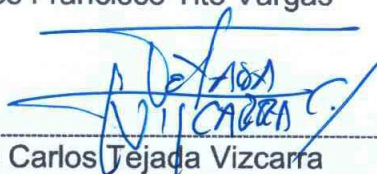
SUSTENTADA Y APROBADA EL 15 DE ABRIL DEL 2025, SIENDO EL
JURADO CALIFICADOR:

PRESIDENTE:



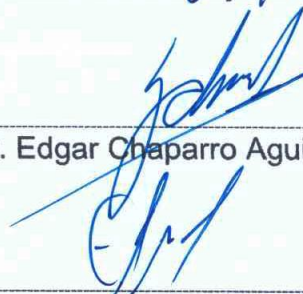
Dr. Carlos Francisco Tito Vargas

SECRETARIO:



Dr. Juan Carlos Tejada Vizcarra

VOCAL:



Dr. Edgar Chaparro Aguilar

ASESOR:



Dr. Efrén Eugenio Chaparro Montoya

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Dr. Efrén Eugenio Chaparro Montoya en mi condición de asesor (a) acreditado con Resolución de Facultad N° 7849-2023-FCAG de 21 de agosto de 2023, del trabajo de tesis, titulado: "DETERMINACIÓN DEL EFECTO COMPOSTAJE DE LODOS DE DOS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE TACNA CON FINES AGRÍCOLAS".

Presentado por Bach. Gabriela Mamani Coaquera, para optar el título profesional de Ingeniero ambiental.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual de la UNJBG; considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del **Software de similitud textual TURNITIN**, cuenta con nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 16 %, por lo que **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis enunciada líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para optar la obtención del título profesional, según corresponda consiguientemente para su publicación en el repositorio institucional.

Tacna, 02 de mayo del 2025

Efrén Eugenio Chaparro Montoya
DNI:00450486



Bach. Gabriela Mamani Coaquera
DNI: 71350383



DEDICATORIA

A mis padres Agustina Coaquera Quispe y Juan Mamani Esquía por ser el principal motivo de mi superación profesional.

A mi familia Mamani Coaquera por estar siempre, en especial a la memoria de mis abuelitas Domitila y Paula quienes estando con vida me motivaron a terminar mis estudios universitarios y estoy segura que desde donde estén, continúan iluminando mi camino.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la fuerza y perseverancia para culminar mi carrera profesional y posteriormente mi tesis de investigación.

A mis padres, por haberme apoyado física, económica y emocionalmente a lo largo de toda la carrera profesional.

A la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann por ser la casa de estudios donde me inculcaron la base de mis conocimientos y me permitieron estar a un paso de ser una profesional.

A mi asesor Ing. Efrén Chaparro Montoya, quien me apoyó en la elaboración de la presente tesis de investigación de manera técnica y emocional.

A la empresa que brinda el servicio de agua potable y alcantarillado de Tacna EPS TACNA S.A. por aceptar apoyarme y permitirme ingresar a las dos plantas de tratamiento de aguas residuales en investigación.

En general a los docentes, personal administrativo, compañeros y amigos de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental por haberme acompañado en esos cinco años de carrera universitaria dándome el soporte educativo y emocional. Gracias a todos.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1	Planteamiento del problema.....	5
1.2	Formulación y sistematización del problema.....	7
1.2.1	Problema general	7
1.2.2	Problemas específicos	7
1.3	Delimitación de la investigación	7
1.3.1	Delimitación temporal	7
1.3.2	Delimitación espacial	8

1.3.3	Delimitación teórica	8
1.4	Justificación de la investigación	8
1.4.1	Justificación social.....	8
1.4.2	Justificación académica.....	8
1.4.3	Justificación económica.....	9
1.4.4	Justificación ambiental	9
1.5	Limitaciones	10

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1	Objetivos	11
2.1.1	Objetivo general	11
2.1.2	Objetivos específicos.....	11
2.2	Hipótesis	12
2.2.1	Hipótesis general.....	12
2.2.2	Hipótesis específicas.....	12
2.3	Variables	13
2.3.1	Diagrama de variables.....	13
2.3.2	Indicadores de variables.....	14
2.3.3	Operacionalización de variables.....	14

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

3.1	Antecedentes bibliográficos	16
3.1.1	Nivel internacional	16
3.1.2	Nivel nacional	26
3.1.3	Nivel local	38
3.2	Bases teóricas.....	40
3.2.1	Lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)	40
3.2.2	Compostaje	53
3.3	Definición de conceptos básicos	62
3.3.1	Planta de tratamiento de aguas residuales	62
3.3.2	Lodos residuales domésticos	62
3.3.3	Materia orgánica.....	63
3.3.4	Fósforo	63
3.3.5	Nitrógeno	63
3.3.6	Metales pesados	63
3.3.7	<i>Salmonella</i>	64
3.3.8	Coliformes totales.....	64
3.3.9	Coliformes termotolerantes	64

3.3.10	Helminitos	64
3.3.11	Quistes de parásitos.....	65
3.3.12	Ofloxacín	65
3.3.13	Sulfamethoxazole	65
3.3.14	Biosólido.....	66
3.3.15	Humedad.....	66

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1	Tipo y nivel de investigación	67
4.1.1	Tipo de investigación.....	67
4.1.2	Nivel de investigación.....	67
4.1.3	Diseño de investigación.....	68
4.2	Lugar de estudio	68
4.3	Población y muestra de estudio	69
4.3.1	Población.....	69
4.3.2	Muestra	70
4.4	Método	70
4.4.1	Técnicas de recolección	70
4.4.2	Instrumentos de recolección.....	72

4.5	Procesamiento experimental.....	72
4.5.1	Análisis de las características iniciales de los lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales	72
4.5.2	Evaluación del comportamiento de parámetros fisicoquímicos en el proceso de compostaje de lodos procedentes de dos plantas de tratamiento de aguas residuales.....	75
4.5.3	Análisis de las características del compost obtenido a partir de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales	79
4.6	Materiales y equipos	80
4.6.1	Materiales	80
4.6.2	Equipos	81
4.7	Análisis estadístico.....	82

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1	Resultados	84
5.1.1	Caracterización inicial de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales de Magollo y Copare	84
5.1.2	Evaluación del comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en el proceso de compostaje de los lodos	

	procedentes de dos plantas de tratamiento de aguas residuales.	90
5.1.3	Caracterización del compost obtenido a partir de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales	103
5.2	Discusión de resultados	126
5.2.1	Discusión de la caracterización inicial de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales.....	126
5.2.2	Discusión de la evaluación del comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en el proceso de compostaje de lodos procedentes de dos plantas de tratamiento de aguas residuales.	137
5.2.3	Discusión de la caracterización del compost obtenido a partir de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales.....	142
	CONCLUSIONES	153
	RECOMENDACIONES	156
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	157
	ANEXOS	177

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de variables	15
Tabla 2. Relación C:N de materiales usados en el compostaje	59
Tabla 3. Parámetros de calidad exigidos para compost	62
Tabla 4. Diseño completamente aleatorizado (DCA) del trabajo de investigación	68
Tabla 5. Método de determinación de parámetros	74
Tabla 6. Cantidad de material a utilizar por tratamiento	76
Tabla 7. Caracterización fisicoquímica de los lodos residuales de ambas PTAR	86
Tabla 8. Caracterización microbiológica de los lodos residuales de ambas PTAR	87
Tabla 9. Porcentaje de humedad inicial (%) de los lodos residuales de ambas PTAR	88
Tabla 10. Prueba de normalidad del porcentaje de humedad inicial	88
Tabla 11. Prueba estadística T de student del porcentaje de humedad inicial	89
Tabla 12. Prueba de normalidad del parámetro temperatura	100
Tabla 13. Resultados de análisis fisicoquímico del compost obtenido a partir de lodos de PTAR Copare y PTAR Magollo	105

Tabla 14. Resultados de análisis microbiológico del compost obtenido a partir de lodos de PTAR Copare y PTAR Magollo	106
Tabla 15. Análisis de varianza del porcentaje de materia orgánica.....	108
Tabla 16. Análisis de varianza del porcentaje de nitrógeno	110
Tabla 17. Análisis de varianza del porcentaje de fósforo	111
Tabla 18. Análisis de varianza de la concentración de arsénico	113
Tabla 19. Análisis de varianza de la concentración de cobre	115
Tabla 20. Prueba de contraste múltiple de Tukey ($p= 0,05$)	116
Tabla 21. Análisis de varianza de la concentración de plomo	117
Tabla 22. Análisis de varianza de la concentración de zinc	119
Tabla 23. Análisis de varianza de la concentración de Salmonella	123
Tabla 24. Análisis de varianza de la concentración de huevos de helmintos	125

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de flujo de las variables	13
Figura 2. Distribución de los materiales por capas.....	78
Figura 3. Comportamiento de la humedad en el tratamiento 1	92
Figura 4. Comportamiento de la humedad en el tratamiento 2	93
Figura 5. Comportamiento de la humedad en el tratamiento 3	94
Figura 6. Comportamiento de la temperatura en el tratamiento 1	96
Figura 7. Comportamiento de la temperatura en el tratamiento 2	98
Figura 8. Comportamiento de la temperatura en el tratamiento 3	99
Figura 9. Comportamiento del pH en el tratamiento 1.....	101
Figura 10. Comportamiento del pH en el tratamiento 2.....	102
Figura 11. Comportamiento del pH en el tratamiento 3.....	103
Figura 12. Compost obtenido a partir de lodos de PTAR Copare y PTAR Magollo.....	104
Figura 13. Porcentaje de materia orgánica en los diferentes tratamientos	107
Figura 14. Porcentaje de nitrógeno en los diferentes tratamientos	109
Figura 15. Porcentaje de fósforo en los diferentes tratamientos	111
Figura 16. Concentración de arsénico en los diferentes tratamientos...	113
Figura 17. Concentración de cobre en los diferentes tratamientos	114

Figura 18. Concentración de plomo en los diferentes tratamientos	117
Figura 19. Concentración de zinc en los diferentes tratamientos.....	119
Figura 20. Concentración de coliformes totales y termotolerantes en los diferentes tratamientos.....	121
Figura 21. Concentración de Salmonella obtenida en los diferentes tratamientos	122
Figura 22. Concentración de huevos de helmintos obtenidos en los diferentes tratamientos.....	124

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Mapa de ubicación de punto de muestreo de lodos secos de la PTAR Magollo	178
Anexo 2. Mapa de ubicación de punto de muestreo de lodos secos de la PTAR Copare	179
Anexo 3. Solicitud de permiso para ingreso a PTAR.....	180
Anexo 4. Panel fotográfico de la caracterización inicial de los lodos residuales de ambas PTAR.....	181
Anexo 5. Cadena de custodia de las muestras de lodos secos	182
Anexo 6. Informes de ensayo de la caracterización inicial de los lodos residuales de la PTAR Magollo y PTAR Copare	184
Anexo 7. Panel fotográfico de la conformación y control del proceso de compostaje	195
Anexo 8. Datos de temperatura mínima y máxima, precipitación y humedad de la Estación Jorge Basadre – SENAMHI de los meses de evaluación.....	198
Anexo 9. Datos de temperatura, pH y humedad tomados de las unidades de compostaje	200
Anexo 10. Panel fotográfico de la obtención y caracterización del compost obtenido	203

Anexo 11. Cadena de custodia de las muestras de compost	205
Anexo 12. Informes de ensayo de la caracterización del compost obtenido	209
Anexo 13. Informes de ensayo de los resultados de coliformes totales y termotolerantes del compost obtenido	226
Anexo 14. Normativas utilizadas en la presente investigación.....	232
Anexo 15. Matriz de consistencia.....	235

RESUMEN

En la ciudad de Tacna se vienen operando dos plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR): PTAR Magollo y PTAR Copare, las cuales en todo el tiempo de su operación han generado grandes cantidades de lodos residuales. Se analizaron las características iniciales de dichos lodos. Luego se elaboró compost evaluándose 2 tratamientos: T1 = Lodo de la PTAR Magollo y T2 = Lodo de la PTAR Copare realizando tres repeticiones por cada uno; adicionando estiércol de cuy, residuos de poda verde, restos de cosecha seca y microorganismos eficientes (ME). Además, se evaluó una unidad más (T3) utilizando lodos de la PTAR Copare sin la adición de ME. Al culminar el proceso del compost, se analizaron muestras del producto obtenido. Como resultados, el proceso de compostaje permitió la reducción de las concentraciones de metales pesados (arsénico, cobre, plomo y zinc). Sin embargo, se reportó un aumento en las concentraciones de coliformes totales, *Salmonella* y huevos de helmintos. Como conclusión, el compost obtenido a partir del lodo residual de la PTAR Magollo en una repetición (T1R3) cumplió con todos los parámetros evaluados de las normas DS 015 - 2017 VIVIENDA y NOM SERMARNAT 2002.

Palabras clave: Biosólido, coliformes, compostaje, lodo residual, metal pesado.

ABSTRACT

Two wastewater treatment plants (WWTPs) are operating in the city of Tacna: Magollo WWTP and Copare WWTP. These plants have generated large amounts of residual sludge throughout their operation. The initial characteristics of these sludges were analyzed. Compost was then prepared by evaluating two treatments: T1 = Magollo WWTP sludge and T2 = Copare WWTP sludge, with three repetitions for each treatment, adding guinea pig manure, green pruning residues, dried crop residues, and efficient microorganisms (EM). In addition, another unit (T3) was evaluated using sludge from the Copare WWTP without the addition of EM. Upon completion of the composting process, samples of the resulting product were analyzed. The composting process resulted in a reduction in heavy metal concentrations (arsenic, copper, lead, and zinc). However, an increase in the concentrations of total coliforms, Salmonella, and helminth eggs was reported. In conclusion, the compost obtained from the residual sludge of the Magollo WWTP in a repetition (T1R3) complied with all the evaluated parameters of the DS 015 - 2017 VIVIENDA and NOM SERMARNAT 2002 standards.

Keywords: Biosolid, coliforms, composting, residual sludge, heavy metal.

INTRODUCCIÓN

Producto del crecimiento demográfico y la industrialización actual se generan un gran volumen y variedad de residuos, lo que convierte al manejo de dichos residuos en uno de los principales problemas a nivel global. Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) surgen como alternativa en el tratamiento de aguas, estas instalaciones se diseñaron para tratar eficazmente los efluentes residuales tanto industriales como domésticas para su posterior reutilización o disposición; sin embargo, este proceso produce generalmente lodos residuales. En el Perú, según la SUNASS se presenta un desafío del 50 % en la falta de remoción de lodos en el mantenimiento de las PTAR, en el caso específico de las lagunas de estabilización (SUNASS & PROAGUA II, 2015).

Una vez que los lodos se han removido y almacenado no se pueden dejar a la intemperie de forma definitiva, ya que a la larga pueden representar un problema para la salud de los seres vivos que están en contacto con estos y un medio de contaminación para el ambiente. Los lodos provocan olores desagradables, la existencia de sustancias que pueden resultar peligrosas para el ambiente y pueden originar enfermedades respiratorias o digestivas en quienes están expuestos a ellos (Machado, 2019). Por ello, para que los sistemas de lagunas sean

sostenibles resulta indispensable diseñar un sistema de tratamiento para los lodos residuales desde su generación hasta continuamente su operación y disposición final (Chunga, 2014).

En Tacna, producto de la operación de dos plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR Copare y PTAR Magollo) se han generado lodos residuales, dichos lodos se encuentran dispuestos en alrededores de las PTAR sin antes haber recibido un adecuado tratamiento. El lodo de la PTAR Magollo si bien no muestra condiciones ideales en los parámetros agronómicos, tiene una concentración de metales pesados y contenido de patógenos que viabilizan su uso en la agricultura; en cambio el lodo proveniente de la PTAR Copare no cumple con las condiciones agronómicas ni sanitarias para su uso como abono en la agricultura (More, 2015).

Una alternativa de tratamiento es el compostaje, ya que en el proceso se lleva a cabo la degradación de la materia orgánica en condiciones controladas de temperatura, humedad y oxígeno (Hernandes, 1998); lo que genera finalmente un producto estable, maduro y sin olores desagradables, denominado compost. Para organismos patógenos, parásitos y elementos germinativos como esporas y semillas, dicho tratamiento resulta ser letal por las temperaturas alcanzadas (Instituto

Nacional de Normalización, 2005). El lodo puede ser útil como un acondicionador del suelo ayudando a retener el agua en el suelo y facilitando el crecimiento de las raíces; y a la vez como abono, ya que se puede emplear como fertilizante al contener nitrógeno, fósforo y potasio, que son necesarios para el crecimiento de las plantas (LLivichuzca, 2016).

En este contexto, en el presente trabajo de investigación se tienen como objetivos: caracterizar inicialmente el lodo residual proveniente de las PTAR, realizar el proceso de compostaje evaluando su comportamiento a través de parámetros fisicoquímicos y caracterizar el producto obtenido validando si es factible su aprovechamiento.

En tal sentido, el presente trabajo de investigación se encuentra dividido en los siguientes capítulos: en el Capítulo I se aborda el planteamiento del problema donde se describe la realidad problemática que se pretende solucionar. Siguiendo una secuencia en el Capítulo II se contempla los objetivos, hipótesis y variables. En el Capítulo III se describen publicaciones en los que se apoya la investigación y asimismo la revisión bibliográfica donde se redacta la información teórica. Continuando en el Capítulo IV se muestra el diseño de la investigación dando a conocer las etapas de experimentación y las técnicas utilizadas para llevar a cabo todo el proceso de compostaje, desde la obtención de las materias primas

hasta la obtención del producto final. Asimismo, los métodos empleados para el análisis de los parámetros evaluados. En el Capítulo V se muestran los resultados obtenidos junto con la discusión de los mismos. Finalmente se culmina con las conclusiones, recomendaciones, bibliografía consultada y anexos referidos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

En la ciudad de Tacna se cuenta con dos plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), una ubicada en el Sector Copare (denominada Planta de Cono Sur) y otra en la zona de Magollo. En dichas PTAR se generan una gran carga potencial de lodos residuales, More (2015) estimó que ya en el 2020 se generarían 28 188,17 t de lodos como materia húmeda y 5 637,67 t como materia seca.

Según Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2022) para la PTAR Magollo se proyecta que en el año 2042 se genere una cantidad de 5 937 000 t al año de lodos secos; y además, se muestran resultados del monitoreo de lodos en las lagunas indicando que no cumplen con los parámetros de estabilización, al ser mayor al 60 % la masa volátil de la masa total, y tampoco cumplen con los parámetros para parásitos y patógenos del biosólido de la Clase A, solo estarían cumpliendo con los parámetros de toxicidad química de los biosólidos de clase A y B.

Los lodos son considerados un peligro potencial para la salud y el ambiente debido a su composición ya que pueden presentar

microorganismos patógenos, metales pesados u otros dependiendo de su origen, por ello deben recibir un tratamiento y depositarse en rellenos de seguridad (SUNASS & PROAGUA II, 2015).

Las tecnologías de tratamiento para lodos más utilizados son los biológicos (Amador - Díaz et al., 2015) para su aprovechamiento con fines agrícolas, forestales y en el mejoramiento de suelos (Sandoval, 2011). Para la elección del tratamiento adecuado no consiste solo en establecer estrategias técnico económicas rentables, sino que hay que considerar otros factores como el aspecto ambiental, es decir que tanto pueden llegar a contaminar al ser dispuestos en cuerpos naturales; además la calidad del producto, dependiendo si el cultivo será ingerido para la alimentación humana o animal (More, 2015). Por ello, debe cumplir ciertos parámetros establecidos en la normativa tanto nacional como internacional.

Es por ello que, en la presente tesis de investigación se busca determinar el efecto de la técnica del compostaje en los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Tacna.

1.2 Formulación y sistematización del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es el efecto compostaje de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Tacna con fines agrícolas?

1.2.2 Problemas específicos

¿Cuáles son las características iniciales de los lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales?

¿Cómo es el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en el proceso de compostaje de lodos procedentes de dos plantas de tratamiento de aguas residuales?

¿Cuáles son las características del compost obtenido a partir de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales?

1.3 Delimitación de la investigación

1.3.1 Delimitación temporal

El proceso de compostaje se realizó en los meses de abril a julio del año 2024.

1.3.2 Delimitación espacial

El proceso de compostaje se llevó a cabo en la región de Tacna, provincia de Tacna, distrito de Tacna.

1.3.3 Delimitación teórica

La investigación abarcará los lodos residuales generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales de Magollo y Copare de la ciudad de Tacna.

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Justificación social

Se proporciona una estrategia para crear un ambiente saludable libre de patógenos y acumulación de residuos, de igual manera la generación de ingresos y empleos con la obtención del compost, conllevando finalmente en la mejora de la calidad de vida de la población aledaña (Valderrama, 2013).

1.4.2 Justificación académica

Permitirá desarrollar nuevas fuentes de estudio relacionados con lodos residuales de las PTAR de la ciudad de Tacna en cuanto a su

caracterización inicial respecto a sus parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y presencia de compuestos farmacéuticos.

1.4.3 Justificación económica

La tecnología del compostaje no conlleva demasiados costos en los materiales ni una elaboración ardua que conlleve gastos de capacitaciones amplias (Delgado, 2022). Además, con la obtención del producto se puede mejorar la producción de cultivos o comercializarlo logrando recuperar los gastos iniciales realizados.

1.4.4 Justificación ambiental

La presente investigación brinda una alternativa para la mejora en las características iniciales de los lodos, además permite aprovecharlos como abono orgánico para su uso agrícola, lo que conlleva la mejora de la calidad y estructura del suelo, aumenta la capacidad de retención de agua e incrementa la disponibilidad de nutrientes para las plantas (López et al., 2001).

1.5 Limitaciones

El análisis de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y presencia de contaminantes emergentes; se determinaron de acuerdo al alcance de los laboratorios a nivel nacional.

El espacio de trabajo, ya que permitió la conformación de la unidad de compostaje en un área aproximada de 70 cm de largo por 70 cm de ancho con una cantidad de sustratos máxima de 85 kg aproximadamente en cada unidad; y además generó dificultad en el proceso de aireación (volteos rápidos y homogéneos) en algunas unidades de compostaje.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo general

Determinar el efecto compostaje de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Tacna con fines agrícolas.

2.1.2 Objetivos específicos

Analizar las características iniciales de los lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales.

Evaluar el comportamiento de parámetros fisicoquímicos en el proceso de compostaje de los lodos procedentes de dos plantas de tratamiento de aguas residuales.

Analizar las características del compost obtenido a partir de los lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales.

2.2 Hipótesis

2.2.1 Hipótesis general

El efecto compostaje de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales permite obtener un producto con características idóneas para ser utilizado con fines agrícolas.

2.2.2 Hipótesis específicas

Existe diferencia significativa en las características iniciales de los lodos procedentes de dos plantas de tratamiento de aguas residuales.

Existe diferencia significativa en el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en el proceso de compostaje de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales.

Existe diferencia significativa en las características del compost obtenido a partir de lodos procedentes de dos plantas de tratamiento de aguas residuales.

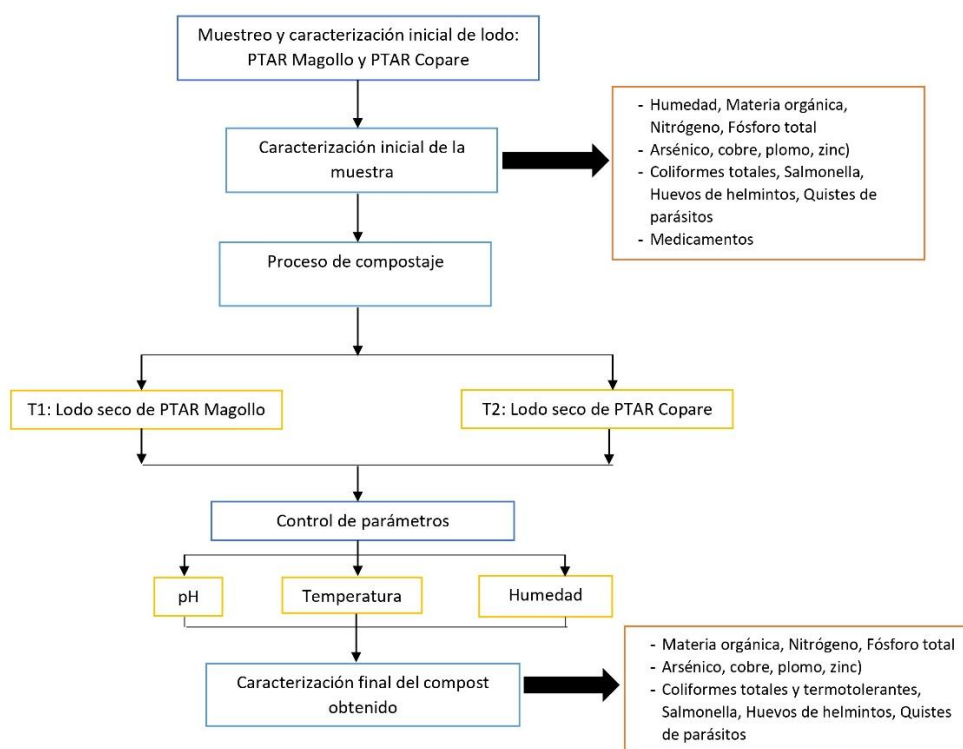
2.3 Variables

2.3.1 Diagrama de variables

En la Figura 1 se puede visualizar el flujo de las variables involucradas durante todo el proceso de investigación.

Figura 1

Diagrama de flujo de las variables



2.3.2 Indicadores de variables

2.3.2.1 Variable independiente

Las variables independientes fueron: “Lodo residual PTAR Magollo” y “Lodo residual PTAR Copare”.

2.3.2.2 Variable dependiente

La única variable dependiente fue: “Compost obtenido”.

2.3.3 Operacionalización de variables

En la Tabla 1 se muestran las variables, dimensiones e indicadores que se emplearon en la presente investigación.

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Indicadores
Variables independientes: X1 = Lodo residual PTAR Magollo X2 = Lodo residual PTAR Copare	Parámetros fisicoquímicos	Humedad (%), Materia orgánica (%), Nitrógeno (%), Fósforo (%)
	Metales pesados	Arsénico (mg/kg), Cobre(mg/kg), Plomo (mg/kg), Zinc (mg/kg)
	Parámetros microbiológicas	Coliformes totales (NMP/g), <i>Salmonella</i> (NMP/g), Huevos de helmintos (Ausencia o presencia), Quistes de parásitos (Ausencia o presencia)
	Productos farmacéuticos	Ofloxacin (ug/kg), Sulfamethoxazole (ug/kg)
	Parámetros fisicoquímicos	Materia orgánica (%), Nitrógeno (%), Fósforo (%)
Variable dependiente: Y = Compost obtenido	Metales pesados	Arsénico (mg/kg), Cobre(mg/kg), Plomo (mg/kg), Zinc (mg/kg)
	Parámetros microbiológicas	Coliformes totales (NMP/g), <i>Salmonella</i> (NMP/g), Coliformes termotolerantes (NMP/g), Huevos de helmintos (Ausencia o presencia), Quistes de parásitos (Ausencia o presencia)
	Parámetros fisicoquímicos del proceso de compostaje	Control de pH (unidad), Temperatura (°C) y Humedad (%) durante la elaboración del compost
	Cumplimiento de la normativa estándar	Clase de Biosólido: Clase A, Clase B

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

3.1 Antecedentes bibliográficos

3.1.1 Nivel internacional

Semenas et al. (1999) en su investigación: “Monitoreo de parásitos en efluentes domiciliarios”, caracterizaron los efluentes semisólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales con tratamientos de adición de sulfato de aluminio, presecado con polielectrolitos más cal y secado utilizando centrífuga, y playas de secado. En los resultados de caracterización encontraron concentraciones de huevos no embrionados de 1,32 y 0,32 huevos/4 g de *Ascaris lumbricoides*. Además, señaló que la existencia de ciliados del género *Vorticella* y de Rotíferos en los residuos indica que los semisólidos entraron en la etapa de estabilización. Por otro lado, se caracterizaron los efluentes líquidos procesados reportando como concentraciones máximas los siguientes valores: 3,03 huevos/L de *Giardia*, 6,06 huevos/L de *Hymenolepis nana*; 6,06 huevos/L de *Enterobius vermicularis*; 3,03 huevos/L de *Ascaris lumbricoides*; 0,5 huevos/L de *Toxocara canis* y 1 huevo/L de *Ancylostoma duodenale*.

Torres et al. (2005) en su investigación denominada “Influencia del material de enmienda en el compostaje de lodos de Plantas de Tratamiento de Agua Residuales – PTAR” evaluaron un proceso de compostaje aerobio con volteo manual. Durante el proceso de compostaje se identificó que la pila correspondiente al 100 % de lodos residuales presentó una fase mesofílica de aproximadamente 14 días, mostrando un retraso con respecto a las otras pilas en las que uso material de enmienda que presentaron solo 3 días. En cuanto a las temperaturas máximas superaron los 60 °C. La pila correspondiente a 100 % de lodos se mantuvo con temperaturas mayores a 55 °C por 10 días, caso diferente a las pilas en las que se usó materiales de enmienda que permanecieron de 15 hasta máximo 42 días. Finalmente, al término del proceso, obtuvo 0 huevos de helmintos, lo que estableció una correlación entre las altas temperaturas alcanzadas y el número de días de permanencia de las mismas con la eliminación de huevos de helmintos durante el proceso de compostaje. Sin embargo, con respecto a los coliformes totales se obtuvo valores máximos de $2,3 \times 10^7$ UFC/g, no cumpliendo con la norma colombiana ICONTEC NTC 5167 para materiales usados como fertilizantes y acondicionadores, la cual exige un valor inferior de 1 000 UFC/g para enterobacterias totales. Por ello, recomendó verificar las condiciones de aislamiento de la compostera para evitar el paso de animales y aves. En esta investigación

se verifica que el lodo espesado y deshidratado puede ser compostado; sin embargo, para alcanzar un proceso eficiente, es necesario adicionar un agente estructurante (material de soporte) y un material de enmienda, en este caso fue la cachaza.

Grajales et al. (2006) en su investigación “Programa de Manejo integral de los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Tecnológica de Pereira” aplicaron los tratamientos de secado, compostaje y lombricompostaje a los lodos residuales. Obteniéndose para el lodo seco, compostado y vermicompostado, en cuanto a materia orgánica porcentajes de 29,7; 26 y 24 % respectivamente; en cuanto a nitrógeno valores de 0,8; 0,8 y 0,7 % respectivamente; y en cuanto a fósforo 0,6; 0,49 y 0,45 % respectivamente. En cuanto a metales pesados los tres tratamientos presentaron una concentración baja de zinc y cobre. En cuanto al análisis microbiológico solo el lodo seco presento valor de 1 100 NMP/g de coliformes fecales, y en los demás no se reporta presencia de dicho patógeno.

Mathioudakis et al. (2009) en su investigación denominada “Deshidratación prolongada de lodos de depuradora en plantas de secado solar” implementó un proceso de secado solar para la deshidratación prolongada, la reducción de volumen y el control parcial de patógenos de

lodos de depuradora. El contenido promedio de humedad de los lodos disminuyó del 85 al 6 % en un periodo de 7 - 12 días durante el verano, y disminuyó al 10 % en un periodo de 9 - 33 días durante el otoño, lo que resultó en una reducción total del volumen del 80 - 85 %. Los coliformes totales y fecales se redujeron durante las condiciones de verano, lo que resultó en un producto seco con 2×10^4 UFC/g DS y 10^3 UFC/g DS, respectivamente. Al adicionar un calentador de agua solar, con recirculación de agua a través de la parte inferior de la planta, el proceso de secado se aceleró de 1 a 9 días durante las condiciones invernales. El secado solar de lodos demostró ser eficiente para lugares que reciben una alta radiación solar anual, como Grecia.

Márquez & Parra (2009) en su investigación: “Estudio de dos alternativas para el aprovechamiento de lodos secundarios de sistemas aerobios provenientes de PTAR’s jurisdicción de la CAR (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca)” analizó los lodos, los cuales no presentaron *Salmonella*, coliformes totales ni *Escherichia coli*. Durante los tres meses que permaneció en los lechos de secado experimentó fluctuaciones de temperatura entre 20 y 22 °C, lo que habría causado la muerte de los microorganismos, debido a que su fuente de vida es estar en condiciones húmedas. Por otro lado, se reportó concentración de plomo

(840 mg/kg), afirmando como causas que en el sistema de alcantarillado hay corrosión de tuberías y además porque se vierten aguas que contienen aceites lubricantes usados, mezcla de pinturas y colorantes artificiales.

Vicencio - de la Rosa et al. (2011) en su investigación denominada “Producción de composta y vermicomposta a partir de los lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales de un rastro” obtuvieron en sus resultados que a partir de 75 m³ de lodo residual se produjeron 10,9 t de composta en 150 días. El lodo inicial presento 81,4 % de materia orgánica, 1,79 % de NTK (Nitrógeno Total Kjeldahl) y 0,06 % de Pd (Fósforo disponible). Las pilas de lodo durante su composteo desarrollaron una temperatura promedio de 52,5 °C por más de 40 días, logrando la muerte de patógenos como los coliformes fecales. Se indicó que el lodo del rastro en total demoró en compostarse 80 días infiriendo que la razón fue porque estaba pre digerido, ya que proviene del tracto digestivo de animales como vacas y cerdos. Finalmente se obtuvo al final del proceso un producto con 2,06 % de NTK (Nitrógeno Total Kjeldahl); 0,16 % de Pd (Fósforo disponible) y 0,13 % de Kd (Potasio disponible).

Valderrama (2013) en su investigación “Factibilidad de aprovechamiento de los lodos residuales de la PTAR del Municipio de Chinavita” caracterizó los lodos que se generan en lechos de secado de

dicha PTAR. Con respecto a parámetros agronómicos, presentaron porcentajes de materia orgánica 29,4 %, fósforo 0,00348 %, cobre 0,000357 % y zinc 0,00292 %. En cuanto a los metales pesados: arsénico < 0,500 ppm, cobre 92,190 ppm, plomo 41,014 ppm y zinc 679,035 ppm. Y en cuanto a patógenos: coliformes fecales $\geq 16\ 000$ NMP/g, *Salmonella* spp 0 NMP/g y huevos de helminto 148,5 huevos/4 g. Se precisa que los lodos pueden llegar a tener una mayor concentración de microorganismos debido a la reducción del contenido de agua a consecuencia del proceso de espesamiento o deshidratación.

Ramírez - Coutiño et al. (2013) en su investigación “Evaluación del proceso de compostaje en lodos de depuradora digerida de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales en la ciudad de San Miguel de Allende, Centro de México” preparó pilas experimentales con un lodo activado digerido aeróbicamente. Le agregaron pasto, material volcánico poroso triturado llamado tezontle (SGT) y residuos de palitos de madera recolectados de la jardinería municipal de áreas verdes (SGW). En el proceso de compostaje del compost SGW se dio el valor máximo de 67 °C a las tres semanas y en el compost SGT el valor más alto fue de 56 °C y se registró después de dos semanas. Una vez completada la fase termófila, la temperatura en ambas pilas disminuyó gradualmente, alcanzando una

temperatura ambiente estable. Al principio, se observó un aumento del pH en las dos pilas, llegando a 8,4 el día 14 en SGT y 8,9 el día 21 en SGW. Posteriormente, el pH disminuyó gradualmente en ambos compost hasta alcanzar la neutralidad al final del proceso de compostaje.

Huayllani (2017) en su investigación “Influencia de microorganismos eficaces (Em - compost) en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, Concepción, 2016” aplicó dosis crecientes de Em - Compost (2, 4, 6 y 8 %) con una mezcla de 20 kg de lodos por unidad. Terminado el proceso llegó a los siguientes resultados: el contenido de materia orgánica varió entre 37,09 y 38,12 % no presentando diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, se presentó una tendencia hacia una ligera disminución conforme se incrementan las dosis de Em - Compost. Con respecto al nitrógeno total varió entre 1,88 y 2,00 % siendo valores superiores a lo propuesto por la FAO (0,3 a 1,5 %). En cuanto al fósforo total fluctuó entre 0,4 a 0,16 % atribuyéndolo a la incompleta descomposición orgánica y a la lixiviación; y a la posterior pérdida de fósforo luego de la acción de los microorganismos aplicados al compost.

Ortiz (2017) en su investigación denominada “Obtención de bioabono a partir de lodo residual procedente de una planta de tratamiento

de aguas residuales domésticas” generó bioabono a partir de lodo residual procedente de las cámaras de secado de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas. Se caracterizó el lodo residual húmedo que se genera como residuo del tratamiento de la PTAR “El Peral” que recibe los efluentes del sistema de alcantarillado de la parroquia Atocha - Ficoa. En cuanto a su caracterización fisicoquímica obtuvo lo siguiente: 51,99 % de humedad, 3,7 % de materia orgánica, 1 % de nitrógeno y 0,54 % de fósforo. En cuanto a la caracterización microbiológica se obtuvo 2×10^7 UFC/g de coliformes fecales y 2×10^6 UFC/g de *Salmonella*. Dichos valores se encuentran por encima de los criterios establecidos por la NOM - 004 - SERMARNAT - 2002, restringiendo su uso y confirmado el riesgo a la salud que presentan estos lodos.

López et al. (2018) en su investigación “Lodos residuales de origen doméstico: Disminución de coliformes fecales y *Salmonella* spp” evaluó la disminución de coliformes fecales y *Salmonella* spp, sometido a vermiestabilización y estabilización alcalina, empleando las siguientes relaciones: 0,5 – 9,5 kg, 1,0 - 9,0 kg, 1,5 - 8,5 kg y 2,0 - 8,0 kg de lodo – hidróxido de cal; así como 10 – 0,39 kg, 10 - 0,26 kg y 10 - 0,13 kg de lodo - lombriz. El lodo inicial presentó 46×10^7 NMP/g y 24×10^8 NMP/g de coliformes fecales y *Salmonella* spp respectivamente. Concluyó que al

incrementar la relación lodo - cal se obtuvo mayor remoción de coliformes fecales y *Salmonella* spp obteniendo en promedio 200 NMP/g de coliformes fecales y valores mínimos de < 3 NMP/g y máximos de 1 201,201 NMP/g en el caso de *Salmonella* spp.

Vasquez & Vargas (2018) en su investigación “Aprovechamiento de lodos planta de tratamiento de aguas residuales Municipio de Funza, como insumo de cultivo y mejoramiento de suelo” analizaron la muestra de lodo residual de la PTAR con sistema de tratamiento SBR (Reactores biológicos secuencial) obtenido de las celdas de secado. Se caracterizaron los lodos obteniendo como resultados en los parámetros humedad 14,5 %, materia orgánica 22,4 % BS, nitrógeno total 4,00 % BS, fósforo total 8,12 % BS, arsénico < 9,00 mg/kg BS, zinc 1 182 mg/kg BS, cobre 457 mg/kg BS y plomo 47 mg/kg BS. Concluyendo que los lodos obtenidos son una alternativa viable para su uso como insumo para cultivos de lechuga y zanahoria.

Ramos (2019) en su investigación: “Evaluación de un proceso de biorremediación de lodos urbanos y agroindustriales” caracterizó el lodo agroindustrial y el lodo urbano obteniendo: materia orgánica 18,5 y 9 %; nitrógeno 0,10 y 0,01 %; y fósforo 7 238,78 y 549,55 mg/kg respectivamente. En cuanto al lodo biorremediado presentó los siguientes

valores: materia orgánica 13,5 %, nitrógeno 0,05 % y fósforo 3 644 mg/kg. Se indicó que el pequeño incremento de nitrógeno de la mezcla de lodos y el lodo biorremediado se debe al mismo proceso de descomposición de materia orgánica que generó especies libres de nitrógeno.

Montaguano (2019) en su investigación denominada “Valorización del uso de lodos de lavadoras de jeans para el compostaje de la empresa EMMAIT - EP del cantón Pelileo Provincia de Tungurahua” caracterizó el lodo inicial donde tuvo un porcentaje inicial de humedad de 55,06 %, materia orgánica de 1,11 % y nitrógeno total de 0,58 %. En el proceso de compostaje, la duración de su fase termófila ($T > 40\text{ }^{\circ}\text{C}$) fue de aproximadamente 40 días, existiendo variaciones después de realizar los volteos, asimismo se mantuvo en $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un periodo de 15 días. Al término del proceso de compostaje, se obtuvieron valores de materia orgánica 23,02 y 26,24 %, fósforo 1,024 y 0,868 g/kg; y en cuanto a nitrógeno total 0,62 y 0,60 g/kg. Se obtuvo que la mezcla con la mayor proporción de lodo residual y poda fue la que produjo un compost con mayor calidad agronómica.

Montes (2024) en su investigación “Evaluación de la remoción de coliformes fecales y *Salmonella* spp, en lodos provenientes de una planta tratadora de aguas residuales mediante un composteo aerobio adicionado

con *Bacillus subtilis*, *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma virens*” evaluó la eficiencia de diez tratamientos de compostaje empleando microorganismos. El lodo fue obtenido de la planta del campus de una universidad cuyo tratamiento es un tanque aireado que pasó luego por un secado directo al sol por un periodo de 21 días. Obteniendo en su caracterización los siguientes valores: 86,5 % de humedad; 3,3 % de nitrógeno total, 296 mg/kg de fósforo, 4 600 000 NMP/1 g de coliformes fecales y < 300 NMP/1 g de *Salmonella* spp. Durante el proceso de compostaje, entre los días 54 y 60 los tratamientos que llegaron antes a la fase termófila (48 - 53 °C) fueron en los que se adicionó los microorganismos. En cuando al pH en la fase inicial (fase mesófila) se tuvo valores bajos debido a la formación de ácidos orgánicos por la degradación de materia orgánica con valores entre 5,8 y 7,5; y en la fase termófila debido a la degradación de compuestos de naturaleza ácida aumentó alcanzando un valor máximo de 7,8.

3.1.2 Nivel nacional

Lostanau & Casanova (2013) en su investigación denominada “Diagnóstico y evaluación físico - biológico para el compostaje de los lodos residuales de la industria papelera” caracterizaron los lodos residuales que se obtuvieron en las plantas de recuperación de agua; obteniendo los

siguientes resultados: humedad 27,48 %, materia orgánica 51,0 % y nitrógeno 0,409 %. En cuanto a sus metales pesados se encontró zinc 110,87 ppm, cobre 49,95 ppm y plomo 58,63 ppm. En el proceso de compostaje con ductos y sin ductos de ventilación en todas las pilas se alcanzaron temperaturas superiores a los 40 °C durante el primer mes. Finalmente se obtuvo compost con las siguientes características: materia orgánica 24,50 %, nitrógeno 1,22 % y P_2O_5 0,66 %. En cuanto al análisis microbiológico se reportó la ausencia de agentes patógenos tales como coliformes fecales, *Escherichia coli* y *Salmonella*.

Galvez (2014) en su investigación denominada “Efectos de la aplicación de los lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales sobre el suelo” caracterizó dichos lodos residuales obtenidos de la planta de tratamiento de efluentes domésticos de la sede del Club Regatas cuyo sistema de tratamiento es por aireación extendida (lodos activados), resultando los parámetros: materia orgánica 41,51 %, nitrógeno 3,99 %, P_2O_5 4,52 %, plomo 22,34 ppm, coliformes totales 90×10^4 NMP/g y coliformes fecales 40×10^2 NMP/g.

Marqui & Martinez (2016) en su investigación “Obtención de abonos orgánicos por medio de las lombrices *Eisenia foetida* a partir de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales San Antonio de

Carapongo Lima – Perú” analizaron dichos lodos residuales provenientes del lecho de secado por un periodo de 30 a 45 días, siendo producto de tratamiento de lodos activados secundarios y de tipo aireación prolongada. Las características iniciales de los lodos presentaron los siguientes resultados: humedad 72,3 %, nitrógeno 458,1 mg/kg y fósforo 140 mg/kg.

Soriano (2016) en su investigación “Tiempo y calidad del compost con aplicación de tres dosis de microorganismos eficaces (EM) – Concepción” utilizando como tratamiento T1 con 1 000 ml de EM, T2 con 500 ml de EM, T3 con 250 ml de EM y un testigo T0 sin EM. Observó que a la primera semana iniciado el proceso de compostaje se reporta la mayor temperatura en el T1 con una temperatura de 52 °C, seguido del T2 el cual reporta una temperatura de 50 °C, en comparación al testigo T0, el cual reporta una temperatura menor de 48 °C. A partir de la cuarta semana se reportan temperaturas constantes de 27 °C; además, se indicó que la temperatura se incrementó al aumentar la dosificación de EM. Con respecto a la caracterización final del compost obtenido, se presentó el valor más alto con 59,8 % de materia orgánica utilizando dosificación máxima de EM.

Cordova (2016) en su investigación denominada “Propuesta de mejora del proceso de compostaje de los residuos orgánicos, generados en la actividad minera, empleando microorganismos eficientes” instaló tres

tipos de composición de pilas de compostaje; el primer tipo consistió en residuos orgánicos y estiércol de ganado camélido; el segundo tipo estuvo compuesto por residuos orgánicos, estiércol de ganado y como inoculante microorganismos eficientes; y el tercer tipo estuvo compuesto por residuos orgánicos, aserrín y como inoculante microorganismos eficientes. Después de 11 semanas el proceso de compostaje en las pilas con inoculante compuesto por microorganismos eficientes había culminado, mientras que en el proceso convencional se logró culminar en la semana 16. La caracterización del compost obtenido presenta un contenido de materia orgánica de 11,64; 7,26 y 9,65 % para los tipos 1, 2 y 3 respectivamente. Y en cuanto al fósforo 1 906,99; 1 689,69 y 424,62 mg/kg para los tipos 1, 2 y 3 respectivamente.

Loyaga & Rosas (2017) en su investigación denominada “Influencia de residuos sólidos del proceso de descarnado de la curtiembre Lizberth SAC y de los microorganismos eficientes en la obtención de la calidad de compost”, produjo compost mediante pilas con estiércol de equinos, aserrín y descarnado proveniente de la curtiembre. Además, rociaron microorganismos eficientes activados (EM - COMPOST), usando 0,5 - 1 L de EM – COMPOST por m³ de material a compostar. Para las mediciones del pH, humedad y temperatura, en cada muestra se realizó la lectura

utilizando pH - metro digital, termómetro digital y medidor de humedad, haciendo un pequeño hoyo de 10 cm y sumergiendo el instrumento directamente en los puntos elegidos en las pilas de compost. En el proceso de compostaje utilizando EM - COMPOST se observó que dentro de los 5 a 10 días se alcanzaron las mayores temperaturas bordeando los 70 °C, comparando sin adición de EM - COMPOST que llegó como máximo a los 55 °C; y en cuanto al valor de pH obteniendo un valor más bajo de 5 en menor cantidad de tiempo (5 - 10 días) utilizando EM - COMPOST. En el análisis del compost se obtuvieron los máximos valores de nitrógeno de 3,38 % y fósforo 0,87 % en las unidades en las que se utilizaron adición de EM - COMPOST, comparando con el método convencional obteniendo valores de nitrógeno de 2,51 % y fósforo 0,67 %.

Chuquimamani (2018) en su investigación denominada “Evaluación del proceso de compostaje de lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales de la industria textil”, aplicó 3 dosis de lodo en porcentaje peso: 10, 20 y 30 % a un sustrato base conformado por 70 % aserrín, 25 % estiércol vacuno y 5 % pasto, evaluándose 4 tratamientos con 3 repeticiones, en un diseño completamente al azar. Al inicio el lodo textil presentó concentraciones de materia orgánica 18,40 %, nitrógeno 0,77 % y fósforo 222,61 mg/kg. Observó que las temperaturas de los cuatro

tratamientos presentan cambios similares registrando temperaturas máximas de 58,3; 56,8; 58,1 y 58,2 °C. La fase termófila tuvo una duración de 20 días entre los días (14 y 34), luego las temperaturas decrecieron por debajo de los 45 °C; sin embargo, durante los días 62 y 76, el proceso volvió a registrar temperaturas mayores de 45 °C siendo esta una segunda fase termófila del experimento. Finalmente se llega a la conclusión que el lodo textil es apto como materia prima para el proceso de compostaje obteniendo concentraciones de materia orgánica 40 %, nitrógeno 1,72 %, fósforo 0,13 %, coliformes totales 2,9 NMP/g y ausencia de *Salmonella*. Sin embargo, en ningún tratamiento se logró eliminar los huevos de helmintos procedentes del estiércol vacuno con un valor máximo de 542 huevos/4 g.

Acuña (2018) en su investigación “Influencia de microorganismos eficientes (EM) y lodos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas – Exalmar, en la composición de macronutrientes del compost generado” encontró que los lodos presentan una caracterización inicial con una humedad de 75,4 %, nitrógeno 0,19 % y fósforo 0,14 %. Luego del proceso de compostaje llegó a la conclusión que los EM y los lodos residuales influyen positivamente en la composición de macronutrientes, ya que a mayor contenido de EM y lodos, mayor es el

contenido de macronutrientes, presentando un efecto positivo con unos resultados 2,26 % de nitrógeno y 1,47 % de fósforo.

Mamani (2019) en su investigación denominada “Producción de compost empleando pilas aireadas con lodos residuales provenientes de la PTAR distrito de Sandia - 2018”, observó que en la semana 1 (fase mesófila) una temperatura de 20 °C; en la fase termófila, osciló entre 50,58 y 60 °C; en la segunda fase mesófila, descendió de 55,80 a 38 °C y en la etapa de maduración, osciló entre 36 y 28 °C. Indica que un inadecuado control de la temperatura podría alterar la destrucción de microorganismos patógenos, así como elevadas temperaturas provocarían la muerte de especies útiles y su inactivación debido a la formación de esporas microbianas. En el caso de la humedad tiene una tendencia a mantenerse entre 40,80 y 48,20 % en la segunda y cuarta semana de evaluación respectivamente, ello debido al control y monitoreo del riego y volteos. El pH por su parte osciló entre 5 y 8 unidades. Finalmente, el compost obtenido presentó la siguiente caracterización: nitrógeno 1,61 %, fósforo 2,45 %, materia orgánica 65 %, coliformes totales $4,6 \times 10^6$ NMP/g y coliformes fecales $2,1 \times 10^6$ NMP/g.

Huacanca (2019) en su investigación “Transformación de lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de Carhuaz en

biosólidos, mediante la tecnología de compostaje con microorganismos eficaces, Carhuaz – 2018” obtuvo como resultado biosólidos mediante el proceso de compostaje. Los lodos fueron extraídos del lecho de secado del tanque imhoff en un periodo máximo de 3 meses. En la caracterización inicial registró: materia orgánica valores entre 21,2 y 29 %, arsénico entre 3,9 y 11,3 mg/kg, *Salmonella* 0 NMP/g, *Escherichia coli* 46×10^6 NMP/g y de 0 a 10 huevos de helmintos/4 g. Durante el proceso de compostaje obtuvo temperaturas máximas de 26,9 a 27,2 °C. En cuanto a la caracterización final obtuvo los siguientes parámetros: materia orgánica valores entre 52,3 y 66,5 %; y arsénico entre < 2 y 4,2 mg/kg ST. En el caso del análisis microbiológico para *Salmonella* spp obtuvo 0 NMP/g ST, para *Escherichia coli* valores entre 210 000 y 9 300 000 NMP/g ST y en el caso de huevos de helmintos obtuvo entre 5 a 8 huevos/4 g ST.

Castillo (2020) en su investigación “Evaluación de la calidad del compost obtenido a partir de residuos orgánicos y microorganismos eficaces (EM) en el distrito de Huayucachi, Huancayo, 2019” evaluó la calidad del compost a partir de la mezcla de cuatro tipos de residuos orgánicos: estiércol de vaca, estiércol de oveja, residuos de mercado y restos de cosecha, con la aplicación de tres dosis de EM al 5 %. Obtuvo como resultados de la caracterización del compost obtenido los siguientes

valores: materia orgánica 26,81 a 28,85 %, nitrógeno 0,94 a 1 %, fósforo 1,27 a 1,54 %, cobre 12 a 29 ppm, zinc 173 a 220 ppm y plomo 34,55 a 47,63 %. Asimismo, se afirma que la concentración de materia orgánica se debería al contenido de carbono orgánico de los sustratos utilizados. Y en el caso del fósforo debido a su liberación en forma de óxido por la acción microbiológica de la descomposición de la materia orgánica.

Candela (2020) en su investigación “Propuestas de estabilización y aprovechamiento de lodos de PTAR (planta de tratamiento de aguas residuales) y BES (baños ecológicos secos) en Perú basadas en su caracterización fisicoquímica y microbiológica” analizó las concentraciones de lodos de diferentes PTAR y BES. En cuanto a metales pesados como valores máximos se reporta: arsénico 20 mg/kg, cobre 453 mg/kg, plomo 120 mg/kg y zinc 1 658 mg/kg donde destaca que la concentración de los metales se incrementa directamente proporcional al tiempo depositado. En cuanto a la humedad se reportó valores altos (< 90 %) en sistemas de tratamiento aerobios (laguna aireada, lodos activados de aireación extendida y lodos activados convencionales) así como en sistemas anaerobios (lagunas anaerobias, tanques imhoff y digestor anaeróbico); sin embargo, en algunos lechos de secado y secador solar de unidades lodos activados de aireación extendida se señalaron valores menores de 12 %.

En cuanto a microorganismos patógenos si se presentaron altas concentraciones, se reportan coliformes totales siendo el máximo valor de $1,53 \times 10^{10}$ UFC/g en el sistema de lodos activados de aireación extendida en el clarificador y el mínimo valor de $5,00 \times 10^8$ UFC/g en el sistema lodos activados de aireación extendida en el secador solar. En cuanto al parámetro *Escherichia coli* se reporta como máximo valor $8,50 \times 10^9$ UFC/g en el sistema de tratamiento de sistema de aireación extendida de ciclos intermitentes (ICEAS) en el tanque aireado y el mínimo valor reportado fue $2,00 \times 10^7$ UFC/g en el sistema lodos activados de aireación extendida en el espesador. En cuanto a coliformes termotolerantes, el máximo valor reportado fue $1,56 \times 10^{10}$ UFC/g en el sistema de tratamiento de ICEAS en el tanque aireado y no se reportó en el sistema lodos activados de aireación extendida en el lecho de secado y secador solar. Finalmente, en el caso de huevos de helmintos, el máximo valor fue 35 huevos/4 g en el sistema de tratamiento de lagunas aireadas y el mínimo valor < 1 huevos/4 g en el sistema ICEAS en el tanque aireado y la centrífuga. Por otro lado, en las tecnologías aerobias: en cuanto a coliformes totales el máximo valor fue $1,23 \times 10^{10}$ UFC/g en el sistema de tratamiento de tanque imhoff y el mínimo valor fue $1,94 \times 10^8$ UFC/g en el sistema digestión anaerobia en el espesador. En cuanto al parámetro *Escherichia coli*, el máximo valor fue $2,70 \times 10^9$ UFC/g en el sistema de tratamiento de tanque imhoff en la semi

composta y el mínimo valor fue $7,50 \times 10^6$ UFC/g en el sistema digestión anaerobia en la centrífuga. En cuanto a coliformes termotolerantes, el máximo valor fue $9,80 \times 10^9$ UFC/g en el sistema de tratamiento de tanque imhoff y el mínimo valor fue $3,20 \times 10^7$ UFC/g en el sistema de digestión anaerobio. Finalmente, en el caso de huevos de helmintos, el máximo valor reportado fue 20 huevos/4 g en el sistema de tratamiento de laguna anaerobia y el mínimo valor fue 7 huevos/4 g en el sistema tanque imhoff en el lecho de secado.

Llano (2021) en su investigación “Efectos de la estabilización y compostaje de lodos residuales con microorganismos eficaces en el índice de calidad de *Tecoma Stans* en el distrito de Viques - Huancayo” demostró que el uso de microorganismos eficaces tiene un efecto positivo y favorable en la calidad de compost producido y en el índice de calidad de planta *Tecoma stans*. En dicha evaluación obtuvo compost distribuido en cuatro tratamientos: T1 = 100 % lodos residuales + microorganismos eficientes, T2 = 75 % lodos residuales + 25 % de residuos orgánicos + microorganismos eficientes, T3 = 50 % lodos residuales + 50 % de residuos orgánicos + microorganismos eficientes y T4 = 25 % de lodos residuales + 75 % de residuos orgánicos + microorganismos eficientes. Al término del proceso de compostaje obtuvo los siguientes resultados: materia orgánica

con una concentración de 22,068 a 34,781 % y nitrógeno 0,59 a 2,02 %. Concluyó que el tratamiento 3 logró el mejor efecto positivo en la estabilización de materia orgánica.

Castro (2022) en su investigación “Determinación de la efectividad del lombricompostaje en la estabilización de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín” estabilizó el lodo mediante el proceso de lombricompostaje. Al término del proceso, se obtuvo los siguientes valores: materia orgánica de 21,67 a 35,46 %, nitrógeno 1,12 a 1,63 %, cobre 40,77 a 81,87 mg/kg, plomo 19,70 a 25,63 mg/kg, zinc 266,33 a 797 mg/kg, coliformes termotolerantes 0,37 a 21,03 NMP/g y huevos de helmintos 0 a 60 huevos/4 g. Finalmente, indica que se reporta concentración de coliformes termotolerantes al final del proceso mayor en mezclas con estiércol indicando que el estiércol de cuy probablemente presentaba contaminación fecal antes del tratamiento o ello impidió la disminución de los patógenos.

Antacahuana & Rivera (2024) en su investigación “Influencia de microorganismos eficientes en la obtención de compost del lodo residual de la PTAR Omo - Moquegua, 2023” obtuvo compost del lodo proveniente del lecho de secado de dicha PTAR. Al inicio el lodo presentó la siguiente caracterización: humedad 9,61 %, materia orgánica 27,3 %, fósforo

disponible 0,1003 mg/g y nitrógeno total 13,12 mg/g. Al finalizar el proceso de compostaje obtuvo valores promedio de materia orgánica con un 69 %, nitrógeno total 3,50 mg/g y fósforo total 2,40 mg/g. En cuanto al análisis microbiológico se obtuvieron: coliformes termotolerantes 7 NMP/g en el control y 35 NMP/g utilizando EM Compost. Además, utilizando EM Agua y Mende se obtuvieron valores máximos de 0,2 NMP/g de coliformes termotolerantes.

3.1.3 Nivel local

More (2015) en su investigación denominada “Determinación del potencial agrícola de lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de Copare y Magollo, Tacna”, obtuvo los siguientes resultados para el lodo de los campos de secado en ambas PTAR. En el caso de la PTAR Copare encontró lo siguiente: materia orgánica 3,03 %, nitrógeno 1,68 % y fósforo 61,50 ppm. Asimismo, para el lodo Magollo: materia orgánica 2,37 %, nitrógeno 1,22 % y fósforo 48,60 ppm. En cuanto a metales pesados, se obtuvo en el lodo Copare: arsénico 88,61 mg/kg, cobre 404,82 mg/kg, plomo 311,07 mg/kg, y zinc 1 252,05 mg/kg. Para el lodo Magollo: arsénico 59,0400 mg/kg; cobre 251,7300 mg/kg; plomo 190,1300 mg/kg y zinc 870,2500 mg/kg. Con respecto al análisis microbiológico, se obtuvo para el lodo de la PTAR Copare: coliformes

totales 11×10^2 NMP/g, coliformes fecales 11×10^2 NMP/g, *Escherichia coli* < 3 NMP/g y ausencia de *Salmonella* spp en 25 g; y en el caso del lodo de la PTAR Magollo se obtuvo: coliformes totales < 3 NMP/g, coliformes fecales < 3 NMP/g, *Escherichia coli* < 3 NMP/g y ausencia de *Salmonella* spp en 25 g. Indicó que el lodo de la PTAR Copare presenta mayores valores de metales pesados frente al lodo PTAR Magollo por las diferencias en el tratamiento y además debido a la permanencia en los lechos de secado donde pudo haber ocurrido una excesiva mineralización. Asimismo, indica que las aguas de la región Tacna debido a su particular geodinámica ya contienen algunos metales pesados, lo que repercutiría en la calidad de los lodos.

Larico (2023) en la investigación denominada “Descontaminación mediante la lombricultura de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de Copare, Tacna 2020”, obtuvo como resultados para los lodos de la PTAR Copare concentraciones de arsénico 83,22 mg/kg PS, cobre 339 mg/kg PS, fósforo 8 290 mg/kg PS, plomo 315,7 mg/kg PS, zinc 1 006 mg/kg PS. Asimismo, en cuanto al análisis microbiológico reporta coliformes totales 54×10^3 NMP/g, coliformes fecales < 1,8 NMP/g, *Escherichia coli* < 1,8 NMP/g y ausencia de *Salmonella* spp en 25 g. Luego del proceso de vermicompostaje, se analizó el humus obtenido. En cuanto

a parámetros fisicoquímicos se reportó lo siguiente: arsénico 54,37 mg/kg, cobre 256,9 mg/kg, fósforo 9 348 mg/kg, plomo 236,6 mg/kg y finalmente zinc 794,3 mg/kg. Y en cuanto a parámetros microbiológicos se reportó: coliformes totales 23 NMP/g, coliformes fecales < 1,8 NMP/g, *Escherichia coli* < 1,8 NMP/g y ausencia de *Salmonella* spp en 25 g.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)

El lodo generado durante las operaciones y el tratamiento de efluentes está determinado principalmente por la edad de las aguas residuales, las propiedades y el método de tratamiento empleado en la instalación (Perez, 2016). Siendo además el resultado de la extracción de la materia sólida de las aguas residuales (Donado, 2013).

Existen componentes de las aguas residuales que al pasar por el sistema de tratamiento pueden aumentar su concentración en el lodo, sin embargo, su presencia es extremadamente variable dependiendo tanto de las características de las aguas residuales brutas como del sistema de tratamiento (Ines et al., 2007).

Entonces, a continuación, se hace una descripción del sistema de abastecimiento de agua potable y del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Tacna.

3.2.1.1 Sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Tacna

La ciudad de Tacna recibe el servicio de prestación del servicio de saneamiento de la Empresa Prestadora de Saneamiento Tacna S.A., teniendo como fuentes de captación de agua para consumo humano el sistema Uchusuma y el sistema Caplina. La geología regional presenta minerales de origen volcánico como arsénico, boro, hierro, aluminio y manganeso; que junto con las condiciones de temperatura (termales) y la solubilidad favorecen su disolución en las aguas superficiales (SUNASS, 2023a). Las fuentes que tienen alta influencia sobre la calidad del agua son las fuentes geotermales que emanan agua con alto contenido de arsénico, plomo y sodio (Pino et al., 2017).

3.2.1.2 Sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Tacna

Las aguas residuales de la ciudad de Tacna reciben un tratamiento; son conducidas a dos emisores, uno de ellos descarga en la zona de

Copare, donde 50 L/s permanecen para ser tratadas en la PTAR de Cono Sur, y la diferencia siendo 270 L/s pasa a través de un canal abierto a la zona de Magollo para ser tratado en la PTAR de Magollo. Otro de los emisores conduce aproximadamente 52 L/s a los pozos de almacenamiento en la zona de Arunta, donde los agricultores las utilizan sin ningún tratamiento previo (Del Carpio, 2001).

Según Franco (2012) al año 2012 ingresa en promedio un volumen mensual de 148 000 m³ y 740 000 m³ de aguas residuales a la PTAR Copare y PTAR Magollo respectivamente. A dichas PTAR se descargan efluentes no solo domésticos sino algunas industriales como restaurantes, ferreterías, talleres mecánicos, empresas agroindustriales, instituciones educativas, hospitales, centros de salud, veterinarias, entre otros; y no siempre con un previo tratamiento. Entonces se vierten efluentes producto de sus operaciones de aseo, higiene, uso sanitario, entre otras; que pueden ser indeseables y dañinas para la salud y el ambiente (Díaz, 2019).

Se reportan los resultados obtenidos del monitoreo de los afluentes que ingresan a dichas PTAR se presentan: 330 x 10⁶ NMP/100 ml de coliformes totales en la PTAR Magollo; y 13 x 10⁶ y 92 x 10⁶ NMP/100 ml de coliformes termotolerantes en la PTAR Magollo y Copare respectivamente; y en cuanto a los efluentes de la PTAR Magollo se

reportan concentraciones de detergentes (SAAM) < 0,025 mg/L, nitratos 3,176 mg/L, nitritos < 0,02 mg/L, coliformes totales 33×10^6 NMP/100 ml, parásitos protozoarios < 1,0 quiste/L, parásitos helmintos < 1,0 huevos/L, plomo < 0,002 mg/L y arsénico < 0,002 mg/L; y en el caso del parámetro coliformes termotolerantes 22×10^5 y 92×10^4 NMP/100 ml en la PTAR Magollo y Copare respectivamente (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2022).

a) PTAR Magollo

La PTAR Magollo está situado a 13 km al sur de la ciudad de Tacna, en la zona límite de Magollo y La Yarada; y adyacente a la carretera que va a la playa Boca del Río. El sistema de tratamiento de dicha planta presenta seis módulos de lagunas de estabilización; dos de ellas levantadas en una primera fase, dos en segunda fase y dos en la tercera fase. Cada módulo presenta una laguna primaria y una laguna secundaria. Sin embargo, no se estaría llevando un adecuado tratamiento, debido que la PTAR Magollo se encuentra sobrecargada, ya que su caudal de diseño es de 180 L/s y está operando a 358 L/s (SUNASS, 2023a).

El sistema de tratamiento de la PTAR Magollo cuenta con los siguientes procesos: una cámara de rejillas, un medidor de caudal, lagunas facultativas primarias (seis líneas en paralelo), lagunas facultativas

secundarias (seis líneas en paralelo) (Campos, 2012). En el año 2019 se retiraron lodos de las lagunas primarias y secundarias de la línea cuatro en un aprox. de 14 040 m³, los cuales fueron depositados en los terrenos de la propia PTAR (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2022).

b) PTAR Copare

El sistema de tratamiento de la PTAR Copare cuenta con los siguientes procesos: una cámara de rejillas, un medidor de caudal, una cámara de distribución y cuatro lagunas de oxidación, siendo dos de ellas aireadas (Cauna, 2020). No se encuentra reportes de volumen de generación de lodos.

3.2.1.3 Caracterización de lodos residuales de las PTAR

a) Composición fisicoquímica de lodos residuales

Los lodos residuales pueden presentar en su composición nutrientes como nitrógeno estando presente en formas inorgánicas (mineralizadas) como nitratos y amoníaco; y formas orgánicas como proteínas, aminoácidos, aminoazúcares, almidones y otros; siendo de la fracción orgánica la mayor parte del nitrógeno, oscilando entre el 70 y el 90 % dependiendo del tipo y edad del biosólido (Ines et al., 2007). El elevado contenido de materia orgánica influye de forma general en todas las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo y al mismo tiempo

favorece los ciclos geoquímicos, siendo el contenido de nitrógeno el elemento que más repercute sobre la producción agrícola (Broche, 2020). El fósforo presente proviene de residuos y microorganismos formados durante el tratamiento de aguas residuales proveniente en gran parte de los detergentes y jabones vertidos que contienen fosfato (Zabotto et al., 2019; Ines et al., 2007).

En los lodos se pueden encontrar oligoelementos metálicos, los cuales no son biodegradables, se llegan acumular en el suelo, ingresar a la cadena alimentaria y bioconcentrarse en el ambiente (Fijalkowski et al., 2017). Los metales están siempre presentes aunque en concentraciones bajas en efluentes residuales domésticas, pero pueden llegar a concentraciones preocupantes generalmente en efluentes residuales industriales (González, 2016).

Algunos metales son esenciales y necesarios para las plantas tales como el cobre, níquel, hierro, zinc y manganeso debido que la deficiencia afecta su crecimiento, pero cuando se encuentren en exceso pueden generar fitotoxicidad (Huallpa, 2023).

Los metales presentes en los biosólidos, cuando superan ciertos límites, pueden ser dañinos para la biota del suelo, los cultivos fertilizados

y los seres humanos; además dado que el contenido de estos elementos suele ser mayor que en los suelos y que sus límites de toxicidad son muy bajos, es necesario controlar constantemente las cantidades de estos elementos que se aplican junto con los biosólidos (Ines et al., 2007).

b) Composición microbiológica de lodos residuales

En los lodos residuales se pueden encontrar microorganismos que llegan a ser una mezcla de saprófitos y patógenos, siendo los principales grupos: bacterias entéricas, parásitos, virus y hongos (Fijalkowski et al., 2017). Su procedencia generalmente se debe a las aguas residuales fecales humanas y de determinadas aguas industriales. La cantidad de patógenos puede fluctuar bastante dependiendo del nivel socioeconómico de la población, las condiciones sanitarias y la presencia de agroindustrias (Ines et al., 2007).

En las lagunas de estabilización los huevos de helmintos y quistes de protozoos se sedimentan por su propio peso en el fondo de las lagunas, debido al extenso tiempo de permanencia en el agua residual (Manzano & Moreno, 2001). Dichos microorganismos presentan un reto adicional debido a que éstos son mucho más resistentes a las condiciones medioambientales adversas, su persistencia en el ambiente, su baja dosis mínima infectiva (Pérez et al., 2000) y a los tratamientos de desinfección,

producto de la composición química de las capas de estos huevos formada por lípidos y proteínas (Escobar et al., 2014).

Específicamente los huevos de helmintos, se puede esperar que tengan origen animal si hubieran actividades agrarias cercanas y si se vertieran a la red de alcantarillado heces de perros, gatos y ratas (Pérez et al., 2000). Las infecciones por helmintos se diagnostican por la presencia de sus huevos o larvas en las heces; los cuales son eliminados por el portador y son la vía de entrada al hospedero de forma oral (Escobar et al., 2014).

En el caso de los quistes, estos se encuentran peculiarmente en las heces formadas, pueden sobrevivir días o semanas en el ambiente externo y permanecer infecciosos, siendo las formas de infectarse como la inhalación; además se pueden dar directamente al ingerir o manipular el suelo o cultivo contaminado o indirectamente al beber agua contaminada o comer verduras cultivadas con biosólidos que contengan quistes de protozoos (Ines et al., 2007).

En el caso de la *Escherichia coli* y *Salmonella* spp, son bacterias aerobias o anaerobias facultativas que carecen de la posibilidad de esporular y mueren con la temperatura siendo su temperatura óptima de

crecimiento en condiciones aerobias entre 37 y 45 °C (González, 2016). El reservorio del patógeno *Escherichia coli* es principalmente el ganado bovino, también se consideran otros rumiantes como ovejas, cabras y ciervos (OMS, 2018a). En el caso de la *Salmonella* spp, de manera similar se encuentran en animales domésticos y salvajes, siendo dominante en aves de corral, porcinos y vacunos; y también en mascotas como perros, gatos, pájaros y reptiles (OMS, 2018b). Asimismo, la alta frecuencia de enfermedades gastrointestinales en la población fuente y el alto contenido de materia orgánica serian dos factores que contribuyen a la presencia de *Salmonella* y coliformes fecales (Cota - Espericueta & Ponce - Corral, 2008).

Entonces, representa un riesgo para las personas que trabajan directamente con lodos (empleados de las PTAR, encargados del transporte y disposición final). Así como, los agricultores que trabajan en suelos fertilizados con biosólidos.

c) Presencia de productos farmacéuticos

Según Correia & Marcano (2015) definen como contaminantes emergentes a los de origen farmacéutico y a los productos de cuidado personal (champú, detergentes, fragancias, cremas, protectores solares, repelentes de insectos, entre otros); indican que los medicamentos se

metabolizan y se eliminan del organismo después de su ingesta, lo que provoca que combinaciones complejas de sustancias activas y metabolitos se filtren a las redes de alcantarillado y así lleguen a las PTAR; son los analgésicos y anti - inflamatorios no esteroides el grupo farmacológico más analizado, debido a su amplio uso a nivel mundial, con concentraciones medias más altas en el afluente entre 1 y 96 $\mu\text{g/L}$ y presentan porcentajes de remoción mayores a 65 % en las PTAR; en el caso de los antibióticos presentan concentraciones medias menores a 1 $\mu\text{g/L}$ en el efluente y eficiencias de remoción entre 42 y 76 %; además se reportan para ofloxacín y sulfametoxazol eficiencias de remoción de 42 y 65 % respectivamente en efluentes con tratamientos de lodos activados. Además Frascaroli et al. (2021) señala a ciertos medicamentos (ciprofloxacina, la claritromicina, la eritromicina, el metronidazol, la ofloxacina, el sulfametoxazol y la trimtoprima) como un riesgo considerable en términos de distribución ubicua, concentraciones elevadas, valores de cociente de riesgo (impacto potencial de la aparición de compuestos químicos vertidos al ambiente sobre organismos acuáticos) y la capacidad para resistir los tratamientos de eliminación.

Asimismo, Fijalkowski et al. (2017) ha encontrado en diversos estudios que los lodos presentan concentraciones considerables de

productos farmacéuticos y productos de cuidado personal, siendo factores que determinan su presencia el contenido excesivo de antibióticos y la aparición de resistencias a antibióticos como las multiresistentes cepas de *Escherichia coli* u otras cepas fuertes. Dasí (2024) ha constatado la presencia de genes de resistencia tras los tratamientos secundarios y terciarios con desinfección a ciertos medicamentos, lo que puede suponer un riesgo, ya que se trata de antibióticos muy utilizados en la práctica médica comunitaria.

Según Julian et al. (2021) los antibióticos pertenecientes a las clases de sulfonamidas y macrólidos no se logran eliminar totalmente en las PTAR y producen metabolitos adicionales cuando se conjugan con desechos humanos durante los procesos de tratamiento biológico, y que además se podría liberar a los suelos a través de la fertilización.

3.2.1.4 Tratamiento de lodos residuales

a) Secado

Consiste en el secado de los lodos en el ambiente, bajo la evaporación o por drenado. El secado por calor se utiliza para destruir patógenos y eliminar la mayor parte del contenido de agua, lo que minimiza en gran medida el volumen de biosólidos, tiene la ventaja de conservar el

nitrógeno, pero requiere combustible para su procesamiento (Agencia de Protección Ambiental, 1999).

b) Estabilización con cal

La estabilización de lodos con cal es una de las alternativas más viables en comparación con la aplicación de tratamientos químicos, ya que permite utilizar en mayor grado el lodo y además reduce los costos en la elaboración del proceso de estabilización (López & Rivas, 2013). Se estimula la estabilización del lodo, se libera amoníaco a la atmósfera y el contenido de nitrógeno total se reduce, pero logra ser más estable (Mazzarino et al., 1997). Sánchez - Álvarez et al. (2024) reporta eficiencia del tratamiento alcalino con cal viva en la reducción de microorganismos patógenos.

c) Compostaje

Es un proceso biológico aerobio que permite la conversión de la materia orgánica en productos estables e higienizados por medio de una serie de biotransformaciones oxidativas (Mamani, 2019) donde intervienen en la descomposición microorganismos mesófilos y termófilos, asimismo se pueden adicionar insumos como activadores, inoculantes y enriquecedores (Salazar, 2014). Se da en condiciones controladas de temperatura,

humedad y oxígeno; dando como resultado un material altamente estabilizado de tipo húmico y libre de patógenos (Hernandes, 1998).

Se suele mezclar biosólidos deshidratados con un agente de carga (astillas de madera, restos de jardín municipales, corteza, cáscaras de arroz, paja o material previamente compostado) y dejar que la mezcla de biosólidos se descomponga aeróbicamente durante un período de tiempo (Agencia de Protección Ambiental, 1999).

3.2.1.5 Aprovechamiento de lodos residuales

Para el reaprovechamiento y comercialización, los lodos de las PTAR deben cumplir de forma conjunta con los parámetros establecidos en la normativa nacional vigente Decreto Supremo 015 – 2017 - VIVIENDA. Así como, la Norma Oficial Mexicana NOM – 004 – SERMARNAT - 2002, la cual establece los criterios y los límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final.

3.2.2 Compostaje

3.2.2.1 Etapas del proceso de compostaje

a) Etapa de latencia

Etapa que se considera desde la conformación de la pila hasta que se observan incrementos de temperatura, diferentes a la del sustrato inicial, puede no ser notoria si dicho sustrato ya tiene un tiempo de acopio (OPS & OMS, 2012).

b) Etapa mesófila

Periodo donde da inicio el proceso de compostaje con el aumento de temperatura hasta los 45 °C debido a la actividad microbiana donde los microorganismos utilizan fuentes de carbono y nitrógeno generando calor. La descomposición de compuestos solubles produce ácidos orgánicos y provoca la disminución del pH hasta 4 o 4,5 (Román et al., 2013).

c) Etapa termófila

Los microorganismos mesófilos son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, los cuales en su mayoría son bacterias termófilas que actúan facilitando la descomposición de fuentes más complejas de carbono, esta etapa inicia cuando el material alcanza temperaturas superiores a los 45 °C (Román et al., 2013). La temperatura

alcanzada garantiza la eliminación de gérmenes, patógenos, larvas y semillas (Gobierno de España, 2010). No se recomienda que exceda los 70 – 75 °C ya que la mayoría de las especies de microorganismos no puede sobrevivir, ocasionando la desaceleración de la descomposición (Docampo, 2013). En esta etapa se deben realizar frecuentes volteos con el objeto de aportar oxígeno, el que es rápidamente consumido por los microorganismos (Ryan & Riffo, 2007). La temperatura debe mantenerse durante al menos 10 días entre 55 y 70 °C como requisito previo para un producto final de alta calidad libre de patógenos (Paul & Geesing, 2021).

d) Etapa de enfriamiento o mesófila II

Durante esta fase la temperatura comienza a bajar hasta 40 – 45 °C ocasionando la descomposición de polímeros como la celulosa y dar origen a la presencia de algunos hongos, los microorganismos mesófilos retoman su actividad ocasionando la disminución leve del pH (Román et al., 2013). Se reconoce esta etapa, cuando luego de dar vuelta la pila no existe un aumento de temperatura posterior (Ryan & Riffo, 2007).

e) Etapa de maduración

Fase en la que las moléculas de carbono sufren procesos secundarios de condensación y polimerización para producir ácidos fúlvicos y húmicos (Román et al., 2013). Ello puede demandar de tiempo, en

algunos casos hasta varios meses hasta alcanzar la temperatura ambiente (Ryan & Rizzo, 2007).

3.2.2.2 Sistemas y métodos de compostaje

a) Sistemas abiertos

- Compostaje en hilera/pilas: Corresponde a la manera de apilar el material colocándose en grandes montones o hileras donde se retendrá calor, realizando una mezcla manual o con alguna máquina volteadora (Silva et al., 2000).
- Compostaje en pila estática aireada: Consiste en colocar la masa de residuos sobre una red de tuberías perforadas conectadas a un ventilador que aspira o inyecta aire a través de ellas, permite una transformación de residuos más rápida que el manual (Garrido, 2015).

b) Sistemas cerrados

- Compostaje en túneles o contenedores: Son unidades móviles que cuentan con un equipo para medir las condiciones atmosféricas con el fin de obtener aireación y humedecimiento óptimo; sin embargo, resultan tener un costo de inversión muy alto (Röben, 2002).
- Compostaje en tambor: La fermentación tiene lugar en un tambor de rotación lenta, donde el residuo orgánico se deposita; sin embargo,

presenta un elevado consumo eléctrico y una gran superficie ocupada (Garrido, 2015).

3.2.2.3 Factores que condicionan el proceso de compostaje

a) Temperatura

El control de la temperatura durante el proceso de compostaje es importante ya que este parámetro indica en qué etapa se encuentra el proceso (Chunga, 2014). La variable que más influye sobre la concentración de hongos y bacterias es la temperatura ya que si no se está dentro de los rangos óptimos (35 a 60 °C), detiene o inhibe el desarrollo de los microorganismos afectando en forma directa la descomposición de los residuos (Acosta & Peralta, 2015).

La variación de la temperatura en el interior de una biopila, se debe a la actividad microbiana presente al interior de cada una de ellas; además de los factores climáticos que intervienen en el proceso (temperatura ambiente, vientos, y humedad) (Ocampo et al., 2002).

b) Humedad

La humedad idónea se sitúa de 15 a 35 % (de 40 a 60 %, si se puede mantener una buena aireación), humedades superiores producirían un desplazamiento del aire entre las partículas de la materia orgánica, con lo

que el medio se volvería anaerobio, favoreciendo los metabolismos fermentativos y las respiraciones anaeróbicas; en cambio, en valores inferiores al 10 % desciende la actividad biológica general y el proceso se vuelve extremadamente lento (OPS & OMS, 2012).

La humedad es necesaria ya que los microorganismos demandan agua como vehículo para lograr transportar los nutrientes y otros componentes energéticos a través de su membrana celular (Mamani, 2019). El agua desempeña un papel en la regulación de la temperatura, al tener un calor específico alto, se necesita una gran cantidad de energía para elevar la temperatura de una masa de agua en un grado Celsius; asimismo si hay demasiada agua en una pila de compostaje, la temperatura de la pila demorará más en aumentar (Agencia de Protección Ambiental, 1999).

c) pH

El pH varía durante el proceso de compostaje, al principio tiende a disminuir debido a la producción de ácidos orgánicos en la etapa mesófila y luego aumenta en la fase termófila (Ryan & Riffo, 2007); donde la mayor actividad bacteriana se da en valores de pH de 6,0 - 7,5; mientras que la mayor actividad fúngica se da en valores de 5,5 - 8,0 (Román et al., 2013).

Los microorganismos termófilos (microorganismos que sobreviven a temperaturas entre los 37 y 60 °C) actúan transformando el nitrógeno en amoníaco y el pH del medio se hace alcalino; por otro lado cuando la temperatura comienza a descender, los organismos mesófilos reanudan su actividad y el pH baja ligeramente (Garro, 2016).

Durante el proceso de compostaje, los biosólidos se degradan a un material similar al humus con excelentes propiedades de acondicionamiento del suelo en un rango de pH de 6,5 a 8; lo que favorece el crecimiento de plantas y reduce la movilidad de los metales (Agencia de Protección Ambiental, 1999).

d) Relación carbono – nitrógeno (C:N)

El carbono representa la fuente de energía para el compostaje, mientras que el nitrógeno es necesario para la reproducción de las bacterias (síntesis de proteínas) (Ines et al., 2007). En la Tabla 2 se pueden visualizar la relación C:N de los materiales utilizados en el proceso de compostaje.

Tabla 2

Relación C:N de materiales usados en el compostaje

Material	Relación C:N
Estiércol de conejo	19:1
Hierba seca	81:1
Residuos de podas	44:1
Lodos residuales sólidos	6:1

Nota. Obtenido de Peña et al. (2002)

e) Aireación

La aireación debe mantenerse en unos niveles adecuados teniendo en cuenta que las necesidades de oxígeno varían a lo largo del proceso, siendo bajas en la fase mesófila, alcanzando el máximo en la fase termófila y disminuyendo de nuevo al final del proceso (Peña et al., 2002). Los volteos frecuentes ayudan a reducir los focos anaeróbicos al introducir oxígeno y volver a mezclar los ingredientes de la pila (Agencia de Protección Ambiental, 1999).

f) Uso de microorganismos eficientes

Según Banco Internacional de Desarrollo - Convenio Fondo Especial de Japón (2009) los microorganismos eficientes conocidos por su sigla en inglés EM, son una mezcla de Lactobacillus, levaduras y bacterias

fototróficas; los lactobacilos producen sustancias que aceleran la degradación de la materia orgánica disminuyendo el período de compostaje; las levaduras por su parte producen sustancias que actúan como hormonas naturales y que promueven el crecimiento y el desarrollo de las plantas, logran que la materia orgánica se descomponga rápidamente por la vía de la fermentación y no de la putrefacción, disminuyendo la población de moscas y finalmente los EM se reproducen en esta materia orgánica provocando la inoculación de microorganismos beneficiosos.

3.2.2.4 Calidad del biosólido

El alto contenido de materia orgánica y carbono refleja la naturaleza de los residuos que contienen un alto nivel de lignina y otras sustancias recalcitrantes (Asses et al., 2018). Con la descomposición y estabilización de la materia orgánica, se reduce el contenido en materia seca del lodo que se transforma en dióxido de carbono (CO_2) y se produce un aproximado de la cuarta parte en peso (González, 2016). El contenido final será la consecuencia del valor inicial de materia orgánica, de su degradabilidad y de la transformación que haya sufrido durante el tratamiento (Soliva & López, 2004).

En el caso de los contaminantes metálicos, estos no se degradan durante el compostaje, pero pueden convertirse en especies orgánicas que son menos biodisponibles (Barker & Bryson, 2002). Los metales son consumidos por los microorganismos y por las proteínas en su materia celular, o por la interacción entre los iones del metal y la carga negativa de la superficie microbiana (Palacios, 2021).

Asimismo, Layme (2021) indica que las enmiendas alcalinas pueden elevar el pH del suelo y la carga negativa de la superficie, reduciendo la actividad de los metales al ocasionar su precipitación; así como la adición de materiales orgánicos, como estiércol y polvo de madera, cambian el pH y la conductividad eléctrica afectando la disponibilidad de los metales.

Para darles un aprovechamiento a dichos lodos, se considera la normativa nacional vigente DS N° 015 - 2017 VIVIENDA e internacional NOM – 004 - SERMARNAT 2002 donde se indican límites máximos permisibles para metales pesados y patógenos.

Para realizar su comparación con abonos, se considera la normativa chilena Nch 2880 - 2015 “Compost – Clasificación y requisitos” descrita en la Tabla 3.

Tabla 3*Parámetros de calidad exigidos para compost*

Parámetro	Unidad	Nch 2880	
		Clase A	Clase B
Materia orgánica	%	≥ a 20 %	-
Nitrógeno	%	≥ a 0,5 %	-
Fósforo	%	< 5 %	-
Coliformes totales			

Nota. Obtenido de Instituto Nacional de Normalización (2005)

3.3 Definición de conceptos básicos

3.3.1 Planta de tratamiento de aguas residuales

Infraestructura que permite la depuración de las aguas que contienen residuos industriales o domésticos para que puedan ser dispuestas o aprovechadas sin causar daño a la salud o ambiente (MINAM, 2009).

3.3.2 Lodos residuales domésticos

Residuos en estado sólido o semilíquido producto del tratamiento de aguas residuales domesticas (Jaramillo, 2002).

3.3.3 Materia orgánica

Es la fracción orgánica que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición; tejidos y células de organismos que viven en el suelo; y además sustancias producidas y vertidas por dichos organismos (Cordero, 2010).

3.3.4 Fósforo

El fósforo es un macronutriente esencial para las plantas y los microorganismos, pudiendo ser un nutrimento limitante, ya que es un componente de los ácidos nucleicos y de los fosfolípidos (Cordero, 2010).

3.3.5 Nitrógeno

El nitrógeno es un elemento indispensable para la vida, forma parte de las principales biomoléculas de todos los seres vivos, siendo uno de los elementos más abundantes de la tierra, pues en su forma gaseosa (N_2) constituye el 78 % de la atmósfera (Cordero, 2010).

3.3.6 Metales pesados

Son los metales con alta densidad (mayor de 5 g/cm^3) y según su peso atómico, un elemento químico comprendido entre 63,55 y 200,59 u. (Gobierno del Perú, 2024).

3.3.7 *Salmonella*

Es un organismo mesófilo cuyo crecimiento óptimo ocurre entre 35 y 43 °C y con valores de pH de 5 - 7; sin embargo puede tener actividad de reproducción en condiciones de temperatura entre 5,2 y 46,2 °C y de pH entre 4,1 y 9,0 (Cota - Espericueta & Ponce - Corral, 2008).

3.3.8 Coliformes totales

Grupo de microorganismos que son de naturaleza bacilar, gramnegativos, aeróbicos o anaeróbicos facultativos; siendo de este grupo los géneros *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* y *Klebsiella* (SUNASS, 2023b).

3.3.9 Coliformes termotolerantes

Son bacterias Gram negativas, aerobios o anaerobios facultativos, que fermentan la lactosa en forma de gas cuando en un medio de cultivo se incuban a 44 - 45 °C y están incluidos los géneros *Escherichia* y especies de *Klebsiella* (García & Iannacone, 2014).

3.3.10 Helmintos

Son gusanos parásitos que viven dentro o fuera de sus hospederos alimentándose de sus nutrientes, siendo de dos tipos: los gusanos

redondos como las lombrices intestinales; y planos como las tenias y las duelas (Guillén et al., 2010).

3.3.11 Quistes de parásitos

Etapa de algunos parásitos protozoarios que implica alteraciones moleculares y celulares como una estrategia de supervivencia para residir fuera del huésped (Aguilar - Díaz et al., 2011) .

3.3.12 Ofloxacín

Antibiótico sintético que tiene como principal mecanismo de acción la inhibición específica del ADN girasa bacteriana; además es utilizada para el tratamiento de infecciones bacterianas, infecciones de tracto respiratorio inferior, infecciones otorrinolaringológicas crónicas y recurrentes, infecciones de la piel y de tejido blandos e infecciones ginecológicas (Asociación Española de Pediatría, 2020).

3.3.13 Sulfamethoxazole

Medicamento antibacteriano utilizado para tratar infecciones como bronquitis crónica, infecciones de las vías urinarias, infecciones agudas, infecciones entéricas y neumonía (Clinical Info HIV, 2023).

3.3.14 Biosólido

Subproducto que se produce en la estabilización de la porción orgánica de los lodos generados del tratamiento de aguas residuales, que cumpla con las características físicas, químicas y microbiológicas para que pueda ser reutilizado (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2017).

3.3.15 Humedad

La humedad está referida a la cantidad total de agua que se presenta, su cálculo es importante para estimar su potencialidad para la generación de lixiviados y la facilitación de su descomposición (digestión aerobia y anaerobia) (MINAM, 2019).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y nivel de investigación

4.1.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación fue aplicada ya que en el proceso de la investigación se aplicaron las bases teóricas del proceso de compost. La investigación aplicada se caracteriza porque busca la aplicación de la información que se obtiene, es decir, del marco teórico obtenido a través de los resultados obtenidos en otras investigaciones (Muntané, 2010).

4.1.2 Nivel de investigación

El nivel de investigación que se abarcó fue explicativo ya que en el proceso se trató de encontrar una relación causa - efecto entre las variables independientes lodos residuales de dos plantas de tratamiento de aguas residuales en la variable dependiente compost obtenido. Los estudios de nivel explicativo están relacionados a encontrar las causas de eventos, en qué condiciones se manifiesta o porque se relacionan dos o más variables (Hernández et al., 2014).

4.1.3 Diseño de investigación

El diseño de la investigación fue experimental completamente aleatorizado (DCA), los tratamientos fueron dispuestos completamente al azar con un total de dos tratamientos, cada uno con tres repeticiones como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4

Diseño completamente aleatorizado (DCA) del trabajo de investigación

TRATAMIENTO	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
T1	T1 R1	T1 R2	T1 R3
T2	T2 R1	T2 R2	T2 R3

Nota. T1= Lodo residual de PTAR Magollo, T2= Lodo residual PTAR Copare

Se aclara que añadió una unidad más de control (T3), sin embargo, no se considera en el diseño debido a que no se realizaran repeticiones para dicho tratamiento.

4.2 Lugar de estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en el distrito de Tacna, provincia y departamento de Tacna, ubicado a una altitud de 562 msnm. durante la época de verano – otoño, entre los meses de marzo a julio 2024.

Sus coordenadas geográficas se encuentran en latitud -18,01465 y longitud -70,25362. Según el Mapa de Clasificación Climática Nacional del SENAMHI, la ciudad de Tacna presenta un clima árido y templado, con deficiencia de humedad todo el año. La PTAR de Magollo está ubicado en las coordenadas geográficas con latitud -18,10894 y longitud -70,34120, y en el caso de la PTAR de Copare está ubicado en las coordenadas geográficas con latitud -18,0390 y longitud -70,26177.

4.3 Población y muestra de estudio

4.3.1 Población

Para la presente investigación se tomó como población los lodos residuales de las PTAR de Magollo y Copare.

En la PTAR Magollo se realizaron trabajos de mantenimiento en el año 2019, se removieron dichos lodos y se almacenaron en alrededores para su secado. En el caso de la PTAR Copare se realizaron los mismos trabajos en el año 2012 según lo mencionado por el encargado de ambas PTAR de la Empresa Prestadora de Saneamiento Tacna S.A.

4.3.2 Muestra

Para la presente investigación se tomaron muestras de lodos residuales de las PTAR, el tamaño de la muestra de lodos residuales no está supeditado a la población sino a la proporción con el sustrato a utilizarse, en este caso son 60 kg de lodos homogéneos tanto de la PTAR Magollo como 75 kg de la PTAR Copare.

Se obtuvieron además residuos de poda y limpieza de las áreas verdes de la Institución Educativa Coronel Bolognesi, los cuales estuvieron conformados por residuos de siega de césped y plantas obteniéndose un aproximado de 70 kg. Además, se recolectaron estiércol de cuy de algunas viviendas que se dedican a la crianza de dicha especie obteniéndose un aproximado de 60 kg. Finalmente se recolectaron residuos de la siembra de la especie Tara de un predio rural que se dedica al cultivo de dicha especie obteniéndose un aproximado de 80 kg.

4.4 Método

4.4.1 Técnicas de recolección

Se tomaron datos de temperatura máxima y mínima ambiental, y humedad relativa de la Estación Meteorológica Jorge Basadre debido a la cercanía al lugar de ejecución.

Para la medición de la temperatura de cada unidad de compostaje se llevó un control interdiario tomándose en tres puntos: el primero en el centro de la pila, a 25 cm de la superficie de esta; el segundo en el centro, a 30 cm del extremo derecho de la pila y a 25 cm del nivel de suelo; y el tercero en el centro, a 30 cm del extremo izquierdo de la pila y a 25 cm del nivel del suelo (Lostanau & Casanova, 2013). Para ello, se empleó un equipo multiparámetro.

Para la medición de la humedad se llevó un control interdiario, para ello se empleó el mismo equipo multiparámetro y además para mayor eficiencia se aplicó lo estipulado por la OPS & OMS (2012) que consiste en lo siguiente:

- 1) Tome con la mano una muestra de material.
- 2) Cierre la mano y apriete fuertemente el mismo.
- 3) Si con esta operación verifica que sale un hilo de agua continuo del material, entonces podemos establecer que el material contiene más de un 40 %.
- 4) Si no se produce un hilo continuo de agua y el material gotea intermitentemente, podemos establecer que su contenido es cercano al 40 %.

5) Sin el material no gotea y cuando abrimos el puño de la mano permanece moldeado, estimamos que se presenta entre un 20 a 30 %.

6) Finalmente, si abrimos el puño y el material se disgrega, asumimos que el material contiene una humedad inferior a 20 %.

Para la medición del pH se llevó un control interdiario, para ello se empleó el mismo equipo multiparámetro.

4.4.2 Instrumentos de recolección

Los instrumentos que se utilizaron para la recolección de datos fueron:

- Cadena de custodia para la toma de muestra
- Ficha de control de todo el proceso de compostaje

4.5 Procesamiento experimental

4.5.1 Análisis de las características iniciales de los lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales

El lodo residual fue obtenido de las zonas de disposición de los lodos secos de las dos PTAR tanto de Copare como de Magollo, el cual se tomó de manera aleatoria.

Para los análisis físico-químicos se tomó 1 kg de muestra y se reservó en una funda ziploc. Para los análisis microbiológicos se tomó 1 kg de muestra en una funda ziploc, y se almacenó en un cooler con refrigerantes (gel pack) para lograr su conservación hasta su llegada a los laboratorios. Inmediatamente tomada la muestra, se identificó cada una de las muestras con información puntual como el lugar de muestreo, el proceso del cual se obtiene la muestra, el personal responsable del muestreo y la hora del muestreo. Para el manejo del lodo se tuvo en cuenta el enfoque de seguridad por ello se utilizó equipo de protección personal como guantes y mascarillas en el momento de la toma de muestra.

El método de determinación y el laboratorio utilizado para el análisis de cada parámetro se describe en la Tabla 5.

Tabla 5

Método de determinación de parámetros

Parámetro	Método de determinación	Laboratorio
Materia orgánica	NOM- 021 RECNAT-2000 / AS 07 Contenido de materia orgánica	SLAB Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C
Nitrógeno total	Análisis elemental	SLAB Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C
Fósforo total	UV -VIS	SLAB Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C
Metales totales	EPA METHOD 3060b, Rev. 2, 1996 / EPA METHOD 200.7, Rev. 4.4, 1994. Acid digestion of sediments, sludges, and solids Determination of metals and trace elements in water and wastes by Inductively coupled plasma – Atomic Emission Spectrometry.	SLAB Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C
Coliformes totales	Numeración de Coliformes Totales (NMP): SMEWWAPHA-AWWA-WEF Part-9221 B, 24th Ed. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique of sediments, sludges y soils. SMEWW Part 9221 B, 23rd Ed	LAS Laboratorios Analíticos del Sur
Salmonella	Salmonella sp. EPA 1682 (Excepto ítem 9 y 14) EPA-821-R-06-14. July 2016. Method 1682: Salmonella in Sewage Sludge (Biosolids) by Modified Semisolid Rappaport-Vassiliadis (MSRV) Medium. Sample Preparation. Modified Semisolid Rappaport-Vassiliadis (MSRV). Medium Procedure	SLAB Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C LAS Laboratorios Analíticos del Sur
Huevos de helmintos	Huevos y larvas de Helmintos en sedimentos. Metodo desarrollado Doc. 880 (Validado) 2023. Metodo de ensayo para el recuento de Huevos y larvas de helmintos aguas y sedimentos	LAS Laboratorios Analíticos del Sur
Quistes de parásitos	Quistes y ooquistes de protozoarios patógenos. Método desarrollado Doc 883. (Validado) 2023. Método de ensayo para el recuento de Quistes y ooquistes de protozoarios patógenos en sedimentos, lodos y suelos.	LAS Laboratorios Analíticos del Sur
Coliformes termotolerantes	SMEWW Part 9221 F.2, 23rd Ed	SLAB Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C
Medicamentos	R- Bhiopharm AG – Premi Test R3925 screening test for the detection of antibiotic residues in food and feed	SLAB Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C
Humedad	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SERMARNAR-2000 ítem 7.1.5 AS-05 – Método Gravimétrico (31 de diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	SAG Servicios Analíticos Generales S.A.C.

Finalmente se compararon los resultados encontrados con las normativas detalladas en los Anexos: Decreto Supremo 015 – 2017 – VIVIENDA y la Norma Oficial Mexicana NOM – 004 – SERMARNAT - 2002

4.5.2 Evaluación del comportamiento de parámetros fisicoquímicos en el proceso de compostaje de lodos procedentes de dos plantas de tratamiento de aguas residuales

4.5.2.1 Recolección de sustratos

Primero se recolectó los lodos secos de las zonas de disposición de cada una de las PTAR. De acuerdo a Machado (2019) se dispusieron al aire libre y se le adicionó cal viva aplicándose una dosis de 10 kg de cal en 50 kg de lodos. Asimismo, se recolectaron los demás sustratos detallados anteriormente llenándolos en costales o sacos, utilizando guantes y tijeras de poda si fuera necesario.

Para la preparación de los microorganismos eficientes (EM) se siguió el proceso realizado por Castillo (2020) el cual consistió en una mezcla de: 1 L de melaza de caña, 18 L de agua y 1 L de EM - Compost, luego toda la mezcla se vertió en un bidón de plástico de 20 L con cierre hermético previamente desinfectado (tapa roscada), después la mezcla se

dejó reposar hasta que fermente por 7 días bajo sombra y finalmente transcurrido el tiempo se obtiene el EM – Compost activado.

4.5.2.2 Composición y distribución de los materiales en las unidades de compostaje

Cada unidad de compostaje estuvo conformada por aproximadamente una cantidad de 85 kg de material a compostar y solo el tratamiento control se utilizó aproximadamente 60 kg como se muestran en la Tabla 6; ello debido a la disponibilidad limitada y espacio insuficiente. Las proporciones se eligieron de tal forma que compensen la cantidad de C:N presente en la mezcla de los materiales.

Tabla 6

Cantidad de material a utilizar por tratamiento

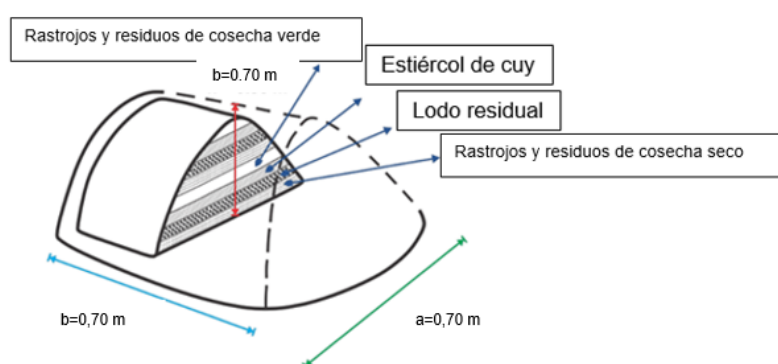
Tratamiento	Lodo (kg)	Residuos de jardín recién podados (kg)	Estiércol de cuy(kg)	Restos de cosecha seca (kg)	Microorganismos eficientes (L)
Tratamiento 1	20	15	35	15	5
Tratamiento 2	20	15	35	15	5
Unidad control sin ME	15	10	30	10	0

Para conformar las unidades de compostaje, primero se colocó una base con ramas secas. Luego se conformó una capa de rastrojos, paja o algún sustrato que permita la aireación de aproximadamente 20 cm. De acuerdo a lo mencionado por García & Felix (2014) después se conformó una capa con lodos residuales, seguidamente una capa de estiércol, posteriormente una capa de rastrojos y al último residuos de cosecha verde. A medida que se colocó cada capa, se regó para humedecerla y al término de la pila se le dio un riego final. Para la dosis de microorganismos eficientes activados, como indica Loyaga & Rosas (2017) se usó 0,5 a 1 L de EM – Compost por m³ de material a compostar.

Finalmente como lo menciona Lostaunau & Casanova (2013) y Ocampo et al. (2002) se optó por cubrir las pilas con una lona de plástico para protegerlas del viento y de la lluvia, y para mantener la humedad y temperatura adecuada para un crecimiento microbiano óptimo. Se muestra la distribución en la Figura 2.

Figura 2

Distribución de los materiales por capas



Nota. a = largo, b = ancho y h = altura. Adaptado de Chuquimamani (2018)

4.5.2.3 Control del proceso de compostaje

Para la frecuencia de volteos, de acuerdo a Cordova (2016) se llevó a cabo una vez por semana y en forma paralela se procedió con la inoculación preparada con microorganismos eficientes. Por otro lado, según Lostaunau & Casanova (2013) se tuvo en cuenta el volteo cuando la temperatura interna fue igual o mayor de $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ por más de 48 horas, para evitar la muerte de microorganismos favorables, o asimismo cuando la temperatura no superaba la etapa meso térmica.

Se controló los parámetros temperatura, pH y humedad de forma interdiaria con el equipo multímetro digital. Para ello, como lo menciona Loyaga & Rosas (2017) se hizo un pequeño hoyo de 10 cm y se sumergió

el instrumento directamente en los tres puntos elegidos en las pilas de compost.

En cuanto al riego, se realizó cada dos o tres días tomando en cuenta el control de la humedad y temperatura de la unidad de compostaje. Al término de la etapa final del compostaje haciendo uso de un tamizador casero se realizó el proceso de tamizaje; para ello, no se regó las pilas un mes antes, logrando que su secado sea más rápido y sea más factible.

4.5.3 Análisis de las características del compost obtenido a partir de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales

Se tomó una muestra por cada unidad de compostaje al término del proceso. De acuerdo a lo mencionado por Cordova (2016) se dividió cada pila en seis secciones de aproximadamente igual volumen, en cada sección se perforó en profundidades de 20, 40 y 60 cm, para obtener una sola muestra compuesta de la pila.

Para los análisis físico - químicos se tomó 1 kg de muestra y se reservó en una funda ziploc. Para los análisis microbiológicos se tomó 1 kg de muestra en una funda ziploc, y se almacenó en un cooler con refrigerantes (gel pack) para lograr su conservación hasta su llegada a los laboratorios. Tomada la muestra, se procedió a identificar cada una de las

muestras como las coordenadas de ubicación, la fecha y hora de muestreo, y los parámetros a analizar.

El método de determinación y laboratorio para el análisis para cada parámetro se describió en la Tabla 5.

4.6 Materiales y equipos

4.6.1 Materiales

a) Materiales de muestreo

- Funda ziploc
- Cooler y gel pack
- Agua destilada
- Pala pequeña
- Plumón
- Cuaderno y lapicero
- Mascarilla
- Guantes
- Gafas de protección

b) Materiales para la obtención de sustratos

- Pala
- Sacos

- Guantes
- Mascarilla
- c) Sustratos para la elaboración de compost
 - Estiércol de cuy
 - Restos de cosechas seca y residuos de poda
 - Ramas secas
 - Lodos residuales de PTAR
- d) Materiales para la activación de microorganismos eficientes
 - Melaza de caña
 - Agua
 - Microorganismos eficientes
 - Recipiente de 20 L
- e) Materiales para la construcción de pilas
 - Lampas
 - Mangueras
 - Tamiz

4.6.2 Equipos

- Multiparámetro de suelo: multímetro digital

4.7 Análisis estadístico

Para el objetivo 1 se evaluó el porcentaje de humedad inicial en ambos lodos (PTAR Magollo y PTAR Copare) con un total de 3 réplicas. Para determinar si los datos siguen una distribución normal se realizó la prueba de Shapiro Wilk y para verificar el supuesto de homogeneidad de la varianza se realizó la prueba de Levene. Al cumplirse los supuestos de normalidad y homogeneidad se realizó la prueba T de Student para muestras independientes con un nivel de significancia de 0,05. Si se obtiene un valor $p < 0,05$ se aprueba la hipótesis alternativa y habría diferencia significativa en la concentración de humedad inicial entre ambos lodos; sino por el contrario, se acepta la hipótesis nula.

Para el objetivo 2 se analizaron los datos de temperatura en todo el proceso de compostaje de los dos tratamientos (T1 y T2). Para determinar si los datos siguen una distribución normal se realizó la prueba de Shapiro Wilk. Al no cumplirse los supuestos de normalidad se realizó la prueba de U no paramétrica de Mann - Whitney donde al obtener un valor $p < 0,05$ se acepta la hipótesis alternativa y habría diferencia significativa sobre las tendencias de temperatura entre ambos tratamientos; sino por el contrario, se acepta la hipótesis nula.

Para el objetivo 3 se analizaron los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del compost obtenido de los dos tratamientos (T1 y T2). Para determinar si existen diferencias significativas en las características del compost obtenido en ambos tratamientos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) unidireccional con un nivel de significancia (α) del 0,05 %. Si se obtiene un valor $p < 0,05$ se acepta la hipótesis alternativa y habría diferencia significativa entre ambos tratamientos; sino por el contrario, se acepta la hipótesis nula. Además, se realizó la prueba post - hoc de Tukey si se encontraban diferencias significativas.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Resultados

5.1.1 Caracterización inicial de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales de Magollo y Copare

En la Tabla 7 se muestran los resultados de la caracterización fisicoquímica de ambos lodos residuales. Ambos lodos residuales presentan porcentajes altos de materia orgánica superando el 30 %. Además, presentan concentraciones altas de metales pesados (arsénico, plomo, cobre y zinc). En cuanto a la concentración de productos farmacéuticos en los lodos residuales, ninguno de los lodos residuales presentó contenido de productos farmacéuticos dentro del límite de cuantificación (2,00 ug/kg).

Se realizó la comparación con la normativa nacional D.S. N° 015 – 2017 - VIVIENDA, donde se observó que el lodo residual de la PTAR Magollo se encuentra dentro de los estándares para los parámetros cobre, plomo y zinc; aunque se resalta la alta concentración de este último. En el caso del arsénico, se encuentra fuera de dichos estándares. En cuanto al lodo residual de la PTAR Copare se encuentra dentro de los estándares

para los parámetros cobre, plomo y zinc, aunque se resalta la alta concentración de estos dos últimos; y en el caso del arsénico se encuentra fuera de los estándares. Por lo tanto, ninguno de los lodos evaluados cumplió con las características para ser considerado biosólido de acuerdo a los parámetros evaluados.

Por otro lado, se realizó la comparación con la normativa internacional NOM – 004 – SERMARNAT - 2002, se observó que en cuanto a la categoría “Excelentes” el lodo residual de la PTAR Magollo se encuentra dentro de los estándares para los parámetros cobre, plomo y zinc; sin embargo, para el arsénico se encuentra fuera de dichos estándares. Por otro lado, si cumple con los estándares de la categoría “Buenos”. En cuanto al lodo residual de la PTAR Copare se encuentra dentro de los estándares para los parámetros zinc y cobre en la categoría “Excelentes”; sin embargo, para arsénico y plomo se encuentra fuera de los estándares. Asimismo, al compararlos con la categoría “Buenos”, solo el arsénico se encuentra fuera de los estándares. Por lo tanto, solo el lodo de la PTAR Magollo cumplió con las características para ser considerado biosólido en la categoría “Buenos” de acuerdo a los parámetros evaluados.

Tabla 7*Caracterización fisicoquímica de los lodos residuales de ambas**PTAR*

Parámetro	Unidad	Lodo a	Lodo b	Normativa 1	Normativa 2 (Tipo excelente)	Normativa 2 (Tipo Bueno)
Arsénico	mg/kg ST	51,90	100,89	40	41	75
Cobre	mg/kg ST	184,78	622,37	1 500	1 500	4 300
Plomo	mg/kg ST	137,26	338,97	400	300	884
Zinc	mg/kg ST	1 157,08	1 400,56	2 400	2 800	7 500
Materia orgánica	%	35,21	45,47	-	-	-
Nitrógeno total	%	1,76	2,27	-	-	-
Fósforo total	mg/kg	129,12	551,53	-	-	-
Ofloxacín	ug/kg	< 2,00	< 2,00	-	-	-
Sulfamethoxazole	ug/kg	< 2,00	< 2,00	-	-	-

Nota. a: Lodo residual PTAR Magollo, b: Lodo residual PTAR Copare, Normativa 1: DS N°015-2017 VIVIENDA, Normativa 2: NOM 004 – SERMARNAT - 2002

En la Tabla 8 se muestra los resultados de la caracterización microbiológica de los lodos residuales de ambas PTAR, donde al compararlos con la normativa nacional e internacional, se observó que todos los parámetros evaluados están cumpliendo con los estándares para ser considerado biosólido.

Tabla 8

Caracterización microbiológica de los lodos residuales de ambas

PTAR

Parámetros	Unidad	Lodo a	Lodo b	Normativa 1	Normativa 2		
					Clase A	Clase B	Clase C
Coliformes totales	NMP/1 g ST	5,15	< 1	-	-	-	-
<i>Salmonella</i> spp	NMP/10 g ST	< 1	< 1	< 1	< 3	<3	< 300
Huevos de helmintos	Huevos/ 4 g de ST	0	0	<1	<1	<10	< 35
Quistes de parásitos	Quistes/ 4 g de ST	0	0	-	-	-	-

Nota. a: Lodo residual PTAR Magollo, b: Lodo residual PTAR Copare, Normativa 1: DS N°015-2017 VIVIENDA, Normativa 2: NOM 004 – SERMARNAT - 2002

En la Tabla 9 se presentan los resultados obtenidos en cuanto al porcentaje de humedad en los lodos residuales de ambas PTAR con 3 réplicas para cada uno.

Tabla 9

Porcentaje de humedad inicial (%) de los lodos residuales de ambas PTAR

Muestra	Lodo a	Lodo b
Réplica 1	41,35	22,69
Réplica 2	34,53	15,41
Réplica 3	42,88	14,42

Nota. a: Lodo residual PTAR Magollo, b: Lodo residual PTAR Copare

En la Tabla 10 se presenta la prueba de normalidad de los datos iniciales para cada tipo de lodo. De acuerdo a la prueba de Shapiro - Wilk, siendo los valores (Sig.) de ambos lodos para el porcentaje de humedad mayores a la significancia (0,05) se concluye que siguen una distribución normal. Por ello, se desarrolla la prueba paramétrica T de student para muestras independientes.

Tabla 10

Prueba de normalidad del porcentaje de humedad inicial

Shapiro – Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.
Lodo a	0,838	3	0,21
Lodo b	0,882	3	0,33

Nota. a: Lodo residual PTAR Magollo, b: Lodo residual PTAR Copare

En la Tabla 11 se presentan los resultados obtenidos con la prueba T de student. La prueba de Levene arroja $p > 0,05$ lo que indica que se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas. En la prueba T para muestras independientes ($t = 0,06$, $p = 0,004$) se obtiene un valor “p” menor que el nivel de significancia (0,05); por tanto, se acepta la hipótesis alternativa que indica que existe diferencia entre los dos lodos en el parámetro humedad. En cuanto a la corrección de Hedges muestra un valor de 3,932 con un intervalo del 95 % de confianza de 1,007 a 6,816; lo que indica que la diferencia en la humedad es significativa.

Tabla 11

Prueba estadística T de student del porcentaje de humedad inicial

Prueba de Levene		Prueba T		Corrección de Hedges ^a			
F	Sig.	t	p	Diferencia de medias	Estimación de puntos	95 % de intervalos de confianza	
						Inferior	Superior
0,004	0,952	6,035	0,004	22,08	3,932	1,007	6,816

Nota: ^a La corrección de Hedges utiliza la desviación estándar combinada, más un factor de corrección

5.1.2 Evaluación del comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en el proceso de compostaje de los lodos procedentes de dos plantas de tratamiento de aguas residuales

En el caso del tratamiento 1 (T1) se evaluó en 90 días, durante los meses de abril y junio de 2024. En el caso del tratamiento 2 (T2) y 3 (T3), se realizaron dos procesos, uno de 90 días y otro de 30 días, durante los meses de abril y julio de 2024. El proceso de compostaje de los lodos de las PTAR Magollo (T1) al cabo de 90 días se llegó a descomponer en su totalidad. En el caso del lodo de la PTAR Copare con (T2) y sin microorganismos eficientes (T3) al cabo de los 90 días se agregaron más sustratos ya que los lodos no presentaban una adecuada descomposición. Los lodos de la PTAR Copare estuvieron dispuestos por más de 10 años, dejando como resultado en estado de extrema aridez, siendo la posible principal causa de su demora en la descomposición.

Considerando los datos de la Estación Jorge Basadre por su cercanía a la zona de estudio, reporta una temperatura ambiental promedio de 17,04 °C; y una máxima y mínima de 24,7 y 10,55 °C respectivamente. En cuanto a la humedad relativa estuvo en rangos de 70 a 80 %. Y en cuanto a la precipitación fue casi nula, dándose en ciertos días valores máximos de 0,6 mm/día.

En el anexo N° 8 se muestra la data meteorológica de la estación MET Jorge Basadre de los meses de abril, mayo, junio y julio.

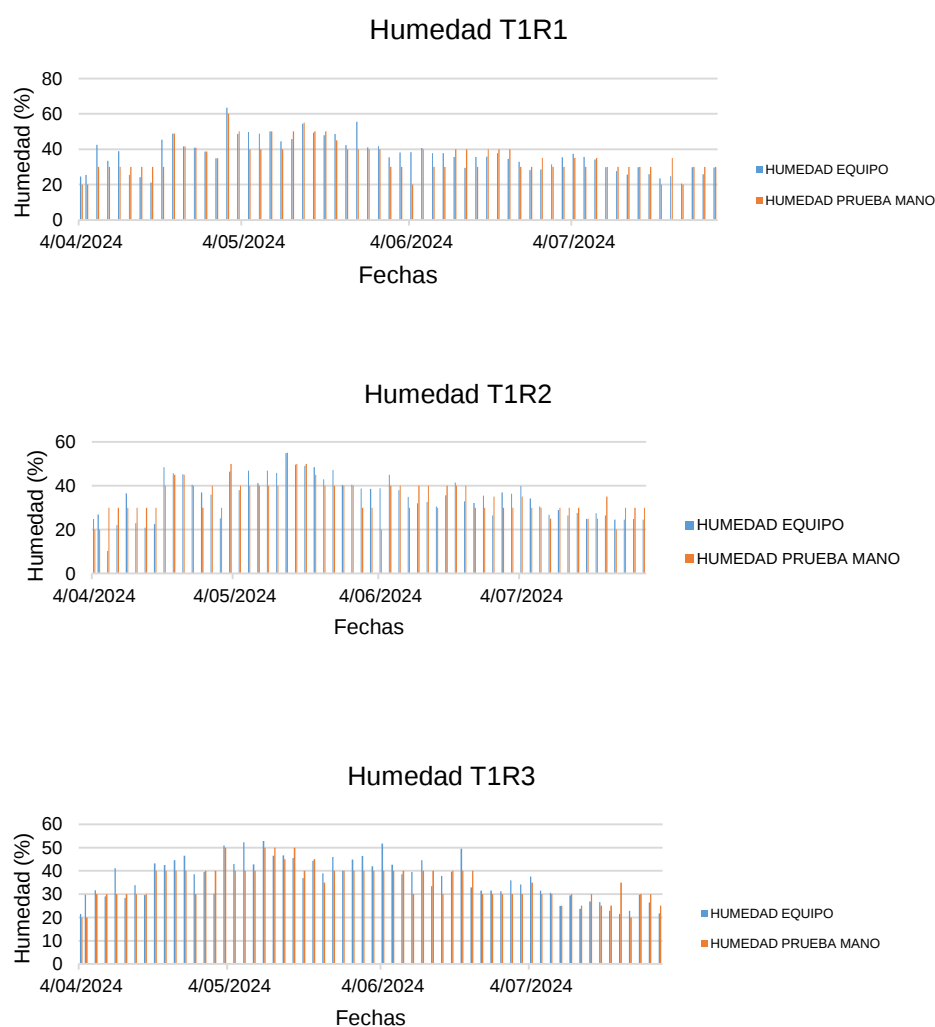
5.1.2.1 Comportamiento de la humedad en las pilas

Se tomaron dos mediciones H1 (humedad tomada por equipo sensor), H2 (Humedad aproximada tomada a prueba de mano). En el Anexo N° 9 se muestran los datos completos tomados en campo.

En la Figura 3 se muestran gráficas donde se aprecia el comportamiento de la humedad en el tratamiento 1. En la primera semana se mantuvo baja con un valor de 25 a 35 %. En la segunda a cuarta semana aumentó de 35 a 45 %. En el segundo mes tuvo un valor mínimo de 40 % llegando a valores pico de 56 %. En el tercer mes se apreció una disminución de 40 a 30 %. Finalmente, en la etapa de maduración disminuyó llegando a valores promedio de 25 %.

Figura 3

Comportamiento de la humedad en el tratamiento 1

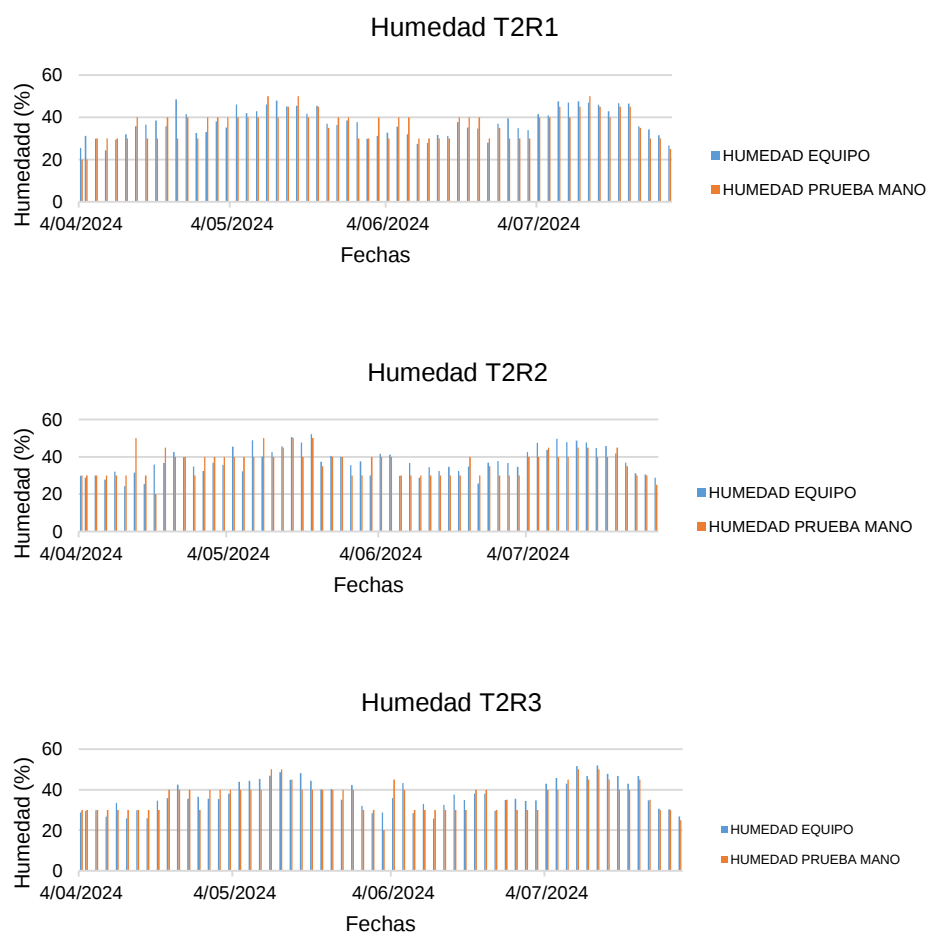


En la Figura 4 se aprecian gráficas donde se visualiza el comportamiento de la humedad en el tratamiento 2. En las 2 primeras semanas se mantuvo baja con un valor de 20 a 30 %. A partir de la semana

3 se apreció un aumento hasta el 50 %. A partir de la semana 8 la humedad se mantuvo en valores de 30 - 40 %. En el segundo proceso del día 90 al día 120, se aumentó sustratos y con ello los riegos, por ello la humedad aumentó de nuevo hasta 50 % en la semana 12. Finalmente, en las últimas semanas disminuyó de 30 a 25 %.

Figura 4

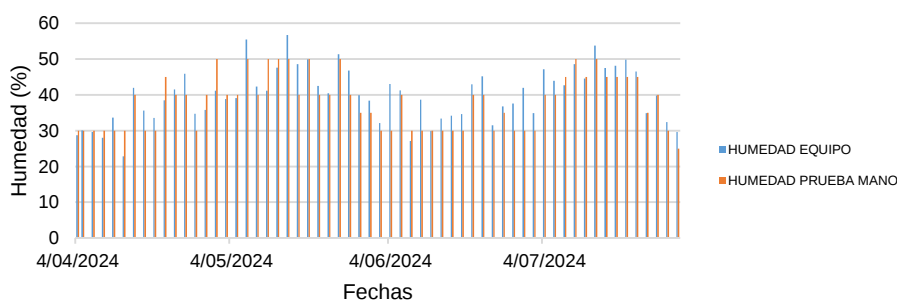
Comportamiento de la humedad en el tratamiento 2



En la Figura 5 se aprecia el comportamiento de la humedad en el tratamiento 3. En la primera semana se mantuvo baja con un porcentaje de 30 %. De la semana 2 a la 6 incrementó hasta 40 % debido a la adición de riegos. De la semana 7 a la 12 se mantuvo en 40 % pero con picos de 50 a 55 %. En el segundo proceso del día 90 al día 120, se aumentó sustratos y con ello los riegos, lo que generó un aumento de la humedad de 40 a 50 % en dicha primera semana, para luego disminuir en la etapa de maduración llegando a 30 %.

Figura 5

Comportamiento de la humedad en el tratamiento 3



Se observó que la tendencia de la variación de la humedad es similar en los tres tratamientos, por lo que se asumió que el parámetro humedad no es significativo.

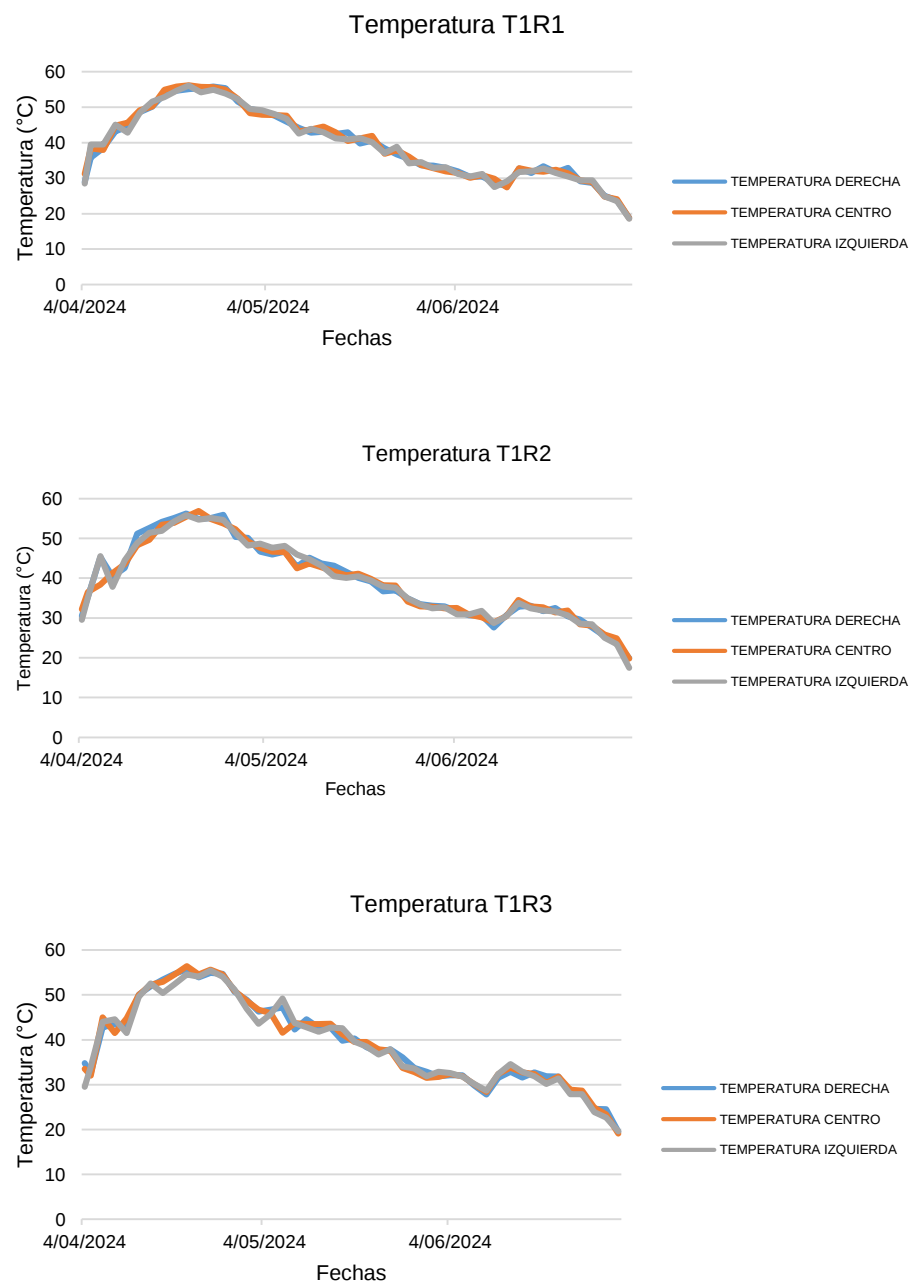
5.1.2.2 Comportamiento de la temperatura en las pilas

La temperatura se midió en diferentes posiciones A (lado derecho), B (lado izquierdo) y C (centro). En el Anexo 9 se muestra los datos completos tomados en campo.

En la Figura 6 se aprecian gráficas donde se muestran la variación de la temperatura interna de la pila durante todo el proceso de compostaje del tratamiento 1. En las pilas del T1 inició el proceso con la fase mesófila en los primeros 4 - 6 días con un valor de temperatura entre 29 y 45 °C. Del día 7 al 21, empezó a subir llegando a una temperatura máxima de 56,2 °C en la repetición 1 (R1); 56,9 °C en la repetición (R2) y 56,4 °C en la repetición 3 (R3) por lo que el proceso se encontraba en la etapa termófila. Del día 21 al 50, la temperatura empezó a disminuir hasta los 40 °C, encontrándose en la etapa mesófila 2. Del día 50 hasta el final del proceso, la temperatura disminuyó de 38 °C hasta una temperatura ambiente de 18 a 20 °C, encontrándose en su etapa final de maduración.

Figura 6

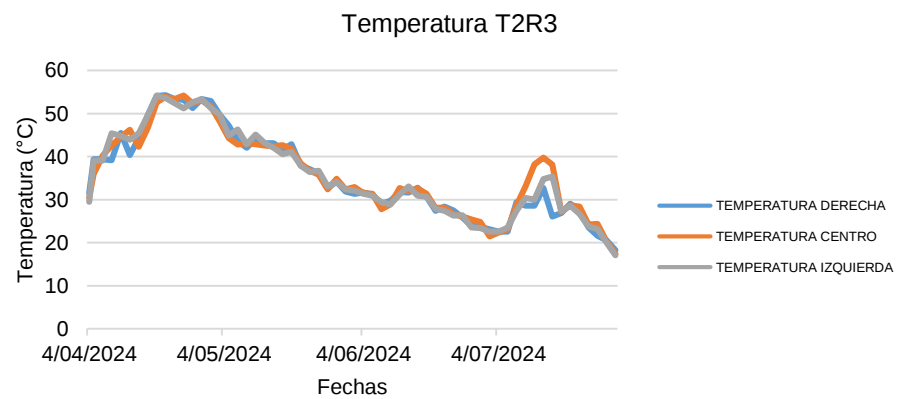
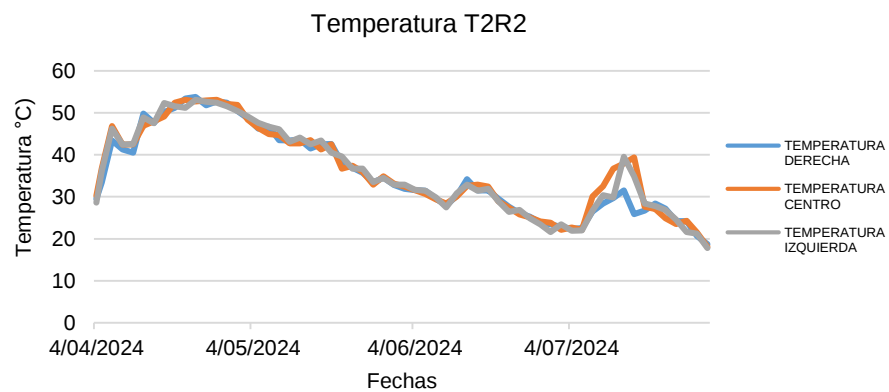
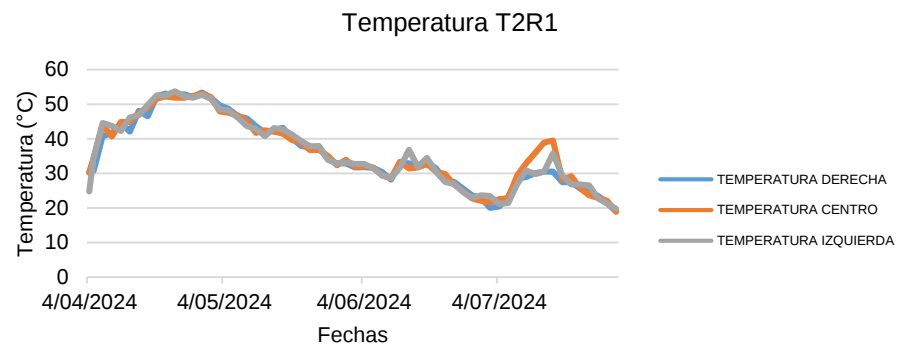
Comportamiento de la temperatura en el tratamiento 1



En la Figura 7 se visualizan gráficas donde se muestran la variación de la temperatura interna de la pila durante todo el proceso de compostaje del tratamiento 2 (T2). La pila T2 inició el proceso con la fase mesófila en los primeros 8 días con una temperatura entre 30 y 45 °C. Del día 9 al 18, empezó a subir llegando a temperaturas máximas de 53,8 °C en la R1 y R2; 54,3 °C en la R3, por lo que el proceso se encontraba en la etapa termófila. Del día 19 al 46, la temperatura empezó a disminuir hasta alcanzar los 40 °C, encontrándose en la etapa mesófila 2. Del día 47 hasta el final del proceso, la temperatura siguió disminuyendo de 38 °C hasta una temperatura ambiente de 18 a 20 °C, encontrándose en su etapa final de maduración. Sin embargo, para mejorar su estructura se optó por agregar más sustratos a las unidades, logrando que aumente su temperatura de 10 a 14 días a 20 °C con temperaturas máximas de 39,5 °C en la R1 y en la R2; y 39,8 °C en la R3.

Figura 7

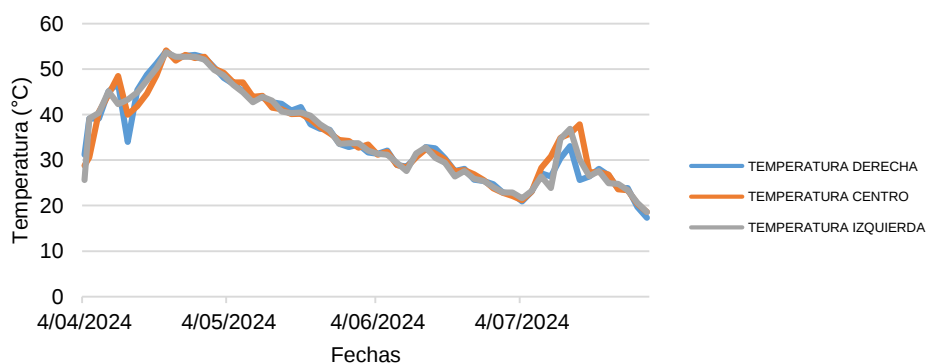
Comportamiento de la temperatura en el tratamiento 2



En la Figura 8 se muestra la variación de la temperatura interna de la pila durante todo el proceso de compostaje del tratamiento 3. La pila T3 inició el proceso con la fase mesófila en los primeros 12 días con temperaturas entre 30 y 45 °C. Del día 13 al 18, la temperatura empezó a subir llegando a 54,1 °C, por lo que el proceso se encontraba en la etapa termófila. Del día 19 al 44, la temperatura empezó a disminuir hasta llegar a 40 °C, encontrándose en la etapa mesófila 2. Del día 45 hasta el final del proceso, la temperatura siguió disminuyendo de 38 °C hasta una temperatura ambiente de 18 °C, encontrándose en su etapa final de maduración. Sin embargo, para mejorar su estructura se optó por agregar más sustratos a las unidades de compostaje, aumentando su temperatura a los 12 días de 20 a 37,9 °C.

Figura 8

Comportamiento de la temperatura en el tratamiento 3



Se observan las tendencias de la temperatura, observando que en los primeros 3 meses los tres tratamientos presentan condiciones similares. Sin embargo, el T2 y el T3 demoraron más tiempo en ingresar a la etapa termófila y al final de dichos meses no se obtuvo un buen resultado, por ello se tuvo que adicionar más sustratos para facilitar la descomposición.

En la Tabla 12 se presenta la prueba de normalidad de los datos de temperatura tomados durante todo el proceso de compostaje para el T1 y el T2, utilizándose los promedios de las 3 repeticiones. La prueba de Shapiro - Wilk, demuestra que los valores (Sig.) de ambos lodos para el parámetro temperatura son menores a la significancia (0,05) por ello se concluye que no siguen una distribución normal.

Tabla 12

Prueba de normalidad del parámetro temperatura

	Shapiro – Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Lodo a Temp Prom	0,929	60	0,002
Lodo b Temp Prom	0,946	60	0,010

Nota. a: Lodo residual PTAR Magollo, b: Lodo residual PTAR Copare

Entonces, se desarrolló la prueba no paramétrica U de Mann - Whitney, la cual resultó igual a 1 670, con un valor “p” de 0,495; al ser menor

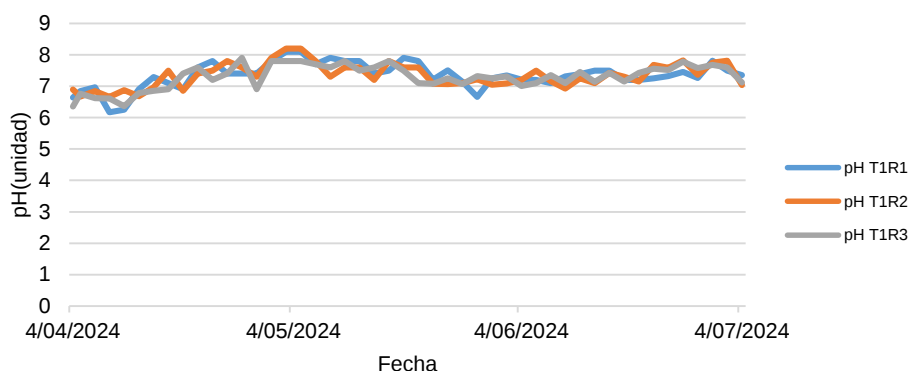
a 0,05; nos indica que no hay diferencia significativa entre las tendencias de temperatura de los dos tratamientos, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula.

5.1.2.3 Comportamiento del pH en las pilas

En el Anexo 9 se muestra los datos completos tomados en campo para cada tratamiento. En la Figura 9 se aprecia el comportamiento del pH en el tratamiento 1, donde se observa que en la primera semana fue descendiendo hasta 6,2; a partir de la segunda semana empezó a subir hasta llegar a 8 y finalmente después de la quinta semana fue disminuyendo hasta llegar a un pH neutro.

Figura 9

Comportamiento del pH en el tratamiento 1

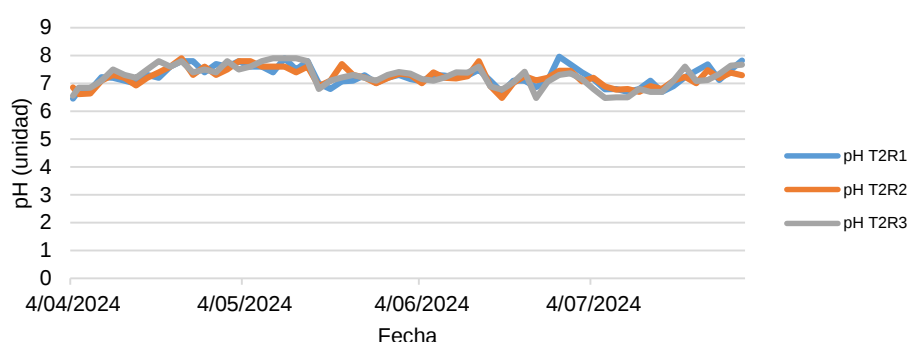


En la Figura 10 se aprecia el comportamiento del pH en el tratamiento 2, en la primera semana el pH fue descendiendo llegando a 6,4;

a partir de la segunda semana empezó a subir hasta 7,9 y finalmente después de la quinta semana fue disminuyendo hasta alcanzar un pH neutro. En el segundo proceso de compostaje, disminuyó hasta un valor de 6,5 en los primeros días y luego volvió a aumentar hasta 7,6.

Figura 10

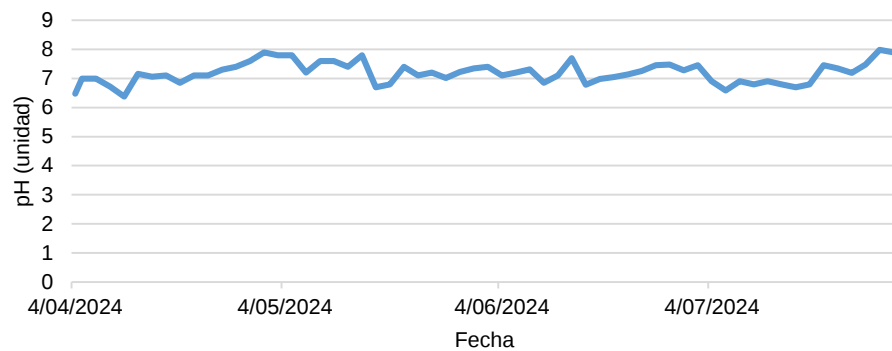
Comportamiento del pH en el tratamiento 2



En la Figura 11 se aprecia el comportamiento del pH en el tratamiento 3, en la primera semana el pH fue descendiendo hasta 6,38; a partir de la segunda semana empezó a subir hasta llegar a 7,9 y finalmente después de la quinta semana fue disminuyendo hasta alcanzar un pH neutro. En el segundo proceso de compostaje, cuando se añadieron los sustratos, se disminuyó hasta 6,5 en los primeros días y luego volvió a aumentar hasta 7,9.

Figura 11

Comportamiento del pH en el tratamiento 3



5.1.3 Caracterización del compost obtenido a partir de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales

En la Figura 12 se muestran fotografías del compost obtenido en los tratamientos, donde se observa que se obtuvo una tierra suelta y húmeda; y de un color marrón oscuro. Sin embargo, con respecto al tamaño de las partículas si hubo una diferencia, en el caso del T1 los lodos se descompusieron totalmente dando una textura fina y ausencia de partículas de lodo; en cambio, en cuanto al T2 y T3 aún se observaron masas duras y compactas de lodo.

Figura 12

Compost obtenido a partir de lodos de PTAR Copare y PTAR

Magollo



Nota. a = Tratamiento 1, b = Tratamiento 2, c = Tratamiento 3 (Unidad control sin ME)

En las Tablas 13 y 14 se presentan los resultados obtenidos de la caracterización del compost final y su respectiva comparación con la normativa nacional e internacional mencionadas en el marco teórico de la presente investigación.

Tabla 13

Resultados de análisis fisicoquímico del compost obtenido a partir de lodos de PTAR Copare y PTAR Magollo

Descripción	Materia orgánica (%)	Nitrógeno total (%)	Fósforo (%)	Arsénico (mg/kg)	Cobre (mg/kg)	Plomo (mg/kg)	Zinc (mg/kg)
T1R1	22,93	0,66	1,09	50,30	174,18	105,4	864,43
T1R2	16,44	0,48	1,09	40,19	154,18	74,82	727,97
T1R3	7,5	0,22	0,83	39,42	118,15	64,04	607,34
T2R1	11,42	0,33	0,81	54,16	230,93	112,34	638,81
T2R2	10,27	0,3	0,79	56,29	231,38	116,65	635,83
T2R3	15,05	0,44	0,78	45,55	201,78	92,66	558,12
T3C	10,71	0,31	0,85	48,47	228,94	102,75	601,91
a				40	1 500	400	2 400
b				41	1 500	300	2 800
c				75	4 300	884	7 500
Nch 2880	≥ a 20	≥ a 0,5					
OMS	25 - 50	0,4 -3,5	0,3 – 3,5				

Nota. a = Decreto Supremo N° 015 - 2017 VIVIENDA, b = NOM – 004 - SERMARNAT 2002 (Tipo excelente), c: NOM – 004 - SERMARNAT 2002 (Tipo bueno)

Tabla 14

Resultados de análisis microbiológico del compost obtenido a partir de lodos de PTAR Copare y PTAR Magollo

Descripción	Coliformes totales (NMP/ 1 g ST)	Coliformes termotolerantes (NMP/ 1 g ST)	<i>Salmonella</i> (NMP/10 g de ST)	Helmintos y parásitos (Huevos /4 g de ST)	Quistes y ooquistes (Quistes/4 g de ST)
T1R1	3 500	< 3	< 1	<1	<1
T1R2			< 1	<1	<1
T1R3			< 1	<1	<1
T2R1	2 400	< 3	< 1	<1	<1
T2R2			3	<1	<1
T2R3			< 1	5	<1
T3C	350	< 3	< 1	<1	<1
a	< 1 000	< 1 000	< 1	< 1	
b	< 1 000	< 1 000	< 1	< 1	
c	< 1 000	< 1 000	< 3	< 10	
d	< 2 000 000	< 2 000 000	< 300	< 35	

Nota. a = Decreto Supremo N° 015 - 2017 VIVIENDA, b = NOM - 004 - SERMARNAT - 2002 (Clase a), c = NOM - 004 - SERMARNAT - 2002 (Clase b), d = NOM - 004 - SERMARNAT- 2002 (Clase c)

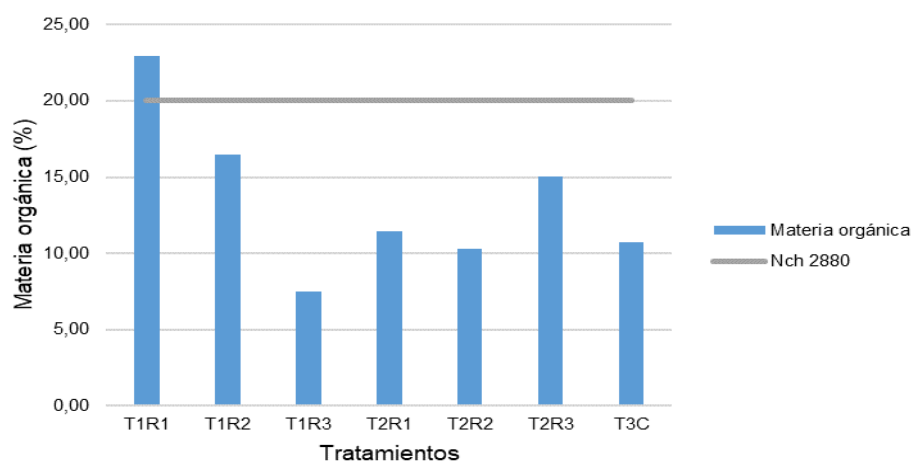
5.1.3.1 Materia orgánica

En la Figura 13 se observa la concentración de materia orgánica obtenida en cada tratamiento, siendo el valor más alto 22,93 % obtenido en el tratamiento T1R1 el cual corresponde al utilizado con lodo de la PTAR Magollo y empleando microorganismos eficientes. Además, al realizar la

comparación con la normativa Nch 2880 solo el T1R1 cumplió con dicho estándar.

Figura 13

Porcentaje de materia orgánica en los diferentes tratamientos



En la Tabla 15 se presenta el análisis de varianza para el porcentaje de materia orgánica obtenido después del proceso de compostaje en los diferentes tratamientos. El análisis de la varianza del parámetro materia orgánica en los dos grupos de estudio presenta un estadístico F de 0,52 a un grado de libertad y con un p - valor de significancia de 0,5121. El coeficiente de variación es de 41,30 %, el cual indica que los datos obtenidos no son homogéneos; ello debido a que probablemente no hubo homogeneidad, específicamente en la toma de la muestra T1R3 ya que muestra un porcentaje bajo.

Tabla 15

Análisis de varianza del porcentaje de materia orgánica

F.V.	SC	gl	CM	F	p - valor
Tratamiento	17,10	1	17,10	0,52	0,5121
Error	132,49	4	33,12		
Total	149,59	5			

$CV = 41,30$ $R^2 = 0,11$

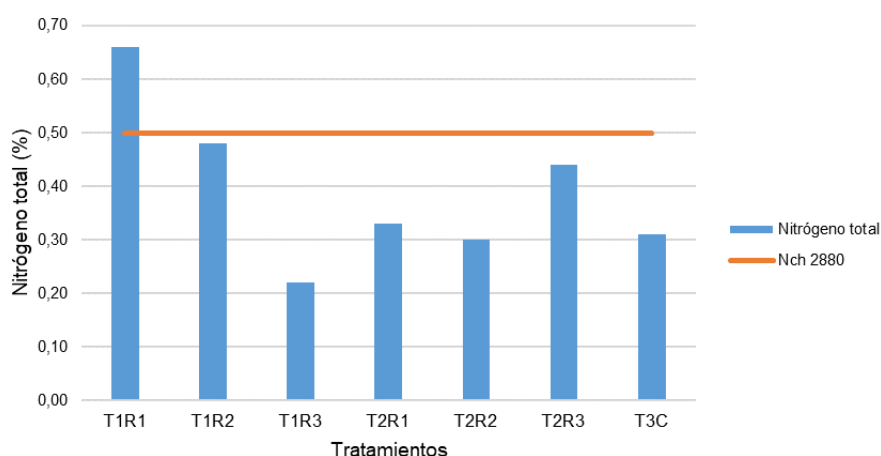
En este caso no se realizaron comparaciones múltiples de Tukey, puesto que el p - valor es mayor al punto crítico de 0,05. Es decir, el utilizar lodos de diferentes PTAR no ha generado cambios significativos en los grupos experimentales, en el porcentaje de materia orgánica.

5.1.3.2 Nitrógeno

En la Figura 14 se observa el porcentaje de nitrógeno obtenido en cada tratamiento, donde se aprecia que el T1R1 presentó el valor más alto de 0,66 %. Además, se comparó con la normativa Nch 2880 donde solo el T1R1 cumplió con dicho estándar.

Figura 14

Porcentaje de nitrógeno en los diferentes tratamientos



En la Tabla 16 se presenta el análisis de varianza para el porcentaje de nitrógeno obtenido después del proceso de compostaje en los diferentes tratamientos. El análisis de la varianza del parámetro nitrógeno en los dos grupos de estudio presentó un estadístico F de 0,52 a un grado de libertad y con un p - valor de significancia de 0,5124. El coeficiente de variación es de 40,71 %, el cual indica que los datos obtenidos no son homogéneos; ello debido a que probablemente no hubo homogeneidad, específicamente en la toma de la muestra T1R3 que muestra un porcentaje bajo.

Tabla 16*Análisis de varianza del porcentaje de nitrógeno*

F.V.	SC	gl	CM	F	p - valor
Tratamiento	0,01	1	0,01	0,52	0,5124
Error	0,11	4	0,03		
Total	0,13	5			

CV = 40,71 $R^2 = 0,11$

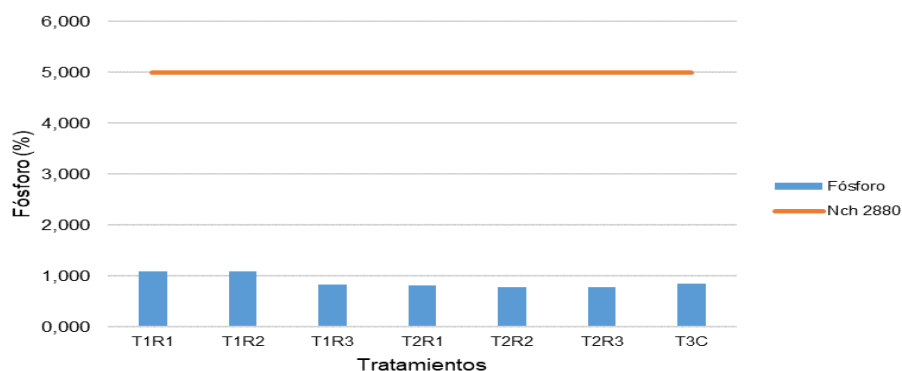
En este caso no se realizaron comparaciones múltiples de Tukey, puesto que el p - valor es mayor al punto crítico de 0,05. Es decir, al utilizar lodos de diferentes PTAR no generó cambios significativos en los grupos experimentales, en el porcentaje de nitrógeno.

5.1.3.3 Fósforo

En la Figura 15 se observa el porcentaje de fósforo obtenido en cada tratamiento, donde se aprecia que los tratamientos T1R1 y T1R2 presentaron el valor más elevado siendo 1,09 % para ambos. Además, se comparó con la normativa Nch 2880 donde todos los tratamientos estuvieron dentro de dicho estándar.

Figura 15

Porcentaje de fósforo en los diferentes tratamientos



En la Tabla 17 se presenta el análisis de varianza para el porcentaje de fósforo obtenido después del proceso de compostaje en los diferentes tratamientos. El análisis de la varianza del parámetro fósforo en los dos grupos de estudio presentó un estadístico F de 5,79 a un grado de libertad y con un p - valor de significancia de 0,0738. El coeficiente de variación es de 11,68 %; el cual indica que los datos obtenidos si son homogéneos.

Tabla 17

Análisis de varianza del porcentaje de fósforo

F.V.	SC	gl	CM	F	p - valor
Tratamiento	0,06	1	0,06	5,79	0,0738
Error	0,04	4	0,01		
Total	0,11	5			

$CV = 11,68$ $R^2 = 0,59$

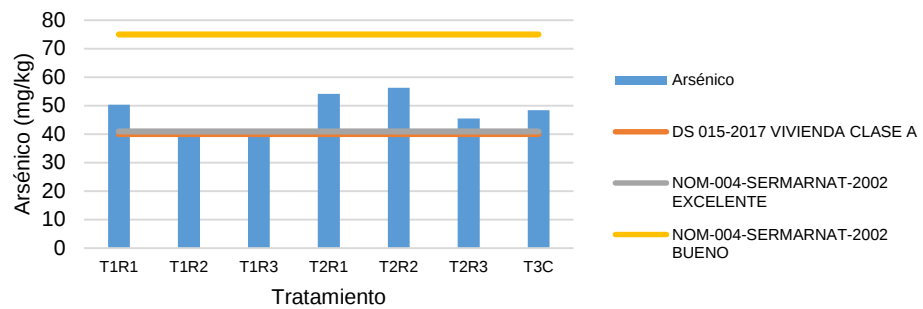
En este caso no se realizaron comparaciones múltiples de Tukey, puesto que el p - valor es mayor al punto crítico de 0,05. Es decir, el utilizar lodos de diferentes PTAR no generó cambios significativos en los grupos experimentales, en el porcentaje de fósforo.

5.1.3.4 Arsénico

En la Figura 16 se observa la concentración de arsénico obtenido en cada tratamiento, donde la menor concentración fue de 39,42 mg/kg obtenida en el tratamiento T1R3 el cual corresponde al utilizado con lodo de la PTAR Magollo y empleando microorganismos eficientes. Realizando la comparación con las normativas descritas en el marco teórico, solo el T1R3 es apto para su aprovechamiento en agricultura como biosólido de clase A y B según el DS N° 015 - 2017 VIVIENDA; y realizando la comparación con la normativa NOM 004 - SERMARNAT – 2002 solo el T1R2 y el T1R3 estuvieron dentro del tipo excelente, en el caso de los demás tratamientos solo cumplieron como biosólido de tipo Bueno.

Figura 16

Concentración de arsénico en los diferentes tratamientos



En la Tabla 18 se presenta el análisis de varianza para la concentración de arsénico después del proceso de compostaje en los diferentes tratamientos. El análisis de la varianza del parámetro arsénico en los dos grupos de estudio presenta un estadístico F de 3,28 a un grado de libertad y con un p - valor de significancia de 0,1444. El coeficiente de variación fue de 12,34 %, el cual indica que los datos obtenidos son homogéneos.

Tabla 18

Análisis de varianza de la concentración de arsénico

F.V.	SC	gl	CM	F	p - valor
Tratamiento	113,45	1	113,45	3,28	0,1444
Error	138,40	4	34,60		
Total	251,85	5			

$CV = 12,34$ $R^2 = 0,45$

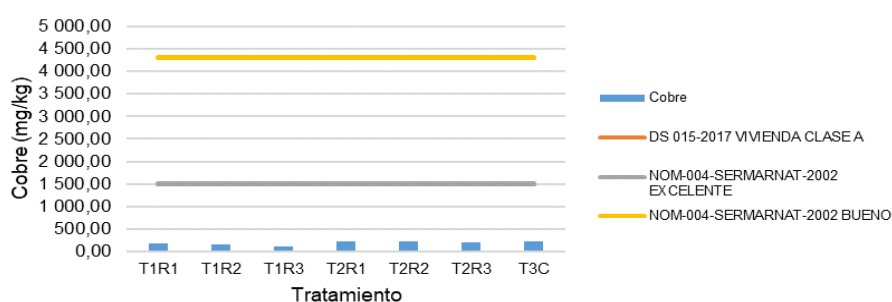
En este caso no se realizaron comparaciones múltiples de Tukey, puesto que el p - valor es mayor al punto crítico de 0,05. Es decir, el utilizar lodos de diferentes PTAR no generó cambios significativos en los grupos experimentales, en la concentración de arsénico.

5.1.3.5 Cobre

En la Figura 17 se observa la concentración de cobre obtenido en cada tratamiento, donde la menor concentración fue de 118,15 mg/kg obtenida en el tratamiento T1R3 el cual corresponde al utilizado con lodo de la PTAR Magollo y empleando microorganismos eficientes. Realizando la comparación con las normativas descritas en el marco teórico, todos los tratamientos se consideran de clase A y B según la normativa DS N° 015 - 2017 VIVIENDA; y de tipo excelente y/o bueno según la normativa NOM 004 – SERMARNAT - 2002.

Figura 17

Concentración de cobre en los diferentes tratamientos



En la Tabla 19 se presenta el análisis de varianza para la concentración de cobre después del proceso de compostaje en los diferentes tratamientos. El análisis de la varianza del parámetro cobre en los dos grupos de estudio presentó un estadístico F de 14,43 a un grado de libertad y con un p - valor de significancia de 0,0191. El coeficiente de variación es de 12,63 %, el cual indica que los datos obtenidos fueron homogéneos.

Tabla 19

Análisis de varianza de la concentración de cobre

F.V.	SC	gl	CM	F	p - valor
Tratamiento	7 890,18	1	7 890,18	14,43	0,0191
Error	2 187,87	4	546,97		
Total	10 078,05	5			

$CV = 12,63 \quad R^2 = 0,78$

En la Tabla 20, se presenta la prueba contraste múltiple de Tukey ($p = 0,05$) para la concentración de cobre, donde se determina que el tratamiento 1 en el que se utilizó lodos de la PTAR Magollo ocupa el primer lugar con un promedio de 148,84 mg/kg. Es decir, el utilizar lodos de

diferentes PTAR si generó cambios significativos en los grupos experimentales, en la concentración de cobre.

Tabla 20

Prueba de contraste múltiple de Tukey ($p= 0,05$)

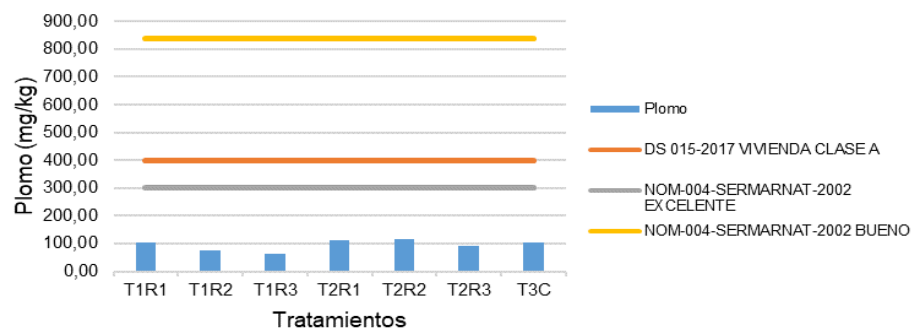
Tratamiento	Media	n	E.E.	Significancia
T1	148,84	3	13,50	A
T2	221,36	3	13,50	B

5.1.3.6 Plomo

En la Figura 18 se observa la concentración de plomo obtenido en cada tratamiento donde la menor concentración fue de 64,04 mg/kg obtenida en el tratamiento T1R3 el cual corresponde al utilizado con el lodo de la PTAR Magollo y empleando microorganismos eficientes. Realizando la comparación con las normativas descritas en el marco teórico, todos los tratamientos obtenidos se consideran de clase A y B según la normativa DS N° 015 - 2017 VIVIENDA; y de tipo excelente y/o bueno según la normativa NOM 004 – SERMARNAT - 2002.

Figura 18

Concentración de plomo en los diferentes tratamientos



En la Tabla 21 se presentó el análisis de varianza para la concentración de plomo después del proceso de compostaje en los diferentes tratamientos. El análisis de la varianza del parámetro plomo en los dos grupos de estudio presentó un estadístico F de 3,20 a un grado de libertad y con un p - valor de significancia de 0,1482. El coeficiente de variación fue de 18,73 %, el cual indica que los datos obtenidos son homogéneos.

Tabla 21

Análisis de varianza de la concentración de plomo

F.V.	SC	gl	CM	F	p - valor
Tratamiento	998,20	1	998,20	3,20	0,1482
Error	1 247,80	4	311,95		
Total	2 246,00	5			

$CV = 18,73$ $R^2 = 0,44$

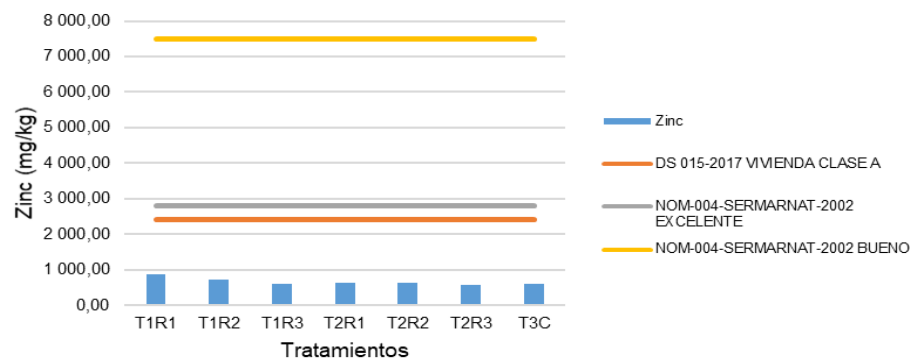
En este caso no se realizaron comparaciones múltiples de Tukey, puesto que el p - valor es mayor al punto crítico de 0,05. Es decir, el utilizar lodos de diferentes PTAR no generó cambios significativos en los grupos experimentales, en la concentración de plomo.

5.1.3.7 Zinc

En la Figura 19 se observa la concentración de zinc obtenido en cada tratamiento, donde la menor concentración fue de 558,12 mg/kg obtenida en el tratamiento T2R3 el cual corresponde al utilizado con el lodo de la PTAR Copare y empleando microorganismos eficientes. Realizando la comparación con las normativas descritas en el marco teórico, todos los tratamientos obtenidos se consideraron de clase A y B según la normativa DS N° 015 - 2017 VIVIENDA; y de tipo excelente y/o bueno según la normativa NOM 004 – SERMARNAT - 2002.

Figura 19

Concentración de zinc en los diferentes tratamientos



En la Tabla 22 se presenta el análisis de varianza para la concentración de zinc después del proceso de compostaje en los diferentes tratamientos. El análisis de la varianza del parámetro zinc en los dos grupos de estudio presentó un estadístico F de 2,41 a un grado de libertad y con un p - valor de significancia de 0,1956. El coeficiente de variación fue de 14,36 %, el cual indicó que los datos obtenidos son homogéneos.

Tabla 22

Análisis de varianza de la concentración de zinc

F.V.	SC	gl	CM	F	p - valor
Tratamiento	22 445,72	1	22 445,72	2,41	0,1956
Error	37 275,60	4	9 318,90		
Total	59 721,32	5			

CV = 14,36 $R^2 = 0,38$

En este caso no se realizó comparaciones múltiples de Tukey, puesto que p - valor es mayor al punto crítico de 0,05. Es decir, el utilizar lodos de diferentes PTAR no generó cambios significativos en los grupos experimentales, en la concentración de zinc.

5.1.3.8 Coliformes totales

Para este parámetro, al obtener datos muy variables y altos en el primer análisis (Anexo 12), se realizó nuevamente el análisis, en este caso solo tomando una repetición por cada tratamiento (Anexo 13).

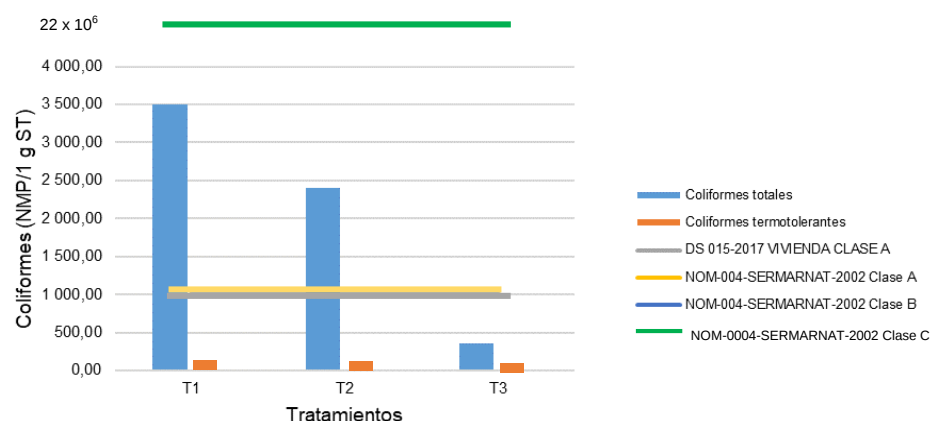
Para realizar la comparación con las normativas descritas en el marco teórico, se complementó con un análisis del parámetro coliformes termotolerantes.

En la Figura 20 se muestran los resultados de ambos parámetros. En cuanto a los coliformes totales no existe una normativa específica con esa terminología, por ello se compara con lo indicado en el parámetro coliformes termotolerantes, donde solo el tratamiento T3 estaría cumpliendo. En cuanto a los coliformes termotolerantes, se observó que en todos los tratamientos se ha obtenido valores < 3 NMP/g que, al comparar con las normativas, todos los tratamientos se consideraron de clase A y B

según la normativa DS N° 015 - 2017 VIVIENDA; y de tipo excelente y/o bueno según la normativa NOM 004 – SERMARNAT - 2002.

Figura 20

Concentración de coliformes totales y termotolerantes en los diferentes tratamientos

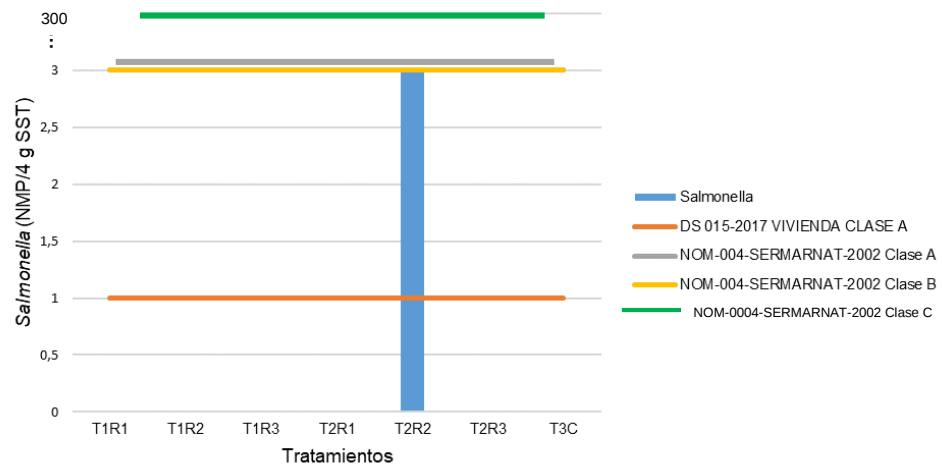


5.1.3.9 *Salmonella*

En la Figura 21 se observa la concentración de *Salmonella* obtenida en cada tratamiento, donde solo hubo un tratamiento en el que se aprecia presencia de *Salmonella*. Realizando la comparación con las normativas descritas en el marco teórico, todos los tratamientos obtenidos se consideran de clase A según la normativa DS N° 015 - 2017 VIVIENDA y la normativa NOM 004 - SERMARNAT - 2002; menos el T2R2 el cual solo cumpliría Clase C según la normativa NOM 004 - SERMARNAT - 2002.

Figura 21

Concentración de Salmonella obtenida en los diferentes tratamientos



En la Tabla 23 se presenta el análisis de varianza para la concentración de *Salmonella* después del proceso de compostaje en los diferentes tratamientos. El análisis de la varianza del parámetro *Salmonella* en los dos grupos de estudio presentó un estadístico F de 1,00 a un grado de libertad y con un p - valor de significancia de 0,3739. El coeficiente de variación fue de 244,95 %, el cual indica que los datos obtenidos no fueron homogéneos, ello debido a que en el tratamiento T2R2 se encontró una cantidad estadísticamente muy variable.

Tabla 23

Análisis de varianza de la concentración de Salmonella

F.V.	SC	gl	CM	F	p - valor
Tratamiento	1,50	1	1,50	1,00	0,3739
Error	6,00	4	1,50		
Total	7,50	5			

$CV = 244,95$ $R^2 = 0,20$

En este caso no se realizaron comparaciones múltiples de Tukey, puesto que p - valor es mayor al punto crítico de 0,05. Es decir, el utilizar lodos de diferentes PTAR no ha generado cambios significativos en los grupos experimentales, en la concentración de Salmonella; salvo el tratamiento T2R2 siendo un caso excepcional.

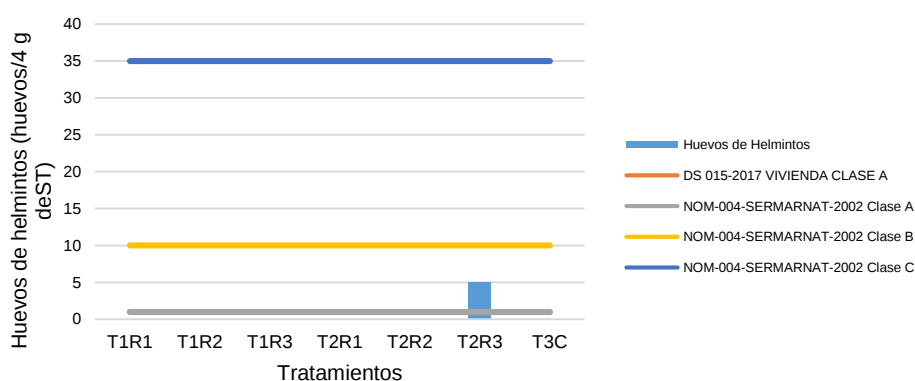
5.1.3.10 Huevos de helmintos

En la Figura 22 se observa la concentración de huevos de helmintos obtenida en cada tratamiento, donde solo hubo un tratamiento en el que se apreció presencia de huevos de helmintos. Realizando la comparación con las normativas descritas en el marco teórico, todos los tratamientos obtenidos se consideraron de clase A según la normativa DS N° 015 - 2017 VIVIENDA y la normativa NOM 004 - SERMARNAT - 2002; menos el

tratamiento T2R3 el cual solo cumplió con el tipo Clase B según la normativa NOM 004 - SERMARNAT - 2002.

Figura 22

Concentración de huevos de helmintos obtenidos en los diferentes tratamientos



En la Tabla 24 se presenta el análisis de varianza para la concentración de huevos de helmintos después del proceso de compostaje en los diferentes tratamientos. El análisis de la varianza del parámetro huevos de helmintos en los dos grupos de estudio presentó un estadístico F de 1,00 a un grado de libertad y con un p - valor de significancia de 0,3739. El coeficiente de variación fue de 244,95 %, el cual indicó que los datos obtenidos no son homogéneos, ello debido a que en el tratamiento T2R3 se encontró una cantidad estadísticamente muy variable.

Tabla 24

Análisis de varianza de la concentración de huevos de helmintos

F.V.	SC	gl	CM	F	p - valor
Tratamiento	4,17	1	4,17	1,00	0,3739
Error	16,67	4	4,17		
Total	20,83	5			

$CV = 244,95$ $R^2 = 0,20$

En este caso no se realizaron comparaciones múltiples de Tukey, puesto que p - valor es mayor al punto crítico de 0,05. Es decir, el utilizar lodos de diferentes PTAR no generó cambios significativos en los grupos experimentales, en la concentración de huevos de helmintos salvo el tratamiento T2R3, siendo un caso excepcional.

5.1.3.11 Quistes de parásitos

En cuanto a la concentración de quistes de parásitos, se observó que ningún tratamiento presenta concentración de dicho parámetro. Por ello, no se realizaron ni análisis de varianza ni comparaciones múltiples de Tukey, puesto que los valores obtenidos son menores a 1, lo cual imposibilita el análisis estadístico.

5.2 Discusión de resultados

5.2.1 Discusión de la caracterización inicial de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales

5.2.1.1 Caracterización fisicoquímica

Materia orgánica

En cuanto a la materia orgánica, presentan un contenido de materia orgánica considerable de 35,21 y 45,47 % en ambos lodos evaluados PTAR Magollo y PTAR Copare respectivamente, siendo un valor parecido al obtenido por Montaguano (2019) quien indica valores de 23,02 y 26,04 % siendo producto de lodos de lavadoras de jeans. En la composición de los lodos residuales se presentan formas de materia orgánica como proteínas, aminoácidos, aminoazúcares, almidones, asociado a polímeros (Ines et al., 2007). De igual manera Valderrama (2013) señala un valor de 29,4 % y Vasquez & Vargas (2018) un valor de 22,4 % para lodos obtenidos de PTAR de un municipio. En industrias específicas, se indican valores altos como Lostaunau & Casanova (2013) con un valor de 51,0 % para lodos procedentes de una industria papelera y Vicencio - de la Rosa et al. (2011) 81,4 % en lodos de un rastro (establecimiento cuya finalidad es sacrificar, faenar e inspeccionar animales de abasto).

Sin embargo, More (2015) quien analizó lodos de la PTAR Magollo y PTAR Copare obtuvo valores bajos de 2,37 y 3,03 % respectivamente; dicha diferencia podría deberse a la ubicación de la toma de muestra del lodo y al tiempo de permanencia en los lechos de secado.

Fósforo

En cuanto a la cantidad de fósforo se presentan valores bajos de 0,013 y 0,055 % en ambos lodos evaluados PTAR Magollo y PTAR Copare respectivamente. Larico (2023) en su investigación en el mismo lodo procedente de la PTAR Copare presentó un valor más alto 0,829 %, sin embargo More (2015) quien analizó dichos lodos de la PTAR Magollo y PTAR Copare años anteriores obtuvo valores más bajos de 0,0048 y 0,0061 % respectivamente. Las diferencias mostradas no son significativas, siendo valores menores de 0,1 %. La presencia de fósforo presente en los lodos proviene de residuos y microorganismos formados en gran parte de los detergentes y jabones vertidos que contienen fosfato (Zabotto et al., 2019; Ines et al., 2007). En los efluentes de dichas PTAR se resaltan concentraciones de detergentes (SAAM) $< 0,025$ mg/L (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2022).

Vicencio - de la Rosa et al. (2011) reporta 0,16 % en su caso siendo lodos de una PTAR de un rastro (establecimiento cuya finalidad es sacrificar, faenar e inspeccionar animales de abasto) y tanto Valderrama (2013) como Marqui & Martinez (2016) reportan valores de 0,00348 y 0,0140 % para lodos residuales de PTAR domésticas. Sin embargo Vasquez & Vargas (2018) reportan valores altos de 8,12 %, siendo también de una PTAR procedentes de un municipio, pero el sistema de tratamiento es de tipo SBR (Reactores biológicos secuencial) . Y Galvez (2014) quien reporta valor de 4,52 % a lodos provenientes de una PTAR de efluentes domésticos cuyo sistema de tratamiento es por aireación extendida (lodos activados).

Nitrógeno

En cuanto al porcentaje de nitrógeno se reportan valores de 1,76 y 2,27 % en ambos lodos evaluados PTAR Magollo y PTAR Copare respectivamente, caso similar a lo presentado por More (2015) quien analizó los mismos lodos de la PTAR Magollo y PTAR Copare reportando valores de 1,22 y 1,68 % respectivamente. En los efluentes de dichas PTAR se resaltan concentraciones de nitratos ($\text{N} - \text{NO}_3$) 3,176 mg/L y nitritos < 0,02 mg/L (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2022). En la composición de los lodos residuales pueden presentar nutrientes como

nitrógeno estando presente en formas inorgánicas (mineralizadas) como nitratos y amoníaco (Ines et al., 2007).

Vicencio - de la Rosa et al. (2011) reporta 1,79 % en su caso siendo lodos de una PTAR de un rastro (establecimiento cuya finalidad es sacrificar, faenar e inspeccionar animales de abasto). Y de igual manera Ortiz (2017) y Marqui & Martinez (2016) quienes reportan 1 y 0,0458 % en lodos residuales procedentes de PTAR de efluentes domésticos. Por otro lado, Vasquez & Vargas (2018) reportan valores altos de 4 %, siendo también de una PTAR procedentes de un municipio pero el sistema de tratamiento es de tipo SBR (Reactores biológicos secuencial). Caso parecido a Galvez (2014) quien reporta un valor de 3,99 % siendo lodos provenientes de una PTAR con el mismo sistema de tratamiento (SBR).

Humedad

En cuanto a la humedad, el porcentaje de humedad en el lodo residual de la PTAR Magollo tiene un promedio de 39,59 % y en el lodo residual de la PTAR Copare un promedio de 17,51 %. Vasquez & Vargas (2018) reportaron 14,5 % obtenido de celdas de secado de reactores biológicos secuencial, Antacahuana & Rivera (2024) obtuvieron 9,61 % para lodos provenientes del lecho de secado de una PTAR. Por otro lado,

se reportaron valores altos como Ortiz (2017) con un valor de 51,99 % en lodos residuales procedentes de cámaras de secado. Así como, Montes (2024) al caracterizar lodos que pasaron por un secado de 21 días obtuvo un valor alto de 86,5 % y como Marqui & Martinez (2016) que indican un valor de 72,3 % para lodos provenientes de lecho de secado que estuvieron por un periodo de 30 a 45 días. Mathioudakis et al. (2009) indica en un secador solar que el contenido promedio disminuyó del 85 al 6 % en 7 - 12 días durante el verano, y al 10 % en 9 - 33 días en otoño, lo que resultó en una reducción total del volumen del 80 - 85 %, indicando su eficiencia para regiones que reciben una alta radiación solar anual. Entonces, podría ser un determinante la cantidad de días dispuestos, ya que en el caso de la investigación han estado por 4 y 10 años en la PTAR Magollo y Copare respectivamente.

5.2.1.2 Metales pesados

En cuanto a la concentración de metales pesados, para la PTAR de Magollo solo el arsénico no cumple con los estándares normativos con un valor de 51,90 mg/kg y para la PTAR Copare, el arsénico con un valor de 100,89 mg/kg y plomo con un valor de 338,97 mg/kg se encuentran fuera de los límites permitidos. Según la SUNASS (2023) la ciudad de Tacna tiene como fuente de captación de agua para consumo humano,

manantiales naturales geotermiales con niveles de arsénico elevados, lo que repercutiría en la calidad de los lodos (More, 2015).

Por otro lado, según Ines et al. (2007) las actividades relacionadas con hospitales, lavanderías, tuberías de agua caliente, laboratorios que vierten sus efluentes a la red de alcantarillado pueden ser otra causa de la presencia de metales en lodos residuales. Además, producto de la incorporación de efluentes de las operaciones de aseo, higiene y usos sanitarios (Díaz, 2019).

De acuerdo a More (2015), el lodo de la PTAR Copare presenta mayores valores de metales pesados comparados con el lodo PTAR Magollo por las diferencias en el tratamiento siendo el primero lagunas aireadas y el segundo lagunas facultativas; y debido a la permanencia en los lechos de secado donde pudo haber ocurrido una excesiva mineralización ya que en la PTAR Copare han permanecido por una mayor cantidad de años los lodos dispuestos. Larico (2023) en su investigación sobre los lodos de PTAR Copare reporta valores similares pero menores. Si se realiza una comparación a lo largo de los años se observa un ligero aumento en la concentración de metales pesados en el lodo procedente de la PTAR Copare, como lo indica además Candela (2020) que existe una relación directa entre la concentración de metales y los años transcurridos.

Según Márquez & Parra (2009) el plomo sobresale en el sistema de alcantarillado al existir corrosión de tuberías y cuando se vierten aguas que contienen aceites lubricantes usados, mezcla de pinturas y colorantes artificiales. En industrias papeleras Lostaunau & Casanova (2013) reportan valores considerables de zinc (110,87 mg/kg), cobre (49,95 mg/kg) y plomo (58,63 mg/kg). Por otro lado en sistemas donde solo se tratan aguas residuales domésticas, no se reporta valores significativos de metales pesados como Vasquez & Vargas (2018), Galvez (2014) y Valderrama (2013) que analizaron lodos residuales procedentes de PTAR de municipios. Así como, según Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2022) los efluentes residuales de la PTAR Magollo presentan concentraciones bajas de plomo y arsénico.

5.2.1.3 Parámetros microbiológicos

En cuanto al análisis microbiológico, en los parámetros evaluados (coliformes totales, *Salmonella*, huevos de helmintos y quistes de parásitos) se reportan valores casi imperceptibles y por ende se encuentran dentro de los estándares normativos tanto nacional como internacional. More (2015) de manera similar para el lodo de la PTAR Magollo presenta concentraciones mínimas de coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli* y ausencia de *Salmonella* spp, sin embargo difiere en el

caso del lodo de la PTAR Copare, el cual presenta coliformes totales y fecales con un valor de 11×10^2 NMP/g. Similar a Larico (2023) quien en su investigación realizada sobre el mismo lodo procedente de la PTAR Copare indica valores altos de coliformes totales siendo 54×10^3 NMP/g. De igual manera, los efluentes tratados por ambas PTAR presentan altas concentraciones de coliformes totales y termotolerantes (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2022)

Ambos lodos han pasado por un proceso de secado al sol por un periodo de 5 y 15 años para las PTAR Magollo y PTAR Copare respectivamente. Márquez & Parra (2009) indican que los lodos secundarios de sistemas aerobios no presentaron *Salmonella*, coliformes totales y *Escherichia coli* debido a que en los lechos de secado, los lodos presentaban variación de temperaturas de 20 a 22 °C, ya que la fuente de vida de dichos patógenos son medios húmedos. El secado por calor resulta ser un tratamiento empleado para destruir patógenos (Agencia de Protección Ambiental, 1999). Mathioudakis et al. (2009) durante las condiciones de verano indica que los coliformes totales y fecales se redujeron a 2×10^4 UFC/g DS y 10^3 UFC/g DS respectivamente, lo que resultó en un producto seco.

Según Valderrama (2013) quien reporta 16 000 NMP/g de coliformes fecales y 148,5 huevos de helmintos; los lodos pueden llegar a tener una mayor concentración de microorganismos debido a los procesos de espesamiento o deshidratación. Su principal origen son las aguas residuales fecales humanas (Rodríguez, 2010). Además, dependen del nivel socioeconómico de la población, las condiciones sanitarias y la presencia de agroindustrias (Ines et al., 2007). Específicamente en el caso de la *Salmonella* y los coliformes fecales se pueden deber a la alta prevalencia de enfermedades gastrointestinales en la población origen y además por el alto contenido de materia orgánica en el agua (Cota - Espericueta & Ponce - Corral, 2008), del mismo modo si proviene de reservorios de animales como mamíferos domésticos, aves y bovinos (Ines et al., 2007).

Ahora bien de acuerdo a los tratamientos utilizados, Ortiz (2017) reporta 2×10^7 UFC/g de coliformes fecales y 2×10^6 UFC/g de *Salmonella* siendo lodos provenientes de cámaras de secado y Galvez (2014) quien indica concentraciones de coliformes totales 90×10^4 NMP/g y coliformes fecales 40×10^2 NMP/g provenientes de un tratamiento de lodos activados. Candela (2020) reporta máximos valores de coliformes totales para sistema de tratamiento de lodos activados de aireación extendida en el clarificador,

en el caso de *Escherichia coli* y coliformes termotolerantes para el sistema de tratamiento de ICEAS en el tanque aireado y mínimos valores para los sistemas que comprendían secadores como parte de su tratamiento, indicándonos la eficacia de dicho tratamiento con respecto a otros.

En el caso de los huevos de helmintos, estos en las lagunas de estabilización se sedimentan por su propio peso en el fondo de las lagunas, debido al prolongado tiempo de permanencia en el agua residual (Manzano & Moreno, 2001). Candela (2020) reporta valores de 35 huevos/4 g en el sistema de tratamiento de lagunas aireadas y 20 huevos/4 g en el sistema de tratamiento de lagunas anaerobia. Por otro lado, Semenas et al. (1999) encuentra huevos no embrionados en efluentes semisólidos de PTAR domésticos que presentan como tratamientos la adición de sulfato de aluminio, presecado con polielectrolitos mas cal y el secado utilizando centrífuga y playas de secado.

En el caso de los quistes de parásitos no se ha reportado ni investigado en lodos residuales procedentes de PTAR domésticas, sin embargo es importante su evaluación ya que se encuentran típicamente en las heces formadas, pueden sobrevivir días o semanas en el ambiente externo y permanecer infecciosos debido a la protección que le confieren sus paredes (Ines et al., 2007).

5.2.1.4 Presencia de medicamentos

En el análisis de los lodos de las PTAR Magollo y Copare no se reportaron medicamentos tales como ofloxacín ni sulfametoxazol; sin embargo, resulta importa su evaluación debido al amplio uso que se tiene de antibióticos, analgésicos, entre otros medicamentos; y no habiéndose encontrado antecedentes de análisis en los efluentes y lodos residuales de las PTAR a nivel local y nacional. Según Frascaroli et al. (2021) indican a la ciprofloxacina, la claritromicina, la eritromicina, el metronidazol, la ofloxacina, el sulfametoxazol y la trimtoprima como un riesgo considerable en términos de distribución ubicua, concentraciones preocupantes, valores de cociente de riesgo y capacidades para resistir los tratamientos de eliminación. Asimismo, se han reportado concentraciones menores en los efluentes (1 - 96 µg/L) y eficiencias de remoción variables (42 – 76 %) (Correia & Marcano, 2015), que podría generar la liberación a los suelos a través de la fertilización (Julian et al., 2021) y la aparición de resistencias a los antibióticos (Fijalkowski et al., 2017).

5.2.2 Discusión de la evaluación del comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en el proceso de compostaje de lodos procedentes de dos plantas de tratamiento de aguas residuales

Temperatura

En cuanto a las temperaturas alcanzadas, el T1 logro alcanzar una temperatura máxima de 56,9 °C con una duración promedio de la etapa termófila de 15 días, el T2 una temperatura máxima de 54,3 °C con una duración promedio de 12 días y el T3 una temperatura máxima de 54,1 °C con una duración de 10 días. Montaguano (2019) afirma que en la fase termófila observo variaciones después de realizar los volteos, como consecuencia de una mayor oxigenación y homogenización de la mezcla. Chuquimamani (2018) al realizar el compostaje de lodos textiles alcanza la fase termófila en dos ocasiones en una duración de 120 días con una temperatura máxima de 58,3 °C. No controlar la temperatura podría alterar la destrucción de los microorganismos patógenos, así como elevadas temperaturas provocarían la muerte de especies útiles y otras no actúan porque se forman esporas microbianas (Mamani, 2019). En la etapa termófila se deben realizar frecuentes volteos con el objeto de aportar oxígeno, el que es rápidamente consumido por los microorganismos (Ryan

& Riffo, 2007). Vicencio - de la Rosa et al. (2011) indica que en el compostaje de lodos de una PTAR de un rastro (camal), se llegó a una temperatura promedio de 52,5 °C por más de 40 días logrando la muerte de patógenos, además indica que al estar pre digerido y ser producto de efluentes de rastro (tracto digestivo de vacas y cerdos) genera una descomposición más rápida. De igual manera Torres et al. (2005) indica temperaturas que superaron los 60 °C por un lapso máximo de 42 días. La temperatura debe mantenerse durante al menos 10 días entre 55 y 70 °C como requisito previo para un producto final de alta calidad y libre de patógenos (Paul & Geesing, 2021).

Durante la última fase del compostaje (maduración), se observa que la temperatura en ambas pilas disminuyó gradualmente hasta llegar a una temperatura ambiente estable.

En el segundo periodo de compostaje del T2 y T3, después de 5 a 7 días de haber iniciado este periodo, las temperaturas aumentaron solo llegando como máximo a 39,8 y 37,9 °C respectivamente en una duración de 5 días. Sin embargo, Asses et al. (2018) indica temperaturas de 62 °C en un proceso de cocompostaje, estableciéndose después de 9 días y durando 11 días en esta pila; la fase termófila se alcanzó rápidamente debido a la generación de calor generada por el contenido de materiales

orgánicos fácilmente disponibles y la alta descomposición en esta mezcla de compostaje.

Los tratamientos con microorganismos eficientes (ME) llegaron a temperaturas mayores que sin ME con un periodo mayor de días de la etapa termófila, caso similar a Loyaga & Rosas (2017) que utilizando ME alcanzaron las mayores temperaturas bordeando los 70 °C, comparando sin adición de ME que llegó como máximo a los 55 °C. De igual manera, Soriano (2016) quien reporta el incremento del nivel de temperatura al aumentar la dosificación de ME. Por otro lado, los tratamientos con ME tuvieron una menor duración del proceso de compostaje, caso similar a Cordova (2016) quien con la adición de microorganismos eficientes indica que se aceleró el proceso de compostaje de 16 a 11 semanas. Los ME tiene la ventaja con respecto al compost común que acelera la descomposición de la materia orgánica (Banco Internacional de Desarrollo - Convenio Fondo Especial de Japón, 2009).

pH

En general, con respecto al pH en los tres tratamientos, se presentaron variaciones similares sin mostrar diferencias. En la etapa mesófila, el pH disminuye hasta alcanzar su valor más bajo de 6,3. Similar

a Montes (2024) que en la fase mesófila indica un pH con valores entre 5,8 y 7,5. La descomposición de compuestos solubles produce ácidos orgánicos y provoca la disminución del pH hasta 4 o 4,5 llevándose a cabo la mayor actividad bacteriana (Román et al., 2013; Ryan & Rizzo, 2007).

En cambio, en la etapa termófila, el pH ascendió gradualmente, alcanzando el valor máximo de 8. Caso similar como lo menciona Ramírez - Coutiño et al. (2013) quien al principio indica un aumento del pH en las dos pilas, llegando a 8,4 y 8,9. Igualmente Montes (2024) quien reporta un valor máximo de 7,8. En esta etapa los microorganismos termófilos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco y el pH del medio se hace alcalino (Garro, 2016).

En la etapa mesófila 2, el pH disminuye llegando a valores de 7,1; caso similar a Ramírez - Coutiño et al. (2013) quien reporta una disminución del pH hasta alcanzar la neutralidad al final del proceso de compostaje. En esta etapa, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende ligeramente (Garro, 2016).

En cuanto a la adición de microorganismos eficientes (ME), no se observa diferencias entre los tratamientos. Sin embargo Loyaga & Rosas

(2017) menciona que con la adición de ME, indica un valor más bajo en menor cantidad de tiempo (5 a 10 días).

En cuanto al segundo proceso de compostaje del tratamiento 2 y 3, se observa una caída a 6,5; lo que indicaría que no se generó actividad bacteriana (Román et al., 2013).

Humedad

En cuanto al comportamiento de la humedad, de igual manera que los otros parámetros no se observan diferencias. La humedad se mantuvo constante, presentando valores bajos entre 20 y 30 % en los primeros días, luego pasó de 30 a 40 % en las 4 semanas posteriores, observándose valores mayores de 40 % en días posteriores a los volteos y riegos. En el segundo mes se observaron valores más constantes entre 40 y 55 %. Y en el último mes durante la etapa de maduración, la humedad fue disminuyendo hasta alcanzar un promedio de 25 %. Mamani (2019) indica que logró mantener constante la humedad debido al control y monitoreo del riego y los volteos. Sin embargo Lostaunau & Casanova (2013) afirma que por la buena capacidad de retención de humedad que presenta el lodo, la pila solo requirió ser regada durante la instalación y la ejecución de los volteos.

En cuanto a la adición de microorganismos eficientes (ME), no se observa diferencia entre los tratamientos. Castillo (2020) atribuye a la dosis de ME, una mayor descomposición de la mezcla de residuos orgánicos y mayor retención de humedad, por la presencia de mayor número de cargas eléctricas negativas del compost descompuesto que incrementa la absorción de agua. Los microorganismos demandan agua como vehículo para lograr transportar los nutrientes y demás elementos energéticos a través de la membrana celular (Mamani, 2019).

5.2.3 Discusión de la caracterización del compost obtenido a partir de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales

Materia orgánica

El porcentaje de materia orgánica en el compost obtenido en el tratamiento 1 se obtuvo un promedio de 15,62 %, en el tratamiento 2 un promedio de 12,25 % y en el tratamiento 3 un valor de 10,71 %. Grajales et al. (2006) reporta contenidos mayores de 26 % de materia orgánica en el lodo compostado de una PTAR de una universidad. Igual que Castillo (2020) que presenta valores entre 26,81 y 28,85 % afirmando que la causa sería el contenido de carbono orgánico presente en los sustratos. Caso similar a lo presentado por Lostaunau & Casanova (2013) quienes reportan

un valor de 24,50 % para el biosólido producto del compostaje de lodos de industria papelera. Sin embargo, Chuquimamani (2018) quien en promedio presenta un valor de 40 % para un biosólido obtenido a partir del proceso de compostaje de lodo textil.

El proceso de compostaje ha reducido la concentración de materia orgánica. Sin embargo Huacanca (2019) por el contrario observó aumento de la concentración con valores de 56,5 y 53,5 % en biosólidos obtenido mediante la tecnología de compostaje con adición de microorganismos eficientes (ME).

Por otro lado, al utilizar ME se observa un ligero aumento de concentración a diferencia del compostaje convencional. Así como Llano (2021) quien indica el mejor efecto positivo en la estabilización de materia orgánica con un porcentaje de 34,781 % utilizando ME. Y como Soriano (2016) quien reporta que con una dosificación máxima (10 %) de ME obtuvo el valor más alto con 59,8 % incrementándose los valores al aumentar la dosificación de ME. Caso contrario a Cordova (2016) quien indica que la adición de ME disminuyó materia orgánica llegando a 11,64 %. De la misma forma que Huayllani (2017) quien presentó una tendencia hacia una ligera disminución conforme se incrementan las dosis de EM - Compost. Según Soliva & López (2004) el porcentaje de materia orgánica final será la

consecuencia de su degradabilidad y de la transformación que haya sufrido durante el tratamiento.

Nitrógeno

El porcentaje de nitrógeno en el compost obtenido en el tratamiento 1 se obtuvo un promedio de 0,45 %, en el tratamiento 2 un promedio de 0,36 % y en el tratamiento 3 un valor de 0,31 %. Caso similar a lo presentado por Chuquimamani (2018) quien reporta valores en promedio de 1,72 % para un biosólido obtenido de lodo textil, Mamani (2019) quien reporto 1,61 % en su investigación con lodos de PTAR del distrito de Sandia y Castillo (2020) quien presenta valores de 0,94 y 1,00 % utilizando microorganismos eficientes. Por otro lado, Llano (2021) obtuvo un valor máximo de 2,020 % utilizando diferentes sustratos y obtuvo un valor mínimo de 0,549 % donde solo utilizo lodo residual.

Se observa una disminución del contenido inicial en ambos lodos. Caso similar a Montaguano (2019) quien indica una disminución de 1,24 a 0,62 %. Por el contrario, Ramos (2019) reporta un pequeño incremento de nitrógeno, indicando que se debe al mismo proceso de degradación de materia orgánica generando especies libres de nitrógeno. De igual manera

como Antacahuana & Rivera (2024) quienes reportan un aumento de 0,1003 a 3,50 mg/g.

Al utilizar microorganismos eficientes (ME) se observa un ligero aumento de concentración a diferencia del compostaje convencional. Similar a Loyaga & Rosas (2017) quienes utilizando la adición de ME reportan un considerable aumento del porcentaje de nitrógeno. Sin embargo Huayllani (2017) reporta valores entre 1,88 y 2,00 % presentando una tendencia hacia una ligera disminución conforme se incrementan las dosis de ME.

Fósforo

El porcentaje de fósforo en el compost obtenido en el tratamiento 1 fue de un promedio de 1 %, en el tratamiento 2 un promedio de 0,8 % y en el tratamiento 3 un valor de 0,85 %. Caso similar indica Grajales et al. (2006) con un valor de 0,49 % en el lodo compostado de una PTAR de una universidad. Por otro lado, Mamani (2019) en su investigación reporta valores altos de 2,45 % sin la adición de ME.

Se observa un ligero aumento con respecto a la concentración inicial. Caso similar a Lostaunau & Casanova (2013) quien reporta valor de 0,66 % para compost obtenido de lodos de industria papelera que tenían

un valor inicial de 0,409 %. Sin embargo, Chuquimamani (2018) por el contrario reporta valores promedio de 0,13 % para un biosólido obtenido de lodo textil que contenía 0,77 %.

Al utilizar microorganismos eficientes se observa una ligera disminución de concentración a diferencia del compostaje convencional. Huayllani (2017) reporta valores bajos atribuyéndolos a la incompleta descomposición orgánica y debido a la lixiviación y consecuente pérdida de fósforo, una vez que es transformado por acción de los microorganismos aplicados al compost. De igual forma, Cordova (2016) compara el compostaje convencional vs el compostaje con la adición de ME donde se observa la disminución con valores de 0,1906; 0,1689 y 0,0424 % al emplear microorganismos eficientes. Así como Antacahuana & Rivera (2024) quienes indicaron que con el uso de los microorganismos eficientes obtiene una ligera reducción con un valor de 2,40 %. Por el contrario, Acuña (2018) indica que los ME y los lodos residuales influyen positivamente en la composición de macronutrientes, indicando que a mayor contenido de ME y lodos, mayor es el contenido de macronutrientes. Castillo (2020) reporta porcentajes de 1,27 % utilizando 500 ml de ME y 1,54 % utilizando 2 000 ml de ME, indicando que se demuestra la liberación de fósforo en

forma de óxido por la acción microbiológica de la descomposición de la materia orgánica.

Metales pesados

Las concentraciones de arsénico, plomo y zinc en el compost obtenido no muestran diferencias significativas entre los tratamientos T1 y T2. En el caso del cobre se observa diferencia significativa; sin embargo, ello guarda relación con la concentración inicial de los lodos y no con el proceso de compostaje. Por otro lado, se observa una disminución de la concentración en todos los metales pesados. Las enmiendas alcalinas pueden elevar el pH del suelo y la carga negativa de la superficie, reduciendo la actividad de los metales porque se precipitan; y la adición de materiales orgánicos como estiércol cambian el pH y la conductividad eléctrica afectando la disponibilidad de los metales (Layme, 2021).

Huacanca (2019) indica que al aplicar 2 y 4 L de microorganismos eficientes (EM) se presentó una reducción de arsénico de 9,71 a 3,8 mg/Kg ST y de 11,3 a 2,2 mg/Kg ST respectivamente. Larico (2023) mediante la lombricultura logró reducir las concentraciones de metales pesados en 34, 24 y 25 % para arsénico, cobre y plomo respectivamente. Caso contrario

indica Castillo (2020) quien reporta un aumento de 173 a 220 mg/kg en el contenido de zinc utilizando EM.

Coliformes totales

El compost obtenido presenta una considerable concentración de coliformes totales con valores de 3 500 NMP/1 g en el T1, 2 400 NMP/1 g en el T2 y 350 NMP/1 g en el T3. Caso similar se reportó con Torres et al. (2005) quien reporta valores máximos de $2,3 \times 10^7$ NMP/g en el proceso de compostaje habiendo tenido temperaturas superiores a los 60 °C. Así como Mamani (2019) en su investigación reporta $4,6 \times 10^6$ NMP/g habiendo llegado en su fase termófila a temperaturas entre 50 y 60 °C. Sin embargo otros autores si alcanzaron valores mínimos como Chuquimamani (2018) quien reporta 2,9 NMP/g con una fase termófila que tuvo una duración de 20 días entre los días (14 y 34).

En el proceso de compostaje, a temperaturas mayores de 50 °C se inactivan los patógenos como la Salmonella, huevos de helmintos, parásitos y bacterias (Ines et al., 2007). Durante el proceso de compostaje no se llegó a temperaturas mayores de 40 °C por más de 20 días y en el segundo proceso de compostaje no se llegó a la etapa termófila. Además,

hubo una inadecuada exposición a agentes externos como gatos y palomas.

Cuando se presentan concentraciones altas de microorganismos patógenos, tratamientos adicionales como la adición de cal (Sánchez - Álvarez et al., 2024) y el secado solar (Mathioudakis et al., 2009) son eficientes para la reducción de microorganismos patógenos.

Coliformes termotolerantes

En todos los tratamientos evaluados no se presentan concentraciones de coliformes termotolerantes. Caso similar reportan Grajales et al. (2006) y Lostaunau & Casanova (2013) quienes no reportan contenido de coliformes fecales. Por otro lado, Antacahuana & Rivera (2024) obtuvieron valores altos de 7 NMP/g no agregando algún aditivo y 35 NMP/g utilizando EM Compost, sin embargo utilizando EM Agua y mende obtuvieron concentraciones máximas de 0,2 NMP/g.

Castro (2022) reporta una cantidad máxima de 21,03 NMP/g en su tratamiento donde utilizo lodo más estiércol de cuy, afirmando que este último sustrato sea la principal causa o que haya impedido su reducción. De igual manera Mamani (2019) en su investigación con lodos de PTAR del distrito de Sandia reporta $2,1 \times 10^6$ NMP/g habiendo llegado en su fase

termófila a temperaturas entre 50, 58 y 60 °C . Por otro lado, Huacanca (2019) reporta valores altos entre 21×10^4 NMP/g ST y 93×10^5 NMP/g ST pero en su proceso no llegó a temperaturas mayores a 30 °C.

Salmonella

El compost obtenido en todos los tratamientos no presenta concentraciones de *Salmonella*, salvo el tratamiento T2R2 el cual presenta 3 NMP/10 g. En los tratamientos T1, T2 y T3 no se llegó a temperaturas mayores de 45 °C por más de 20 días y en el segundo proceso de compostaje no se llegó a la etapa termófila. Caso similar a Chuquimamani (2018) quien reporta ausencia de *Salmonella* con una fase termófila que tuvo una duración de 20 días. Por otro lado, Huacanca (2019) quien reporta 0 NMP/g en un proceso de compostaje donde no se llegó a temperaturas mayores a 30 °C. Sin embargo, López et al. (2018) obtuvo valores mínimos < 3 NMP/g y máximos de 1 201,201 NMP/g observando que al incrementar la relación lodo - cal se observa mayor remoción de coliformes fecales y *Salmonella* spp.

Huevos de helmintos

El compost obtenido en todos los tratamientos no presenta cantidades de huevos de helmintos, salvo el tratamiento T2R3 el cual

presenta 5 huevos/4 g ST. En los tratamientos T1, T2 y T3 no se llegó a temperaturas mayores de 45 °C por más de 20 días y en el segundo proceso de compostaje no se llegó a la etapa termófila. Huacanca (2019) indica que la tecnología de compostaje con microorganismos eficientes no interviene en la reducción significativa de huevos de helmintos presente en los lodos provenientes de una PTAR. Por otro lado Torres et al. (2005) obtuvo al término del proceso 0 huevos de helmintos, estableciendo una relación entre las temperaturas alcanzadas durante el proceso de compostaje y el contenido de huevos. Sin embargo, Chuquimamani (2018) reportó 542 huevos/4 g con una fase termófila que tuvo una duración de 20 días entre los días (14 y 34) y caso contrario, Huacanca (2019) quien ha reportado un valor de 5 huevos/4 g ST a 8 huevos/4 g ST en un proceso donde no superó los 30 °C.

Quistes de parásitos

El compost obtenido en todos los tratamientos no presenta concentración de quistes y ooquistes de parásitos. Y no se ha reportado trabajos de investigación donde se indique la reducción de dicho parámetro a través del compostaje.

Productos farmacéuticos

En cuanto a este parámetro, no se realizó el análisis respectivo; ello debido que en la caracterización inicial no se encontró concentración de ningún medicamento evaluado. Además, no se ha reportado trabajos de investigación donde se indique la reducción de dicho parámetro a través del compostaje.

CONCLUSIONES

En la presente tesis se realizaron análisis de carácter fisicoquímico y microbiológico a los lodos residuales de dos plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), donde realizando la comparación con la normativa nacional (DS N° 015 - 2017 VIVIENDA) y la normativa internacional (NOM 004 – SERMARNAT – 2002); el lodo de la PTAR Magollo con un valor de 51,90 mg/kg no cumple con la concentración de arsénico permitida. De igual manera, el lodo de la PTAR Copare con un valor de 100,89 mg/kg y 338,97 mg/kg en la concentración de arsénico y plomo respectivamente. Por otro lado, en cuanto al parámetro humedad, existe diferencia significativa entre los dos lodos con valores promedio de 39,59 y 17,51 % para el lodo de la PTAR Magollo y Copare respectivamente.

En el proceso del compostaje, en cuanto a las temperaturas alcanzadas, se reportan temperaturas máximas de 56,9; 54,3 y 54,1 °C con una duración promedio de la etapa termófila de 15, 12 y 10 días para el T1, T2 y T3 respectivamente. Al realizar la comparación del T1 y T2 entre las tendencias de temperatura utilizando lodos residuales de dos PTAR se indica que no hay diferencia significativa.

Con respecto al pH en los tres tratamientos, se presentaron variaciones similares, presentándose en la etapa mesófila 1 valores bajos de 6,2; en la etapa termófila valores de 8,5 y en la etapa mesófila 2 valores de 7,5 a 8.

En cuanto a la humedad en los tres tratamientos, se presentaron variaciones similares, presentando valores bajos entre 20 y 30 % en los primeros días, luego pasó de 30 a 40 % en las 4 semanas posteriores, observándose valores mayores de 40 % en días posteriores a los volteos y riegos; y en el último mes durante la etapa de maduración, fue disminuyendo hasta alcanzar un promedio de 25 %.

En cuanto al compost obtenido, se logró la reducción de metales pesados donde una muestra (T1R3) cumplió con los estándares de la normativa nacional, dos muestras (T1R2 y T1R3) cumplieron con los estándares de la normativa internacional en la categoría “Tipo Excelente” y todas las muestras cumplieron con la categoría “Tipo Bueno” de la normativa internacional. Por otro lado, se reportó un aumento de coliformes totales con una concentración máxima de 3 500 NMP/1 g. Sin embargo, en cuanto a los coliformes termotolerantes, Salmonella, huevos de helmintos y quistes de parásitos, todas las muestras presentan concentraciones que están dentro de la normativa nacional e internacional, a excepción de la

muestra T2R2 con una concentración de Salmonella de 3 NMP/10 g y la muestra T2R3 con una concentración de 5 huevos de helmintos/4 g que solo cumplen con la clase “C” de la normativa internacional.

RECOMENDACIONES

Identificar y analizar los efluentes semisólidos y líquidos de diversas industrias que se vierten a la red de alcantarillado de la EPS Tacna y que finalmente llegan a las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Magollo y Copare.

Realizar el troceado y picado de los sustratos iniciales, sobre todo de los lodos residuales de la PTAR Copare, utilizando como equipos un molino industrial para tener un mejor diámetro de picado y optimizar la descomposición de estos residuos.

Evaluar el rendimiento de la productividad de los cultivos al utilizar biosólidos obtenidos del proceso de compostaje con lodos residuales de PTAR.

Analizar la concentración de metales pesados en cultivos en los que se haya empleado el compost obtenido a partir de lodos de PTAR.

Evaluar y analizar la concentración de contaminantes emergentes en efluentes y lodos residuales de PTAR.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, W., & Peralta, M. (2015). *Elaboración de abonos orgánicos a partir del compostaje de residuos agrícolas en el Municipio de Fusagasugá* [Universidad de Cundinamarca].
[http://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/1234/ELABORACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS A PARTIR DEL COMPOSTAJE DE R.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/1234/ELABORACIÓN%20DE%20ABONOS%20ORGÁNICOS%20A%20PARTIR%20DEL%20COMPOSTAJE%20DE%20R.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Acuña, M. (2018). *Influencia de microorganismos eficientes y lodos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas – Exalmar, en la composición de macronutrientes del compost generado* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo].
<http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/25049>
- Agencia de Protección Ambiental. (1999). *Biosolids generation, use and disposal in the United States*.
<https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-12/documents/biosolids-generation-use-disposal-us.pdf>
- Aguilar - Díaz, H., Carrero, J. C., Argüello - García, R., Laclette, J. P., & Morales - Montor, J. (2011). Cyst and encystment in protozoan parasites: Optimal targets for new life-cycle interrupting strategies? *Trends in Parasitology*, 27(10), 450–458.

<https://doi.org/10.1016/j.pt.2011.06.003>

Amador - Díaz, A., Veliz - Lorenzo, E., & Bataller - Venta, M. (2015).

Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 46, 1–10.

Antacahuana, E., & Rivera, D. (2024). *Influencia de microorganismos*

eficientes en la obtención de compost del lodo residual de la PTAR Omo-Moquegua, 2023 [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo].

<http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/G>

[utierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/G)

Asociación Española de Pediatría. (2020). *Ofloxacino sistémico*. Comité de

Medicamentos.

[https://www.aeped.es/comite-](https://www.aeped.es/comite-medicamentos/pediamecum/ofloxacino-sistemico)

[medicamentos/pediamecum/ofloxacino-sistemico](https://www.aeped.es/comite-medicamentos/pediamecum/ofloxacino-sistemico)

Asses, N., Farhat, A., Cherif, S., Hamdi, M., & Bouallagui, H. (2018).

Comparative study of sewage sludge co-composting with olive mill wastes or green residues: Process monitoring and agriculture value of the resulting composts. *Process Safety and Environmental Protection*, 114, 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.12.006>

Banco Internacional de Desarrollo - Convenio Fondo Especial de Japón.

(2009). *Manual Práctico de Uso de EM*. 35.

http://www.emuruguay.org/images/Manual_Practico_Uso_EM_OISCA_BID.pdf

- Barker, A., & Bryson, G. (2002). Bioremediation of heavy metals and organic toxicants by composting. *The Scientific World Journal*, 2, 407–420. <https://doi.org/10.1100/tsw.2002.91>
- Broche, N. (2020). *Caracterización físico-química de los lodos residuales de la Planta de Tratamiento de Agua Residual La Estrella* [Trabajo de Diploma, Universidad Central Marta Abreu de las Villas]. <http://dspace.uclv.edu.cu:8089/handle/123456789/12852>
- Campos, R. (2012). *Informe de visita a Planta de Tratamiento de Magollo*.
- Candela, G. (2020). Propuestas de estabilización y aprovechamiento de lodos de PTAR y BES en Perú basada en sus caracterización fisicoquímica y microbiológica. In *Unalm*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina].
- Castillo, L. (2020). *Evaluación de la calidad del compost obtenido a partir de residuos orgánicos y microorganismos eficaces (EM) en el distrito de Huayucachi, Huancayo, 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8245>
- Castro, E. (2022). *Determinación de la efectividad del lombricompostaje en la estabilización de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca].

[http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/672%0Ahttp://190.116.36.86/bitstream/handle/UNC/3378/INFORME DE TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/672%0Ahttp://190.116.36.86/bitstream/handle/UNC/3378/INFORME%20DE%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Cauna, C. (2020). *Sistema de tratamiento de aguas residuales del sector Arunta para reúso de áreas verdes del Distrito de Tacna*. [Trabajo de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín].

Chunga, E. (2014). *Propuesta de compostaje de los lodos removidos de las lagunas de estabilización de la Universidad de Piura*. [Tesis de pregrado, Universidad de Piura].
https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1781/ING_536.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Chuquimamani, H. (2018). *Evaluación del Proceso de compostaje de lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales de la Industria textil*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Clinical Info HIV. (2023). *Medicamentos: Sulfametoxazol / Trimetoprima*.
<https://clinicalinfo.hiv.gov/es/drugs/sulfametoxazoltrimetoprima/paciente#:~:text=El sulfamet oxazol/trimetoprima es un,Bronquitis crónica>

Cordero, N. (2010). *Mejoramiento de suelo con biosólidos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales de la UNAM*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México].

Cordova, L. (2016). *Propuesta de mejora del proceso de compostaje de los*

residuos orgánicos, generados en la actividad minera, empleando microorganismos eficientes. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín Arequipa.

Correia, A., & Marcano, L. (2015). Presencia y eliminación de compuestos farmacéuticos en plantas de tratamientos de aguas residuales. Revisión a nivel mundial y perspectiva nacional. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 55(1), 1–18.

Cota - Espericueta, A., & Ponce - Corral, C. (2008). Eliminación de bacterias patógenas en lodos residuales durante el secado solar. *Int. Contam. Ambiental*, 24(4), 161–170.

Dasí, D. (2024). *Estudio del agua como fuente de entrada y dispersión de determinantes de resistencia a antibióticos al medio ambiente en el área metropolitana de Valencia y alrededores.* Tesis de doctorado, Escuela Técnica Superior de Ingeniería agronómica y del medio natural.

Del Carpio, O. (2001). *Proyecto Regional Sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales en América Latina: Realidad y potencial. Estudio del caso Tacna.*

Delgado, C. (2022). *Biorremediación de suelos contaminados por diésel mediante el aprovechamiento de los biosólidos compostados por la empresa Ecothani S. A. C., Cusco - 2021.* Universidad Continental.

- Diario Oficial de la Federación. (2003, agosto 15). *Protección ambiental. Lodos y Biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final* [NOM-004-SEMARNAT-2002]
- Díaz, T. (2019). *Análisis de la biodiversidad de protozoarios en el sistema de tratamiento secundario de la planta Escalerilla; Arequipa 2018*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Docampo, R. (2013). Compostaje y compost. *Instituto Nacional de Innovación Agraria*, 63–67.
- Donado, R. (2013). *Plan de gestión para lodos generados en las PTAR-D de los municipios de Cumaral y San Martín de los Llanos en el Departamento del Meta*. Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Javeriana.
- Escobar, S., Sánchez, L., Nájera, H., Gutiérrez, J., & Neftalí, M. (2014). Destrucción de huevos de helminto mediante procesos no convencionales. *Ciencia y Desarrollo*, 40(August), 60–66.
- Fijalkowski, K., Rorat, A., Grobelak, A., & Kacprzak, M. (2017). The presence of contaminations in sewage sludge – The current situation. *Journal of Environmental Management*, 203, 1126–1136. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.068>
- Franco, G. (2012). *Tratamiento de las aguas residuales en Tacna*.

<https://condorchem.com/es/blog/tratamiento-aguas-residuales-industria-carnica/>

- Frascaroli, G., Reid, D., Hunter, C., Roberts, J., Helwig, K., Spencer, J., & Escudero, A. (2021). Pharmaceuticals in wastewater treatment plants: A systematic review on the substances of greatest concern responsible for the development of antimicrobial resistance. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(15). <https://doi.org/10.3390/app11156670>
- Galvez, S. (2014). *Efectos de la aplicación de los lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales sobre el suelo* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2337>
- García, C., & Felix, J. (2014). *Manual para la producción de abonos orgánicos y biorracionales* (Fundación Produce Sinaloa (ed.); Primera Ed).
- García, L., & Iannaccone, J. (2014). Pseudomonas aeruginosa un indicador complementario de la calidad de agua potable: análisis bibliográfico a nivel de Sudamérica. *The Biologist (Lima)*, 12(1), 133–152.
- Garrido, A. (2015). *Ingeniería básica de una planta de compostaje en túneles*. (Vol. 1). Universidad de Sevilla.
- Garro, J. (2016). El suelo y los abonos orgánicos. In L. Ramirez & M. Mesén (Eds.), *Instituto Nacional de Innovación y transferencia en Tecnología*

agropecuaria. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F04-10872.pdf>

Gobierno de España. (2010). Manual de compostaje casero. In *Ministerio de Medio Ambiente y Medio rural y marino*.
http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/manual_de_compostaje_2011_paginas_1-24_tcm7-181450.pdf%0Apapers3://publication/uuid/B3A2C71D-750D-488A-952C-C3C22FBB9173

Gobierno del Perú. (2024). *¿Qué son los metales alcalinos?*
<https://www.gob.pe/47991-que-son-los-metales-pesados>

González, I. (2016). Generación , caracterización y tratamiento de lodos de EDAR. In *Universidad de Córdoba*. Universidad de Córdoba.

Grajales, S., Monsalve, J., & Castaño, J. (2006). Programa de Manejo Integral de los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Tecnológica de Pereira. *Scientia et Technica Año XII, 31, 285–290*.
<http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6453>

Guillén, S., Vidal, M., Aguirre, M., & Rodríguez, R. (2010). Biodiversidad de Helminths en Yucatán. *Biodiversidad y Desarrollo Humano En Yucatán*.

Hernandes, Y. (1998). *Estabilización termica-alcalina de lodos quimicos y biologicos para la producción de biosólidos*. Universidad Nacional

Autónoma de México.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (S. A. D. C. V. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES (ed.); 6th ed., Vol. 53).

Huacanca, C. (2019). *Transformación de lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de Carhuaz en biosólidos, mediante la tecnología de compostaje con microorganismos eficaces, Carhuaz - 2018*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo].

Huallpa, H. (2023). *Remoción de metales pesados de los biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales “La Totorá” Ayacucho, utilizando la alfalfa (medicago sativa)*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga].

Huayllani, K. (2017). *Influencia de microorganismos eficaces (Em-compost) en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento, Concepción, 2016*. [Tesis de pregrado, Universidad Continental].

Ines, A., Vitorio, C., Dias, D., Mari, D., Sabino, E., Fernandes, F., Felicio, H., Teixeira, M., Von Sperling, M., Ludovice, M., Franci, R., Cesario, S., & Thomaz, V. (2007). Sludge Treatment and Disposal. In C. Vitorio, M. Von Sperling, & F. Fernandes (Eds.), *IWA Publishing* (Vol. 6).
<https://doi.org/10.2166/9781780402130>

- Instituto Nacional de Normalización (2005, febrero 22) Diario Oficial. [NCh 2880 Compost-Clasificación y requisitos] Diario Oficial de Chile
- Jaramillo, D. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. In *Universidad Nacional de Colombia*.
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70085/70060838.2002.pdf?sequence>
- Julian, A., Tyagi, N., Kumar, A., & Munir, M. (2021). Antibiotic resistance development and human health risks during wastewater reuse and biosolids application in agriculture. *Chemosphere*, 265(129032).
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129032>
- Larico, C. (2023). *Descontaminación mediante la lombricultura de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de Copare, Tacna 2020*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann].
- Layme, M. (2021). *Adsorción de metales pesados en suelos contaminados aplicando enmiendas para reducir su disponibilidad. Revisión sistemática 2021*. Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo.
- Llano, A. (2021). *Efectos de la estabilización y compostaje de lodos residuales con microorganismos eficaces en el índice de calidad de planta de Tecoma Stans en el distrito de Viques-Huancayo*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú].

- LLivichuzca, M. (2016). *Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de la concentración de huevos de helmintos*. [Tesis de grado, Universidad Politecnica Salesiana Sede Cuenca].
- López, J., Díaz, A., Martínez, E., & Valdez, R. (2001). Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra Lationamericana*, 19(4), 293–299.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57319401>
- López, J., & Rivas, J. (2013). *Estabilización de los lodos generados en la planta potabilizadora de agua EMAARS-EP en la Estancilla, mediante compostaje*. Tesis de pregrado, Escuela Superior Poitécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.
- López, L., Macías, B., Guevara, N., López, J., & Rivera, P. (2018). Lodos residuales de origen doméstico: disminución de coliformes fecales y *Salmonella* spp. *Ciencia UANL*, 21(91), 23–27.
<https://doi.org/10.29105/cienciauanl21.91-1>
- Lostanau, P., & Casanova, M. (2013). *Diagnóstico y evaluación físico-biológico para el compostaje de los lodos residuales de la industria papelera*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo].
- Loyaga, C., & Rosas, A. (2017). *Influencia de residuos sólidos del proceso*

de descarnado de la curtiembre Lizberth SAC y de los microorganismos eficientes en la obtención de la calidad de compost.
Universidad Nacional de Trujillo.

Machado, M. (2019). *Higienización de lodos residuales con cal viva para la elaboración de compostaje en las lagunas de oxidación del Distrito de San Jose.* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo].

Mamani, G. (2019). *Producción de compost empleando pilas aireadas con lodos residuales provenientes de la PTAR. Distrito de Sandia-2018.* [Tesis de pregrado,]Universidad Andina Nestor Cáceres Velasquez.

Manzano, B., & Moreno, L. (2001). *Determinacion y cuantificación de Cryptosporidium spp y Giardia spp como indicadores de contaminación parasitaria en sistemas de lagunaje.* Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana.

Márquez, K., & Parra, C. (2009). *Estudio de dos alternativas para el aprovechamiento de lodos secundarios de sistemas aerobios provenientes de PTAR's jurisdicción de la CAR.*

Marqui, L., & Martinez, J. (2016). *Obtención de abonos orgánicos por medio de las lombrices "Eisenia Foetida" a partir de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales San Antonio de Carapongo Lima - Perú.* Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Callao.

Mathioudakis, V. L., Kapagiannidis, A. G., Athanasoulia, E., Diamantis, V.

- I., Melidis, P., & Aivasidis, A. (2009). Extended Dewatering of Sewage Sludge in Solar Drying Plants. *Desalination*, 248(1–3), 733–739. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.01.011>
- Mazzarino, M., Laos, F., Satti, P., Roselli, L., Costa, G., & Moyano, S. (1997). Lodos cloacales en Bariloche : de residuos peligrosos a recurso agronómico. *Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, 30, 34.
- MINAM. (2009). *Manual para municipios ecoeficientes*. <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39054>
- MINAM. (2019). *Guía para la caracterización de residuos sólidos municipales* (Ministerio). https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/523785/Guía_para_la_caracterización_rsm-29012020__1_.pdf?v=1581976231
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2017, abril 5). *Aprobación de las Condiciones Minimas de Manejo de Lodos y las Instalaciones para su disposición final*. [Resolución Ministerial N° 128-2017-VIVIENDA] Diario Oficial El Peruano https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/21610/RM_128-2017-VIVIENDA.pdf
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2017, junio 22). *Decreto Supremo que aprueba el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de*

Tratamiento de Aguas Residuales [Decreto Supremo N°015-2017-VIVIENDA] Diario Oficial el Peruano
<http://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-015-2017-vivienda/>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2022, noviembre 22).

Resolución que aprueba el Instrumento de Gestión Ambiental de Adecuación Progresiva (IGAPAP) del proyecto “Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Magollo [Resolución Directoral N° 0105-2022-Vivienda] .

Montaguano, M. (2019). *Valorización del uso de lodos de lavadoras de jeans para el compostaje de la empresa EMMAIT-EP del canton Pelileo Provincia de Tungurahua*. Escuela Superior Politecnica de Chimborazo.

Montes, K. (2024). *Evaluación de la remoción de coliformes fecales y Salmonella spp., en lodos provenientes de una planta tratadora de aguas residuales mediante un composteo aerobio adicionado con Bacillus subtilis, Trichoderma harzianum y Trichoderma virens*. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Queretaro.

More, J. (2015). *Determinación del potencial agrícola de lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de Copare y Magollo, Tacna*. Tesis de maestria, Universidad Nacional Jorge

Basadre Grohmann.

Muntané, J. (2010). Introducción a la investigación básica. *Rapd Online*, 3(3), 221–227. <http://www.revista.unam.mx/vol.7/num7/art55/int55.htm>

Ocampo, J., Robles, D., & Wu, A. (2002). *El compost como método de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos* [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4466/ocampo-robles-wu.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

OMS. (2018a). *E. coli*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/e-coli#:~:text=Fuentes y transmisión&text=coli.,E>.

OMS. (2018b). *Salmonella (no tifoidea)*. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/salmonella-\(non-typhoidal\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/salmonella-(non-typhoidal))

OPS & OMS. (2012). *Manual para la elaboración de compost: Bases Conceptuales y Procedimientos*.

Ortiz, L. (2017). *Obtención de bioabono a partir de lodo residual procedente de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Palacios, A. (2021). *Estabilización y manejo de lodos residuales en la Planta de Tratamiento Municipal Portoviejo*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Paul, J., & Geesing, D. (2021). *Compost Facility Operator Manual*.

- Peña, E., Carrión, M., Martínez, F., Rodríguez, A., & Companioni, N. (2002). Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana. In A. García (Ed.), *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)*. (INIFAT). http://redmujeres.org/wp-content/uploads/2019/01/manual_abonos_agricultura_urbana.pdf
- Perez, M. (2016). *Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de metales pesados (PB)*. Tesis de pregrado - Universidad Politécnica Salesiana.
- Pérez, O., Faubell, M., Morenilla, J., Bérnacer, I., Bernabeu, A., Gómez, D., & Amores, S. (2000). Presencia de huevos de helmintos en fangos de depuración de aguas residuales. *Tecnología Del Agua*, 196, 25–32.
- Pino, E., Tacora, P., Steenken, A., Alfaro, L., Valle, A., Chávarri, E., Ascencios, D., & Mejía, J. (2017). Efecto de las características ambientales y geológicas sobre la calidad del agua en la cuenca del río Caplina, Tacna, Perú. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 8(6), 77–99. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-06-06>
- Ramírez - Coutiño, V., Wrobel, K., Wrobel, K., Navarro, R., Godínez, L. A., Teutli - León, M., & Rodríguez, F. (2013). Evaluation of the composting process in digested sewage sludge from a municipal wastewater treatment plant in the city of San Miguel de Allende, central Mexico.

- Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 29(Sup.), 89–97.
- Ramos, M. (2019). *Evaluación de un proceso de biorremediación de lodos urbanos y agroindustriales* [Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25230.00329>
- Röben, E. (2002). Manual de compostaje para municipios. In *Ilustre Municipio de Loja*. www.ded.org.ec
- Rodríguez, J. (2010). *Estudio comparativo de diferentes tecnologías de higienización de lodos de depuradora con fines para su reutilización*. Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid.
- Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor. In *Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe*. <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- Ryan, J., & Rizzo, O. (2007). *El compostaje y su utilización en agricultura*. Gobierno de Chile Universidad de las Américas.
- Salazar, T. (2014). Actividad microbiana en el proceso de compostaje aerobio de residuos sólidos orgánicos. *Revista de Investigación Universitaria*, 3(2), 74–84.
- Sánchez - Álvarez, N., Vargas - Blanco, R., Herrera, P., Hernández - Martínez, I., & Saldaña, R. (2024). Evaluación del tratamiento alcalino con cal viva (CaO) para la reducción de microorganismos en lodos residuales generados en la planta de tratamiento de aguas residuales

(PTAR) via puerto Mosquito, Aguachica, Cesar. *Agricolae & Habitat*, 7(2), 7–20. <https://doi.org/10.22490/26653176.8032>

Sandoval, F. (2011). *Degradación de lodos residuales provenientes del tratamiento de aguas residuales municipales por medio de la vermicomposta para obtener humus líquido* [Tesis de Maestria, Instituto politecnico nacional]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15998525>

Semenas, L., Brugni, N., Viozzi, G., & Kreiter, A. (1999). Monitoreo de parásitos en efluentes domiciliarios. *Revista de Saude Publica*, 33(4), 379–384. <https://doi.org/10.1590/s0034-89101999000400009>

Silva, J., López, P., & Valencia, P. (2000). Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje. *Escuela de Ingeniería Recursos Naturales y El Ambiente (EIDENAR).*, 1–25. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/compostaje.pdf>

Soliva, M., & López, M. (2004). Calidad del compost : Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso. *CENEAM/MIMAM*, 1–20. <http://gidr.gesfer.cat/tractaments/els-principals-tractaments/calidad-compost-lodos.pdf>

Soriano, J. (2016). *Tiempo y calidad del compost con aplicación de tres dosis de microorganismos eficaces - Concepción* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú].

<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3487%0Ahttp://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3487/SorianoVilcahuman.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SUNASS. (2023a). *Estudio Tarifario EPS Tacna S.A. Periodo Regulatorio 2024-2028*.

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5566713/4951408-estudio-tarifario-de-eps-tacna-s-a-2024-2028.pdf>

SUNASS. (2023b). *Texto Unico Ordenado del Reglamento de Calidad de la Prestación de los Servicios de Saneamiento* [Resolución de consejo directivo N°058-2023-SUNASS-CD] Diario Oficial el Peruano

SUNASS, & PROAGUA II. (2015). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento. In *Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento: Vol. I*. <http://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>.L

Torres, P., Escobar, J. C., Vidal, A. P., Imery, R., Nates, P., Sánchez, G., Sánchez, M., & Bermúdez, A. (2005). Influencia del material de enmienda en el compostaje de lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales - PTAR. *Ingeniería E Investigacion*, 25(2), 54–61.

Valderrama, M. (2013). *Factibilidad de aprovechamiento de los lodos residuales de la PTAR del Municipio de Chinavita (Boyaca)*. [Tesis de

maestría, Universidad de Manizales].

Vasquez, J., & Vargas, G. (2018). *Aprovechamiento de lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Funza, como insumo de cultivo y mejoramiento del suelo*. [Universidad Católica de Colombia].
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16425/1/Trabajo de Grado - Lodos Funza.pdf>

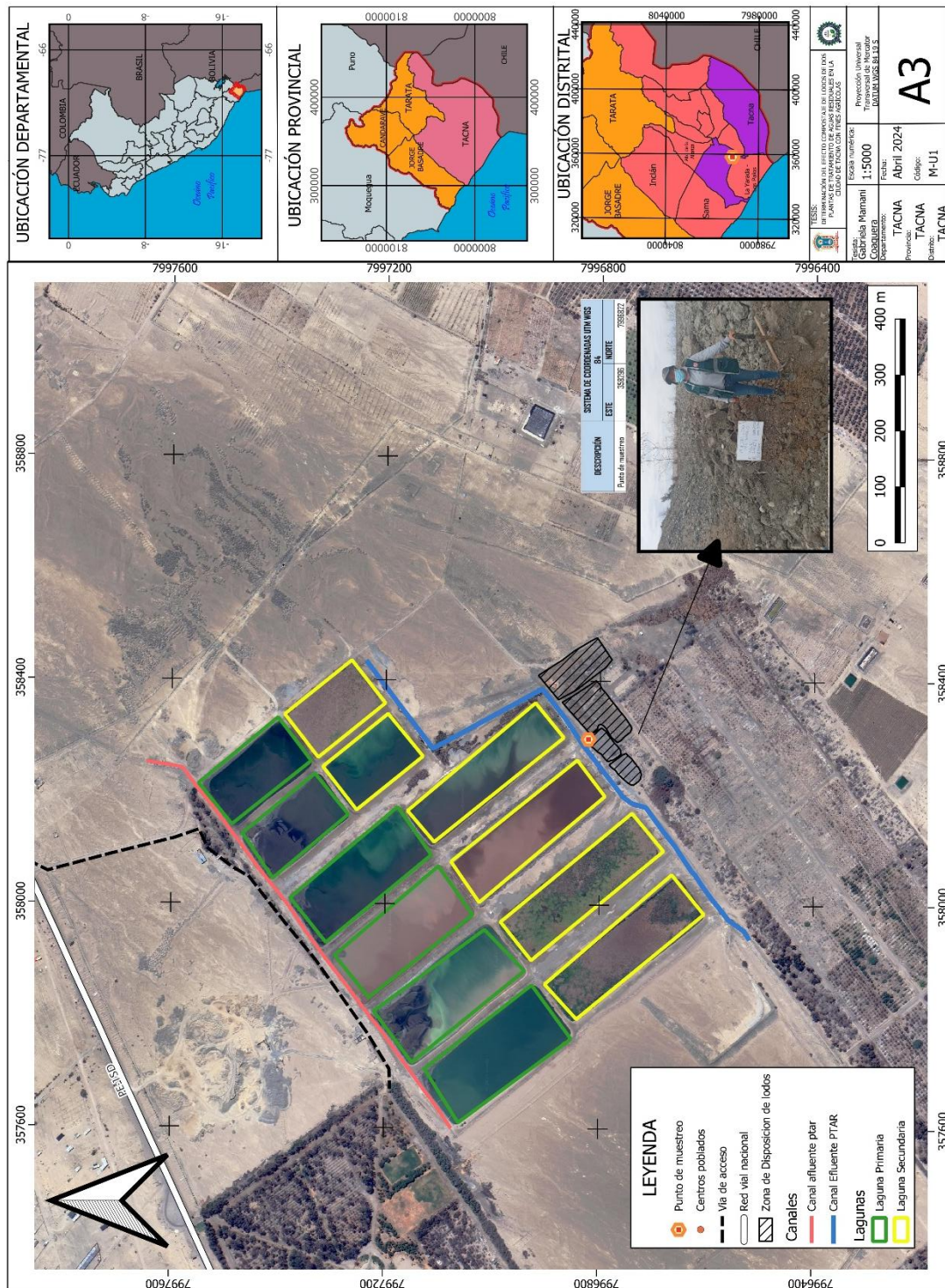
Vicencio-de la Rosa, G., Pérez-López, E., Medina-Herrera, E., & Martínez-Prado, A. (2011). Producción de composta y vericomposta a partir de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de un Rastro. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 27(3), 263–270.

Zabotto, A., Zuñiga, E., Ruiz, L., Broetto, F., Reis, A., & Kanashiro, S. (2019). Uso de lodos residuales como fertilizante en eucalipto - diagnóstico de investigación. *IDESIA (Chile)*, 37(2), 103–108.

ANEXOS

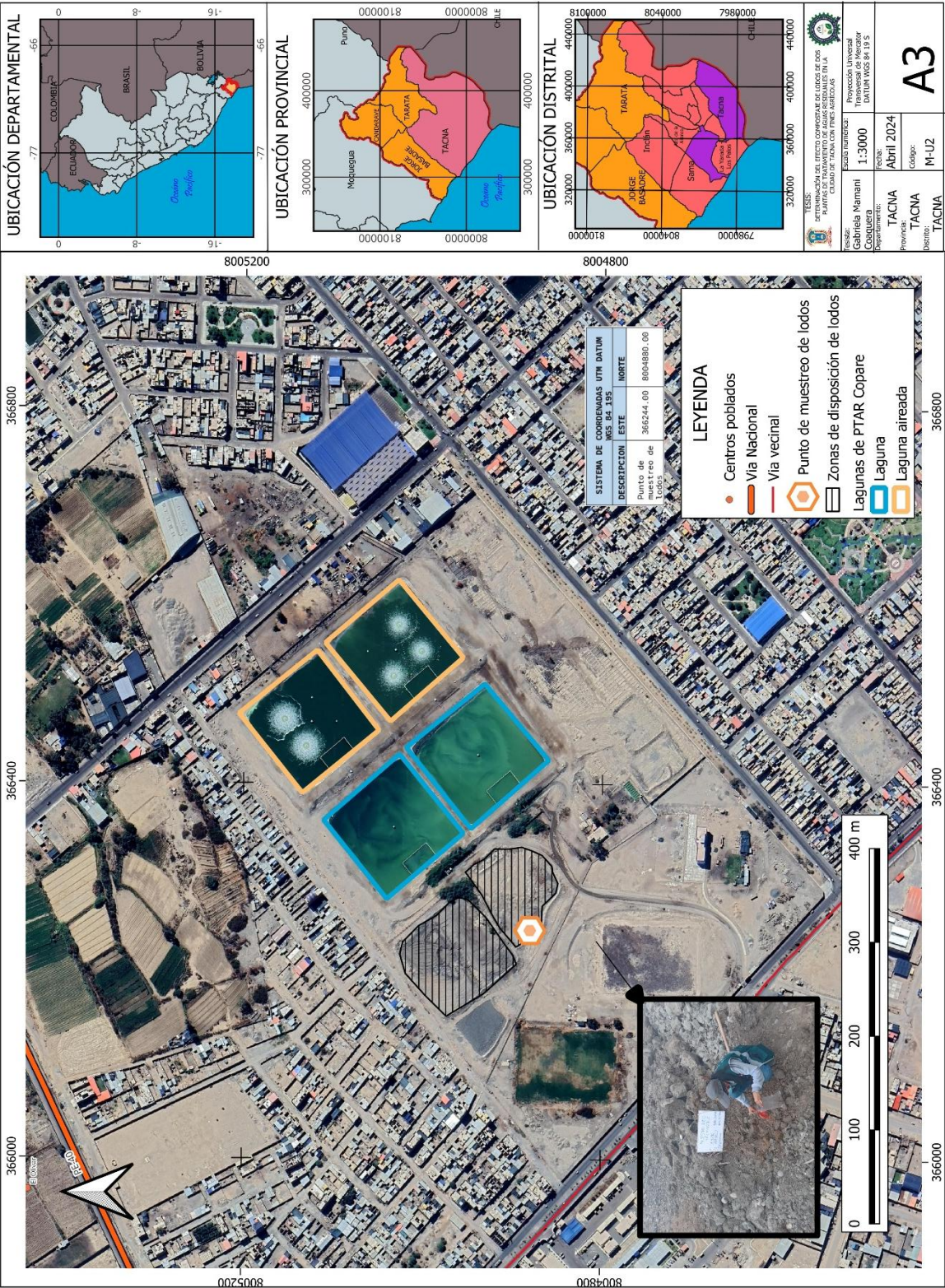
Anexo 1

Mapa de ubicación de punto de muestreo de lodos secos de la PTAR Magollo



Anexo 2

Mapa de ubicación de punto de muestreo de lodos secos de la PTAR Copare



Anexo 3

Solicitud de permiso para ingreso a PTAR

CARGO

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

SOLICITO: Permiso para ingreso a Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de Magollo y Copare

Sr. Richard Henry Peñaranda Pachó
Gerente General Empresa Prestadora de Servicio de Saneamiento Tacna S.A.

Referencia: Solicitud con registro N°027084-323 con fecha 30 de enero del 2024

EMP. TACNA S.A.
TRÁMITE DOCUMENTARIO

26 FEB 2024

026744.323

Registru.....
Hora:.....Firma:.....
LA RECEPCIÓN.....

Yo, Gabriela Mamani Coaquera, identificada con DNI N°71350383 con domicilio Calle Los Nardos N°443 – Urb. Nuestra Sra. Carmen con numero de celular 961216356 y correo electrónico gabying.amb@gmail.com.

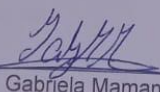
Ante Ud. Respetuosamente me presento y expongo:

Que en relación a la solicitud presentada el 30 de enero del presente año con registro N°027084-323, se adjunta el proyecto de tesis mencionado que lleva por nombre: "Determinación del efecto compostaje de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Tacna con fines agrícolas" para la obtención de mi título profesional en la carrera de Ingeniería ambiental para la evaluación y análisis requerido por parte de la entidad.

POR LO EXPUESTO:

Pido a usted acceder a mi solicitud por los motivos anteriormente expuestos.

Tacna, 26 de febrero del 2024



Gabriela Mamani Coaquera
DNI 71350383

Adjunto:

- Copia de DNI
- Cargo de la Solicitud con registro N° 027084-323 con fecha 30 de enero del 2024
- Carta de presentación del Decano de Facultad de Ciencias Agropecuarias
- Proyecto de tesis aprobado

Anexo 4

Panel fotográfico de la caracterización inicial de los lodos residuales de ambas PTAR



Fotografía 1. Zona de disposición de lodos residuales de la PTAR Magollo



Fotografía 2. Zona de disposición de lodos residuales de la PTAR Copare



Fotografía 3. Recolección de muestras de lodos residuales de ambas PTAR
Nota. a: Zona PTAR Magollo, b: Zona PTAR Copare



Fotografía 4. Etiquetado y embolsado de las muestras de lodos de ambas PTAR
Nota. a: Muestra para análisis microbiológico del lodo de la PTAR Magollo, b: Muestra para análisis microbiológico del lodo de la PTAR Copare, c: Muestra para análisis fisicoquímico del lodo de la PTAR Magollo, d: Muestra para análisis fisicoquímico del lodo de la PTAR Copare

Cadena de custodia de las muestras de lodos secos

182

Anexo 6

Informes de ensayo de la caracterización inicial de los lodos residuales de la PTAR Magollo y PTAR Copare



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : 1168C5E5

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-24-00064

Fecha de emisión: 8/4/2024

Página 1 de 4

Señores : GABRIELA MAMANI COAQUERA
Dirección : CALLE LOS NARDOS N°443 URB. NUESTRA SRA. DEL CARMEN - TACNA - TACNA
Atención : GABRIELA MAMANI COAQUERA

Proyecto : DETERMINACIÓN DEL EFECTO COMPOSTAJE DE LODOS DE DOS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE TACNA
CON FINES AGRÍCOLAS

Muestreo realizado por : Cliente : GABRIELA MAMANI COAQUERA

Fecha de recepción : 26/3/2024

Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 011-24.

Fecha de ensayo : 26/3/2024

Número de muestras : 1

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
SD24000044	LODO DE ZONA DE SECADO DE LA PTAR MAGOLLO	Lodo	AV COLLPA / TACNA / TACNA / TACNA	ZONA 19S E:358296 N:7996822	25/3/2024	10:02

Condiciones de recepción de la muestra

Al ambiente

Observación

*

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114426, Emisor de certificado: LLAMA PE, 8/4/2024 19:46:22

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(") Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Límite de detección del método, ">Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : 1168C5E5

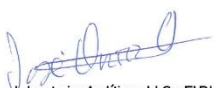
INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-24-00064

Fecha de emisión: 8/4/2024

Página 3 de 4

RESULTADOS DE ENSAYO MICROBIOLÓGICOS

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*7020	*7147	*7154	*7157
		Helminfos y Parásitos	Quistes y ooquistes	Coliformes Total	Salmonella en sedimentos
		Huevos de helminfos/4g ST	Quistes/ 4g de ST	NMP/1g ST	NMP/10g ST
SD24000044	LODO DE ZONA DE SECADO DE LA PTAR MAGOLLO	0	0	5,15	<1


Laboratorios Analíticos del Sur EIRL
José A. Ortiz Condori
Microbiología
Biólogo C.B.P. 13052

Firmado por: JOSÉ ALFREDO OZTE ORTIZ CONDORI, JEFE DE AREA DE MICROBIOLOGIA, Emisor de certificado: CAMERFIRMA PERU S.A.C., 8/4/2024 15:46:22

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico"=Límite de detección del método, ">Valor Numérico"=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : 1168C5E5

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-24-00064

Fecha de emisión: 8/4/2024

Página 4 de 4

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
*7005	Método de Ensayo para Nitrógeno total por Destilación - Fotometría en suelos y sedimentos	[0 - 1000] g/kg
*7006	Método de Ensayo para Materia Orgánica - Fotometría en suelos y sedimentos	[0 - 10] %
*7020	Huevos y larvas de Helmintos en sedimentos. Método desarrollado Doc. 880 (Validado) 2023. Método de ensayo para el recuento de Huevos y larvas de helmintos aguas y sedimentos	[1 - 10000000] Huevos de helmintos/4g ST
*7139	Metales por ICP-OES. EPA Method 6010D. Inductively Coupled plasma-Optical Emission Spectrometry. EPA Method 3051A - Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges and soils. - P	[> 0.0005 - 2.5] mg/Kg
*7147	Quistes y oocistos de protozoarios patógenos. Método desarrollado Doc 883. (Validado) 2023. Método de ensayo para el recuento de Quistes y oocistos de protozoarios	[1 - 10000000] Quistes/ 4g de ST
*7154	Numeración de Coliformes Totales (NMP): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part-9221 B, 24th Ed. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique of sediments, sludges and soils.	[> 0.3 - 110000000000] NMP/1g ST
*7157	Salmonella sp. EPA 1682 (Excepto ítem 9 y 14) EPA-821-R-06-14. July 2016. Method 1682: Salmonella in Sewage Sludge (Biosolids) by Modified Semisolid Rappaport-Vassiliadis (MSRV) Medium. Sample Preparation. Modified Semisolid Rappaport-Vassiliadis (MSRV). Medium Procedure	[> 0.0065 - 16090000] NMP/10g ST

a : Límite de detección

b : Límite de cuantificación

----- Fin del informe -----

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114426, Emisor de certificado: LLAMA, PE, 8/4/2024 15:46:22

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Límite de detección del método, "<Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.

Validar el informe
vía web





Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : 666FF573

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-24-00065

Fecha de emisión: 8/4/2024

Página 1 de 4

Señores : GABRIELA MAMANI COAQUERA
Dirección : CALLE LOS NARDOS N°443 URB. NUESTRA SRA. DEL CARMEN - TACNA - TACNA
Atención : GABRIELA MAMANI COAQUERA

Proyecto : DETERMINACIÓN DEL EFECTO COMPOSTAJE DE LODOS DE DOS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE TACNA
CON FINES AGRÍCOLAS

Muestreo realizado por : Cliente : GABRIELA MAMANI COAQUERA

Fecha de recepción : 26/3/2024

Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 011-24.

Fecha de ensayo : 26/3/2024

Número de muestras : 1

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
SD24000045	LODO DE ZONA DE SECADO DE LA PTAR COPARE	Lodo	AV. BOHEMIA TACNEÑA / CORONEL GREGORIO ALBARRACIN LANCHIPA / TACNA / TACNA	ZONA 19S E:366244 N:8004880	26/3/2024	10:46

Condiciones de recepción de la muestra

Al ambiente

Observación

-

Firmado por: JUANREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114426, Emisor de certificado: LLAJANA PE, 8/4/2024 15:47:04

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Límite de detección del método, "<Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : 666FF573

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-24-00065

Fecha de emisión: 8/4/2024

Página 3 de 4

RESULTADOS DE ENSAYO MICROBIOLÓGICOS

Código interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*7020	*7147	*7154	*7157
		Helmintos y Parásitos	Quistes y ooquistes	Coliformes Total	Salmonella en sedimentos
		Huevos de helmintos/4g ST	Quistes/ 4g de ST	NMP/1g ST	NMP/10g ST
SD24000045	LODO DE ZONA DE SECADO DE LA PTAR COPARE	0	0	<1	<1


Laboratorios Analíticos del Sur EIRL
José A. Ortiz Condori
Microbiología
Biólogo C.B.P. 13052

Firmado por: JOSE ALFREDO OZE ORTIZ CONDORI, JEFE DE AREA DE MICROBIOLOGIA, Emisor de certificado: CAMERFIRMA PERU S.A.C., 8/4/2024 15:47:04

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico"=Límite de detección del método, ">Valor Numérico"=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : 666FF573

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-24-00065

Fecha de emisión: 8/4/2024

Página 4 de 4

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
*7005	Método de Ensayo para Nitrógeno total por Destilación - Fotometría en suelos y sedimentos	[0 - 1000] g/kg
*7006	Método de Ensayo para Materia Orgánica - Fotometría en suelos y sedimentos	[0 - 10] %
*7020	Huevos y larvas de Helmintos en sedimentos. Método desarrollado Doc. 880 (Validado) 2023. Método de ensayo para el recuento de Huevos y larvas de helmintos aguas y sedimentos	[1 - 10000000] Huevos de helmintos/4g ST
*7139	Metales por ICP-OES. EPA Method 6010D. Inductively Coupled plasma-Optical Emission Spectrometry. EPA Method 3051A - Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges and soils. - P	[> 0.0005 - 2.5] mg/Kg
*7147	Quistes y oocistos de protozoarios patógenos. Método desarrollado Doc 883. (Validado) 2023. Método de ensayo para el recuento de Quistes y oocistos de protozoarios	[1 - 10000000] Quistes/ 4g de ST
*7154	Numeración de Coliformes Totales (NMP): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part-9221 B, 24th Ed. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique of sediments, sludges and soils.	[> 0.3 - 110000000000] NMP/1g ST
*7157	Salmonella sp. EPA 1682 (Excepto ítem 9 y 14) EPA-821-R-06-14. July 2016. Method 1682: Salmonella in Sewage Sludge (Biosolids) by Modified Semisolid Rappaport-Vassiliadis (MSRV) Medium. Sample Preparation. Modified Semisolid Rappaport-Vassiliadis (MSRV). Medium Procedure	[> 0.0065 - 16090000] NMP/10g ST

a : Límite de detección

b : Límite de cuantificación

----- Fin del informe -----

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114426, Emisor de certificado: LLAMA, PE, 8/4/2024 15:47:04

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Límite de detección del método, "<Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.

Validar el informe
vía web





LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



INFORME DE ENSAYO N° 1900138-2025
CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : NIETO SILVA SHARON VANESSA
DOMICILIO LEGAL : URB. EL LIMONAL MZ. G/LT 24 - HUÁNUCO - HUÁNUCO
SOLICITADO POR : NIETO SILVA SHARON VANESSA
REFERENCIA : TESIS DE INVESTIGACIÓN
PROCEDENCIA : PLANTA DE TRATAMIENTO DE MAGOLLO Y COPARE ÁREAS DE SECADO
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2025-01-13
FECHA(S) DE ANÁLISIS : 2025-01-13 AL 2025-01-17
FECHA(S) DE MUESTREO : 2025-01-09
MUESTREADO POR : EL CLIENTE
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C	Unidades
Humidity Humedad	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.5 AS-05.- Método Gravimétrico (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	0.10	%

L.C.: Límite de cuantificación.

ING. TELLO PAUCAR
MARILU
SERVICIOS ANALITICOS
GENERALES SAC
Firmado con www.tocapu.pe



DIRECTOR TÉCNICO DE LABORATORIO

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Cod. FI 005 / Versión: 03 / FE.: 06/2023

Este informe de ensayo al estar en el marco de la acreditación del Organismo Internacional de Acreditación-IAS, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego será eliminadas.

IMPORTANTE: • Este documento fue emitido con firma electrónica de valor legal en formato PDF. Debe solicitar su documento electrónico para verificar la autenticidad. Puedes comprobar la validez del mismo haciendo clic sobre la firma, saldrá un aviso: Validez de firma: firma válida, de no validarse el documento es falso. Notifique al correo: laboratorio@sagperu.com si su informe ha sido adulterado.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio: Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima
• Central telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico: sagperu@sagperu.com

Página 1 de 2



INFORME DE ENSAYO N° 1900138-2025
CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Lodo	Lodo	Lodo	
Matriz analizada	Lodo	Lodo	Lodo	
Fecha de muestreo	2024-01-09	2024-01-09	2024-01-09	
Hora de inicio de muestreo (h)	10:00	10:05	10:10	
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	
Código del Cliente	LOD-MAG01	LOD-MAG02	LOD-MAG03	
Código del Laboratorio	25010298	25010299	25010300	
ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829				
Ensayo	Unidades	Resultados		
Humidity Humedad	%	41.35	34.53	42.88
Producto declarado	Lodo	Lodo	Lodo	
Matriz analizada	Lodo	Lodo	Lodo	
Fecha de muestreo	2024-01-09	2024-01-09	2024-01-09	
Hora de inicio de muestreo (h)	10:30	10:45	11:00	
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	
Código del Cliente	LOD-COP01	LOD-COP02	LOD-COP03	
Código del Laboratorio	25010301	25010302	25010303	
ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829				
Ensayo	Unidades	Resultados		
Humidity Humedad	%	22.69	15.41	14.42

Resultados de Lodo reportados en base seca.

Lima, 24 de Enero del 2025.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Cod. FI 005 / Versión: 03/FE.: 06/2023

Este informe de ensayo al estar en el marco de la acreditación del Organismo Internacional de Acreditación-IAS, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego será eliminadas.

IMPORTANTE: • Este documento fue emitido con firma electrónica de valor legal en formato PDF. Debe solicitar su documento electrónico para verificar la autenticidad. Puedes comprobar la validez del mismo haciendo clic sobre la firma, saldrá un aviso: Validez de firma: firma válida, de no validarse el documento es falso. Notifique al correo: laboratorio@sagperu.com si su informe ha sido adulterado.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio: Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima
• Central telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico: sagperu@sagperu.com

**INFORME DE ENSAYO
IE-2024-0606**

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : GABRIELA MAMANI COAQUERA
1.2 RUC o DNI : 71350383
1.3 Dirección : CALLE LOS NARDOS N° 443 URB. NTRA. SRA DEL CARMEN – TACNA

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : LODOS
2.2 Muestreado por : CLIENTE (c)
2.3 Número de Muestras : 02
2.4 Fecha de Recepción : 2024-04-01
2.5 Período de Ensayo : 2024-04-02 al 2024-04-06
2.6 Fecha de Emisión : 2024-04-30
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de cotización : COT-110960-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Metales Totales As, Cu, Pb, Zn	EPA METHOD 3050B, Rev. 2, 1996 / EPA METHOD 200.7, Rev. 4.4, 1994. Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Solids Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
Materia Orgánica	NOM-021-RECNAT-2000 / AS 07 Contenido de materia orgánica. VALIDADO
Fósforo Total, P	UV-VIS
Nitrógeno total, N	Análisis Elemental
Determinación de Fármacos (Ofloxacin, Sulfamethoxazole)	R-Biopharm AG – Premi Test R3925 screening test for the detection of antibiotic residues in food and feed



DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

4. RESULTADOS

4.1. Descripción de Muestra:

Código de Laboratorio	Descripción de Muestras
S-1192	LODO SECO DE PTAR MAGOLLO ^(c)
S-1193	LODO SECO DE PTAR COPARE ^(c)

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE METALES TOTALES

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-1192	Arsénico, As	mg/Kg	2.67	51.90
	Cobre, Cu	mg/Kg	1.00	184.78
	Plomo, Pb	mg/Kg	3.33	137.26
	Zinc, Zn	mg/Kg	0.67	1157.08
S-1193	Arsénico, As	mg/Kg	2.67	100.89
	Cobre, Cu	mg/Kg	1.00	622.37
	Plomo, Pb	mg/Kg	3.33	338.97
	Zinc, Zn	mg/Kg	0.67	1400.56

4.3. RESULTADOS OBTENIDOS VARIADOS

Tabla N°2: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-1192	Materia Orgánica (MO)	%	0.01	35.21
	Nitrógeno Total	%	0.01	1.76
	Fósforo Total, P	mg/Kg	0.10	129.12
S-1193	Materia Orgánica (MO)	%	0.01	45.47
	Nitrógeno Total	%	0.01	2.27
	Fósforo Total, P	mg/Kg	0.10	551.53

4.4. RESULTADOS OBTENIDOS DE DETERMINACIÓN DE FÁRMACOS

Tabla N°3: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-1192	Ofloxacin	ug/Kg	2.00	<2.00
	Sulfamethoxazole	ug/Kg	2.00	<2.00
S-1193	Ofloxacin	ug/Kg	2.00	<2.00
	Sulfamethoxazole	ug/Kg	2.00	<2.00

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

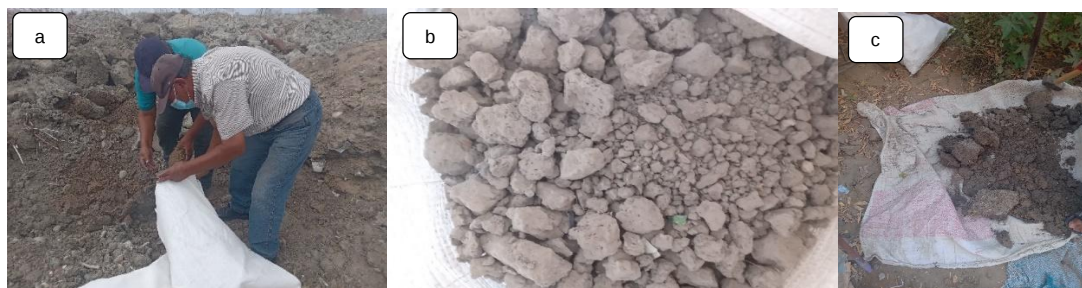
(c) Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

FIN DE DOCUMENTO

Anexo 7

Panel fotográfico de la conformación y control del proceso de compostaje



Fotografía 5. Recolección y transporte de lodos residuales

Nota. a: Llenado en sacos, b: Lodos residuales de PTAR Copare, c: Lodos residuales de PTAR Magollo



Fotografía 6. Adición de cal viva a lodos residuales

Nota. a: Lodos residuales de PTAR Copare, b: Lodos residuales de PTAR Magollo



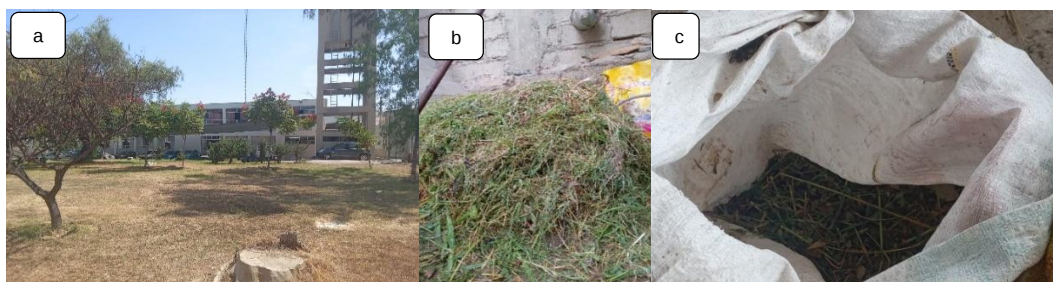
Fotografía 7. Recolección de estiércol de cuy

Nota. a: Especies de cuy, b: Estiércol de cuy, c: Llenado de sacos



Fotografía 8. Recolección de restos secos de cosecha

Nota. a: Especie Tara, b: Residuos de la cosecha de Tara



Fotografía 9. Recolección y transporte de restos de poda
Nota. a: I.E Coronel Bolognesi, b: Restos de poda, c: Llenado de sacos



Fotografía 9. Preparación de los Microorganismos Eficientes
Nota. a: Insumos utilizados, b: Adición de insumos en un recipiente, c: Mezclado de insumos



Fotografía 10. Conformación de unidades de compostaje
Nota. a: Capa de ramas secas, b: Capa de residuos secos, c: Regado con manguera, d: Capa de todos residuales, e: Capa de estiércol, f: Adición de residuos verdes, g: Adición de microorganismos eficientes activados, h: Cubierta con lona de plástico



Fotografía 11. Control de las unidades de compost

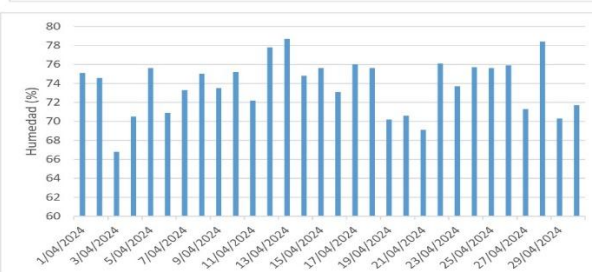
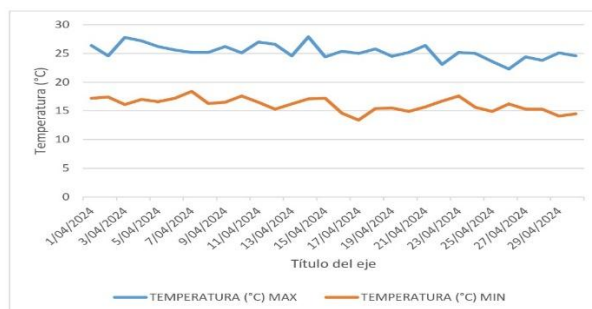
Nota. a: Volteo, b: Medición de temperatura, pH y humedad, c: Equipo de medición de ph, t° y humedad, d: Medición de humedad con la mano, e: Riego periódico de unidades de compost, f: Adición de microorganismos eficientes activados

Anexo 8

Datos de temperatura mínima y máxima, precipitación y humedad de la Estación Jorge Basadre – SENAMHI de los meses de evaluación

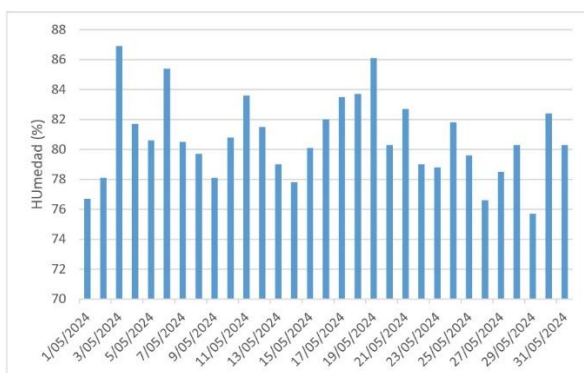
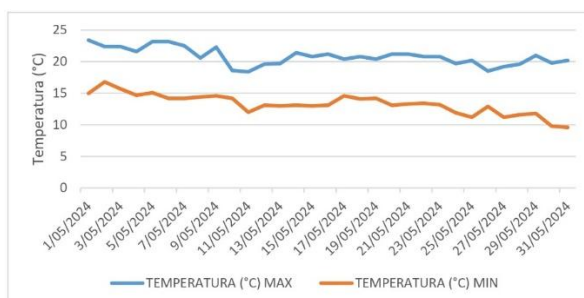
DATA METEOROLÓGICA MES ABRIL 2024 - ESTACIÓN JORGE BASADRE - TACNA

ESTACION: JORGE BASADRE					
Departamento	Tacna	Latitud:	18°1'36.8"	Tipo	MAP- Meteorológica
Provincia	Tacna	Longitud	70°15'5.5"	Código	118004
Distrito	Tacna	Altitud	560 msnm		
FECHA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD (%)	PRECIPITACION (MM/DÍA)	
	MAX	MIN			
1/04/2024	26.4	17.2	75.1	0	
2/04/2024	24.6	17.4	74.6	0	
3/04/2024	27.8	16.1	66.8	0	
4/04/2024	27.3	17	70.5	0	
5/04/2024	26.2	16.6	75.6	0	
6/04/2024	25.6	17.2	70.9	0	
7/04/2024	25.2	18.4	73.3	0	
8/04/2024	25.2	16.3	75	0	
9/04/2024	26.2	16.5	73.5	0	
10/04/2024	25.1	17.6	75.2	0	
11/04/2024	27	18.5	72.2	0	
12/04/2024	26.6	15.3	77.8	0.2	
13/04/2024	24.6	16.2	78.7	0	
14/04/2024	27.9	17.1	74.8	0	
15/04/2024	24.4	17.2	75.6	0	
16/04/2024	25.4	14.6	73.1	0	
17/04/2024	25	13.4	76	0	
18/04/2024	25.8	15.4	75.6	0	
19/04/2024	24.5	15.5	70.2	0	
20/04/2024	25.2	14.9	70.6	0	
21/04/2024	26.4	15.7	69.1	0	
22/04/2024	23.1	16.7	76.1	0	
23/04/2024	26.2	17.6	73.7	0	
24/04/2024	29	15.8	75.7	0	
25/04/2024	23.6	14.9	75.6	0	
26/04/2024	22.3	16.2	75.9	0	
27/04/2024	24.4	15.3	71.3	0	
28/04/2024	23.8	15.3	78.4	0	
29/04/2024	25.1	14.1	70.3	0	
30/04/2024	24.6	14.5	71.7	0	



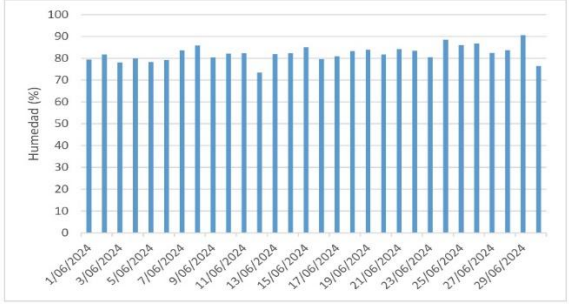
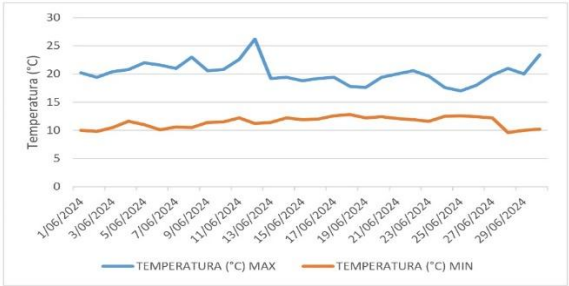
DATA METEOROLÓGICA MES MAYO 2024 - ESTACIÓN JORGE BASADRE - TACNA

ESTACION: JORGE BASADRE					
Departamento	Tacna	Latitud:	18°1'36.8"	Tipo:MAP-	Meteorológica
Provincia	Tacna	Longitud	70°15'5.5"	Código:	118004
Distrito	Tacna	Altitud	560 msnm		
FECHA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD (%)	PRECIPITACION (MM/DÍA)	
	MAX	MIN			
1/05/2024	23.4	15	76.7	0	
2/05/2024	22.4	16.8	78.1	T	
3/05/2024	22.4	15.7	86.9	0.6	
4/05/2024	21.6	14.7	81.7	0	
5/05/2024	23.2	15.1	80.6	0	
6/05/2024	23.2	14.2	85.4	0.3	
7/05/2024	22.5	14.2	80.5	T	
8/05/2024	20.6	14.4	78.7	0	
9/05/2024	22.3	14.6	78.1	0	
10/05/2024	18.6	14.2	80.8	T	
11/05/2024	18.4	12	83.6	T	
12/05/2024	19.6	13.1	81.5	0	
13/05/2024	19.7	13	79	0	
14/05/2024	21.4	13.1	77.8	0	
15/05/2024	20.8	13	80.1	0	
16/05/2024	21.2	13.1	82	T	
17/05/2024	20.4	14.6	83.5	0.4	
18/05/2024	20.8	14.1	83.7	0.1	
19/05/2024	20.4	14.2	86.1	T	
20/05/2024	21.2	13.1	80.3	T	
21/05/2024	21.2	13.3	82.7	T	
22/05/2024	20.8	13.4	79	T	
23/05/2024	20.8	13.2	78.8	T	
24/05/2024	19.7	11.9	81.8	0.1	
25/05/2024	20.2	11.2	79.6	0	
26/05/2024	18.5	12.9	76.6	T	
27/05/2024	19.2	11.2	78.5	0	
28/05/2024	19.6	11.6	80.3	0	
29/05/2024	21	11.8	75.7	T	
30/05/2024	19.8	9.8	82.4	0	
31/05/2024	20.2	9.6	80.3	0	



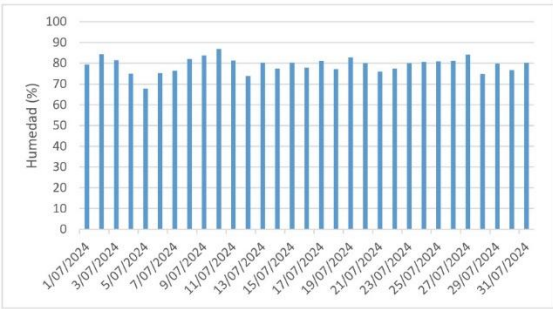
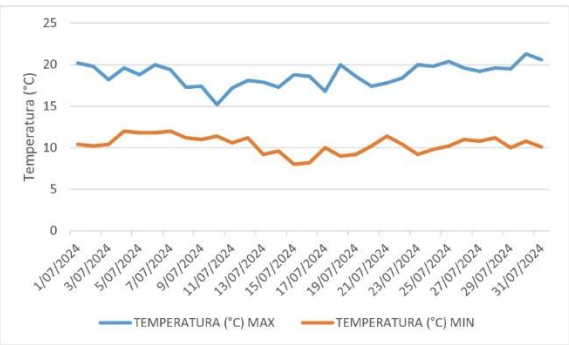
DATA METEOROLÓGICA MES JUNIO 2024 - ESTACIÓN JORGE BASADRE - TACNA

ESTACION: JORGE BASADRE				
Departamento	Tacna	Latitud:	18°1'36.8"	Tipo: MAP- Meteorológica
Provincia	Tacna	Longitud	70°15'5.5"	
Distrito	Tacna	Altitud	560 msnm	
FECHA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD (%)	PRECIPITACION (MM/DÍA)
	MAX	MIN		
1/06/2024	20.2	10	79.4	T
2/06/2024	19.4	9.8	81.8	0
3/06/2024	20.4	10.5	78.1	0
4/06/2024	20.8	11.6	79.9	0
5/06/2024	22	11	78.3	0
6/06/2024	21.6	10.1	79.2	0
7/06/2024	21	10.6	83.6	0
8/06/2024	23	10.5	85.8	0
9/06/2024	20.6	11.4	80.4	T
10/06/2024	20.8	11.5	82.1	0
11/06/2024	22.6	12.2	82.3	0
12/06/2024	26.2	11.2	73.5	0
13/06/2024	19.2	11.4	81.9	0
14/06/2024	19.4	12.2	82.3	0.1
15/06/2024	18.8	11.9	85	0
16/06/2024	19.2	12	79.7	0
17/06/2024	19.4	12.6	80.9	0
18/06/2024	17.8	12.8	83.3	T
19/06/2024	17.6	12.2	83.9	0
20/06/2024	19.4	12.4	81.8	0
21/06/2024	20	12.1	84.2	T
22/06/2024	20.6	11.9	83.5	0
23/06/2024	19.6	11.6	80.5	T
24/06/2024	17.6	12.5	88.6	0
25/06/2024	17	12.6	86	0
26/06/2024	18	12.4	86.7	0
27/06/2024	19.8	12.2	82.4	T
28/06/2024	21	8.8	83.7	0
29/06/2024	20	10	90.6	0
30/06/2024	23.4	10.2	76.4	0



DATA METEOROLÓGICA MES JULIO 2024 - ESTACIÓN JORGE BASADRE - TACNA

ESTACION: JORGE BASADRE				
Departamento	Tacna	Latitud:	18°1'36.8"	Tipo: MAP- Meteorológica
Provincia	Tacna	Longitud	70°15'5.5"	
Distrito	Tacna	Altitud	560 msnm	
FECHA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD (%)	PRECIPITACION (MM/DÍA)
	MAX	MIN		
1/07/2024	20.2	10.4	79.4	T
2/07/2024	19.8	10.2	84.4	0
3/07/2024	18.2	10.4	81.3	0
4/07/2024	19.6	12	75	0
5/07/2024	18.8	11.8	67.8	0
6/07/2024	20	11.8	75.3	0
7/07/2024	19.4	12	76.4	T
8/07/2024	17.3	11.2	82.1	0
9/07/2024	17.4	11	83.7	T
10/07/2024	18.2	11.4	86.9	0.2
11/07/2024	17.2	10.6	81.3	0
12/07/2024	18.1	11.2	73.8	T
13/07/2024	17.9	9.2	80.2	0
14/07/2024	17.3	9.6	77.4	0
15/07/2024	18.8	8	80.2	T
16/07/2024	18.6	8.2	77.9	0
17/07/2024	16.8	10	81	0
18/07/2024	20	9	77.2	T
19/07/2024	18.6	9.2	82.8	T
20/07/2024	17.4	10.2	80	0
21/07/2024	17.8	11.4	76	0
22/07/2024	18.4	10.4	77.4	0
23/07/2024	20	9.2	80	T
24/07/2024	19.8	9.8	80.7	0
25/07/2024	20.4	10.2	80.9	0
26/07/2024	19.6	11	81.1	0
27/07/2024	19.2	10.8	84.2	0
28/07/2024	19.6	11.2	74.8	0
29/07/2024	19.5	10	79.9	0
30/07/2024	21.3	10.8	76.7	0
31/07/2024	20.8	10.1	80.1	0



Anexo 9

Datos de temperatura, pH y humedad tomados de las unidades de compostaje

Fecha	Tratamiento	Temperatura			pH	Humedad	
04/04/24	T ₁ R ₁	28.9	31.2	28.5	6.64	24.5	
	T ₁ R ₂	30.5	32.2	29.5	6.89	20.9	20
	T ₁ R ₃	34.8	33.5	29.5	6.35	21.5	20
	T ₂ R ₁	30.2	30.2	28.8	6.45	25.5	20
	T ₂ R ₂	29.5	30.2	28.8	6.86	29.8	30
	T ₂ R ₃	31.5	30.5	29.5	6.56	28.8	30
	T ₃	31.2	28.8	25.6	6.48	28.7	30
05/04/24	T ₁ R ₁	35.8	38.4	39.5	6.84	25.5	20
	T ₁ R ₂	35.3	36.5	35.2	6.67	26.9	20
	T ₁ R ₃	32.5	32	34	6.76	29.8	20
	T ₂ R ₁	30.8	34.6	34.6	6.73	31.2	20
	T ₂ R ₂	32.4	36.8	36.2	6.62	28.8	30
	T ₂ R ₃	39.4	36	39.1	6.84	24.5	30
	T ₃	39.1	30.6	39.1	6.99	30.1	30
07/04/24	T ₁ R ₁	38.5	38	39.5	6.97	42.5	30
	T ₁ R ₂	45.3	38.4	45.5	6.84	10.3	10
	T ₁ R ₃	42.8	45	44	6.62	31.6	30
	T ₂ R ₁	40.8	44	44.6	6.76	29.8	30
	T ₂ R ₂	43.4	46.8	46.2	6.64	30	30
	T ₂ R ₃	39.4	40.2	39.1	6.84	29.9	30
	T ₃	39.1	40.6	40.4	6.99	29.6	30
09/04/24	T ₁ R ₁	43.2	44.8	45.1	6.17	33.4	30
	T ₁ R ₂	40.4	41.3	37.8	6.66	22	30
	T ₁ R ₃	43.4	41.5	44.6	6.61	29	30
	T ₂ R ₁	41.6	40.7	42.8	7.22	24.4	30

Fecha	Tratamiento	Temperatura			pH	Humedad	
	T ₁ R ₂	41.3	42.4	42.4	7.1	27.8	30
	T ₁ R ₃	39.2	42.6	45.4	7.1	26.7	30
	T ₃	45.1	44.4	45.1	6.72	28	30
11/04	T ₁ R ₁	44.5	45.6	42.8	6.25	38.9	30
	T ₁ R ₂	42.6	43.5	44.5	6.87	36.5	30
	T ₁ R ₃	43.5	44.8	41.5	6.36	41.2	40
	T ₂ R ₁	44.5	44.9	42.3	7.2	29.4	30
	T ₂ R ₂	40.5	42.5	42.6	7.3	32.1	30
	T ₂ R ₃	45.5	44.6	44.8	7.5	33.5	30
	T ₃	46.8	48.5	42.3	6.38	33.6	30
13/04	T ₁ R ₁	48.6	49.1	48.4	6.9	25.4	30
	T ₁ R ₂	51.2	48.3	48.8	6.68	23	30
	T ₁ R ₃	50.1	50	49.6	6.78	28.3	30
	T ₂ R ₁	42.1	44.9	46.2	7.1	31.9	30
	T ₂ R ₂	49.8	46.9	48.9	7.2	24.3	30
	T ₂ R ₃	40.4	46.2	43.9	7.3	25.9	30
	T ₃	34	40	43.3	7.16	22.8	38
15/04	T ₁ R ₁	50.1	50.2	51.4	7.29	24.2	30
	T ₁ R ₂	52.6	49.6	51.4	6.97	20.9	30
	T ₁ R ₃	51.9	52.3	52.6	6.85	33.8	30
	T ₂ R ₁	48.1	47.6	46.8	7	35.8	30
	T ₂ R ₂	47.6	48	47.5	6.92	31.5	30
	T ₂ R ₃	44.3	42.3	45.4	7.2	29.8	30
	T ₃	45.4	41.9	44.9	7.06	41.9	40

Fecha	Tratamiento	Temperatura			pH	Humedad	
12/04/24	T ₁ R ₁	53.7	54.9	52.8	7.1	21.2	30
	T ₁ R ₂	54.1	53.4	51.9	7.5	22.5	30
	T ₁ R ₃	53.4	52.9	50.9	6.9	28.6	30
	T ₂ R ₁	46.5	48.9	44.9	7.3	36.5	30
	T ₂ R ₂	50.2	49.1	52.3	7.2	25.4	30
	T ₂ R ₃	48.6	46.7	49.6	7.5	25.9	30
	T ₃	48.8	44.6	47.5	7.1	35.6	30
19/04/24	T ₁ R ₁	54.6	58.8	54.6	6.9	45.4	30
	T ₁ R ₂	55.1	58.8	57.2	6.85	48.5	40
	T ₁ R ₃	54.7	58.6	52.4	7.4	42.2	40
	T ₂ R ₁	52.4	58.6	52.6	7.2	38.5	30
	T ₂ R ₂	51.2	52.4	51.6	7.4	25.9	20
	T ₂ R ₃	54.1	52.6	54.2	7.8	34.6	30
	T ₃	51.2	48.6	50.2	6.85	33.5	30
21/04/24	T ₁ R ₁	55.1	56.2	56.1	7.6	48.9	40
	T ₁ R ₂	56.2	55.4	55.8	7.4	45.7	45
	T ₁ R ₃	55.7	56.4	54.6	7.6	42.5	40
	T ₂ R ₁	53.1	52.3	52.6	7.6	35.8	40
	T ₂ R ₂	53.4	53.1	51.2	7.6	36.7	40
	T ₂ R ₃	54.3	53.9	53.6	7.6	35.9	20
	T ₃	53.9	54.1	52.7	7.1	38.5	30
23/04/24	T ₁ R ₁	55.4	55.7	54.7	7.8	41.5	40
	T ₁ R ₂	54.9	56.9	54.7	7.5	45.2	45
	T ₁ R ₃	53.9	54.6	54.1	7.2	44.6	40
	T ₂ R ₁	52.1	51.9	52.8	7.8	48.5	45
	T ₂ R ₂	52.8	52.7	53.1	7.9	42.6	40
	T ₂ R ₃	52.4	52.4	52.4	7.8	42.5	40
	T ₃	52.4	51.9	52.7	7.1	41.5	40
25/04/24	T ₁ R ₁	55.8	55.6	54.9	7.4	40.8	40
	T ₁ R ₂	55.1	54.9	55.1	7.8	40.4	40
	T ₁ R ₃	54.9	55.6	55.4	7.4	46.5	40
	T ₂ R ₁	52.9	51.9	52.4	7.8	41.2	40
	T ₂ R ₂	51.8	52.9	52.6	7.3	39.8	40
	T ₂ R ₃	52.2	54.2	51.2	7.4	35.6	40
	T ₃	52.9	53.1	52.7	7.9	45.9	40

Fecha	Tratamiento	Temperatura			pH	Humedad	
27/04/24	T ₁ R ₁	55.4	54.9	53.8	7.4	42.4	20
	T ₁ R ₂	55.9	53.7	54.6	7.6	36.9	30
	T ₁ R ₃	54.7	54.6	54.1	7.9	38.5	30
	T ₂ R ₁	52.1	52.4	51.9	7.4	32.6	30
	T ₂ R ₂	52.7	52.1	52.4	7.6	34.6	30
	T ₂ R ₃	51.3	52.4	52.6	7.5	36.5	35
	T ₃	53.1	52.4	52.7	7.4	34.7	35
29/04/24	T ₁ R ₁	51.6	52.4	52.3	7.4	34.8	40
	T ₁ R ₂	50.4	52.3	51.3	7.3	25.9	40
	T ₁ R ₃	50.7	50.9	51.2	6.9	39.5	40
	T ₂ R ₁	53.4	52.1	52.7	7.7	33.8	40
	T ₂ R ₂	52.4	52	51.6	7.3	32.5	30
	T ₂ R ₃	53.4	53	53.4	7.4	35.6	30
	T ₃	52.6	52.7	52.1	7.6	35.5	30
01/05/24	T ₁ R ₁	49.5	48.3	47.5	7.8	63.4	60
	T ₁ R ₂	50.1	49.2	48.2	7.9	25.2	30
	T ₁ R ₃	48.9	48.7	46.9	7.8	20.1	30
	T ₂ R ₁	50.9	52.1	51.6	7.6	30.1	40
	T ₂ R ₂	50.4	51.9	50.4	7.5	26.8	30
	T ₂ R ₃	52.4	51.7	51.3	7.8	25.4	30
	T ₃	50.4	50.1	49.8	7.9	41.1	40
03/05/24	T ₁ R ₁	48.9	47.9	49.1	8.1	48.6	50
	T ₁ R ₂	46.7	47.6	48.7	8.2	46.7	50
	T ₁ R ₃	46.3	46.7	43.6	7.8	50.9	50
	T ₂ R ₁	49.7	47.9	48.5	7.8	35.1	40
	T ₂ R ₂	48.7	48.7	49.1	7.8	35.7	40
	T ₂ R ₃	49.7	48.2	49.7	7.5	38.1	40
	T ₃	48.1	49.2	48.6	7.8	38.8	40
05/05/24	T ₁ R ₁	47.6	47.8	48.1	8.1	47.8	40
	T ₁ R ₂	45.9	46.7	47.6	8.2	77.9	40
	T ₁ R ₃	46.7	45.9	45.7	7.8	42.9	40
	T ₂ R ₁	48.7	49.6	48.2	7.6	46.1	45
	T ₂ R ₂	46.2	46.4	47.6	7.8	45.9	40
	T ₂ R ₃	47.2	44.3	44.9	7.6	43.1	40
	T ₃	46.7	47.1	46.5	7.8	38.1	40

Fecha	Tratamiento	Temperatura			pH	Humedad
07/05/24	T1R1	45.9	47.6	46.7	7.7	48.9 40
	T1R2	46.7	46.6	48.1	7.8	46.8 40
	T1R3	47.2	41.6	49.2	7.7	52.3 50
	T2R1	46.5	46.7	46.1	7.6	41.9 40
	T2R2	46.7	44.9	46.7	7.6	22.3 20
	T2R3	43.6	42.8	46.3	7.8	44.3 40
	T3	45.1	43.7	44.9	7.2	55.4 50
09/05/24	T1R1	44.2	43.2	42.6	7.9	50.1 50
	T1R2	42.9	42.5	45.9	7.3	41.2 40
	T1R3	42.3	43.7	43.7	7.6	42.8 40
	T2R1	45.9	45.1	43.7	7.4	42.8 40
	T2R2	43.5	44.7	46.1	7.6	48.8 50
	T2R3	42.9	43.1	42.9	7.9	45.3 40
	T3	43.6	43.9	42.7	7.6	42.3 40
11/05/24	T1R1	42.8	43.7	43.9	7.8	44.4 40
	T1R2	45.1	43.7	44.7	7.6	46.9 40
	T1R3	44.6	43.5	42.8	7.8	52.8 50
	T2R1	43.7	41.7	42.9	7.9	46.1 40
	T2R2	43.4	42.7	43.1	7.6	40.2 40
	T2R3	44.1	42.9	45.1	7.9	46.9 40
	T3	43.7	44.1	43.9	7.6	41.1 40
13/05/24	T1R1	43.1	44.5	42.9	7.8	45.8 50
	T1R2	43.7	42.7	43.1	7.6	45.9 50
	T1R3	42.7	43.5	41.8	7.5	46.5 50
	T2R1	41.8	42.5	40.8	7.5	42.8 50
	T2R2	43.6	42.7	44.1	7.4	42.6 40
	T2R3	43.1	42.6	43.2	7.9	48.6 50
	T3	42.7	41.5	43.1	7.4	42.6 50
15/05/24	T1R1	42.5	42.9	41.2	7.4	54.5 55
	T1R2	43.1	41.7	40.5	7.2	54.9 55
	T1R3	42.7	42.6	42.7	7.6	46.7 45
	T2R1	42.6	42.1	43.1	7.8	45.1 45
	T2R2	41.5	42.5	42.5	7.6	45.6 45
	T2R3	43.1	42.4	42.1	7.8	44.8 45
	T3	42.4	41.2	40.7	7.8	56.7 50

Fecha	Tratamiento	Temperatura			pH	Humedad
17/05/24	T1R1	42.9	40.5	40.9	7.5	44.4 50
	T1R2	41.6	40.7	40.1	7.9	47.6 50
	T1R3	39.8	41.2	42.6	7.8	45.6 50
	T2R1	43.2	41.5	42.7	7.7	45.4 50
	T2R2	42.5	41.3	42.4	6.9	50.6 50
	T2R3	41.6	42.7	40.6	6.8	48.1 40
	T3	40.9	40.1	40.3	6.7	48.6 40
19/05/24	T1R1	39.8	41.2	41.3	7.4	47.9 50
	T1R2	40.1	41.1	40.5	7.6	49 50
	T1R3	40.3	39.5	39.6	7.5	36.9 40
	T2R1	40.2	39.7	41.3	6.8	41.7 40
	T2R2	42.6	42.5	40.5	7.1	47.7 40
	T2R3	42.9	41.8	41.1	7.1	44.4 40
	T3	41.7	40.2	40.5	6.8	47.9 50
21/05/24	T1R1	40.6	41.9	40.1	7.8	48.6 45
	T1R2	39.2	39.8	39.4	7.6	48.4 45
	T1R3	38.4	39.5	38.5	7.1	44.3 45
	T2R1	37.9	38.9	37.4	7.7	45.4 45
	T2R2	38.1	36.7	37.4	7.7	52.1 50
	T2R3	37.7	38.9	37.9	7.2	40.1 40
	T3	37.9	38.9	39.8	7.4	42.3 40
23/05/24	T1R1	38.4	36.9	37.1	7.21	42.3 40
	T1R2	26.7	28.2	37.9	7.0	43 40
	T1R3	37.2	37.9	36.7	7.0	28.9 40
	T2R1	37.6	36.7	37.8	7.1	27 40
	T2R2	36.9	37.4	36.7	7.3	27.4 40
	T2R3	37.1	36.7	36.4	7.3	40.2 40
	T3	36.9	37.2	37.9	7.1	40.4 40
25/05/24	T1R1	36.7	37.1	38.7	7.51	55.5 50
	T1R2	36.9	38.1	27.6	7.07	47.2 50
	T1R3	37.9	37.6	37.9	7.25	45.9 45
	T2R1	37.5	26.8	37.9	7.29	36.3 40
	T2R2	35.7	35.9	36.7	7.21	40.4 40
	T2R3	36.1	22.9	31.7	7.2	35.1 40
	T3	36.7	32.9	36.5	7.2	51.3 50

Fecha	Tratamiento	Temperatura			pH	Humedad
27/05/24	T1R1	35.4	32.9	31.2	6.66	41.7 40
	T1R2	38.9	32.9	34.9	7.22	42.4 40
	T1R3	36.8	32.9	34.6	7.32	44.9 40
	T2R1	34.8	32.9	33.8	7.2	37.8 40
	T2R2	33.4	32.9	33.5	7.19	35.5 40
	T2R3	32.7	32.4	33.1	7.3	32.1 40
	T3	33.8	34.4	33.6	7.22	39.9 40
29/05/24	T1R1	35.6	32.7	31.5	6.66	41.7 40
	T1R2	33.5	32.9	33.4	7.22	40.4 40
	T1R3	33.7	32.8	33.6	7.32	44.9 40
	T2R1	32.9	32.4	32.8	7.2	37.8 40
	T2R2	34.6	34.9	34.5	7.19	35.5 40
	T2R3	34.2	34.9	34.1	7.3	32.1 40
	T3	32.9	34.2	33.7	7.22	39.9 40
31/05/24	T1R1	33.5	32.8	32.9	7.25	35.4 30
	T1R2	33.1	32.8	32.4	7.05	38.7 30
	T1R3	32.9	31.5	31.9	7.25	46.4 40
	T2R1	32.9	33.9	33.2	7.3	29.9 30
	T2R2	32.8	33.1	32.9	7.35	37.5 30
	T2R3	31.9	32.4	32.4	7.4	28.5 20
	T3	33.4	32.7	33.7	7.35	38.4 35
02/06/24	T1R1	32.9	31.9	33.1	7.34	38.1 30
	T1R2	32.9	32.4	32.7	7.09	38.6 30
	T1R3	31.9	31.7	32.9	7.31	42 40
	T2R1	31.7	31.9	32.7	7.15	31.2 30
	T2R2	31.9	32.4	32.7	7.31	30 30
	T2R3	31.4	32.9	32.1	7.35	28.8 30
	T3	31.7	33.4	32.1	7.4	32.1 30
04/06/24	T1R1	31.9	31.5	31.2	7.21	38.4 40
	T1R2	31.7	32.5	30.9	7.2	38.9 40
	T1R3	32.1	32.4	32.6	7.0	51.8 50
	T2R1	31.8	32.1	32.7	7.0	22.8 30
	T2R2	31.6	31.6	31.7	7.0	41.7 40
	T2R3	31.7	31.5	31.4	7.1	35.8 40
	T3	31.4	31.2	31.4	7.1	43 40

Fecha	Tratamiento	Temperatura			pH	Humedad
06/06/24	T1R1	30.4	30.1	20.5	7.2	40.6 40
	T1R2	30.7	30.8	30.9	7.5	45 40
	T1R3	32.1	31.9	31.8	7.1	42.6 40
	T2R1	31.6	31.7	31.5	7.3	35.6 40
	T2R2	31.4	30.7	31.4	7.4	41.2 40
	T2R3	31.2	31.4	30.9	7.1	43.2 40
	T3	32.1	31.8	31.2	7.2	41.2 40
08/06/24	T1R1	30.5	30.8	31.2	7.1	37.8 20
	T1R2	30.7	30.2	31.8	7.16	28 20
	T1R3	29.8	30.1	30.2	7.25	28.5 20
	T2R1	20.4	24.4	24.5	7.28	21.9 20
	T2R2	29.5	29.4	29.8	7.2	29.8 30
	T2R3	29.1	27.8	29.4	7.21	28.5 30
	T3	28.9	28.7	29.4	7.21	27.1 20
10/06/24	T1R1	28.7	29.8	27.5	7.21	37.8 20
	T1R2	27.6	28.9	28.7	6.92	34.9 20
	T1R3	28.8	28.4	28.7	7.1	39.5 20
	T2R1	28.2	28.6	28.7	7.21	27.4 20
	T2R2	27.8	28.4	27.5	7.18	36.7 25
	T2R3	29.7	28.9	28.9	7.4	37 20
	T3	28.6	28.4	27.6	6.85	28.6 25
12/06/24	T1R1	27.8	27.4	29.1	7.38	35.6 35
	T1R2	30.7	30.4	30.4	7.25	22 20
	T1R3	31.5	32.4	32.4	7.45	44.6 40
	T2R1	33.1	33.4	31.9	7.28	23.9 20
	T2R2	30.2	30.1	30.8	7.26	28.8 20
	T2R3	31.8	32.7	31.2	7.38	25.7 20
	T3	30.7	30.6	31.5	7.1	29.9 20
14/06/24	T1R1	32.7	32.8	31.7	7.5	29.5 20
	T1R2	32.8	34.5	33.8	7.1	32.5 40
	T1R3	32.9	33.8	34.6	7.4	37.4 20
	T2R1	32.9	31.4	36.8	7.8	34.5 40
	T2R2	34.2	32.6	32.9	7.6	32.6 20
	T2R3	31.7	31.9	33.1	7.7	33.4 20
	T3	32.9	32.4	32.8	7.7	33.4 20

Fecha	Tratamiento	Temperatura			pH	Humedad	
16/06/24	T1R1	31.5	32.1	31.7	7.5	35.6	30
	T1R2	33.1	32.9	32.4	7.42	30.5	30
	T1R3	31.6	32.7	32.9	7.42	37.9	30
	T2R1	31.9	31.7	31.9	7.1	31.2	30
	T2R2	31.5	32.9	31.4	6.9	32.4	30
	T2R3	32.8	32.6	30.9	6.8	37.6	30
	T3	32.6	31.5	30.5	6.7	34.2	30
	T1R1	33.4	31.8	32.7	7.2	35.8	40
	T1R2	31.7	32.7	31.1	7.3	35.6	40
18/06/24	T1R3	32.7	32.4	31.9	7.15	39.6	40
	T2R1	33.1	32.7	34.5	6.68	37.8	40
	T2R2	31.5	32.4	31.9	6.48	34.6	30
	T2R3	30.7	31.4	30.7	6.98	34.7	30
	T3	30.4	30.1	29.4	6.98	34.6	30
	T1R1	31.6	32.4	31.5	7.2	37.8	35
	T1R2	32.5	31.4	31.6	7.15	41.5	40
	T1R3	31.5	30.4	30.2	7.42	49.6	50
	T2R1	31.4	30.5	30.4	7.1	35.1	40
20/06/24	T2R2	29.5	28.9	28.9	7.02	32.5	30
	T2R3	27.4	28.1	27.9	7.04	38.1	40
	T3	27.6	27.5	26.4	7.1	42.9	40
	T1R1	32.9	31.4	30.5	7.25	34.5	35
	T1R2	30.4	31.9	30.7	7.68	32.9	30
	T1R3	31.9	31.8	31.4	7.56	32.9	30
	T2R1	27.8	29.8	27.6	7.1	34.7	30
	T2R2	27.6	27.4	26.4	7.2	34.9	30
	T2R3	28.4	28.2	27.4	7.4	28.1	40
24/06/24	T3	28.1	27.8	27.6	7.1	45.2	40
	T1R1	29.1	29.4	29.4	7.32	32.9	30
	T1R2	29.6	28.4	28.6	7.59	32.1	30
	T1R3	28.1	28.9	27.9	7.52	31.5	30
	T2R1	27.6	26.8	26.9	6.8	28.1	30
	T2R2	26.1	25.8	26.1	7.1	25.8	30
	T2R3	27.5	26.7	26.3	7.4	29.6	30
	T3	25.7	26.9	25.1	7.2	31.5	30

Fecha	Tratamiento	Temperatura			pH	Humedad	
26/06/24	T1R1	28.7	28.9	29.4	7.45	28.2	30
	T1R2	27.6	28.1	28.4	7.82	25.5	30
	T1R3	27.9	28.7	27.9	7.7	31.5	30
	T2R1	25.6	24.9	24.6	7.7	36.9	35
	T2R2	25.3	25.1	24.9	7.2	36.8	35
	T2R3	25.9	26.1	26.4	7.06	34.9	35
	T3	25.4	25.6	25.4	7.4	36.8	35
	T1R1	25.1	24.8	24.9	7.26	28.4	30
	T1R2	25.4	25.8	25	7.36	26.5	30
28/06/24	T1R3	24.6	24.9	23.9	7.58	31.2	30
	T2R1	23.7	22.7	22.9	7.96	39.6	40
	T2R2	23.9	24.1	23.4	7.45	37.8	40
	T2R3	23.9	25.4	23.6	7.3	35.6	40
	T3	24.7	23.8	24.1	7.4	37.5	40
	T1R1	23.7	24.1	23.5	7.81	31.5	30
	T1R2	23.8	24.9	23.4	7.75	36.9	35
	T1R3	24.5	23.4	22.7	7.68	25.9	35
	T2R1	22.9	22.1	23.7	7.68	34.9	30
30/06/24	T2R2	23.4	23.8	21.6	7.4	34.7	35
	T2R3	23.7	24.8	21.6	7.3	34.5	30
	T3	22.9	22.8	22.9	7.28	41.9	40
	T1R1	18.8	18.7	18.06	7.5	35.4	30
	T1R2	19.9	19.8	17.5	7.8	36.4	30
	T1R3	19.5	19.1	19.6	7.6	34.2	30
	T2R1	20.1	21.6	23.5	7.4	33.9	30
	T2R2	22.8	22.1	23.4	7.1	34.6	30
	T2R3	23.1	21.5	22.6	7.1	34.7	30
04/07/24	T3	22.6	22.1	22.9	7.4	34.9	30
	T1R1	18.7	18.5	18.69	7.35	37.5	35
	T1R2	18.2	18.3	18.43	7.04	39.8	35
	T1R3	18.9	17.9	17.9	7.12	27.6	35
	T2R1	20.4	22.6	21.2	7.15	41.5	40
	T2R2	22.4	22.7	21.9	7.2	42.6	40
	T2R3	22.6	23.4	22.6	6.8	42.9	40
	T3	20.9	21.2	21.6	6.9	47.1	40

Fecha	Tratamiento	Temperatura			pH	Humedad	
06/07/24	T2R1	23.2	22.8	21.4	6.99	40.4	40
	T2R2	22.5	22.1	22	6.87	41.5	40
	T2R3	22.6	23.1	23.5	6.48	45.8	40
	T3R1	23.1	23.1	23.2	6.59	43.9	40
	T3R2	28.5	29.4	26.9	6.8	40.4	45
08/07/24	T3R3	26.5	30.1	26.7	6.78	42.9	40
	T3	24.4	28.7	23.4	6.5	42.9	40
	T1R1	27.1	28.3	26.4	6.9	42.3	40
	T1R2	28.9	32.9	30.9	6.7	46.9	45
	T1R3	28.4	32.5	30.4	6.8	44.7	45
10/07/24	T2R1	28.6	33.1	30.4	6.5	51.7	50
	T2R2	26.4	30.8	23.8	6.8	48.6	50
	T2R3	30.1	35.7	29.8	6.8	43.6	45
	T3	29.7	36.9	29.8	6.7	49.9	45
	T3R1	28.6	30.2	30	6.8	46.7	45
12/07/24	T3R2	30.4	34.9	34.7	6.9	44.5	45
	T3R3	30.5	38.9	30.5	7.1	46.9	50
	T3	31.5	37.9	39.5	6.9	48.7	50
	T1R1	32.7	39.8	34.8	6.7	51.7	50
	T1R2	33.1	35.8	36.9	6.8	52.7	50
16/07/24	T1R3	30.8	39.5	35.8	6.7	45.9	45
	T2R1	25.9	34.4	34.9	6.8	42.6	45
	T2R2	26.1	30.1	35.4	6.7	47.9	45
	T2R3	25.6	32.9	30.1	6.7	42.5	45
	T3	25.7	28.1	27.4	6.9	42.9	45
18/07/24	T1R1	26.7	27.6	28.4	7.1	44.7	45
	T1R2	26.9	27.2	27.3	7.1	46.8	45
	T1R3	26.4	27.3	26.5	6.8	48.1	45
	T2R1	27.5	29.2	26.8	7.23	46.7	45
	T2R2	28.4	27.2	27.8	7.24	45.7	45
20/07/24	T2R3	29.1	28.3	28.6	7.6	42.9	40
	T3	28.1	27.4	27.6	7.45	49.8	45

Fecha	Tratamiento	Temperatura			pH	Humedad	
22/07/24	T2R1	25.6	25.4	26.8	7.45	46.5	45
	T2R2	27.2	24.9	26.9	7.01	41.8	40
	T2R3	27.3	28.4	26.7	7.09	46.7	45
	T3	26.7	26.8	24.9	7.34	46.5	45
	T1R1	24.5	23.7	26.5	7.69	35.8	30
24/07/24	T1R2	24.2	23.5	24.6	7.48	36.9	30
	T1R3	23.6	24.2	23.8	7.12	34.8	30
	T2R1	23.7	23.6	24.8	7.19	34.9	35
	T2R2	23.5	22.9	22.7	7.12	34.2	30
	T2R3	24.2	24.3	21.6	7.19	21.2	30
26/07/24	T3	21.6	24.4	22.2	7.34	30.6	30
	T1R1	23.9	23.4	23.4	7.48	39.8	30
	T1R2	21.4	22.1	21.3	7.47	31.3	30
	T1R3	20.7	21.5	21.2	7.38	30.5	30
	T2R1	20.6	20.4	20.1	7.64	30.4	30
28/07/24	T2R2	19.9	20.4	20.6	7.98	32.4	30
	T2R3	18.9	18.9	19.8	7.82	26.7	25
	T3	18.7	17.8	17.8	7.29	12.9	25
	T1R1	18.3	17.5	17.1	7.67	26.9	25
	T1R2	12.3	18.6	18.6	7.89	25.6	25

Anexo 10

Panel fotográfico de la obtención y caracterización del compost obtenido



Fotografía 12. Resultado del tratamiento 1

Nota: a: Repetición 1, b: Repetición 2, c: Repetición 3



Fotografía 13. Resultado del tratamiento 2

Nota: a: Repetición 1, b: Repetición 2, c: Repetición 3



Fotografía 14. Resultado del tratamiento 3



Fotografía 15. Toma de muestra de cada unidad de compost

Nota. a: Separacion de cada unidad de compostaje, b: Llenado de muestra, c: Lavado de equipo de muestreo, d: Muestras recolectadas, e: Etiquetado y empaquetado de las muestras, f: Recolección de muestra para análisis de coliformes en un frasco, g: Cooler empleado, h: Almacenamiento de la muestra en cooler



Fotografía 16. Tamizado de las muestras de compost

Nota. a: Tamizador, b: Tamizaje, c: Compost tamizado

Anexo 11

Cadena de custodia de las muestras de compost

		Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.Ltda. Parq. Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado Arequipa Telef: (054) 443294 Fax (054) 444632 Whalapp: 958961254-958961253 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com		H.C.C. N°: _____ RUC: _____ Cofización: _____ e-mail: gobyung.emb@gmail.com Telef: 961216356		CADENA DE CUSTODIA - SEDIMENTOS, Lodos y SUELOS Versión 03 Fecha Rev 11/05/2023				
Señores: Gabriela Maman Coaguera Dirección: Calle Los Nardos N° 443 Urb. Villa Sra del Carmen Atención: _____ Responsable del muestreo: _____ Muestreado por el cliente: X		Envío por: _____ Fecha: _____ Proyecto/ Programa: Tesis: Compostaje de lodos de dos EPAR - Tarma. Medio de envío: _____ Aerolínea: _____ T. Privado: _____ Otros: _____		Datos de envío Código Reg P-05-18 Aprob por GD Fecha Rev 11/05/2023		Envío de muestra por: _____ Contenedor: _____ Plástico: _____ Vidrio: _____ Cantidad de muestra (kg): _____				
Código LAS (campo para ser llenado solo por el laboratorio)	Fecha	Hora	Código de campo	Tipo de Matriz (*)	Muestra Puntual	Nombre de la Muestra	Lugar de muestreo Zona, Urb, AASH / Dist. / Prov. / Depart.	Punto de muestra y/o coordenadas UTM	Envase Plástico Vidrio	Cantidad de muestra (kg)
	15/09/24	04:45pm	BT1R1	LD	X	Biosólido obtenido de compost Tratamiento 1 repetición 1	Urb. Villa Sra. del Carmen Calle Los Nardos N°443 / Tarma / Tarma / Tarma	Unidad de compost Tratamiento 1 repetición 1	X	1
	15/09/24	04:45pm	BT1R2	LD	X	Biosólido obtenido de compost Tratamiento 2 repetición 2	Urb. Villa Sra. del Carmen Calle Los Nardos N°443 / Tarma / Tarma / Tarma	Unidad de compost Tratamiento 2 repetición 2	X	1
	15/09/24	05:13pm	BT1R3	LD	X	Biosólido obtenido de compost Tratamiento 3 repetición 3	Urb. Villa Sra. del Carmen Calle Los Nardos N°443 / Tarma / Tarma / Tarma	Unidad de compost Tratamiento 3 repetición 3	X	1
	15/09/24	04:25pm	BT2R1	LD	X	Biosólido obtenido de compost Tratamiento 1 repetición 1	Urb. Villa Sra. del Carmen Calle Los Nardos N°443 / Tarma / Tarma / Tarma	Unidad de compost Tratamiento 1 repetición 1	X	1
	15/09/24	04:15pm	BT2R2	LD	X	Biosólido obtenido de compost Tratamiento 2 repetición 2	Urb. Villa Sra. del Carmen Calle Los Nardos N°443 / Tarma / Tarma / Tarma	Unidad de compost Tratamiento 2 repetición 2	X	1

NOTA: Estimado cliente colocar el nombre de la muestra tal como desea que aparezca en el informe de ensayo.
 Responsable: _____
 Entregado por: _____
 Recibido por: _____
 Recibido por: _____

Observaciones:

Firma Resps. cliente: _____
 Firma Entrega a LAS: _____
 Firma Recibido (LAS): _____

	FORMATO	FR-REP-06	
	PLANILLA DE MUESTRA	Página 1 de 1	Versión 02
		Fecha de aprobación: 2024-02-28	
SISTEMA DE SERVICIOS Y ANALISIS QUIMICOS S.A.C.			
DATOS DEL CLIENTE		Pag. de	

Razón Social / Nombre * *(información para el I)* : Gabriela Mamani Coaguera Código de Recepción de Muestras :

RUC / DNI * *(información para el I)* : 71350383 N° de Informe :

Dirección * *(información para el I)* : Calle Los Nardos N° 443, Urb. Ntra. Sra. del Carmen - Tacna

Contacto : 961216356

Teléfono : gaby.ingamb@gmail.com

Correo : COT-139730-SL24 V02

Cotización de referencia : 09/09/24

Fecha :

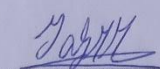
☒ Muestreado por Cliente ☐ Muestreado por Slab (X)

Item	Descripción de Muestra * Indicar Fecha de Muestreo (si aplica)	Código de Muestra (Es llenado por Slab)	Parámetros	Observaciones del Cliente
1	Biosólido producto de compostaje BT1R1		Nitrogeno total, Materia orgánica, Fósforo total, Arsénico, Plomo, Zinc, Cobre	
2	Biosólido producto de compostaje BT1R2		Nitrogeno total, Materia orgánica, Fósforo total, Arsénico, Plomo, Zinc, Cobre	
3	Biosólido producto de compostaje BT1R3		Nitrogeno total, Materia orgánica, Fósforo total, Arsénico, Plomo, Zinc, Cobre	
4	Biosólido producto de compostaje BT2R1		Nitrogeno total, Materia orgánica, Fósforo total, Arsénico, Plomo, Zinc, Cobre	
5	Biosólido producto de compostaje BT2R2		Nitrogeno total, Materia orgánica, Fósforo total, Arsénico, Plomo, Zinc, Cobre	
6	Biosólido producto de compostaje BT2R3		Nitrogeno total, Materia orgánica, Fósforo total, Arsénico, Plomo, Zinc, Cobre	
7	Biosólido producto de compostaje BT3C		Nitrogeno total, Materia orgánica, Fósforo total, Arsénico, Plomo, Zinc, Cobre	

Ejemplo: Obra, Proyecto, Cliente, Proceso, etc.

OBSERVACIONES / COMENTARIOS DE RECEPCIÓN

* *(información para el Informe de Ensayo). En caso de no completarse los siguientes campos (Razón Social/Nombre, RUC/DNI, Dirección, Descripción de muestra y Fecha de muestreo en caso alguno), se colocará "NO PRECISA" en el Informe de Ensayo.*


 CLIENTE
 Gabriela Mamani Coaguera
 71350383

RECEPCIONADO POR
 Hora:

Anexo 12

Informes de ensayo de la caracterización del compost obtenido



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : 1DB7AF18

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-24-00131

Fecha de emisión: 23/9/2024

Página 1 de 3

Señores : GABRIELA MAMANI COAQUERA
Dirección : CALLE LOS NARDOS N°443 URB. NUESTRA SRA. DEL CARMEN - TACNA - TACNA
Atención : GABRIELA MAMANI COAQUERA

Proyecto : TESIS: DETERMINACIÓN DEL EFECTO COMPOSTAJE DE Lodos DE DOS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE TACNA CON FINES AGRÍCOLAS

Muestreo realizado por : Cliente : GABRIELA MAMANI COAQUERA

Fecha de recepción : 16/9/2024

Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 031-24

Fecha de ensayo : 16/9/2024

Número de muestras : 7

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
SD24000117	BIOSOLIDO OBTENIDO DE COMPOST TRATAMIENTO 1 REPETICION 1	Lodo	URB. NUESTRA SRA. DEL CARMEN CALLE LOS NARDOS N° 443 / TACNA / TACNA / TACNA	UNIDAD DE COMPOST TRATAMIENTO 1 REPETICION 1	15/9/2024	16:45
SD24000118	BIOSOLIDO OBTENIDO DE COMPOST TRATAMIENTO 1 REPETICION 2	Lodo	URB. NUESTRA SRA. DEL CARMEN CALLE LOS NARDOS N° 443 / TACNA / TACNA / TACNA	UNIDAD DE COMPOST TRATAMIENTO 1 REPETICION 2	15/9/2024	16:54
SD24000119	BIOSOLIDO OBTENIDO DE COMPOST TRATAMIENTO 1 REPETICION 3	Lodo	URB. NUESTRA SRA. DEL CARMEN CALLE LOS NARDOS N° 443 / TACNA / TACNA / TACNA	UNIDAD DE COMPOST TRATAMIENTO 1 REPETICION 3	15/9/2024	17:13
SD24000120	BIOSOLIDO OBTENIDO DE COMPOST TRATAMIENTO 2 REPETICION 1	Lodo	URB. NUESTRA SRA. DEL CARMEN CALLE LOS NARDOS N° 443 / TACNA / TACNA / TACNA	UNIDAD DE COMPOST TRATAMIENTO 2 REPETICION 1	15/9/2024	16:25
SD24000121	BIOSOLIDO OBTENIDO DE COMPOST TRATAMIENTO 2 REPETICION 2	Lodo	URB. NUESTRA SRA. DEL CARMEN CALLE LOS NARDOS N° 443 / TACNA / TACNA / TACNA	UNIDAD DE COMPOST TRATAMIENTO 2 REPETICION 2	15/9/2024	04:15
SD24000122	BIOSOLIDO OBTENIDO DE COMPOST TRATAMIENTO 2 REPETICION 3	Lodo	URB. NUESTRA SRA. DEL CARMEN CALLE LOS NARDOS N° 443 / TACNA / TACNA / TACNA	UNIDAD DE COMPOST TRATAMIENTO 2 REPETICION 3	15/9/2024	16:35
SD24000123	BIOSOLIDO OBTENIDO DE COMPOST TRATAMIENTO 3	Lodo	URB. NUESTRA SRA. DEL CARMEN CALLE LOS NARDOS N° 443 / TACNA / TACNA / TACNA	UNIDAD DE COMPOST TRATAMIENTO CONTROL	15/9/2024	17:05
Condiciones de recepción de la muestra						
Cooler refrigerado						
Observación						
-						

Firmado por: JHAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114428. Emisor de certificado: LLAMA PE. 23/9/2024 16:56:04

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(") Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA

"<Valor numérico">=Límite de detección del método, ">Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443284 - (054)



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : 1DB7AF18

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-24-00131

Fecha de emisión: 23/9/2024

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO MICROBIOLÓGICOS

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*7020	*7147	*7154	*7157
		Helminthos y Parásitos	Quistes y ooquistes	Coliformes Total	Salmonella en sedimentos
		Huevos de helmintos/4g ST	Quistes/ 4g de ST	NMP/1g ST	NMP/10g ST
SD24000117	BIOSOLIDO OBTENIDO DE COMPOST TRATAMIENTO 1 REPETICION 1	<1	<1	40000	<1
SD24000118	BIOSOLIDO OBTENIDO DE COMPOST TRATAMIENTO 1 REPETICION 2	<1	<1	2900	<1
SD24000119	BIOSOLIDO OBTENIDO DE COMPOST TRATAMIENTO 1 REPETICION 3	<1	<1	5100	<1
SD24000120	BIOSOLIDO OBTENIDO DE COMPOST TRATAMIENTO 2 REPETICION 1	<1	<1	26000	<1
SD24000121	BIOSOLIDO OBTENIDO DE COMPOST TRATAMIENTO 2 REPETICION 2	<1	<1	88000	3
SD24000122	BIOSOLIDO OBTENIDO DE COMPOST TRATAMIENTO 2 REPETICION 3	5	<1	290000	<1
SD24000123	BIOSOLIDO OBTENIDO DE COMPOST TRATAMIENTO 3	<1	<1	3000	<1

Firmado por: JOSE ALFREDO OZE ORTIZ CONDORI, JEFE DE AREA DE MICROBIOLOGIA, Emisor de certificado: CAMERFIRMA PERU S.A.C., 23/9/2024 16:58:04


Laboratorio Analítico del Sur
FIR
José A. Ortiz Condori
Microbiología
Biólogo C.B.P. 13052

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA

"<Valor numérico">=Límite de detección del método, ">Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>, Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : 1DB7AF18

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-24-00131

Fecha de emisión: 23/9/2024

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
*7020	Huevos y larvas de Helmintos en sedimentos. Metodo desarrollado Doc. 880 (Validado) 2023. Metodo de ensayo para el recuento de Huevos y larvas de helmintos aguas y sedimentos	[1 - 10000000] Huevos de helmintos/4g ST
*7147	Quistes y ooquistes de protozoarios patógenos. Método desarrollado Doc 883. (Validado) 2023. Método de ensayo para el recuento de Quistes y ooquistes de protozoarios patógenos en sedimentos, lodos y suelos.	[1 - 10000000] Quistes/ 4g de ST
7154	Numeración de Coliformes Totales (NMP): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part-9221 B, 24th Ed. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique of sediments, sludges y soils.	[0.3 - 1100000000000] NMP/1g ST
7157	Salmonella sp. EPA 1682 (Excepto ítem 9 y 14) EPA-821-R-06-14, July 2016. Method 1682: Salmonella in Sewage Sludge (Biosolids) by Modified Semisolid Rappaport-Vassiliadis (MSRV) Medium. Sample Preparation, Modified Semisolid Rappaport-Vassiliadis (MSRV). Medium Procedure	[0.0065 - 16090000] NMP/10g ST

* : Límite detección

° : Límite de cuantificación

----- Fin del informe -----

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114426. Emisor de certificado: LLAMA PE. 23/9/2024 16:58:04

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA

"*<Valor numérico">=Límite de detección del método, "°<Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.

Validar el informe
vía web



**INFORME DE ENSAYO
IE-2024-2322**

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : GABRIELA MAMANI COAQUERA
1.2 RUC o DNI : 71350383
1.3 Dirección : CALLE LOS NARDOS N°443. URB. NTRA SRA. DEL CARMEN – TACNA

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : COMPOST
2.2 Muestreado por : CLIENTE (c)
2.3 Número de Muestras : 01
2.4 Fecha de Recepción : 2024-09-13
2.5 Periodo de Ensayo : 2024-09-13 al 2024-0920
2.6 Fecha de Emisión : 2024-09-21
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de cotización : COT-139730-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Nitrógeno Total, N	TMECC 04.02 D/ Kjendahl
Materia orgánica, MO	TMECC 05.07 A / Ignición
Fósforo Total, P	TMECC 04.03 A /UV-VIS
Arsénico, As	TMECC 04.06 / Espectroscopía de Emisión Atómica (ICP-OES)
Plomo, Pb	TMECC 04.06 / Espectroscopía de Emisión Atómica (ICP-OES)
Zinc, Zn	TMECC 04/ Absorción Atómica-Llama
Cobre, Cu	TMECC 04/ Absorción Atómica-Llama

4. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: BIOSÓLIDO PRODUCTO DE COMPOSTAJE / BT1R1 (c)



DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS VARIADOS

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados*
S-4141	Materia Orgánica (MO)	%	0.01	22.93
	Nitrógeno Total	%	0.01	0.66
	Fósforo, P	%	0.01	1.09
	Arsénico, As	mg/Kg	2.67	50.30
	Cobre, Cu	mg/Kg	1.00	174.18
	Plomo, Pb	mg/Kg	3.33	105.40
	Zinc, Zn	mg/Kg	0.67	864.43

*Resultados expresado en base seca

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

(c) Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

FIN DE DOCUMENTO

**INFORME DE ENSAYO
IE-2024-2323****1. DATOS DEL CLIENTE**

1.1 Cliente : GABRIELA MAMANI COAQUERA
1.2 RUC o DNI : 71350383
1.3 Dirección : CALLE LOS NARDOS N°443. URB. NTRA SRA. DEL CARMEN – TACNA

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : COMPOST
2.2 Muestreado por : CLIENTE ^(c)
2.3 Número de Muestras : 01
2.4 Fecha de Recepción : 2024-09-13
2.5 Periodo de Ensayo : 2024-09-13 al 2024-09-20
2.6 Fecha de Emisión : 2024-09-21
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de cotización : COT-139730-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Nitrógeno Total, N	TMECC 04.02 D/ Kjendahl
Materia orgánica, MO	TMECC 05.07 A / Ignición
Fósforo Total, P	TMECC 04.03 A /UV-VIS
Arsénico, As	TMECC 04.06 / Espectroscopía de Emisión Atómica (ICP-OES)
Plomo, Pb	TMECC 04.06 / Espectroscopía de Emisión Atómica (ICP-OES)
Zinc, Zn	TMECC 04/ Absorción Atómica-Llama
Cobre, Cu	TMECC 04/ Absorción Atómica-Llama

4. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: BIOSÓLIDO PRODUCTO DE COMPOSTAJE / BT1R2 ^(c)


DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS VARIADOS

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados'
S-4142	Materia Orgánica (MO)	%	0.01	16.44
	Nitrógeno Total	%	0.01	0.48
	Fósforo, P	%	0.01	1.09
	Arsénico, As	mg/Kg	2.67	40.19
	Cobre, Cu	mg/Kg	1.00	154.18
	Plomo, Pb	mg/Kg	3.33	74.82
	Zinc, Zn	mg/Kg	0.67	727.97

*Resultados expresado en base seca

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

(c) Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

FIN DE DOCUMENTO

**INFORME DE ENSAYO
IE-2024-2324****1. DATOS DEL CLIENTE**

1.1 Cliente : GABRIELA MAMANI COAQUERA
1.2 RUC o DNI : 71350383
1.3 Dirección : CALLE LOS NARDOS N°443. URB. NTRA SRA. DEL CARMEN – TACNA

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : COMPOST
2.2 Muestreado por : CLIENTE ^(c)
2.3 Número de Muestras : 01
2.4 Fecha de Recepción : 2024-09-13
2.5 Periodo de Ensayo : 2024-09-13 al 2024-09-20
2.6 Fecha de Emisión : 2024-09-21
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de cotización : COT-139730-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Nitrógeno Total, N	TMECC 04.02 D/ Kjendahl
Materia orgánica, MO	TMECC 05.07 A / Ignición
Fósforo Total, P	TMECC 04.03 A /UV-VIS
Arsénico, As	TMECC 04.06 / Espectroscopía de Emisión Atómica (ICP-OES)
Plomo, Pb	TMECC 04.06 / Espectroscopía de Emisión Atómica (ICP-OES)
Zinc, Zn	TMECC 04/ Absorción Atómica-Llama
Cobre, Cu	TMECC 04/ Absorción Atómica-Llama

4. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: BIOSÓLIDO PRODUCTO DE COMPOSTAJE / BT1R3 ^(c)


DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS VARIADOS

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados ^(c)
S-4143	Materia Orgánica (MO)	%	0.01	7.50
	Nitrógeno Total	%	0.01	0.22
	Fósforo, P	%	0.01	0.83
	Arsénico, As	mg/Kg	2.67	39.42
	Cobre, Cu	mg/Kg	1.00	118.15
	Plomo, Pb	mg/Kg	3.33	64.04
	Zinc, Zn	mg/Kg	0.67	607.34

Resultados expresado en base seca*Leyenda**

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

^(c) Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

FIN DE DOCUMENTO

**INFORME DE ENSAYO
IE-2024-2325****1. DATOS DEL CLIENTE**

1.1 Cliente : GABRIELA MAMANI COAQUERA
1.2 RUC o DNI : 71350383
1.3 Dirección : CALLE LOS NARDOS N°443. URB. NTRA SRA. DEL CARMEN –
TACNA

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : COMPOST
2.2 Muestreado por : CLIENTE ^(c)
2.3 Número de Muestras : 01
2.4 Fecha de Recepción : 2024-09-13
2.5 Periodo de Ensayo : 2024-09-13 al 2024-09-20
2.6 Fecha de Emisión : 2024-09-21
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de cotización : COT-139730-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Nitrógeno Total, N	TMECC 04.02 D/ Kjendahl
Materia orgánica, MO	TMECC 05.07 A / Ignición
Fósforo Total, P	TMECC 04.03 A /UV-VIS
Arsénico, As	TMECC 04.06 / Espectroscopía de Emisión Atómica (ICP-OES)
Plomo, Pb	TMECC 04.06 / Espectroscopía de Emisión Atómica (ICP-OES)
Zinc, Zn	TMECC 04/ Absorción Atómica-Llama
Cobre, Cu	TMECC 04/ Absorción Atómica-Llama

4. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: BIOSÓLIDO PRODUCTO DE COMPOSTAJE / BT2R1 ^(c)


DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS VARIADOS

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados*
S-4144	Materia Orgánica (MO)	%	0.01	11.42
	Nitrógeno Total	%	0.01	0.33
	Fósforo, P	%	0.01	0.81
	Arsénico, As	mg/Kg	2.67	54.16
	Cobre, Cu	mg/Kg	1.00	230.93
	Plomo, Pb	mg/Kg	3.33	112.34
	Zinc, Zn	mg/Kg	0.67	638.81

*Resultados expresado en base seca

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

(*) Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

FIN DE DOCUMENTO

**INFORME DE ENSAYO
IE-2024-2326****1. DATOS DEL CLIENTE**

1.1 Cliente : GABRIELA MAMANI COAQUERA
1.2 RUC o DNI : 71350383
1.3 Dirección : CALLE LOS NARDOS N°443. URB. NTRA SRA. DEL CARMEN – TACNA

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : COMPOST
2.2 Muestreado por : CLIENTE ^(c)
2.3 Número de Muestras : 01
2.4 Fecha de Recepción : 2024-09-13
2.5 Periodo de Ensayo : 2024-09-13 al 2024-09-20
2.6 Fecha de Emisión : 2024-09-21
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de cotización : COT-139730-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Nitrógeno Total, N	TMECC 04.02 D/ Kjendahl
Materia orgánica, MO	TMECC 05.07 A / Ignición
Fósforo Total, P	TMECC 04.03 A /UV-VIS
Arsénico, As	TMECC 04.06 / Espectroscopía de Emisión Atómica (ICP-OES)
Plomo, Pb	TMECC 04.06 / Espectroscopía de Emisión Atómica (ICP-OES)
Zinc, Zn	TMECC 04/ Absorción Atómica-Llama
Cobre, Cu	TMECC 04/ Absorción Atómica-Llama

4. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: BIOSÓLIDO PRODUCTO DE COMPOSTAJE / BT2R2 ^(c)


DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS VARIADOS

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados [*]
S-4145	Materia Orgánica (MO)	%	0.01	10.27
	Nitrógeno Total	%	0.01	0.30
	Fósforo, P	%	0.01	0.79
	Arsénico, As	mg/Kg	2.67	56.29
	Cobre, Cu	mg/Kg	1.00	231.38
	Plomo, Pb	mg/Kg	3.33	116.65
	Zinc, Zn	mg/Kg	0.67	635.83

^{*}Resultados expresado en base seca

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

^(c) Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

FIN DE DOCUMENTO

**INFORME DE ENSAYO
IE-2024-2327****1. DATOS DEL CLIENTE**

1.1 Cliente : GABRIELA MAMANI COAQUERA
1.2 RUC o DNI : 71350383
1.3 Dirección : CALLE LOS NARDOS N°443. URB. NTRA SRA. DEL CARMEN – TACNA

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : COMPOST
2.2 Muestreado por : CLIENTE ^(c)
2.3 Número de Muestras : 01
2.4 Fecha de Recepción : 2024-09-13
2.5 Periodo de Ensayo : 2024-09-13 al 2024-09-20
2.6 Fecha de Emisión : 2024-09-21
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de cotización : COT-139730-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Nitrógeno Total, N	TMECC 04.02 D/ Kjendahl
Materia orgánica, MO	TMECC 05.07 A / Ignición
Fósforo Total, P	TMECC 04.03 A /UV-VIS
Arsénico, As	TMECC 04.06 / Espectroscopía de Emisión Atómica (ICP-OES)
Plomo, Pb	TMECC 04.06 / Espectroscopía de Emisión Atómica (ICP-OES)
Zinc, Zn	TMECC 04/ Absorción Atómica-Llama
Cobre, Cu	TMECC 04/ Absorción Atómica-Llama

4. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: BIOSÓLIDO PRODUCTO DE COMPOSTAJE / BT2R3 ^(c)


DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS VARIADOS

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados ^a
S-4146	Materia Orgánica (MO)	%	0.01	15.05
	Nitrógeno Total	%	0.01	0.44
	Fósforo, P	%	0.01	0.78
	Arsénico, As	mg/Kg	2.67	45.55
	Cobre, Cu	mg/Kg	1.00	201.78
	Plomo, Pb	mg/Kg	3.33	92.66
	Zinc, Zn	mg/Kg	0.67	558.12

Resultados expresado en base seca*Leyenda**

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

^(a) Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

FIN DE DOCUMENTO

**INFORME DE ENSAYO
IE-2024-2328****1. DATOS DEL CLIENTE**

1.1 Cliente : GABRIELA MAMANI COAQUERA
1.2 RUC o DNI : 71350383
1.3 Dirección : CALLE LOS NARDOS N°443. URB. NTRA SRA. DEL CARMEN – TACNA

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : COMPOST
2.2 Muestreado por : CLIENTE (c)
2.3 Número de Muestras : 01
2.4 Fecha de Recepción : 2024-09-13
2.5 Periodo de Ensayo : 2024-09-13 al 2024-09-20
2.6 Fecha de Emisión : 2024-09-21
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de cotización : COT-139730-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Nitrógeno Total, N	TMECC 04.02 D/ Kjendahl
Materia orgánica, MO	TMECC 05.07 A / Ignición
Fósforo Total, P	TMECC 04.03 A /UV-VIS
Arsénico, As	TMECC 04.06 / Espectroscopía de Emisión Atómica (ICP-OES)
Plomo, Pb	TMECC 04.06 / Espectroscopía de Emisión Atómica (ICP-OES)
Zinc, Zn	TMECC 04/ Absorción Atómica-Llama
Cobre, Cu	TMECC 04/ Absorción Atómica-Llama

4. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: BIOSÓLIDO PRODUCTO DE COMPOSTAJE / BT3C (c)


DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS VARIADOS

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados*
S-4147	Materia Orgánica (MO)	%	0.01	10.71
	Nitrógeno Total	%	0.01	0.31
	Fósforo, P	%	0.01	0.85
	Arsénico, As	mg/Kg	2.67	48.47
	Cobre, Cu	mg/Kg	1.00	228.94
	Plomo, Pb	mg/Kg	3.33	102.75
	Zinc, Zn	mg/Kg	0.67	601.91

*Resultados expresado en base seca

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

(c) Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

FIN DE DOCUMENTO

Anexo 13

Informes de ensayo de los resultados de coliformes totales y termotolerantes del compost obtenido



SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS
S.A.C.

INFORME DE ENSAYO IE-2024-3307

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : GABRIELA MAMANI COAQUERA
1.2 RUC o DNI : 71350383
1.3 Dirección : CALLE LOS NARDOS N° 443 URB. NUESTRA SRA. DEL CARMEN
- TACNA - TACNA

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : LODO
2.2 Muestreado por : CLIENTE (c)
2.3 Número de Muestras : 01
2.4 Fecha de Recepción : 2024-11-06
2.5 Periodo de Ensayo : 2024-11-06 al 2024-11-13
2.6 Fecha de Emisión : 2024-11-14
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : 2024-11-05 / 16:19
2.8 N° de cotización : COT-151020-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Coliformes Totales (NMP)	SMEWW Part 9221 B, 23rd Ed
Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP)	SMEWW Part 9221 F.2, 23rd Ed.

4. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Biosólido BT1
F: 2024-11-05 / H: 16:19
N: 8008933 / E: 367654 (c)

Nombre del Proyecto: Determinación del efecto compostaje de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales, (c)


DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS EN COLIFORMES

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-5345	Coliformes Totales (NMP)	NMP/g	3.0	3500.0
	Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP)	NMP/g	3.0	<3.0

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

^(c) Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

Laboratorio de ensayo e investigación

FIN DE DOCUMENTO

**INFORME DE ENSAYO
IE-2024-3308**

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : GABRIELA MAMANI COAQUERA
1.2 RUC o DNI : 71350383
1.3 Dirección : CALLE LOS NARDOS N° 443 URB. NUESTRA SRA. DEL CARMEN
- TACNA - TACNA

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : LODO
2.2 Muestreado por : CLIENTE (c)
2.3 Número de Muestras : 01
2.4 Fecha de Recepción : 2024-11-06
2.5 Período de Ensayo : 2024-11-06 al 2024-11-13
2.6 Fecha de Emisión : 2024-11-14
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : 2024-11-05 / 16:35
2.8 N° de cotización : COT-151020-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Coliformes Totales (NMP)	SMEWW Part 9221 B, 23rd Ed
Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP)	SMEWW Part 9221 F.2, 23rd Ed.

4. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Biosólido BT2
F: 2024-11-05 / H: 16:35
N: 8008932 / E: 367654 (c)

Nombre del Proyecto: Determinación del efecto compostaje de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales. (c)



DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS EN COLIFORMES

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-5346	Coliformes Totales (NMP)	NMP/g	3.0	2400.0
	Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP)	NMP/g	3.0	<3.0

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

(c) Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

FIN DE DOCUMENTO

**INFORME DE ENSAYO
IE-2024-3309****1. DATOS DEL CLIENTE**

1.1 Cliente : GABRIELA MAMANI COAQUERA
1.2 RUC o DNI : 71350383
1.3 Dirección : CALLE LOS NARDOS N° 443 URB. NUESTRA SRA. DEL CARMEN
- TACNA - TACNA

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : LODO
2.2 Muestreado por : CLIENTE (c)
2.3 Número de Muestras : 01
2.4 Fecha de Recepción : 2024-11-06
2.5 Período de Ensayo : 2024-11-06 al 2024-11-13
2.6 Fecha de Emisión : 2024-11-14
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : 2024-11-05 / 16:50
2.8 N° de cotización : COT-151020-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Coliformes Totales (NMP)	SMEWW Part 9221 B, 23rd Ed
Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP)	SMEWW Part 9221 F.2, 23rd Ed.

4. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Biosólido BT3
F: 2024-11-05 / H: 16:50
N: 8008932 / E: 367656 (c)

Nombre del Proyecto: Determinación del efecto compostaje de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales. (c)


DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS EN COLIFORMES

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

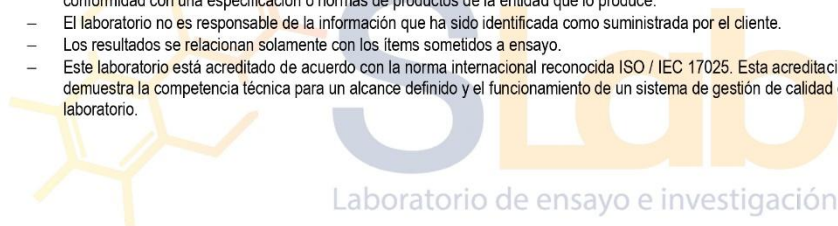
Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-5347	Coliformes Totales (NMP)	NMP/g	3.0	350.0
	Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP)	NMP/g	3.0	<3.0

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

(c) Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.



FIN DE DOCUMENTO

Anexo 14. Normativas utilizadas en la presente investigación

Decreto Supremo N° 015 – 2017 VIVIENDA

Parámetros de calidad de los biosólidos

Indicador	Clase A	Clase B
Estabilización de lodos		
Concentración de materia orgánica	Materia orgánica (SV)= 60 % de materia seca (ST)	Materia orgánica (SV)= 60 % de materia seca (ST)
Parámetro de toxicidad química		
mg/kg ST materia seca	Arsénico = 40 mg/kg ST Cadmio = 40 mg/kg ST Cromo = 1 200 mg/kg ST Cobre = 1 500 mg/kg ST Plomo = 400 mg/kg ST Mercurio = 17 mg/kg ST Níquel = 400 mg/kg ST Zinc = 2 400 mg/kg ST	Arsénico = 40 mg/kg ST Cadmio = 40 mg/kg ST Cromo = 1 200 mg/kg ST Cobre = 1 500 mg/kg ST Plomo = 400 mg/kg ST Mercurio = 17 mg/kg ST Níquel = 400 mg/kg ST Zinc = 2 400 mg/kg ST
Parámetros de Higienización		
Indicador de contaminación fecal	<i>Escherichia coli</i> < 1 000 NMP/1 g ST o <i>Salmonella</i> sp. < 1 NMP/10 g ST	El nivel de higienización se puede demostrar con el cumplimiento de los procesos previstos en el anexo I, en su defecto, mediante alguna de las tecnologías indicadas para la higienización en la Sección B del anexo II.
Indicador de huevos de helmintos	Huevos viables de helmintos < 1/ 4 g ST o Prueba de utilización de tecnologías indicadas para la higienización	

Nota. Obtenido de Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2017)

Siendo un biosólido de Clase A destinado para su aprovechamiento como acondicionador de suelos en agricultura y/o mejoramiento de suelos, que incluyen las siguientes actividades:

- Producción de almácigo y utilización en viveros
- Acondicionamiento de suelos para agricultura, pastos y forrajes, excepto la aplicación directa a los cultivos de vegetales y frutas rastreras de consumo crudo.
- Mejoramiento de suelos y áreas verdes urbanas con acceso restringido a la población en un periodo no menor a siete días.
- Aplicación en las áreas destinadas para el biosólido de clase B.
- Comercialización a empresas productoras de insumos de usos agrícolas, que se encarguen de producir compost, humus u otros productos con fines de acondicionamiento del suelo.
- Comercialización a empresas del sector privado que tengan como objeto social la producción, comercialización y/o disposición final de biosólidos.
- Comercialización a empresas operadoras de residuos sólidos.

Si por otro lado se clasifica como biosólido de Clase B, está destinado para su reaprovechamiento en suelos que excluyen el riesgo de contacto con la población y actividades ganaderas, incluyendo las siguientes actividades:

- Fines agrícolas y/o forestales para plantas de tallo alto y que son procesados para su comercialización (cultivo de café y cultivos para la producción de fibra y madera).
- Recuperación de áreas degradadas ubicadas a por lo menos 100 metros de distancia de pueblos y viviendas.
- Reforestación de suelos con acceso restringido a la población y/o animales por un periodo mínimo de treinta días calendario a partir de la aplicación del biosólido.
- Material de cobertura final para rellenos sanitarios, rellenos de seguridad o canchas de relaves con fines de reforestación o siembra de otros cultivos.
- Comercialización a empresas que se encarguen de transformar biosólidos de clase B en Clase A para su venta como compost, humus u otros acondicionadores de suelos.
- Comercialización a empresas operadoras de residuos sólidos.

Normativa Oficial Mexicana NOM – 004 –SERMARNAT – 2002

Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos

Contaminante (determinados en forma total)	Excelentes (mg/kg) en base seca	Buenos (mg/kg) en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2800	7500

Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos

Clase	Indicador Bacteriológico de Contaminación	Patógenos	Parásitos
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	<i>Salmonella</i> spp. NMP/g en base seca	Huevos de helmintos /g en base seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1 (a)
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

Aprovechamiento de biosólidos

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	Uso urbano con contacto publico directo durante su aplicación. Los establecidos para clase B y C
Excelente o bueno	B	Usos urbanos sin contacto publico directo durante su aplicación. Los establecidos para clase C
Excelente o bueno	C	Usos forestales Mejoramiento de suelos Usos agrícolas

Nota. Obtenido de Diario Oficial de la Federación (2003)

Anexo 15. Matriz de consistencia

Título: Determinación del efecto compostaje de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Tacna con fines agrícolas

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables e indicadores	Metodología
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variables	Tipo de investigación: Aplicada Nivel de investigación: Explicativo Población: lodos residuales de las PTAR's Muestra: 60 kg de lodos residuales de la PTAR Magollo y Copare Magollo y 75 kg de lodos residuales de la PTAR Copare
¿Cuál es el efecto compostaje de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Tacna con fines agrícolas?	Determinar el efecto compostaje de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Tacna con fines agrícolas.	El efecto compostaje de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales logra obtener un producto con características idóneas para ser utilizado con fines agrícolas.	Independientes X: Lodo residual de la PTAR Magollo X: Lodo residual de la PTAR Copare Dependiente Y: Compost obtenido	
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis específicos	Indicadores	Técnicas e instrumentos
¿Cuáles son las características iniciales de los lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales?	Analizar las características iniciales de los lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales.	Existe diferencia significativa en las características iniciales de los lodos procedentes de dos plantas de tratamiento de aguas residuales.	Parámetros fisicoquímicos: humedad, nitrógeno, fósforo y materia orgánica Metales pesados: arsénico, cobre, plomo y zinc. Parámetros microbiológicos: coliformes totales, Salmonella, Huevos de helmintos, Quistes de parásitos Productos farmacéuticos: ofloxacina y Sulfamethoxazole	Decreto Supremo N°015-2017- VIVIENDA (2017) NOM-004-SEMARNAT-2002 (2003) Protocolo de laboratorio para cada parámetro analizado
¿Cómo es el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en el proceso de compostaje de lodos procedentes de dos plantas de tratamiento de aguas residuales?	Evaluar el comportamiento de parámetros fisicoquímicos en el proceso de compostaje de lodos procedentes de dos plantas de tratamiento de aguas residuales.	Existe diferencia significativa en el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en el proceso de compostaje de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales.	Parámetros fisicoquímicos del proceso de compostaje: pH, temperatura y humedad	Técnica: Pilas con volteo periódico Instrumentos: Fichas de observación y Modelo de planilla de control del proceso de compostaje
¿Cuáles son las características del compost obtenido a partir de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales?	Analizar las características del compost obtenido a partir de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales.	Existe diferencia significativa en las características del compost obtenido a partir de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales.	Parámetros fisicoquímicos: nitrógeno, fósforo y materia orgánica. Metales pesados: arsénico, cobre, plomo y zinc. Parámetros microbiológicos: coliformes totales, coliformes termotolerantes, Salmonella, Huevos de helmintos, Quistes de parásitos	Protocolo de laboratorio para cada parámetro analizado Decreto Supremo N°015-2017- VIVIENDA (2017) NOM-004-SEMARNAT-2002 (2003)