

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**RECUPERACIÓN DE LODOS POR EL MÉTODO DE PILAS CON
MICROORGANISMOS EFICACES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES - JULIACA, 2024**

PRESENTADA POR:

VICTORIA YOLANDA QUISPE CONDORI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2025



Repositorio Institucional ALCIRA by [Universidad Privada San Carlos](https://www.upsc.edu.pe) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



10.97%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 3 SEP 2025, 11:27 AM

Similarity report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL 1.49% ● CHANGED TEXT 9.47%

Report #28315325

VICTORIA YOLANDA QUISPE CONDORI // RECUPERACIÓN DE LODOS POR EL MÉTODO DE PILAS CON MICROORGANISMOS EFICACES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES - JULIACA, 2024 RESUMEN La incorrecta disposición de los lodos en una Planta de tratamiento de aguas residuales puede generar impactos negativos en el medio ambiente, olores desagradables y riesgos para la salud pública. Esta investigación tuvo como objetivo recuperar lodos residuales mediante el método de pilas con microorganismos eficaces (EM-1) en la PTAR de Juliaca. El proceso se desarrolló durante 77 días realizando el compostaje en pilas aireadas, mezclando los lodos con EM-1, cal y aserrín en capas estructuradas. Se monitorearon la temperatura, humedad y aireación para mantener niveles óptimos de oxígeno y favorecer la higienización y estabilización del material. Las temperaturas promedio registradas fueron de 38 °C (mesófila), 56,5 °C (termófila) y 34 °C (maduración), con una humedad aproximada de 35 %. Se evidenció una significativa reducción de metales pesados como zinc y cadmio; moderada en cobre, plomo, arsénico y cromo; y leve en mercurio y Níquel. Además, hubo un aumento en nitrógeno total (0,18 g/100 g) y fósforo disponible (37,78 mg/kg). Respecto a los patógenos entre la concentración inicial y final de patógenos, se obtuvo una diferencia de < 2 NMP/10 g ST para Escherichia coli y de < 1,6 NMP/10 g ST para Salmonella sp., siendo las concentraciones finales de < 0,1 NMP/10 g ST para

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TESIS

**RECUPERACIÓN DE LODOS POR EL MÉTODO DE PILAS CON
MICROORGANISMOS EFICACES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES - JULIACA, 2024**

PRESENTADA POR:

VICTORIA YOLANDA QUISPE CONDORI

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE


:



Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

PRIMER MIEMBRO

:



Mg. KATIA ELIZABETH ANDRADE LINAREZ

SEGUNDO MIEMBRO

:



M.Sc. FREDY APARICIO CASTILLO SUAQUITA

ASESOR DE TESIS

:



Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería Ambiental

Línea de especialidad: Ciencias ambientales

Puno, 10 de setiembre del 2025

DEDICATORIA

A Dios, por haber guiado mis pasos y darme la fortaleza necesaria para avanzar siempre por el camino del bien.

A mis queridos padres Rolando y Rosa, por su amor, esfuerzo y ejemplo constante, por su apoyo incondicional y compañía a lo largo de mi formación.

A mi hijo Yoshiro, por ser el pilar fundamental en mi vida, cuya presencia me inspira y motiva cada día.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Privada San Carlos, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y a su distinguida plana docente, por brindarme la valiosa oportunidad de formarme profesionalmente.

Al Mg. Julio Wilfredo Cano Ojeda, mi asesor de tesis, por su constante apoyo y orientación incondicional a lo largo del desarrollo de este trabajo de investigación.

A los miembros del jurado: Dr. Esteban I. León Apaza, Mg. Katia E. Andrade Linares y Mg. Fredy A. Castillo Suaquita, por su dedicación y valiosos aportes.

A la EPS SEDAJULIACA, por las facilidades otorgadas para la realización de esta investigación en la planta de tratamiento de aguas residuales de Chilla – Juliaca.

ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|-------------------|------|
| DEDICATORIA | 1 |
| AGRADECIMIENTOS | 2 |
| ÍNDICE GENERAL | 3 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 6 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 7 |
| ÍNDICE DE ANEXOS | 8 |
| RESUMEN | 9 |
| ABSTRACT | 10 |
| INTRODUCCIÓN | 11 |

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

| | |
|--|-----------|
| 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 13 |
| 1.1.1. PROBLEMA GENERAL | 15 |
| 1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS | 15 |
| 1.2. ANTECEDENTES | 15 |
| 1.2.1. A NIVEL INTERNACIONAL | 15 |
| 1.2.2. A NIVEL NACIONAL | 17 |
| 1.2.3. A NIVEL REGIONAL | 20 |
| 1.3. OBJETIVOS | 21 |
| 1.3.1. OBJETIVO GENERAL | 21 |
| 1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 21 |

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| 2.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL | 22 |
| 2.2. MARCO CONCEPTUAL | 29 |

| | |
|--|-----------|
| 2.3. MARCO NORMATIVO | 31 |
| 2.4. HIPÓTESIS | 32 |
| 2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL | 32 |
| 2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS | 32 |
| CAPÍTULO III | |
| METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN | |
| 3.1. ZONA DE ESTUDIO | 33 |
| 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA | 33 |
| 3.2.1. POBLACIÓN | 33 |
| 3.2.2. TAMAÑO DE MUESTRA | 34 |
| 3.3. MÉTODO Y TÉCNICAS | 34 |
| 3.3.1. MÉTODO | 34 |
| 3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES | 38 |
| 3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO | 38 |
| CAPÍTULO IV | |
| EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS | |
| 4.1. MONITOREO DE LOS FACTORES AMBIENTALES TEMPERATURA, HUMEDAD Y AIREACIÓN DURANTE EL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE LODOS POR EL MÉTODO DE PILAS CON LA ADICIÓN DE MICROORGANISMOS EFICACES EM-1, DE LA PTAR JULIACA-2024. | 39 |
| 4.1.1. TEMPERATURA. | 39 |
| 4.1.2. HUMEDAD. | 40 |
| 4.2. CONCENTRACIÓN FINAL DE METALES PESADOS, NITRÓGENO TOTAL, FÓSFORO DISPONIBLE Y PATÓGENOS (ESCHERICHIA COLI, SALMONELLA SPP) DE LOS LODOS RECUPERADOS MEDIANTE EL MÉTODO DE PILAS CON LA ADICIÓN DE MICROORGANISMOS EFICACES EM-1, COMPARADOS CON LAS CONCENTRACIONES ANTES DE SU TRATAMIENTO. | 42 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2.1. METALES PESADOS. | 42 |
| 4.2.2. NITRÓGENO TOTAL Y FÓSFORO DISPONIBLE. | 44 |
| 4.2.3. PATÓGENOS ESCHERICHIA COLI, SALMONELLA SPP | 45 |
| 4.3. CONTRASTE DE HIPÓTESIS | 47 |
| 4.3.1. HIPÓTESIS GENERAL | 47 |
| 4.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS | 47 |
| CONCLUSIONES | 49 |
| RECOMENDACIONES | 51 |
| BIBLIOGRAFÍA | 52 |
| ANEXOS | 58 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla 01: Parámetros de calidad de los biosólidos | 26 |
| Tabla 02: Matriz de operacionalización de variables | 38 |
| Tabla 03: Control semanal de temperaturas en °C durante el periodo de recuperación de lodos por el método de Pila bajo invernadero. | 39 |
| Tabla 04: Concentración de metales pesados en lodos pre y post compostados en pilas aireadas con EM1, comparados con RM N° 093-2018-Vivienda. | 42 |
| Tabla 05: Concentración inicial y final de nitrógeno y fósforo disponible en lodos pre y post compostados en pilas aireadas con EM1. | 44 |
| Tabla 06: Concentración inicial y final de microorganismos patógenos en lodos pre y post compostados en pilas aireadas con EM1 | 45 |
| Tabla 07: Concentraciones de microorganismos fecales en compost de lodos con los parámetros de higienización D.S. N° 015-2017-VIVIENDA | 46 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 01: Esquema de la generación y tratamiento de los lodos | 24 |
| Figura 02: Ubicación de la planta de tratamiento | 33 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Anexo 01: Matriz de consistencia: recuperación de lodos por el método de pilas con microorganismos eficaces de la planta de tratamiento de aguas residuales - Juliaca, 2024 | 59 |
| Anexo 02: Registro de campo | 60 |
| Anexo 03: Certificados de análisis de laboratorio. | 61 |
| Anexo 04: Evidencias fotográficas. | 69 |

RESUMEN

La incorrecta disposición de los lodos en una Planta de tratamiento de aguas residuales puede generar impactos negativos en el medio ambiente, olores desagradables y riesgos para la salud pública. Esta investigación tuvo como objetivo recuperar lodos residuales mediante el método de pilas con microorganismos eficaces (EM-1) en la PTAR de Juliaca. El proceso se desarrolló durante 77 días realizando el compostaje en pilas aireadas, mezclando los lodos con EM-1, cal y aserrín en capas estructuradas. Se monitorearon la temperatura, humedad y aireación para mantener niveles óptimos de oxígeno y favorecer la higienización y estabilización del material. Las temperaturas promedio registradas fueron de 38 °C (mesófila), 56,5 °C (termófila) y 34 °C (maduración), con una humedad aproximada de 35 %. Se evidenció una significativa reducción de metales pesados como zinc y cadmio; moderada en cobre, plomo, arsénico y cromo; y leve en mercurio y Níquel. Además, hubo un aumento en nitrógeno total (0,18 g/100 g) y fósforo disponible (37,78 mg/kg). Respecto a los patógenos entre la concentración inicial y final de patógenos, se obtuvo una diferencia de < 2 NMP/10 g ST para *Escherichia coli* y de < 1,6 NMP/10 g ST para *Salmonella sp.*, siendo las concentraciones finales de < 0,1 NMP/10 g ST para *Escherichia coli* y < 0,2 NMP/10 g ST para *Salmonella sp.*, cumpliendo con los parámetros establecidos por el Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA. Concluyendo que, la recuperación de lodos mediante el método de pilas, con la adición de microorganismos eficaces EM-1, permitió una reducción significativa en las concentraciones de metales pesados y de los patógenos *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* cumpliendo con los parámetros de higienización establecidos en el Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA, confirmando la eficacia del tratamiento aplicado para la obtención de biosólidos seguros y aptos para su reaprovechamiento.

Palabras clave: Aguas residuales, Compost, Higienización, Lodos, Pilas aireadas.

ABSTRACT

The improper disposal of sludge in a Wastewater Treatment Plant can lead to negative environmental impacts, unpleasant odors, and public health risks. This research aimed to recover residual sludge using the pile method with effective microorganisms (EM-1) at the PTAR in Juliaca. The process was carried out over 77 days through composting in aerated piles, mixing sludge with EM-1, lime, and sawdust in structured layers. Temperature, humidity, and aeration were monitored to maintain optimal oxygen levels and promote sanitation and stabilization of the material. Average recorded temperatures were 38 °C (mesophilic), 56.5 °C (thermophilic), and 34 °C (maturation), with an approximate humidity of 35%. A significant reduction in heavy metals such as zinc and cadmium was observed; moderate reduction in copper, lead, arsenic, and chromium; and slight reduction in mercury and nickel. Additionally, there was an increase in total nitrogen (0.18 g/100 g) and available phosphorus (37.78 mg/kg). Regarding pathogens, a difference was observed between initial and final concentrations: < 2 MPN/10 g TS for *Escherichia coli* and < 1.6 MPN/10 g TS for *Salmonella sp.*, with final concentrations of < 0.1 MPN/10 g TS for *E. coli* and < 0.2 MPN/10 g TS for *Salmonella sp.*, complying with the parameters established by Supreme Decree No. 015-2017-VIVIENDA. In conclusion, sludge recovery through the pile method with the addition of effective microorganisms EM-1 allowed a significant reduction in heavy metal concentrations and *E. coli* and *Salmonella sp.* pathogens, meeting the sanitation parameters set by Supreme Decree No. 015-2017-VIVIENDA and confirming the effectiveness of the treatment for obtaining safe biosolids suitable for reuse.

Keywords: Wastewater, Compost, Sanitation, Sludge, Aerated piles.

INTRODUCCIÓN

La gestión adecuada de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) representa uno de los principales desafíos en la búsqueda de soluciones sostenibles para el manejo de residuos urbanos e industriales. Estos subproductos del tratamiento de aguas, si no se manipulan de forma correcta, pueden ocasionar impactos ambientales negativos significativos, como la contaminación del suelo, agua y aire, así como problemas sanitarios para las poblaciones cercanas. En respuesta a estas preocupaciones, se han desarrollado diversas tecnologías y enfoques que buscan convertir estos residuos en recursos útiles y minimizar su huella ecológica Garibay, (2019).

Entre las diferentes alternativas disponibles, el método de recuperación de lodos mediante pilas ha ganado relevancia creciente por su bajo requerimiento tecnológico, simplicidad operativa y costo accesible. Este proceso consiste en la disposición controlada de los lodos en estructuras tipo pila, donde se lleva a cabo su estabilización biológica, deshidratación por evaporación natural y posterior maduración. Durante esta fase, los microorganismos presentes degradan la materia orgánica, reduciendo la carga contaminante y mejorando las características físicas y químicas del lodo (Tola et al., 2024).

El producto final de este tratamiento puede ser reutilizado como enmienda orgánica o biofertilizante en suelos agrícolas o áreas verdes, cerrando así el ciclo de nutrientes y fomentando una economía circular. La presente investigación tiene como objetivo describir y analizar el proceso de recuperación de lodos mediante esta técnica, destacando no solo sus beneficios ambientales y económicos, sino también su potencial aplicación en contextos urbanos, periurbanos y rurales, especialmente en regiones donde los recursos técnicos y financieros son limitados (Monsalve, et al., 2017).

El método de pilas para recuperar y tratar lodos generados en plantas de tratamiento se basa en la deshidratación y estabilización del material. Consiste en disponer el lodo en capas sobre superficies porosas, permitiendo que el agua que contiene se evapore

naturalmente mediante el efecto combinado del sol, el viento y la gravedad. Esta técnica busca disminuir el volumen de los lodos, facilitando así su manejo y disposición final (Altamirano, 2019) .

La presente investigación presenta los siguientes contenidos:

- Capítulo I: Planteamiento del problema, antecedentes internacionales, nacionales, regionales y objetivos de la investigación.
- Capítulo II: Marco teórico, referencial, conceptual, normativo e hipótesis de la investigación.
- Capítulo III: Metodología de la investigación.
- Capítulo VI: Exposición, análisis de resultado y discusión.

Finalmente las Conclusiones y recomendaciones

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel mundial los lodos producto de las plantas de tratamiento de aguas residuales, e industriales, por lo general son dispuestos en rellenos sanitarios por su alto contenido de patógenos y de contaminantes, características que los hacen de alguna manera inútiles para aprovecharlos (Garibay, 2019) causando numerosos problemas de contaminación de suelos, aguas y aire debido a la liberación de gases con olores nauseabundos por el alto contenido de materia orgánica como inorgánica, que los lodos contienen y a la actividad metabólica de las bacterias ocasionando acidificación del medio, por la producción de ácidos orgánicos y de CO₂ (Tito, 2022).

Anualmente en el mundo la producción de lodos residuales se encuentra ligeramente por encima de los 20 millones de toneladas de materia seca, esta cantidad se viene incrementando debido al crecimiento poblacional y los diversos procesos industriales (Ping y Jing, 2019). Los lodos son aplicados a los suelos en los Estados Unidos de Norteamérica en un 45 al 50%, en cambio en China ocurre lo contrario debido a que esta práctica es limitada debido a que los sistemas de alcantarillado de aguas residuales incluyen efluentes industriales que contienen metales tóxicos, que se acumulan en los suelos, migran hacia las aguas subterráneas siendo absorbidos por la vegetación (Fang, Wei y Liu, 2019).

Como consecuencia del tratamiento (aerobio y/o anaerobio) de las aguas residuales domésticas, los lodos provienen de las etapas de tratamiento primario, secundario y es en

la tercera etapa en donde se generan lodos de excedencia estos lodos requieren pasar por un proceso de estabilización, indicando que aún contienen contaminantes y a la vez son ricos en materia orgánica y fuente de elementos nutritivos para los vegetales (N-P-K), estos lodos en su condición sin tratamiento pueden estar contaminados con metales pesados y microorganismos potencialmente patógenos, por ende, pueden implicar riesgos para la salud y la funcionalidad del suelo ya que estos contaminantes presentes en el lodo pueden limitar su uso agrícola (Aquino 2018).

Anualmente en el mundo la producción de lodos residuales se encuentra ligeramente por encima de los 20 millones de toneladas de materia seca, afectando directamente al medio ambiente, generando problemas de contaminación, particularmente en las ciudades con mayor población. Las aguas residuales son normalmente vertidas a otras fuentes de aguas, sin el previo tratamiento. Actualmente dichos cuerpos de agua, particularmente ríos han reducido notablemente su capacidad de dilución por muchos factores, por lo que surge la necesidad de realizar un adecuado tratamiento de las aguas debido a la concentración de la población en las ciudades provocando problemas de salud pública, debido a la contaminación del agua de abastecimiento, causando enfermedades, olores fétidos entre otros inconvenientes (Cruz, 2019).

Las aguas servidas de uso doméstico, industriales y de otras fuentes no puntuales constituyen el principal factor que contaminan los ecosistemas del Lago Titicaca, la operatividad de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que cumplen la función de reducir la contaminación de las aguas en su mayoría es ineficiente debido a la falta de mantenimiento de parte de las entidades responsables, siendo el caso particular de la PTAR Juliaca ubicada en la localidad de Chilla. En los últimos años el 56.25% no ha realizado mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y el 43.75% efectuó escasos mantenimientos debido a la falta de recursos económicos, razón por lo cual no operan al 100%, el 43.75% de pobladores encuestados indica que la falta de mantenimiento produce olores fétidos que desprenden las aguas y lodos de los sistemas de tratamiento, perceptibles al olfato de las personas que viven en las áreas

colindantes, generando conflictos sociales debido a dichos olores y proliferación de vectores provocando problemas de salud (Medrano et al., 2020), para que puedan cumplir con los programas de mantenimiento se deben reparar o reconstruir, mejorar los procesos operativos, asignar personal técnico competente, capacitación permanente del personal encargado e, implementar un protocolo de procedimientos para minimizar la contaminación de los ecosistemas acuáticos recuperando los lodos mediante técnicas adecuadas, como la utilización de microorganismos eficaces para su reaprovechamiento en la recuperación de suelos degradados.

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

¿En qué medida la recuperación de lodos mediante el método de pilas, adicionando microorganismos eficaces EM-1, reducirá la concentración de metales pesados y patógenos de la planta de tratamiento de aguas residuales Juliaca-2024?

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Las temperaturas, humedad y aireación registradas durante el proceso de recuperación de lodos por el método de pilas con la adición de microorganismos eficaces EM-1, serán las apropiadas en la planta de tratamiento de aguas residuales - Juliaca-2024?
- ¿Cuál es la concentración final de metales pesados, nitrógeno total, fósforo disponible y patógenos (*Escherichia coli*, *Salmonella spp*) de los lodos recuperados mediante el método de pilas con la adición de microorganismos eficaces EM-1, comparando dichos valores con los obtenidos antes del tratamiento en la planta de tratamiento de aguas residuales - Juliaca-2024?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. A NIVEL INTERNACIONAL

León, (2025), con el objetivo de producir un fertilizante orgánico de alta calidad, se analizó los lodos residuales, que contenían un 53.5 % de materia orgánica y niveles de metales pesados dentro de los rangos permitidos por la normativa vigente. Sin embargo, presentaban una humedad elevada y una carga patógena considerable, lo que requería

la implementación de tratamientos específicos. La etapa de pre-compostaje logró reducir la humedad en un 20 %, preparando adecuadamente el material para los procesos posteriores. Durante el compostaje, se alcanzaron temperaturas de hasta 65 °C, lo que facilitó la eliminación de microorganismos patógenos como *Salmonella* spp. y huevos de helmintos, además de ajustar la relación carbono/nitrógeno a 10:1. Por último, la aplicación de la lombricultura enriqueció el abono con nutrientes esenciales, elevando los niveles de nitrógeno al 4.2 % y de fósforo al 2.5 %, resultando en un fertilizante con excelentes características agronómicas, ideal para su uso en el ámbito agrícola.

Abalos et al., (2022), con la finalidad de estudiar la contaminación por metales pesados, aplicaron el ramnolípido (biosurfactante) generado por *Pseudomonas aeruginosa* ORA9 como estrategia para la remediación de suelos contaminados, como respuesta obtuvieron el 50% de remoción del cobre contenido en aguas y el 75% de suelos contaminados. Por otro lado, comprobaron la efectividad de un sistema biológico para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados. Finalmente, utilizaron biomasa microbiana seca, extra logrando una remoción del 52%, 23% y 14% de los metales cobre, zinc y manganeso respectivamente.

Pulgarí (2022), analizó la concentración de metales pesados como el arsénico, cadmio, cobre, mercurio, molibdeno, níquel, plomo, selenio y zinc, comparados con los parámetros establecidos en Colombia Decreto 1287-2014 logró una concentración por debajo de la máxima establecida por la normativa con un límite de 20 mg/Kg de biosólido, obteniendo como resultados para Arsénico 1.03 ± 0.07 , Cadmio 0.27 ± 0.03 , Cobre 276.67 ± 30 , Mercurio 0.33 ± 0.03 , Molibdeno $< 1.67 \pm NA$, Níquel 63.33 ± 0.83 , Plomo 24.40 ± 2 , Selenio 0.43 ± 0.03 y Zinc 926.67 ± 30 . La concentración de metales pesados, el biosólido se clasificó como tipo A. se logró la disminución de *Escherichia coli* en las todas las muestras, el porcentaje de remoción fue superiores al 90% en los tratamientos estudiados, Al comparar la mezcla 70/30 a $37 \pm 2^\circ\text{C}$, a temperatura ambiente, se evidenció una mayor remoción de *Escherichia coli* hasta un 99.99%, y una remoción del 92%. En cuanto a las muestras 60/40 y 50/50 (temperatura ambiente), se determinó la

eliminación del 99.99% y 96.92% respectivamente; ello indica que la digestión anaerobia es una estrategia adecuada para la inhibición de microorganismos patógenos como la *Escherichia coli*.

Marín (2019), estudió sobre la caracterización microbiológica de los lodos en la PTAR de la municipalidad de Sopó Cundinamarca, encontrando diferentes patógenos, similar al contenido de microorganismos mesófilos aerobios ($>1000 \times 10^4$ UFC/g). Dichos resultados de lodos terciarios o activados caracterizados originados aguas residuales domésticas, los resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos del compost en base húmeda encontró: Coliformes totales UFC/g $>100010^4$ Coliformes fecales UFC/g 5×10^5 , *Escherichia coli* UFC/g $1,1 \times 10^5$

1.2.2. A NIVEL NACIONAL

Marin & Villanueva (2023), en el marco del estudio de deshidratación de lodo residual en una planta piloto con secador convectivo rotacional, llevado a cabo en la planta de tratamiento de aguas Santa Clara en Lima, Perú, se realizaron pruebas de laboratorio para caracterizar el lodo. Se identificó que contenía aproximadamente 85.90% de agua, 4.93% de sólidos fijos y 9.17% de sólidos volátiles. Se estableció que la adición óptima de hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) debía ser del 9.09% para alcanzar una estabilización a pH 12. Tras dicha adición, se observó una disminución significativa en la concentración de *Escherichia coli*, pasando de un rango de 2.4×10^3 a 1.6×10^5 NMP/g ST, a niveles menores de 18 NMP/100 gST. Además, los análisis químicos del lodo deshidratado revelaron la presencia de nutrientes como nitrógeno, fósforo y carbono, lo que indica su potencial aplicación como fertilizante.

Flores (2020), utilizó microorganismos eficaces para cumplir con los Límites Máximos Permisibles de aguas residuales domésticas del C.P San Francisco de Asís, luego de la evaluación inicial de coliformes termotolerantes de las aguas residuales encontró 94,006 NMP, al ser tratada con microorganismos eficaces reduciendo significativamente a 10,533 NMP, donde la acidez jugó un papel importante en la disminución de microorganismos patógenos como *Escherichia coli*, a su vez indica que la fermentación con EM elimina la

condición antioxidante y la putrefacción provocada por el metabolismo de algunos microorganismos patógenos.

Yachas (2019), al caracterizar los lodos activados de la PTARD del campamento Carhuacoto Minera Chinalco, cumpliendo con el Protocolo de Monitoreo de Biosólidos R.M. N° 093-2018-VIVIENDA, los análisis de laboratorio para la toxicidad química de los metales pesados recolectados en dos fechas determinaron para Arsénico mg/kg ST 20 ± 2 y 18 ± 2 , Cadmio mg/ Kg ST 0.6917 ± 0.042 y 0.7217 ± 0.042 , Cromo mg/ kg ST 23.8 ± 26 y 21.6 ± 26 1200, Cobre mg/ kg ST 214 ± 26 y 221 ± 26 , Plomo mg/ kg ST 32.2 ± 5.2 y 32.1 ± 5.2 400, Mercurio mg/ kg ST 0.28 ± 0.028 y 0.32 ± 0.028 , Níquel mg/ kg ST 14 ± 1.1 y 15 ± 1.1 y Zinc mg/ kg ST 853 ± 77 833 ± 77 ; dichos resultados sobre los parámetros de toxicidad química de los lodos de la PTARD Carhuacoto estos se encontraron por debajo de los límites establecidos por la normativa. En relación a los parámetros de higienización de biosólidos *Escherichia coli* NMP/1g ST <3500 <3500 <1000 en el parámetro de numeración, superan el mínimo permitido por la norma.

Quincho (2022), investigó sobre los lodos residuales respecto a la toxicidad química comparando los resultados con el D. S. 015-2017-Vivienda, obtuvo resultados una concentración del Arsénico de 39,3 mg/kg el mismo que cumple con la normativa (40 mg/kg), en el caso del Cadmio una concentración de 1,2 mg/kg menor a 40 mg/kg; para el parámetro Cromo con 5,68 mg/kg por debajo de lo establecido 1200 mg/kg; para Cobre con 49,6 mg/kg; Plomo también por debajo de lo establecido con 47,85 mg/kg; Mercurio con 0,1 mg/kg menor a 17 mg/kg; Níquel por debajo de lo establecido con 3,14 mg/kg, finalmente la concentración de Zinc con 401,6 mg/kg. Se concluye que la concentración de los metales Cadmio, Cromo, Cobre, Plomo, Mercurio, Níquel y Zinc se encuentran dentro de los límites permitidos por el D. S. 015-2017.

Chipana (2022), con la finalidad de reaprovechar los lodos residuales de la PTAR La Escalerilla investigó sobre los parámetros de higienización año 2020, encontrando valores sobre los parámetros de Higienización en 3 estaciones de monitoreo sobre el parámetro *Escherichia Coli* obteniendo valores de 1,7 NMP/100 g para la estación de monitoreo del

secador térmico, <0,2 NMP/100 g en la estación del secador convencional y 8,1 NMP/100 g para la estación de monitoreo de almacenamiento siendo estos valores inferiores al límite de Clase A; y el año 2021, los valores de los parámetros de Higienización de las 3 estaciones de monitoreo los Indicadores de contaminación fecal para el parámetro *Escherichia Coli* obtuvo valores de 8,1 NMP/100 g en la estación de monitoreo del secador térmico, <0,2 NMP/100 g en la estación del secador convencional y <0,2 NMP/100 g en la estación de almacenamiento siendo estos valores inferiores a los propuestos por el D.S. N° 015-2017-Vivienda, para un biosólido Clase A.

Ayala et al., (2022), indican que la concentración de los metales pesados encontrados en los lodos de la PTARD Manchay en mg/kg fueron: Plomo 29.954, Mercurio 7.1550, Arsénico 4.803, Cromo 28.896, Cobre 104.156, Níquel 9.394, Zinc 494.839 y Cadmio 1.025; concluyendo que dichas concentraciones se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la normativa Peruana D.S. N° 015-2017-Vivienda. En cuanto a los resultados antes del tratamiento identificaron que la *Salmonella* para la Clase A se encontró elevado, y después del tratamiento con cal viva al 20% y 30% de los parámetros biológicos se encontró: *Escherichia coli* 700 y 11 NMP/1g y *Salmonella* NMP/10gST < 3* y < 3* respectivamente, dichos resultados expresan que los lodos tratados con cal viva al 20% presentan altas concentraciones de *Escherichia coli*, en comparación con lodos tratados con un 30% de cal viva evidenciando resultados favorables, cumpliendo con el rango establecido por la normativa peruana para la Clase A (D.S. N° 015-2017-Vivienda).

Cruz (2019), realizó el tratamiento de lodos generados en la PTAR. con el método de lombricultura en la Compañía Minera Chungar – 2019, determinando el contenido de nitrógeno amoniacal en lodo sin tratar de 2348.2 mg/Kg base seca, en ese estado no es asimilable por la vegetación, el cual con el tiempo se reduce el nitrógeno amoniacal a 231.2 mg/Kg seco y 437.5 mg/Kg seco. También pudo observar la presencia de nitritos en los lodo sin tratar en una concentración de 2.6 mg/Kg seco, estado no asimilable por los vegetales, éstos luego pasan a nitratos gracias al proceso de lombricultura estarán disponibles para las plantas; la presencia de fosfatos en los lodos sin tratamiento fue de

19.6 mg/Kg seco, ligeramente disponible para las plantas, producto de la acción de las lombrices, se reduce a fosfato disponible con 6.43 mg/Kg seco y 8.54 mg/Kg seco.

Castillo, y Cardenas (2019), diseñaron un experimento Taguchi considerando tres factores y tres niveles: tiempo de retención hidráulica, concentración de coagulante y pH. Con la información recopilada, se evaluó la eficiencia del sistema. A través de la tecnología de lodos activados, se logró la eliminación de DBO₅, DQO, SST y turbidez, con tasas de remoción del 99% (6.0 mg/L), 98% (30 mg/L), 99% (10 mg/L) y 98% (6 NTU), respectivamente. Estos resultados se encuentran dentro de los límites máximos permisibles para plantas de tratamiento, según el Decreto Supremo N°003-2010-MINAM. Altamirano 2019), con el objetivo de estabilizar los lodos residuales generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de Cieneguilla, aplicó microorganismos benéficos en los procesos de digestión anaerobia y pre-compostaje realizando 2 procesos: El primer proceso duró 15 días y se mantuvo a una temperatura constante de 30°C y el segundo proceso duró 16 días. En el que evaluó distintas concentraciones (0%, 5%, 10% y 15%), observándose que la dosis del 10% fue la más efectiva, ya que logró eliminar completamente patógenos como *Escherichia coli*, *Salmonella spp.* y huevos de helmintos.

1.2.3. A NIVEL REGIONAL

Mamani (2020), en el distrito de Sandía, durante el año 2018 y a una altitud de 2178 msnm, llevó a cabo un proceso de compostaje utilizando pilas aireadas con lodos residuales provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Sandía, con el objetivo de determinar las características fisicoquímicas de los lodos tratados. En la etapa inicial, se preparó una mezcla compuesta por un 50% de lodos residuales, 25% de estiércol de ovino y 25% de aserrín. La pila fue instalada en una caseta de secado de lodos de la PTAR, y el proceso tuvo una duración de 91 días. Durante el desarrollo del compostaje, la temperatura osciló entre los 20 °C y los 60 °C; la humedad se redujo del 48.00% al 46.00%; y el pH varió entre 5.09 y 8.00 unidades. Los lodos tratados alcanzaron un pH promedio de 7.8, con un contenido de nitrógeno de

1.61% y de fósforo de 2.45%. En cuanto a la calidad microbiológica, se registraron concentraciones de coliformes totales y fecales de 4.6×10^6 NMP/g y 2.1×10^6 NMP/g, respectivamente.

Luque (2020), Evaluó la remoción de coliformes termotolerantes postratamiento bajo diferentes temperaturas y tiempos de retención, los lodos activados haciendo el uso de un biorreactor, reportaron una remoción mayor al 99% de coliformes termotolerantes en los tiempos de retención celular de 120 horas a una temperatura de 22°C.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Realizar el proceso de los lodos residuales mediante el método de pilas con aditivo de microorganismos eficaces EM-1, en la planta de tratamiento de aguas residuales- Juliaca-2024.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Monitorear los factores ambientales temperatura, humedad y aireación durante el proceso de recuperación de lodos por el método de pilas con la adición de microorganismos eficaces EM-1, de la planta de tratamiento de aguas residuales- Juliaca-2024.
- Determinar la concentración final de metales pesados, nitrógeno total, fósforo disponible y patógenos (*Escherichia coli*, *Salmonella spp*) de los lodos recuperados mediante el método de pilas con la adición de microorganismos eficaces EM-1, comparando dichos valores con los obtenidos antes del tratamiento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

Deshidratación del Lodo

La reducción del contenido de agua en los lodos constituye una etapa clave en su gestión, ya que estos contienen más del 80% de humedad. Uno de los principales objetivos del tratamiento es estabilizar la materia orgánica disuelta, por lo que numerosos métodos consideran indispensable una deshidratación inicial. Esto también contribuye a reducir los costos operativos del tratamiento. Un ejemplo de este tipo de proceso es el secado mediante lechos o pilas, en el cual los lodos se depositan en capas sobre superficies porosas, permitiendo que el agua se elimine de manera natural a través del sol, el viento y la acción de la gravedad.

Los lechos de secado son una técnica tradicional y simple de deshidratación que utiliza superficies poco profundas con fondo de arena y drenaje subterráneo. El proceso depende del drenaje por gravedad y de la evaporación provocada por el sol y el viento. Con el tiempo, el lodo se transforma en una pasta agrietada, lo que facilita mayor evaporación. En climas favorables puede alcanzarse un 25% de sólidos rápidamente; en climas templados se requieren hasta dos meses. Su uso es viable si hay suficiente terreno a bajo costo y condiciones climáticas adecuadas. En plantas pequeñas, la extracción del lodo seco es manual; en instalaciones mayores, se requiere asistencia mecánica. Cuando las condiciones no son óptimas, se recurre a **procesos mecánicos** como: **Filtrado de presión**, donde el lodo se bombea con presión creciente en cámaras cubiertas con telas, permitiendo separar líquidos y sólidos, logrando hasta 50% de

contenido sólido. **Prensa de bandas**, una versión continua del filtrado que combina gravedad, presión y cizallamiento. **Filtrado al vacío**, en el que un tambor giratorio crea vacío para adherir el lodo a una tela; ofrece entre 20% y 25% de sólidos. **Centrifugación**, útil en espacios reducidos; separa sólidos por fuerza centrífuga, aunque usualmente no supera el 20% de sólidos (Donado, 2024).

Recuperación de lodos mediante el método de pilas: Conocido también como **pilas de compostaje** o **compostaje de lodos**, técnica utilizada para estabilizar y reducir el volumen de lodos de aguas residuales. Este método implica apilar los lodos en montones o pilas, donde se someten a procesos aeróbicos y biológicos para transformar los lodos en compost o material estabilizado que puede ser reciclado o reutilizado. Se puede dar mediante procesos biológicos naturales para transformar los lodos en material útil, puede ser utilizado como abono agrícola, o para rehabilitación de suelos. El método de pilas es una opción efectiva para la recuperación de lodos, especialmente en contextos donde se busca una solución sostenible y en la que se pueda aprovechar el material resultante para mejorar el suelo (Salinas et al., 2022).

El método de pilas es una opción efectiva para la recuperación de lodos, especialmente en contextos donde se busca una solución sostenible y en la que se pueda aprovechar el material resultante para mejorar el suelo. Entre las Ventajas del Método de Pilas se tiene: **Reducción de Volumen:** Disminuye el volumen de lodos, facilitando su manejo y disposición. **Mejora el suelo**, el compost generado puede mejorar la estructura del suelo y aportar nutrientes. **Proceso natural**, utiliza procesos biológicos naturales para transformar los lodos en material útil (Banco Internacional de Desarrollo-Convenio Fondo Especial de Japón, 2019).

La diversidad de sustratos y los permanentes cambios que se presentan durante el proceso de compostaje, fomentan la multiplicación de microorganismos con una gran biodiversidad funcional indispensable para degradar materia orgánica; los resultados, demuestran que el método de pilas de compostaje constituye una fuente excelente de

microorganismos degradadores para una gran diversidad de contaminantes (Salinas et al., 2022).

Proceso de lodos activados

Conocido como bioproceso, que facilita el desarrollo y depuración natural en la cual los microorganismos son capaces de depurar agua contaminada a su estado natural. Se logra a través de un proceso aerobio, con aireación prolongada y recirculación de lodos activos que eliminan sustancias biodegradables disueltas en las aguas residuales. mejor dicho, un cultivo de microorganismos mezclados con materia orgánica del agua en la que encuentran sus alimentos. La agitación y aireación, por ser un procedimiento mecánico, genera el oxígeno necesario para los microorganismos para para hacer efectiva su actividad (Saldaña & Castillo 2021)

Generación y tratamiento de los lodos

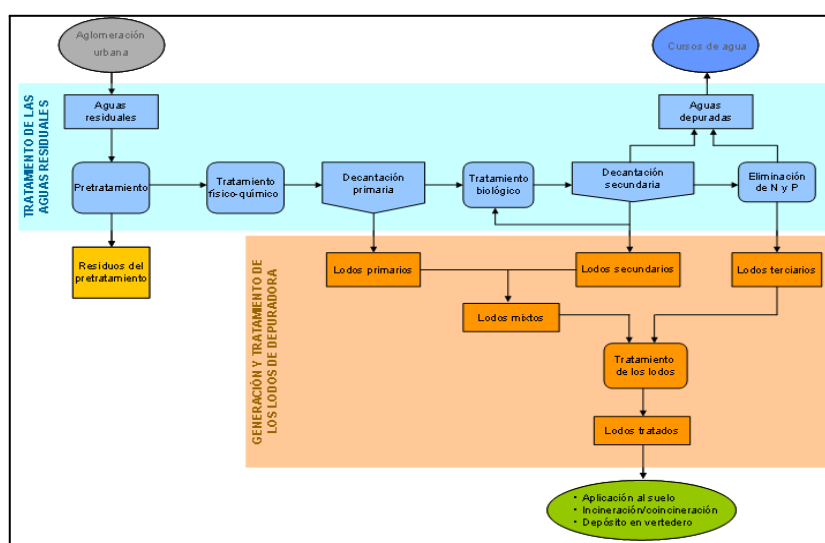


Figura 01: Esquema de la generación y tratamiento de los lodos

Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica Madrid, España

Método de Pilas (Heap Leaching). Utilizado en minería para la recuperación de metales, puede acondicionarse para la recuperación de lodos, para ello se forman pilas de lodos y la aplicación de una solución lixivante para extraer los metales (SUNASS, 2022).

Línea de lodos en las PTAR.

Parte de los procesos y operaciones del tratamiento de las aguas residuales, se generan una serie de residuos, entre ellos, los lodos provenientes de unidades de tratamiento, los que contienen un alto contenido de material orgánico e inorgánico. Las PTAR, como productores de lodos, deben de garantizar su correcta gestión, a fin de no interrumpir los procesos de tratamiento de aguas residuales o impactar al medio ambiente, por su alto contenido de material orgánico. Para viabilizar el manejo de los lodos es imprescindible su estabilización y la disminución de las cantidades producidas. Generalmente, los lodos pueden ser tratados en la misma planta a fin de reducir su contenido de agua, patógenos y asegurar la estabilidad de la materia orgánica. Los lodos, una vez tratados, deben ser sometidos a otras operaciones de tratamiento para asegurar un destino final adecuado y ambientalmente seguro. El destino más habitual es la aplicación de los lodos en agricultura (SUNASS, 2022).

Clasificación de los biosólidos:

- a. Biosólido de Clase A: Son aquellos aplicables al suelo sin restricciones sanitarias.
- b. Biosólido de Clase B: Son aquellos aplicables al suelo con restricciones sanitarias según localización de los suelos o tipo de cultivo (SUNASS, 2022); (D.S N° 015-2017-VIVIENDA, 2017)

Características que deben alcanzarse para cada tipo de biosólido.

Tabla 01: Parámetros de calidad de los biosólidos

| INDICADORES | 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 | | |
| | <ul style="list-style-type: none"> • Mercurio = 17 mg/kg | <ul style="list-style-type: none"> • Zinc = 2400 mg/kg |
| | ST | ST |
| Materia seca en mg/kg ST | <ul style="list-style-type: none"> • Cobre =1500 mg/kg | <ul style="list-style-type: none"> • Cobre =1500 mg/kg |
| | ST | ST |
| | <ul style="list-style-type: none"> • Plomo = 400 mg/kg | <ul style="list-style-type: none"> • Cromo = 1200 mg/kg |
| | ST | ST |
| | <ul style="list-style-type: none"> • Níquel = 400 mg/kg | <ul style="list-style-type: none"> • Arsénico = 40 mg/kg |
| | ST | ST |
| | <ul style="list-style-type: none"> • Zinc = 2400 mg/kg | <ul style="list-style-type: none"> • Cadmio = 40 mg/kg |
| | ST | ST |
| | <ul style="list-style-type: none"> • Arsénico = 40 mg/kg | <ul style="list-style-type: none"> • Plomo = 400 mg/kg |
| | ST | ST |
| | <ul style="list-style-type: none"> • Cadmio = 40 mg/kg | <ul style="list-style-type: none"> • Mercurio = 17 mg/kg |
| | ST | ST |
| | <ul style="list-style-type: none"> • Cromo = 1200 mg/kg | <ul style="list-style-type: none"> • Níquel = 400 mg/kg |
| | ST | ST |

Fuente: (D.S N° 015-2017-VIVIENDA, 2017)

Características de los Microorganismos Eficaces.

Alta Actividad Metabólica: Capacidad para realizar procesos metabólicos específicos de manera rápida y eficiente. **Adaptabilidad:** Habilidad para sobrevivir y funcionar en diferentes condiciones ambientales o en diversos medios. **Especificidad:** Capacidad para

llevar a cabo funciones específicas, como descomponer ciertos compuestos, fijar nitrógeno, o producir ciertas enzimas o metabolitos. **Beneficio Claro:** Los resultados o beneficios que proporcionan son claros y medibles, como la mejora en el crecimiento de las plantas, la reducción de contaminantes, o el aumento en la producción de un compuesto deseado (Banco Internacional de Desarrollo-Convenio Fondo Especial de Japón, 2019)

Funciones y Beneficios de microorganismos eficaces

Reducción de la Carga Orgánica: Los microorganismos descomponen materia orgánica en compuestos más simples, reduciendo el volumen y la carga orgánica de los lodos.

Mejora de la descomposición: La actividad enzimática de los microorganismos facilita la degradación de compuestos complejos, lo que mejora la eficiencia del proceso de tratamiento. **Reducción de Patógenos:** Algunos microorganismos pueden ayudar a reducir la carga patógena en los lodos, haciendo que los residuos tratados sean más seguros para su disposición o reutilización (Escalona 2019).

Los procesos biotecnológicos que emplea diferentes técnicas para la utilización de microorganismos naturales o modificados genéticamente, para recuperar los ambientes contaminados, reducción de sustancias tóxicas que han sido trasladadas al medio ambiente en cantidades significativas como resultado de las actividades humanas, entre los contaminantes existentes este proceso puede eliminar: hidrocarburos, pesticidas, clorofenoles, metales pesados, colorantes, sulfatos, farmacéuticos o antibióticos, entre otros (Castro 2022).

El compostaje es un proceso controlado de descomposición de residuos sólidos orgánicos mediante comunidades mixtas de microorganismos. La incorporación de microorganismos eficientes en distintas dosis, así como la evolución de las propiedades físicas y químicas a lo largo de la duración del proceso. Los resultados evidencian que el tratamiento con la dosis más alta de microorganismos eficientes presenta un control térmico más favorable, lo cual se traduce en una mayor higienización. La aplicación de estos microorganismos promueve significativamente la actividad biológica, lo que genera

un aumento de la temperatura y mejora las condiciones sanitarias del compost. Finalmente, las emisiones de CO₂ se consolidan como un parámetro esencial para identificar tanto el nivel de actividad microbiana como la estabilidad del producto final (Tola et al., 2024).

El proceso de mineralización de N cuando son aplicadas enmiendas orgánicas al suelo es amplio y contrastante. Se puede evidenciar que la mineralización neta de N, así como su tasa de mineralización, dependen, tanto de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo, como de la composición y origen de la enmienda orgánica y las condiciones ambientales donde se desarrolla el proceso. Esto ha llevado a que sea muy difícil establecer relaciones directas entre la dinámica del proceso de mineralización e inmovilización de N en un suelo dado, y la composición física, química y biológica de la enmienda orgánica. No obstante, se tiene una cantidad de información que ayudaría a dilucidar, en cierta medida, cómo sería la dinámica del N en el suelo cuando se conocen sus propiedades y composición y además se tiene bien caracterizada la enmienda orgánica a aplicar (Monsalve, et al., 2017).

Tratamiento de Lodos Residuales

Procesos Aeróbicos: En este sistemas de tratamiento operan con oxígeno, los microorganismos que se encargan de degradar la materia orgánica. Un ejemplo típico es el sistema de lodos activados, donde bacterias aeróbicas contribuyen significativamente a disminuir la carga orgánica presente en las aguas residuales. **Procesos Anaeróbicos:** En condiciones sin oxígeno, como ocurre en los digestores, los microorganismos descomponen la materia orgánica y generan subproductos como biogás, al tiempo que estabilizan los lodos, **Compostaje Biológico:** Tanto hongos como bacterias desempeñan un papel clave en el proceso de compostaje, donde transforman los lodos en un material más estable, con menor volumen y apto para su aprovechamiento como abono (Altamirano, 2019).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Lodos. Mezcla de sólidos con agua apartada del agua residual, resultado de procesos artificiales o naturales. Subproducto que resulta de la estabilización de la materia orgánica de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales, con características físicas, químicas y microbiológicas que permiten su reaprovechamiento para mejorar los suelos (Ministerio de Ambiente y Medio Rural y Marino, 2019).

El reglamento para el reaprovechamiento de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales, considera las siguientes definiciones:

Recuperación de Lodos: La recuperación incluye la extracción de metales pesados, nutrientes o la conversión de los lodos en biogás. El método de pilas se adapta para maximizar la eficiencia en la recuperación y minimizar el impacto ambiental.

Estabilización de lodo: Producto de la reducción de la fracción orgánica (Sólidos Volátiles - SV) en concordancia la materia seca (Sólidos Totales - ST) con la finalidad de controlar la degradación biológica, la producción de malos olores, vectores y patógenos en los lodos de la PTAR.

Higienización: Proceso de reducción de las concentraciones de patógenos e indicadores de contaminación de origen fecal

Biotratamiento: Los lodos pueden ser tratados mediante procesos biológicos en pilas, donde microorganismos ayudan a descomponer compuestos orgánicos y otros elementos. Este enfoque también puede ser parte del proceso de recuperación

Metales pesados. Elementos con una densidad superior a 5 g/cm^3 en forma elemental, con número atómico superior a 20.

Cadmio. Metal pesado, que frecuentemente se encuentra asociado con otros metales, es un contaminante muy peligroso para el medio ambiente, debido a su interacción con la materia orgánica, la acidez influye en su solubilidad, el pH ácido de los lodos produce la disolución del metal, permitiendo su asimilación por las plantas y/o contaminación de aguas y suelos.

Mercurio. Metal noble, soluble comúnmente en soluciones oxidantes. El metal y sus compuestos son altamente tóxicos. En la naturaleza, se encuentra como rojo de cinabrio y, en menor cantidad, en forma de metal cinabrio negro, pudiendo ser absorbido velozmente por la generalidad de los organismos y producir alteraciones en el sistema nervioso.

Plomo. Metal pesado de color azul grisáceo, en raras ocasiones se encuentra en estado elemental. La galena es su mineral más común. Es peligroso, debido a que se acumula en organismos acuáticos y terrestres, pudiendo ingresar en la cadena alimentaria.

Zinc. Elemento no muy común se encuentra en la corteza terrestre, la blenda es su principal mineral, proviene de las actividades mineras, procesamiento de acero, combustión de carbón y residuos; en los suelos y los sedimentos se puede disolver contaminando aguas subterráneas y superficiales aumentando su acidez. Se puede, acumula en órganos de los peces e ingresar en la cadena alimentaria donde se biomagnifican; (Ministerio de Ambiente Medio Rural y Marino, 2019)

Pila de compostaje: Método de tratamiento de residuos orgánicos, incluyendo lodos de aguas residuales, mediante la formación de montones o pilas que se someten a un proceso biológico aeróbico para convertir el material en compost El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2021).

Compostaje: Los hongos y bacterias se pueden utilizar en el compostaje de lodos para convertirlos en un producto más estable y menos voluminoso (INIFAP, 2021).

Microorganismos eficaces: Microorganismos que tienen la capacidad de realizar funciones específicas de manera eficiente y beneficiosa en un determinado contexto o aplicación. La eficacia de estos microorganismos puede evaluarse en función de su capacidad para mejorar procesos biológicos entre otros.

Escherichia coli. Bacteria que vive naturalmente en los intestinos y la vagina. Existen varios tipos (cepas). Gran parte de las cepas de *Escherichia coli* son inofensivas para los seres humanos, sin embargo algunas pueden provocar enfermedades infecciosas graves (López 2019).

Salmonella spp. Es un microorganismo anaerobio facultativo con la capacidad de producir ácido sulfhídrico (H_2S) afecta la salud humana y de animales (López, 2019)

Tratamiento Aeróbico: En sistemas de tratamiento aeróbico, los microorganismos descomponen la materia orgánica en presencia de oxígeno. Los lodos activados, por ejemplo, utilizan bacterias aeróbicas para reducir la carga orgánica.

Biodegradación: Transformación de la materia orgánica por acción de microorganismos en compuestos más simples (El Peruano, 2009).

Temperatura: Indispensable en la generalidad de reacciones, la digestión de materia orgánica mediante co-digestión anaerobia depende de varias operaciones y monitoreo, entre ellos, la temperatura (INIFAP 2021).

Humedad: El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias indica que: la cantidad de vapor de agua que contiene el aire producto de la evaporación del agua contenida en un cuerpo líquido o sólido (suelo, vegetal etc.) la pérdida de agua de un suelo puede ser neutralizada en cierto grado por el contenido de humedad del ambiente que lo rodea (INIFAP 2021).

2.3. MARCO NORMATIVO

- Decreto Supremo. 015-2017-Vivienda, que aprueba el reglamento para el reaprovechamiento de lodos generados en las PTAR cumpliendo conjuntamente con los parámetros de estabilización, higienización y toxicidad química..
- El DL N° 1278 la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, delega al MVCS regular los lodos provenientes de la PTAR mediante el reaprovechamiento, estos deben serlos estabilizados para la obtención de biosólidos, indicado en el capítulo VII
- El Decreto Legislativo 1278-2016 establece que los lodos generados por las PTAR y otros sistemas vinculados a prestadoras de servicios de saneamiento son manejados para su estabilización y deshidratación, como residuos sólidos no peligrosos.
- R.M. 093-2018-Vivienda Protocolo de monitoreo de Biosólidos
- D.S 004-2017-MINAM que establece los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua) luego de la zona de mezcla con el efluente de las plantas de tratamiento

de aguas residuales.

- Decreto Supremo 003-2010-MINAM, que establece los LMP medida de la concentración de parámetros físicos, químicos y biológicos de las emisiones, que definen la calidad del efluente de las PTAR.
- Resolución Ministerial 399-2022-VIVIENDA Decreto Supremo que aprueba el Plan Nacional de Saneamiento 2022-2026

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

El proceso de recuperación de lodos por el método de pilas con la adición de microorganismos eficaces EM-1, reducen la concentración de metales pesados y patógenos de la planta de tratamiento de aguas residuales Juliaca-2024.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- Los factores ambientales temperatura, humedad y aireación durante el proceso de recuperación de lodos por el método de pilas con la adición de microorganismos eficaces favorecen su estabilización.
- La concentración final de metales pesados y patógenos es menor en los lodos recuperados mediante el método de pilas con la adición de microorganismos eficaces EM-1, comparada con la concentración inicial de los lodos sin tratamiento.

3.2.2. TAMAÑO DE MUESTRA

La muestra llevada a cabo durante el proceso de recuperación de lodos mediante el método de pilas en la presente investigación estuvo conformada por un aproximado de 500 kg de lodo deshidratado con un 35% de humedad. Correspondiendo a un muestreo no probabilístico por conveniencia.

3.3. MÉTODO Y TÉCNICAS

3.3.1. MÉTODO

- **Enfoque:** Cuantitativo por que se obtuvieron valores numéricos de los factores ambientales temperatura, humedad registrados durante el proceso de recuperación de lodos, así como los resultados de los análisis de laboratorio sobre la concentración de parámetros químicos (metales pesados, nitrógeno y fósforo, parámetros microbiológicos (patógenos iniciales y finales).

- **Tipo de investigación:**

Aplicada, porque proporcionó resultados y factores intervinientes en el proceso de recuperación como aportes para la solución al problema contaminante de los lodos producto de las aguas residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de Juliaca.

- **Diseño de investigación:**

Cuasi experimental por que permitió analizar y controlar variables que influyeron en los resultados permitiendo hacer inferencias sobre la efectividad de las intervenciones en el contexto real.

Técnicas e instrumentos

- **Técnicas:**

Registro y observación

- **Instrumentos:**

Registro de campo para el registro de datos de mediciones y fenómenos observados (Anexo 2)

- Instrumentos de medición: GPS, termómetro ambiental de barra para medición de temperatura y los sentidos prueba del puño y visual para el registro de humedad y aireación de las pilas de compost durante el proceso de recuperación de lodos.

Materiales:

- Herramientas (palas rastrillos, picos y malla para tamizar)
- Equipos (termómetro de tallo para suelos, GPS)
- Insumos (cal, aserrín, microorganismos eficaces EM.)
- Plástico para cobertura de la pila.
- Bolsa hermética Ziploc
- Carretilla

3.3.1.1. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVOS

Para el objetivo específico 1: Monitorear los factores ambientales Temperatura, humedad y aireación durante el proceso de recuperación de lodos por el método de pilas con la adición de microorganismos eficaces EM-1, de la planta de tratamiento de aguas residuales - Juliaca.

a. Formación de Pilas.

Para iniciar el proceso de compostaje mediante la conformación de la pila, se utilizó una porción de lodos previamente deshidratado, lo cual representa un paso clave en su manejo debido a su alto contenido de humedad (superior al 80 %). La reducción de este contenido hídrico facilitó significativamente su tratamiento. Cabe destacar que en la PETAR Chilla del distrito de Juliaca se emplea el método de lechos o pilas de secado, el cual permitió la evaporación natural del agua a través de la acción del sol, el viento y la gravedad.

Construcción: Los lodos previamente deshidratados (estabilizados) se mezclaron homogéneamente con 3 kg de cal y 12 kg de aserrín, y se apilaron hasta alcanzar una altura promedio de 0,60 m. El tamaño y configuración de la pila según el volumen disponible de lodo. La pila se conformó de manera que favorece una adecuada

circulación de aire, facilitando así el control de la temperatura, humedad y aireación. El proceso se llevó a cabo bajo un ambiente controlado (invernadero).

b. Aireación

Oxigenación: La aireación fue un factor clave para garantizar el desarrollo del proceso aeróbico. Se utilizó un tubo con perforaciones a lo largo de su contorno para introducir aire en el interior de la pila. Se realizaron tres volteos durante el proceso, lo cual permitió una buena oxigenación y facilitó la adición homogénea de agua al material en compostaje.

Volteo: El volteo se efectuó cada 20 días con el propósito de mezclar el material y asegurar que el oxígeno llegara a todas las partes de la pila, estimulando la actividad microbiana.

c. Monitoreo y Control

Temperatura: La temperatura interna de la pila se monitorea de forma regular, ya que la actividad microbiana genera calor. Se procuró mantenerla dentro del rango óptimo de 55 a 65 °C, necesario para una descomposición eficiente y la eliminación de patógenos.

Este proceso se realizó cada 7 días aproximadamente en 10 oportunidades.

Humedad: La humedad también se controló cuidadosamente para conservar las condiciones óptimas que fomentaran la actividad de los microorganismos. El rango ideal fue entre 40 % y 60 %. Durante la fase de estabilización, se añadió agua en tres oportunidades cada 20 días coincidiendo con los volteos, lo que favoreció tanto la oxigenación como la homogeneización del material. El aserrín y la cal fueron incorporados únicamente al inicio como componentes secos, junto con el EM1 en las proporciones establecidas.

d. Maduración

Tiempo de compostaje: El proceso tuvo una duración total de 2,5 meses, gracias a la acción de los microorganismos eficaces (EM) y al adecuado manejo de la pila. Durante este tiempo, se produjo la transformación de la materia orgánica y los lodos en un producto más estable, menos voluminoso y más manejable.

Acondicionamiento: Al finalizar el proceso, el compost fue tamizado para eliminar materiales no descompuestos, obteniéndose así un producto uniforme y de mejor calidad.

Para el objetivo específico 2: Determinar la concentración final de metales pesados, nitrógeno total, fósforo disponible, y patógenos (*Escherichia coli*, *Salmonella spp*) de los lodos recuperados mediante el método de pilas con la adición de microorganismos eficaces EM-1, comparando dichos valores con los obtenidos antes del tratamiento.

Una vez obtenido el compost se procedió a tomar 6 submuestras de diferentes partes del compost se mezclaron homogéneamente y finalmente por cuarteo se obtuvo una muestra representativa, la cual se vació en una bolsa hermética ziploc.

Luego de codificar con las claves de identificación se procedió con el envío a laboratorio para su análisis correspondiente.

Finalmente, obtenidos los resultados de laboratorio fueron tabulados presentados y comparados con los resultados de los análisis iniciales de los lodos sin tratamiento para finalmente presentados y analizados.

3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Variable independiente: Microorganismos eficaces y Factores ambientales

Variable dependiente: Recuperación de lodos

Tabla 02: Matriz de operacionalización de variables

| Variables | Dimensiones | Indicadores |
|--------------------------------------|----------------------------|--|
| <u>Variable independiente</u> | | |
| Pilas EM y Factores ambientales | Microorganismos | · EM, cal, aserrín |
| | Externa e Interna | · Temperatura · Humedad |
| <u>Variable dependiente</u> | | |
| Recuperación de lodos | Parámetros Químicos | · Metales pesados: Cd, Pb, As, Hg, Zn, Ni, Cu, Cr |
| | Parámetros microbiológicos | · N total – P disponible · <i>Escherichia coli</i> · <i>Salmonella sp.</i> |

3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO

Para el tratamiento se aplicó el diseño estadístico descriptivo presentando los resultados en tablas y gráficos estadísticos, media aritmética (tendencia central); finalmente la interpretación, análisis y discusión correspondiente.

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. MONITOREO DE LOS FACTORES AMBIENTALES TEMPERATURA, HUMEDAD Y AIREACIÓN DURANTE EL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE LODOS POR EL MÉTODO DE PILAS CON LA ADICIÓN DE MICROORGANISMOS EFICACES EM-1, DE LA PTAR JULIACA-2024.

4.1.1. TEMPERATURA.

Tabla 03: Control semanal de temperaturas en °C durante el periodo de recuperación de lodos por el método de Pila bajo invernadero.

| CONTROL SEMANAL DE TEMPERATURAS EN °C POR ETAPA | | | | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|------------|-----|-----|
| MESÓFILA | | | | TERMÓFILA | | | MADURACIÓN | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 32° | 38° | 44° | 52° | 60° | 58° | 56° | 42° | 34° | 26° |
| Temperatura Promedio por etapa | | | | | | | | | |
| 38 °C | | | | 56.5 °C | | | 34 °C | | |

En la tabla 3 se presentan las temperaturas registradas durante todo el proceso de compostaje, con monitoreos efectuados cada 7 días. A partir de estas mediciones y considerando los períodos de ascenso, ligera estabilización y descenso, se definieron las etapas del compostaje. La primera fase, denominada mesófila, se determinó con base en tres mediciones que oscilaron entre 32°C y 44°C, obteniendo un promedio de 38°C. Posteriormente, se alcanzó la etapa termófila, con un promedio de temperatura de 56,5°C, calculado a partir de cuatro mediciones considerando 60°C como la mayor

temperatura registrada. Finalmente, se registró un descenso gradual en tres mediciones, con un promedio de 34°C, lo que marcó la etapa de maduración. Estos valores se sustentan en la información que indica que, durante las primeras fases del compostaje, la temperatura óptima debe aproximarse a 65°C, sin superar los 70°C, ya que valores más elevados podrían eliminar microorganismos esenciales (Asto, 2020); los valores óptimos de temperatura durante el proceso de compostaje, pasan por varias fases iniciando por la mesófila que comienza a temperatura ambiente y sube hasta los 40°C seguido de la termófila en la que se eleva hasta los 60 - 65°C, lo que ayuda a eliminar patógenos y estabilizar el material y finalmente la maduración en la que la temperatura desciende nuevamente a niveles cercanos a la ambiental (Pinto, 2021).

Los resultados de temperatura obtenidos en la presente investigación guardan cierta similitud con los obtenidos por Muñoz & Betancur, (2019), quienes durante las dos primeras semanas, en las cuatro pacas biodigestoras registraron temperaturas cercanas a los 40 °C. En la primera medición, la paca sin lodos biológicos alcanzó un máximo de 48 °C, mientras que el valor mínimo registrado fue de 40 °C. Con el paso del tiempo, las temperaturas descendieron por debajo de los 30 °C, llegando a aproximarse a los 20 °C en la última medición.

4.1.2. HUMEDAD.

El monitoreo de la humedad durante el periodo de recuperación de lodos mediante el método de pila bajo invernadero se realizó por estimación visual y el tacto, considerando que tanto la temperatura como el contenido de humedad desempeñan un papel muy importante durante el proceso de compostaje. Según diversas fuentes, la humedad inicial de un lodo proveniente de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) puede variar entre el 85 % y el 98 %, dependiendo del tipo de tratamiento y la etapa del proceso (Castellanos et al., 2018). Por su parte, Marin & Villanueva (2023), reportaron un contenido de humedad del 85.9 % en el lodo residual antes del secado.

Se recomienda mantener la humedad entre el 60 % y el 70 %, ya que este rango optimiza la actividad microbiana y el consumo de oxígeno. Una humedad insuficiente ralentiza el

metabolismo microbiano, mientras que un exceso puede generar condiciones anaeróbicas indeseadas.

En la preparación de compost a partir de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Chilla, en Juliaca, fue esencial controlar tanto la temperatura como la humedad y la aireación para asegurar una descomposición eficiente y segura. Durante la fase intermedia (termófila), se procuró evitar que la temperatura descendiera por debajo de los 50 °C, realizando volteos para mejorar la oxigenación y aplicando agua cuando fue necesario, con el fin de estimular el proceso de compostaje lo expresado es confirmado por Morera, (2018), recomienda mantener la humedad en un rango de entre 50 % y 60 %.

4.2. CONCENTRACIÓN FINAL DE METALES PESADOS, NITRÓGENO TOTAL, FÓSFORO DISPONIBLE Y PATÓGENOS (ESCHERICHIA COLI, SALMONELLA SPP) DE LOS LODOS RECUPERADOS MEDIANTE EL MÉTODO DE PILAS CON LA ADICIÓN DE MICROORGANISMOS EFICACES EM-1, COMPARADOS CON LAS CONCENTRACIONES ANTES DE SU TRATAMIENTO.

4.2.1. METALES PESADOS.

Tabla 04: Concentración de metales pesados en lodos pre y post compostados en pilas aireadas con EM1, comparados con RM N° 093-2018-Vivienda.

| METAL | CONCENTRACIÓN EN | | | R.M. N° 093-2018-VIVIENDA |
|---------------|------------------|-------|------------|--|
| | mg/kg | | | Clases A y B |
| | Inicial | Final | Diferencia | Parámetros de toxicidad química |
| | | | | Materia orgánica (SV) 60% de materia seca (ST) |
| Cadmio (Cd) | 90,0 | 1,82 | 82,18 | 40 mg/kg ST |
| Mercurio (Hg) | 10,0 | 9,0 | 1,0 | 17 mg/kg ST |
| Plomo (Pb) | 52,0 | 22,0 | 30,0 | 400 mg/kg ST |
| Zinc (Zn) | 776,0 | 373,0 | 400,0 | 2400 mg/kg ST |
| Cobre (Cr) | 114,0 | 76,1 | 37,9 | 1500 mg/kg ST |
| Cromo (Cr) | 33,2 | 18,6 | 14,6 | 1200 mg/kg ST |
| Níquel (Ni) | 12,3 | 5,3 | 7,0 | 400 mg/kg ST |
| Arsénico (As) | 33,6 | 15,6 | 18,0 | 40 mg/kg ST |

ST = Sólidos Totales, SV = Sólidos Volátiles (60% materia orgánica)

En la Tabla 4 se presentan las concentraciones de metales pesados en los lodos antes y después del proceso de compostaje, así como la diferencia entre ambas, comparadas con los límites establecidos en la normativa D.S. N.º 015-2017-VIVIENDA (2017). Se observa que el proceso de recuperación de los lodos mediante compostaje en pilas aireadas bajo condiciones controladas evidencia una reducción significativa en las concentraciones de los metales, con especial eficacia en el caso del Zinc (Zn) y Cadmio

(Cd), cuyos niveles disminuyen en 400 mg/kg y 82,18 mg/kg, respectivamente. También se evidenció una reducción moderada en las concentraciones de Cobre (Cu) con 37,9 mg/kg, Plomo (Pb) con 30 mg/kg, Arsénico (As) con 18 mg/kg y Cromo (Cr) con 14,6 mg/kg; mientras que la reducción fue relativamente baja en el caso de Mercurio (Hg), con apenas 1 mg/kg, y Níquel (Ni), con 7 mg/kg.

Los resultados finales de concentración de metales pesados en el compost fueron los siguientes (en mg/kg): Cadmio 1,82; Mercurio 9,0; Plomo 22,0; Zinc 373,0; Cobre 76,1; Cromo 18,6; Níquel 5,3; y Arsénico 15,6. Estas concentraciones, al ser comparadas con los valores establecidos en la normativa, cumplen con los requisitos del Protocolo de Monitoreo de Biosólidos R.M. N.º 093-2018-VIVIENDA. Esto incluye las concentraciones de los lodos antes del compostaje, con excepción del Cadmio, cuya concentración inicial fue de 90 mg/kg, superando el límite normativo de 40 mg/kg. Esta reducción inicial en las concentraciones de los lodos previos al compostaje se atribuye al proceso de pre-compostaje, el cual incluye solarización, aireación y drenaje, con el propósito de disminuir el volumen de los lodos y facilitar su estabilización y manejo posterior.

Por su parte, Quincho (2022), al evaluar la toxicidad química de los lodos residuales en comparación con el D.S. N.º 015-2017-VIVIENDA, reportó los siguientes niveles de concentración (en mg/kg): Arsénico 39,3; Cadmio 1,2; Cromo 5,68; Cobre 49,6; Plomo 47,85; Mercurio 0,1; Níquel 3,14; y Zinc 401,6. Dichos valores se encuentran dentro de los límites permitidos por la normativa y, al compararlos con los resultados de esta investigación, se observa que Quincho reportó concentraciones más altas de Arsénico, Plomo y Zinc, y más bajas de Cadmio, Cromo, Cobre, Mercurio y Níquel.

Asimismo, Ayala et al. (2022), registraron en los lodos de la PTARD Manchay concentraciones de metales pesados (en mg/kg) de: Plomo 29.954, Mercurio 7.155, Arsénico 4.803, Cromo 28.896, Cobre 104.156, Níquel 9.394, Zinc 494.839 y Cadmio 1.025. Según los autores, estos niveles se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la normativa peruana. Los resultados muestran una similitud general con los valores reportados en el presente estudio, con excepción del Arsénico, cuyo valor fue

menor, y del Cobre, cuya concentración fue considerablemente más alta en el estudio de Ayala.

4.2.2. NITRÓGENO TOTAL Y FÓSFORO DISPONIBLE.

Tabla 05: Concentración inicial y final de nitrógeno y fósforo disponible en lodos pre y post compostados en pilas aireadas con EM1.

| NUTRIENTES | CONCENTRACIÓN | | |
|---------------------------------|---------------|--------|------------|
| | Inicial | Final | Diferencia |
| Nitrógeno total g/100 g | 1,34 | 1,52 | 0,18 |
| Fósforo disponible mg/kg | 113,34 | 151,12 | 37,78 |

La Tabla 5 muestra los resultados de los análisis de laboratorio realizados a los lodos, antes y después del proceso de compostaje, evidenciando un aumento de 0.18 g/100 g en el contenido de nitrógeno total y de 37.78 mg/kg en el fósforo disponible. Este incremento puede atribuirse a la acción sinérgica entre los microorganismos presentes naturalmente en el sustrato y la incorporación de microorganismos eficientes (EM), los cuales desempeñan un papel activo en la descomposición de la materia orgánica compleja hacia formas inorgánicas como nitratos y fosfatos, mediante el proceso de mineralización bajo condiciones controladas. Esta afirmación es respaldada por Tola et al., (2024), quienes sostienen que la incorporación de microorganismos eficientes (EM) en el proceso de compostaje tiene un efecto altamente positivo, ya que promueve la actividad biológica y la mineralización favoreciendo el incremento del contenido de nitrógeno total. Este último efecto se atribuye a la acción de bacterias fijadoras de nitrógeno presentes en dichos microorganismos, que participan activamente en la transformación de compuestos orgánicos complejos bajo condiciones controladas., así como Monsalve et al., (2017), en su revisión sobre la mineralización del nitrógeno, explican que los microorganismos convierten compuestos orgánicos complejos en formas inorgánicas como NH_4^+ y NO_3^- . Respecto al fósforo, Tinoco & Bayuelo (2021), en su estudio, señalan que el fósforo orgánico presente en materia orgánica y biomasa

microbiana puede transformarse en fósforo inorgánico disponible, incrementando su biodisponibilidad. En relación a los resultados obtenidos Mamani (2020), tras el proceso de compostaje mediante pilas aireadas utilizando lodos residuales de la PTAR Sandia, obtuvo un contenido de nitrógeno de 1.61 g/100 g y fósforo de 2450 mg/kg. Estos valores representan resultados ligeramente superiores en cuanto a la concentración de nitrógeno, y notablemente más altos en el contenido de fósforo. Tal diferencia podría atribuirse al tiempo de compostaje y a la influencia de factores ambientales, siendo más favorables las condiciones climáticas y geográficas del distrito de Sandia en comparación con las de Juliaca.

4.2.3. PATÓGENOS *ESCHERICHIA COLI*, *SALMONELLA SPP*

Tabla 06: Concentración inicial y final de microorganismos patógenos en lodos pre y post compostados en pilas aireadas con EM1

| Indicador | CONCENTRACIÓN | | |
|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | Inicial | Final | Diferencia |
| <i>Escherichia coli</i> | < 2,1 NMP/10 g ST | < 0,1 NMP/10 g ST | < 2 NMP/10 g ST |
| <i>Salmonella spp</i> | < 1,8 NMP/10 g ST | < 0,2 NMP/10 g ST | < 1,6 NMP/10 g ST |

En la tabla 6 se observan las concentraciones de *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* antes y después del compostaje, obteniendo una diferencia de < 2 NMP/10 g ST para *Escherichia coli*, como resultado de restar el valor inicial (< 2,1 NMP/10 g ST) del final (< 0,1 NMP/10 g ST). Para *Salmonella spp.*, se obtuvo una diferencia de < 1,6 NMP/10 g ST, producto de sustraer el valor inicial (pre-compostaje, < 1,8 NMP/10 g ST) del resultado final (Compost, < 0,2 NMP/10 g ST), evidenciando la eficiencia del proceso de compostaje mediante el método de pilas aireadas con la adición de microorganismos eficaces (EM).

En relación con los resultados, Marin & Villanueva (2023), en su estudio sobre deshidratación de lodo residual en la planta piloto de tratamiento Santa Clara, Lima, observaron una disminución significativa en la concentración de *Escherichia coli*, pasando de un rango de $2,4 \times 10^3$ a $1,6 \times 10^5$ NMP/g ST a niveles menores de 18 NMP/100 g ST. Dicho resultado, convertido a 10 g ST, equivale a 1,8 NMP/10 g ST, siendo superior a los $< 0,1$ NMP/10 g ST obtenidos en el producto como estado de la presente investigación. Esta diferencia se debería al tipo de tratamiento.

Por su parte, Ayala et al., (2022), en los lodos de la PTARD Manchay, aplicaron dos dosis de cal viva (20 % y 30 %), encontrando concentraciones de *Escherichia coli* de 700 y 11 NMP/1 g, y de *Salmonella spp.* $< 3^*$ NMP/10 g ST en ambos casos, lo que demuestra la mayor efectividad de la mayor dosis. Estos resultados evidencian ser superiores a los de la presente investigación, cumpliendo en ambos casos con la normativa para la clase A.

Tabla 07: Concentraciones de microorganismos fecales en compost de lodos con los parámetros de higienización D.S. N° 015-2017-VIVIENDA

| PARÁMETROS DE HIGIENIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS | | |
|---|---|---------------------|
| Indicador | Clase A | Concentración final |
| Indicadores de contaminación fecal | <i>Escherichia coli</i> < 1000 NMP/ 1g ST | $< 0,1$ NMP/10 g ST |
| | <i>Salmonella sp.</i> < 1 NMP / 10g ST | $< 0,2$ NMP/10 g ST |

Fuente: Tabla N° 3 Artículo 14.- Parámetros de higienización D.S. N° 015-2017-VIVIENDA

En la Tabla 7 se observa que las concentraciones de *Escherichia coli* ($< 0,1$ NMP/10 g ST) y *Salmonella sp.* ($< 0,2$ NMP/10 g ST) en el compost de lodos como producto final se encuentran ampliamente por debajo de los límites establecidos para biosólidos. Esto evidencia el cumplimiento de lo dispuesto en la normativa nacional D.S. N° 015-2017-VIVIENDA, que regula el reaprovechamiento de los lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en Perú.

Estos resultados coinciden con los parámetros de higienización reportados en investigaciones previas como las de Marín & Villanueva (2023), Ayala et al. (2022) y

Chipana (2022), aunque con ligeras variaciones en los niveles de concentración. Por el contrario, Yachas (2019), reportó que los lodos activados caracterizados en la PTARD del campamento Carhuacoto de Minera Chinalco presentaron valores de *Escherichia coli* superiores al mínimo permitido por la normativa para biosólidos Clase A (NMP/1 g ST)

4.3. CONTRASTE DE HIPÓTESIS

Contrastando las Hipótesis nula (H_0), e Hipótesis alternativa (H_a) con la finalidad de comprobar la veracidad o falsedad de las hipótesis formuladas de acuerdo a los resultados obtenidos.

4.3.1. HIPÓTESIS GENERAL

Ha: El proceso de recuperación de lodos por el método de pilas con la adición de microorganismos eficaces EM-1, disminuye la concentración de metales pesados y patógenos de la planta de tratamiento de aguas residuales Juliaca.

H₀: El proceso de recuperación de lodos por el método de pilas con la adición de microorganismos eficaces EM-1, no disminuye la concentración de metales pesados y patógenos de la planta de tratamiento de aguas residuales Juliaca.

Realizando el análisis en concordancia con los resultados obtenidos sobre el proceso de recuperación de lodos por el método de pilas con la adición de EM-1 provocó la disminución de metales pesados y patógenos por lo tanto se acepta la hipótesis alterna (H_a). y se rechaza la hipótesis nula (H_0).

4.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

Hipótesis específica 1:

Ha: Los factores ambientales temperatura, humedad y aireación durante el proceso de recuperación de lodos por el método de pilas con la adición de microorganismos eficaces favorecen su estabilización.

H₀ : Los factores ambientales temperatura, humedad y aireación durante el proceso de recuperación de lodos por el método de pilas con la adición de microorganismos eficaces no favorecen su estabilización.

Realizando el análisis en concordancia con los resultados obtenidos Los factores ambientales temperatura, humedad y aireación durante el proceso de recuperación de lodos por el método de pilas con la adición de microorganismos eficaces favorecen su estabilización; por lo tanto se acepta la hipótesis alterna (H_a). y se rechaza la hipótesis nula (H_0).

Hipótesis específica 2:

H_a : La concentración final de metales pesados y patógenos disminuye en los lodos recuperados mediante el método de pilas con la adición de microorganismos eficaces EM-1, comparada con la concentración inicial de los lodos sin tratamiento.

H_0 : La concentración final de metales pesados y patógenos no disminuye en los lodos recuperados mediante el método de pilas con la adición de microorganismos eficaces EM-1, comparada con la concentración inicial de los lodos sin tratamiento.

Realizando el análisis en concordancia con los resultados obtenidos, la concentración final de metales pesados y patógenos disminuye en los lodos recuperados mediante el método de pilas con la adición de microorganismos eficaces EM-1, comparada con la concentración inicial de los lodos sin tratamiento; por lo tanto se acepta la hipótesis alterna (H_a). y se rechaza la hipótesis nula (H_0).

CONCLUSIONES

PRIMERA: El proceso de recuperación de lodos mediante el método de pilas, con la incorporación de microorganismos eficaces EM-1 en la PTAR Juliaca, permitió una reducción significativa en las concentraciones de metales pesados y de los patógenos *Escherichia coli* y *Salmonella sp*, Estos resultados cumplen con los parámetros de higienización establecidos en el Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA, lo que confirma la eficacia del tratamiento aplicado para la obtención de biosólidos seguros y aptos para su reaprovechamiento.

SEGUNDA: Los factores ambientales como la temperatura, la humedad y la aireación desempeñaron un papel fundamental en la estabilización de los lodos durante su proceso de recuperación mediante el método de pilas con adición de microorganismos eficaces. Se registraron temperaturas promedio de 38 °C en la etapa mesófila, 56.5 °C en la etapa termófila y 34 °C durante la fase de maduración, manteniéndose una humedad estimada cercana al 35 %. Estos valores reflejan condiciones adecuadas para favorecer el proceso de compostaje, evidenciando que el control de dichos parámetros es esencial para obtener un producto final estabilizado y apto para su reaprovechamiento.

TERCERA: La recuperación de lodos mediante el método de pilas con la adición de microorganismos eficaces EM-1 permitió una disminución significativa en la concentración de metales pesados y patógenos, en comparación con los niveles iniciales presentes en los lodos sin tratamiento. Destaca una reducción especialmente eficaz en Zinc (Zn) y Cadmio (Cd); una disminución moderada en Cobre (Cu), Plomo (Pb), Arsénico (As) y Cromo (Cr); y relativamente baja en Mercurio (Hg), con apenas 1 mg/kg, y Níquel (Ni), con 7 mg/kg. Respecto a los nutrientes, se evidenció un incremento de 0.18 g/100 g de

nitrógeno total y de 37.78 mg/kg de fósforo disponible. En cuanto a la concentración inicial y final de patógenos, se observó una diferencia de < 2 NMP/10 g ST para *Escherichia coli* y de < 1.6 NMP/10 g ST para *Salmonella sp.* Finalmente, en el compost de lodos como producto final, las concentraciones de *Escherichia coli* (< 0.1 NMP/10 g ST) y *Salmonella sp.* (< 0.2 NMP/10 g ST) se encuentran ampliamente por debajo de los límites establecidos para biosólidos, según lo dispuesto en el D.S. N° 015-2017-VIVIENDA.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: A EPS SEDA JULIACA S.A y responsables de la PTAR de Juliaca extender el uso del método de compostaje por pilas con la incorporación de microorganismos eficaces EM-1, dado que este tratamiento demostró ser altamente efectivo en la reducción de patógenos (*Escherichia coli* y *Salmonella sp.*) y metales pesados, cumpliendo con la normativa nacional D.S. N° 015-2017-VIVIENDA. Esta tecnología puede contribuir a la obtención de biosólidos seguros y aprovechables en contextos similares.

SEGUNDA: A los responsables de la PTAR, establecer protocolos de control continuo de temperatura, humedad y aireación en el proceso de compostaje. Los valores registrados (temperaturas mesófila, termófila y de maduración; humedad cercana al 35 %) reflejan su importancia en la estabilización de los lodos. El monitoreo adecuado de estos factores garantiza condiciones óptimas que favorecen la descomposición orgánica y la higienización microbiológica.

TERCERA: A los responsables y futuros investigadores, se sugiere realizar análisis comparativos antes y después del tratamiento para identificar contaminantes prioritarios y potenciales nutrientes a recuperar. El método demostró especial eficacia en la reducción de Zinc (Zn) y Cadmio (Cd), mientras que otros elementos como Mercurio (Hg) y Níquel (Ni) presentaron una menor disminución. Asimismo, se observó un incremento en nitrógeno y fósforo. Estos datos permiten ajustar los procesos y mejorar la calidad del compost para fines agrícolas o ambientales.

BIBLIOGRAFÍA

- Abalos, A., Rodríguez, O., Pérez, R., Nápoles, J., Cabrera, J., Laffont, I., Portuondo, I., Vilasó, J., Pérez, R., Bahín, L., Milenes, L., Abalos, A., Rodríguez, O., Pérez, R., Nápoles, J., Cabrera, J., Laffont, I., Portuondo, I., Vilasó, J., ... Milenes, L. (2022). Evaluación del empleo de microorganismos en la remoción de compuestos orgánicos persistentes y metales pesados. *Anales de La Academia de Ciencias de Cuba*, 12(1), 8.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2304-01062022000100007&Ing=es&nrm=iso&tIng=
- Altamirano Guerreros, A. D. (2019). Biotratamiento anaerobio y compostaje para la estabilización de lodos residuales provenientes de la planta de tratamiento de agua residual , Cieneguilla. *Facultad de Ingeniería; Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental*, 1–111. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/50071>
- Aquino, O. E. F. (2018). Propuesta técnica de gestión ambiental sostenible para el aprovechamiento de lodos que provienen de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en campamentos mineros del Perú. *PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ESCUELA DE POSGRADO Trabajo de Investigación Para Optar El Grado de Magíster En La Maestría En Regulación, Gestión y Economía Minera*, 75.
- Asto, S. (2020). Comparación de la técnica de compost y vermicompost mediante el aprovechamiento de lodos de un PTAR. *Universidad Científica Del Sur. Facultad de Ciencias Ambientales. Ingeniería Ambiental.*, 25.
<http://repositorio.cientifica.edu.pe:8080/handle/UCS/710>
- Ayala, S., Milla, D., & Montero, D. (2022). *Efecto de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de Manchay, y su uso como insumo de cultivo en el año* 2021.
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12235/2/IV_FIN_107_T_E_Ayala_Mila_Montero_2022.pdf

- Banco Internacional de Desarrollo-Convenio Fondo Especial de Japón. (2019). *Manual Práctico de Uso de EM Proyecto de Reducción de Pobreza y Mejora de las Condiciones Higiénicas de los Hogares de la Población Rural de Menores Recursos*. 35. http://www.emuruguay.org/images/Manual_Practico_
- Castellanos-Rozo, J., Merchán, N. A., Galvis, J., & Manjarres, E. H. (2018). Deshidratación de los lodos en lecho de secado y su influencia sobre la actividad biológica de los microorganismos. *Gestión y Ambiente*, 21(2), 242–251. <https://doi.org/10.15446/ga.v21n2.75876>
- Castillo, Rosa y Cardenas, J. (2019). *Evaluación de la eficiencia de un módulo de lodos en el tratamiento de agua residual doméstica del distrito de San Miguel*. 2019, 2014–2016. <https://hdl.handle.net/20.500.12952/4560>
- Castro, A. (2022). Enfoques y métodos para la Aplicación de Biorremediación en la Degradación de contaminantes ambientales. Facultad de Ingeniería y Arquitectura Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI. *High Tech-Engineering Journal*, 2(2), 23–33.
- Chipana Pari, J. V. (2022). *Caracterización y evaluación de los lodos residuales provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) la escalerilla, para su reaprovechamiento en la agricultura; Escuela profesional de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Ag.* https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSA_4567662a2e83f2dc2bf821791bffb867
- Cruz, A. A. A. (2019). Tratamiento de lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas con la aplicación de la lombricultura en la Compañía Minera Chungar – 2019. *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión Facultad de Ingeniería, ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL*. file:///F:/====PROYECTO LODOS/T026_71530948_T (1).pdf
- D.S N° 015-2017-VIVIENDA. (2017). Reglamento para el reaprovechamiento de los Lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales. *Diario El*

- Peruano, 32–40.
<http://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-015-2017-vivienda/>
- Donado, H. R. (2024). 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. *Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Bogotá*, 19(1–2), 3–3. <https://doi.org/10.1007/s38314-024-1571-z>
- El Peruano. (2009). *NORMA OS.090 Plantas de tratamiento de aguas residuales DS n° 022-2009*. 112, 65. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2686395/OS.090 Plantas de tratamiento de aguas residuales DS n° 022-2009.pdf?v=1641411306>
- Escalona Aguilar, M. A. (2019). *Microorganismos efectivos: su extracción y uso*. 6. <https://www.uv.mx/personal/asuarez/files/2011/02/Microorganismos-efectivos.pdf>
- Flores, C. (2020). Microorganismos eficaces para el tratamiento de aguas residuales domésticas San Francisco de Asis, Pomalca. *Universidad Andina Del Cusco*, 7–62. http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Garibay, A. E. A. (2019). Aprovechamiento de lodos residuales provenientes de las PTAR para la reducción del impacto ambiental. *Universidad Científica Del Sur; Facultad de Ciencias Ambientales Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental* “, 0–21.
- INIFAP. (2021). *MANUALES PRÁCTICOS PARA LA ELABORACIÓN DE BIOINSUMOS Estrategia de Acompañamiento Técnico*. 34. www.udea.edu.co
- León, C. J. G. (2025). Optimization of sewage sludge: an integrated approach to sustainable compost production. *Centrosur. Instituto Superior Tecnológico Edwards Deming. Quito -Ecuador*, 13. <https://doi.org/https://orcid.org/0000-0001-9202-8542>
- López, R. G. G. J. M. (2019). Salmonella enterica serotipo Typhi. *Las. Sustainability (Switzerland)*, 11(1), 1–14. http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_

TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI

- Luque, D. P. (2020). *Remoción de coliformes termotolerantes y demanda bioquímica de oxígeno DBO de aguas residuales del camal de Azoguni Puno (2019) mediante un bioreactor de fangos activados.* 167.
<https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3224176>
- Mamani, C. G. C. (2020). Producción de compost empleando pilas aireadas con lodos residuales provenientes de la PTAR. Distrito de Sandía – 2018. *Tesis de Grado, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez. Juliaca*, 53(1), 1–9.
<http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/4773>
- Marín Bahamón, D. (2019). *Propuesta de aprovechamiento de lodos residuales provenientes de una PTAR del municipio de Sopó Cundinamarca para la producción de un fertilizante órgano-mineral; Fundación Universidad de América Facultad de Ingenierías programa de Ingeniería Química Bogo.* 1–19.
<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7393/1/6122932-2019-1-I Q.pdf>
- Medrano, María; Mamani, Alfredo; Muñoz Elvira; Díaz Ricardo; Medrano, E. C. y D. U. A. P. (2020). *Ciencia y Desarrollo . Universidad Alas Peruanas Operation of the Domestic Wastewater Treatment Plants circumlacteustres to Lake Titicaca-Sector Peru and the framework in defense of ecosystems.*
<http://revistas.uap.edu.pe/ojs/index.php/CYD/index%0ARecibido>
- Ministerio de Ambiente y Medio Rural y Marino. (2019). *Caracterización de los lodos de depuradoras generados en España.*
- Monsalve Camacho, O. I., Gutiérrez D., J. S., & Cardona, W. A. (2017). Factores que intervienen en el proceso de mineralización de nitrógeno cuando son aplicadas enmiendas orgánicas al suelo. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 200–209. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.5663>
- Morera Rodríguez, M. (2018). *Diseño de un proceso de secado para los lodos centrifugados provenientes del sistema de tratamiento de lodos de la Planta de*

Tratamiento de Agua Residual Los Tajos. 246.

<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/9055>

Muñoz, C. E. P., & Betancur, B. A. W. (2019). Stabilization of biological sludge from a wastewater treatment plant by means of Biodigester Bales. *Producción y Limpia*, 14(1), 33–45. <https://doi.org/10.22507/pml.v14n1a3>

Natividad Marin, L., & Gil Villanueva, A. (2023). Deshidratación de lodo residual a escala piloto en un secador convectivo rotacional, Caso:Planta de tratamiento de aguas santa clara, provincia de Lima, Perú. *Tecnia*, 33(1), 21–33. <https://doi.org/10.21754/tecnica.v33i1.1550>

Pinto, E. M. C. E. (2021). Propuesta para el reaprovechamiento lodos residuales de la PETAR de la Universidad Militar Nueva Granada mediante un sistema de Biocompostaje. *Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería - Ingeniería Ambiental. Cajicá*, 75(17), 399–405.

Pulgarí Muñoz, C. E. (2022). *Evaluación del proceso de estabilización de la materia orgánica en el proceso de co-digestión anaerobia de lodos residuales con residuos de alimentos* Carlos Esteven Pulgarí n Muñoz Trabajo de investigación para optar al título de Magíster en Gestión Ambie. 1–89. www.udea.edu.co

Quincho Perez, E. P. (2022). *Influencia de la vermiestabilización de lodos residuales de la PTAR Sausa en la producción de vermicompost, Jauja-2022; Tesis, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental; Universidad Continental.* https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13371/3/IV_FIN_107_T_E_Quincho_Perez_2023.pdf

Saldaña Escorcía, R., & Castillo Gámez, J. K. (2021). Alternativas para la estabilización de lodos generados en estaciones depuradoras de aguas residuales desde un enfoque sistémico: una revisión. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 175–194. <https://doi.org/10.22490/21456453.4504>

Salinas, J., Martínez-gallardo, M. R., Carpena, V., Estrella-, M. J., Toribio, A., Suárez-estrella, F., Jurado, M. M., Juan, A., & López, L. M. J. (2022). *La pila de*

compostaje como fuente de microorganismos degradadores de plástico Área de Microbiología, Dpto. Biología y Geología, CITE II-B, Universidad de Almería, Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario. 5–7.

SUNASS. (2022). *Diagnóstico de las PTAR*. WWW.SUNASS.gob.pe

Tinoco-Varela, D., & Bayuelo-Jiménez, J. S. (2021). Phosphorus forms and distribution in Andisol under contrasting land-use systems in central Mexico. *Terra Latinoamericana*, 39, 1–11. <https://doi.org/10.28940/TERRA.V39I0.881>

Tito, M. (2022). *Influencia del vermicompostaje en la recuperación de lodos residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Santa Clara - Lima 2022*. 1–113. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11365/2/IV_FIN_107_T_E_Tito_Sanchez_2022.pdf

Tola, Garfias Daniela Ninoska, Miguel Angel Lopez Mamani, I. M. L. L. (2024). Dynamics of physical and chemical properties of the composting process with different doses of efficient microorganisms. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, Bolivia.*, 11, 60–71. <https://doi.org/https://doi.org/10.53287/oaht6256yt72p>

Yachas tena, E. D. (2019). *Propuesta de aprovechamiento de Lodos activados de la PTARD del campamento Carhuacoto en Minera Chinalco Perú, 2023 - Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión Escuela de Posgrado Cerro de Pasco*. 1–74. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1741>

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia: recuperación de lodos por el método de pilas con microorganismos eficaces de la planta de tratamiento de aguas residuales - Juliaca, 2024

| PROBLEMAS | OBJETIVOS | HIPÓTESIS | VARIABLE | DIMENSIONES | INDICADORES | INSTRUMENTO | DISEÑO METODOLÓGICO |
|--|--|---|---|--|--|--|--|
| <p>General:</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿En qué medida la recuperación de lodos mediante el método de pilas, adicionando microorganismos eficaces EM-1, reducirá la concentración de metales pesados y patógenos de la PTAR Juliaca-2024? <p>Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Las temperatura, humedad y aireación registradas en el proceso de recuperación de lodos por el método de pilas con la adición de microorganismos eficaces EM-1, de la PTAR Juliaca-2024? ¿Cuál es la concentración final de metales pesados y nitrógeno total, fósforo disponible y patógenos (<i>Escherichia coli</i>, <i>Salmonella spp</i>) de los lodos recuperados mediante el método de pilas con la adición de microorganismos eficaces EM-1, comparados con las concentraciones antes de su tratamiento de la PTAR - Juliaca-2024? | <p>General:</p> <ul style="list-style-type: none"> Recuperar los lodos residuales mediante el método de pilas con la adición de microorganismos eficaces EM-1, en la PTAR Juliaca-2024 <p>Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> Monitorizar los factores ambientales Temperatura, humedad y aireación durante el proceso de recuperación de lodos por el método de pilas con la adición de microorganismos eficaces EM-1, de la PTAR Juliaca-2024. Determinar la concentración final de metales pesados, nitrógeno total, fósforo disponible y patógenos (<i>Escherichia coli</i>, <i>Salmonella spp</i>) de los lodos recuperados mediante el método de pilas con la adición de microorganismos eficaces EM-1, comparando dichos valores con los obtenidos antes del tratamiento. | <p>General:</p> <p>El proceso de recuperación de lodos por el método de pilas con la adición de microorganismos eficaces EM-1, reduce la concentración de metales pesados y patógenos de la PTAR Juliaca-2024..</p> <p>Específicos</p> <p>Los factores ambientales temperatura, humedad y aireación durante el proceso de recuperación de lodos por el método de pilas con la adición de microorganismos eficaces EM-1, son apropiados favoreciendo su estabilización.</p> <p>La concentración final de metales pesados y patógenos es menor en los lodos recuperados mediante el método de pilas con la adición de microorganismos eficaces EM-1, comparados con los valores obtenidos antes del tratamiento.</p> | <p>Variable Independiente</p> <p>Método de pilas EM-1 y factores ambientales</p> <p>Variable Dependiente</p> <p>Lodos recuperados</p> | <p>Ambientales</p> <p>Químicos</p> <p>Biológicos</p> | <p>-Temperatura</p> <p>-Humedad</p> <p>-Aireación</p> <p>-pH</p> <p>-Metales pesados</p> <p>-N – P - K</p> <p>-<i>Escherichia coli</i></p> <p>-<i>Salmonella spp</i></p> | <p>D.S.015-2017 -VIVIENDA.</p> <p>LABORATORIO CERPER</p> | <p>Enfoque:</p> <p>Cuantitativo</p> <p>Tipo:</p> <p>Descriptivo</p> <p>DISEÑO</p> <p>Cuasi experimental</p> <p>Población</p> <p>Lodos PTAR</p> <p>Muestra</p> <p></p> <p>Muestreo</p> <p>No probabilístico</p> <p>Diseño estadístico:</p> <p>Estadística descriptiva</p> <p>tablas de frecuencias, representaciones gráficas</p> <p>tendencia central (media aritmética).</p> |

Anexo 02: Registro de campo

MONITOREO

SEMANAS

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

T°

H°


pH

Aireación

Anexo 03: Certificados de análisis de laboratorio.



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE 003**



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 2-02626/24

Página 1/4

| | |
|---|---|
| DATOS DEL CLIENTE | |
| Solicitado por | : VICTORIA YOLANDA QUISPE CONDORI |
| Domicilio legal | : JR. LADISLAO BUTRON N° 159 |
| DATOS DE LA MUESTRA | |
| Producto declarado ^(A) | : LODOS |
| Lugar de Muestreo | : PTAR CHILLA - JULIACA - SAN ROMÁN - PUNO |
| Fecha de Muestreo | : 2024-09-19 |
| Procedencia | : Muestreado por Certificaciones del Perú S.A. |
| Método de Muestreo | : RM N°093-2018-VIVIENDA-Protocolo de monitoreo de biosólidos |
| Cantidad recibida | : 01 muestra x 2.3 Kilogramos |
| Presentación y condición de recepción | : En Frasco de Plástico, Cerrado, Refrigerado Y Preservado |
| Identificación y descripción ^(A) | : Según se indica |
| Fecha de recepción | : 2024-09-20 |
| Fecha de inicio del ensayo | : 2024-09-20 |
| Fecha de término del ensayo | : 2024-09-30 |
| Ensayo realizado en | : Laboratorio Ambiental Arequipa / Hidrobiología Callao / Ambiental Callao/ Agrícola Callao / Subcontrata |
| Identificado con | : EXMA-04266-2024 |
| Validez del documento | : Este documento es válido solo para la muestra descrita. |

| Proyecto: | | | |
|-----------------------------------|---------------------------|--|---|
| Puntos de muestreo ^(A) | Coordenadas UTM WGS 84 | Descripción de la Estación de Monitoreo | Observaciones |
| | ESTE | NORTE | |
| L-1 | 19L0382120 | 8296559 | Los Lodos proceden de las Lagunas de Oxidación. Presencia de arenilla, presenta humedad |

^(A) Datos proporcionados por el solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar la validez de los resultados



AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

“EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE”



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-02814/24

Página 2/4

RESULTADOS

| Parámetro | Límite de Detección | Unidad | Resultados | Estación de Muestreo | |
|--------------------|---------------------|--------|------------|--------------------------|-----------------|
| | | | | Fecha y Hora de Muestreo | Tipo de Muestra |
| | | | | L-1 | |
| | | | | 2024-09-19 09:30 | |
| | | | | LODO | |
| Metales por ICP-MS | | | | | |
| Aluminio (Al) | 2 | mg/Kg | 8.622 | | |
| Antimonio (Sb) | 0.04 | mg/Kg | <0.04 | | |
| Arsénico (As) | 0.02 | mg/Kg | 33.6 | | |
| Bario (Ba) | 0.04 | mg/Kg | 262 | | |
| Berilio (Be) | 0.01 | mg/Kg | 0.568 | | |
| Cadmio (Cd) | 0.02 | mg/Kg | 1.82 | | |
| Calcio (Ca) | 10 | mg/Kg | 78.784 | | |
| Cobalto (Co) | 0.02 | mg/Kg | 4.68 | | |
| Cobre (Cu) | 0.02 | mg/Kg | 114 | | |
| Cromo (Cr) | 0.2 | mg/Kg | 33.2 | | |
| Hierro (Fe) | 0.05 | mg/Kg | 12.720 | | |
| Magnesio (Mg) | 1 | mg/Kg | 2.649 | | |
| Manganeso (Mn) | 0.03 | mg/Kg | 376 | | |
| Mercurio (Hg) | 0.03 | mg/Kg | 10.0 | | |
| Níquel (Ni) | 0.01 | mg/Kg | 12.3 | | |
| Plata (Ag) | 0.02 | mg/Kg | 4.09 | | |
| Plomo (Pb) | 0.02 | mg/Kg | 52.0 | | |
| Potasio (K) | 10 | mg/Kg | 1.772 | | |
| Selenio (Se) | 0.03 | mg/Kg | 1.13 | | |
| Sodio (Na) | 2 | mg/Kg | 632 | | |
| Teluro (Te) | 0.02 | mg/Kg | <0.02 | | |
| Vanadio (V) | 0.02 | mg/Kg | 29.3 | | |
| Zinc (Zn) | 0.02 | mg/Kg | 776 | | |



AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE 003



Registro N° LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 2-02626/24

Página 3/4

RESULTADOS (Continuación)

| Parámetro | Límite de Detección | Unidad | Resultados |
|--|---------------------|----------------|------------|
| (*) Detección y/o enumeración de Huevos de Helmintos (Callao) | | | |
| <i>Ancylostoma sp / Necator sp.</i> | 1 | Huevo/4g | <1 |
| <i>Ascaris sp.</i> | 1 | Huevo/4g | <1 |
| <i>Capillaria sp.</i> | 1 | Huevo/4g | <1 |
| <i>Clonorchis sp.</i> | 1 | Huevo/4g | <1 |
| <i>Diphyllobothium sp.</i> | 1 | Huevo/4g | <1 |
| <i>Dipylidium sp.</i> | 1 | Huevo/4g | <1 |
| <i>Echinostoma sp.</i> | 1 | Huevo/4g | <1 |
| <i>Enterobius sp.</i> | 1 | Huevo/4g | <1 |
| <i>Fasciola hepatica</i> | 1 | Huevo/4g | <1 |
| <i>Hymenolepis sp.</i> | 1 | Huevo/4g | <1 |
| <i>Macracanthorhynchus sp.</i> | 1 | Huevo/4g | <1 |
| <i>Paragonimus sp.</i> | 1 | Huevo/4g | <1 |
| <i>Schistosoma sp.</i> | 1 | Huevo/4g | <1 |
| <i>Strongyloides sp.</i> | 1 | Huevo/4g | <1 |
| <i>Taenia sp.</i> | 1 | Huevo/4g | <1 |
| <i>Trichostrongylus sp.</i> | 1 | Huevo/4g | <1 |
| <i>Trichuris sp.</i> | 1 | Huevo/4g | <1 |
| (*) Fósforo Disponible (Callao) | | | |
| (*) Fósforo Disponible | 0.4 | mg/kg | 113.34 |
| (*) Parámetros Físico - Químicos (Callao) | | | |
| (*) pH | - | Unidades de pH | 6.89 |
| (*) Humedad | - | g/100 g | 47.6 |
| (*) Parámetros Orgánicos No Metálicos (Callao) | | | |
| (*) Nitrogeno Total | 0.014 | g/100 g | 1.33 |
| (*) Materia Orgánica (Callao) | | | |
| (*) Sólidos Totales | - | % (g/100g) | 60.71 |
| (*) Sólidos Volátiles | - | % (g/100g) | 19.55 |
| (1) Salmonella | | | |
| Salmonella | - | NMP/10g ST | <1.8 |
| (1) Escherichia coli | | | |
| Escherichia coli | - | NMP/10g ST | <2.1 |

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



AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

Info@cerper.com - www.cerper.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY POR LA AUTORIDAD COMPETENTE



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE 003



Registro N° LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 2-02626/24

Página 4/4

MÉTODOS

Metales por ICP-MS: EPA Method 8020B (Preparación de muestra: EPA Method 3051A, 2007), 2014. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils)

(*) **Detección y/o enumeración de Huevos de Helmintos:** OMS. Análisis de aguas residuales para su uso en agricultura. Manual de técnicas parasitológicas y bacteriológicas de laboratorio. 2, 2.1 1997. Método de Balenger modificado

(*) **Fósforo Disponible:** NOM-021-SEMARNAT-2000-2002. (Segunda Sección). Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. AS-10. Determinación de fósforo aprovechable en suelos de neutros a alcalinos. 7.1.10. /AS-11. Determinación de fósforo extraíble en suelos de ácidos a neutros. 7.1.11.

(*) **Humedad:** DINAMA Versión 1, 2017. 1050UY Determinación de humedad en muestras sólidas (residuos sólidos industriales, sedimentos, suelos). Método termogravimétrico.

(*) **Nitrógeno Total:** NOM-021-SEMARNAT-2000-2002. (Segunda edición). Que establece las especificaciones de salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. AS-25. Nitrógeno Total 7.3.17.

(*) **Sólidos Totales:** SMEWW-APHA AWWA-WEF PART 2540 G, 24th. Ed. 2023. Total, Fixed, and Volatile Solids in Solid and Semisolid Samples

(*) **Sólidos Volátiles:** SMEWW-APHA AWWA-WEF PART 2540 G, 24th. Ed. 2023. Total, Fixed, and Volatile Solids in Solid and Semisolid Samples

(*) **pH:** Gobierno de Chile. Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos. Universidad de Concepción. Elaborado con la participación de la Comisión de Normalización y Acreditación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo por encargo de Servicio Agrícola y Ganadero. 2007. Método 4.1 (VALIDADO): pH Suspensión y determinación potenciométrica (lodos y suelos).

(*) **Salmonella (Suelo, Lodo, Biosólidos):** NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.-Especificaciones y límites máximos permitidos de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final

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

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Arequipa, 02 de octubre de 2024

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

Lic. Quím Eddie Mendoza Mamani
C.O.P. N° 716
JEFE DE LABORATORIOS - AREQUIPA

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

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 8000

info@cerper.com - www.cerper.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-02814/25

Página 1/4

| DATOS DEL CLIENTE | |
|---|---|
| Solicitado por | VICTORIA YOLANDA QUISPE CONDORI |
| Domicilio legal | JR. LADISLAO BUTRON N° 159 |
| DATOS DE LA MUESTRA | |
| Producto declarado ^(A) | LODOS |
| Lugar de Muestreo | PTAR CHILLA - JULIACA - SAN ROMÁN - PUNO |
| Fecha de Muestreo | 2025-04-07 |
| Procedencia | Muestreado por Certificaciones del Perú S.A. |
| Método de Muestreo | RM N°093-2018-VIVIENDA-Protocolo de monitoreo de biosólidos. |
| Cantidad recibida | 01 muestra x 2.3 Kilogramos |
| Presentación y condición de recepción | En Frasco de Plástico, Cerrado, Refrigerado Y Preservado |
| Identificación y descripción ^(A) | Según se indica |
| Fecha de recepción | 2025-04-08 |
| Fecha de inicio del ensayo | 2025-04-08 |
| Fecha de término del ensayo | 2025-04-19 |
| Ensayo realizado en | Laboratorio Ambiental Arequipa / Hidrobiología Callao / Ambiental Callao/ Agrícola Callao / Subcontrata |
| Identificado con | EXMA-06583-2025 |
| Validez del documento | Este documento es válido solo para la muestra descrita |

| Proyecto: | | | |
|---------------------------|---|--|--|
| Coordenadas UTM WGS 84 | Descripción de la Estación de Muestreo | Observaciones | |
| ESTE | NORTE | | |
| L-1 | 15L0382120 8286559 | Los Lodos proceden de las Lagunas de Oxidación | Presencia de arcilla, presenta humedad |

^(A) Datos proporcionados por el solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar la validez de los resultados



AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-02814/25

Página 2/4

RESULTADOS

| Parámetro | Límite de Detección | Unidad | Resultados |
|---------------------------|---------------------|--------|------------|
| Metales por ICP-MS | | | |
| Aluminio (Al) | 2 | mg/Kg | 5 622 |
| Antimonio (Sb) | 0.04 | mg/Kg | <0.04 |
| Arsénico (As) | 0.02 | mg/Kg | 16.6 |
| Bario (Ba) | 0.04 | mg/Kg | 96.9 |
| Berilio (Be) | 0.01 | mg/Kg | 010.1 |
| Cadmio (Cd) | 0.02 | mg/Kg | 0.82 |
| Calcio (Ca) | 10 | mg/Kg | 16 642 |
| Cobalto (Co) | 0.02 | mg/Kg | 2.55 |
| Cobre (Cu) | 0.02 | mg/Kg | 76.1 |
| Cromo (Cr) | 0.2 | mg/Kg | 18.6 |
| Hierro (Fe) | 0.05 | mg/Kg | 12 720 |
| Magnesio (Mg) | | mg/Kg | 2 849 |
| Manganeso (Mn) | 0.03 | mg/Kg | 132 |
| Mercurio (Hg) | 0.03 | mg/Kg | 9.0 |
| Níquel (Ni) | 0.01 | mg/Kg | 5.3 |
| Plata (Ag) | 0.02 | mg/Kg | 3.08 |
| Plomo (Pb) | 0.02 | mg/Kg | 22.0 |
| Potasio (K) | 10 | mg/Kg | 1 372 |
| Selenio (Se) | 0.03 | mg/Kg | 0.9 |
| Sodio (Na) | 2 | mg/Kg | 532 |
| Teluro (Te) | 0.02 | mg/Kg | <0.02 |
| Vanadio (V) | 0.02 | mg/Kg | 14.3 |
| Zinc (Zn) | 0.02 | mg/Kg | 376 |

| | |
|--------------------------|---------------------|
| Estación de Muestreo | L-1 |
| Fecha y Hora de Muestreo | 2025-04-07 08:30 |
| Tipo de Muestra | LODO |



AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY. POR LA AUTORIDAD COMPETENTE.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE 003



Registro N° LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 2-02814/25

Página 3/4

RESULTADOS (Continuación)

| Parámetro | Limite de Detección | Unidad | Resultados | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------|----------------|------------|----------------------|-----|--|--|--------------------------|------------------|--|--|-----------------|------|--|--|
| <table border="1"> <tr> <td>Estación de Muestreo</td> <td colspan="3">L-1</td> </tr> <tr> <td>Fecha y Hora de Muestreo</td> <td colspan="3">2025-04-07 08:30</td> </tr> <tr> <td>Tipo de Muestra</td> <td colspan="3">LODO</td> </tr> </table> | | | | Estación de Muestreo | L-1 | | | Fecha y Hora de Muestreo | 2025-04-07 08:30 | | | Tipo de Muestra | LODO | | |
| Estación de Muestreo | L-1 | | | | | | | | | | | | | | |
| Fecha y Hora de Muestreo | 2025-04-07 08:30 | | | | | | | | | | | | | | |
| Tipo de Muestra | LODO | | | | | | | | | | | | | | |
| (*) Fósforo Disponible (Callao) | 0,4 | mg/kg | 151,12 | | | | | | | | | | | | |
| (*) Parámetros Físico - Químicos (Callao) | | | | | | | | | | | | | | | |
| (*) pH | - | Unidades de pH | 9,01 | | | | | | | | | | | | |
| (*) Humedad | - | g/100 g | 39,3 | | | | | | | | | | | | |
| (*) Parámetros Orgánicos No Metálicos (Callao) | | | | | | | | | | | | | | | |
| (*) Nitrógeno Total | 0,014 | g/100 g | 1,52 | | | | | | | | | | | | |
| (*) Materia Orgánica (Callao) | | | | | | | | | | | | | | | |
| (1) Salmonella | --- | NMP/10g ST | <0,2 | | | | | | | | | | | | |
| (1) Escherichia coli | --- | NMP/10g ST | <0,1 | | | | | | | | | | | | |

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA
(1) Ensayos subcentralizado No Acreditado



AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-02814/25

Página 4/4

MÉTODOS

Metales por ICP-MS: EPA Method 6020B (Preparación de muestra: EPA Method 3051A, 2007). 2014. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils)

(*) **Detección y/o enumeración de Huevos de Helminetos:** OMS. Análisis de aguas residuales para su uso en agricultura. Manual de técnicas parasitológicas y bacteriológicas de laboratorio. 2. 2.1 1997. Método de Baillenger modificado.

(*) **Fósforo Disponible:** NOM-021-SEMARNAT-2000-2002 (Segunda Sección). Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. AS-10. Determinación de fósforo aprovechable en suelos de neutros a alcalinos. 7.1.10. /AS-11. Determinación de fósforo extraíble en suelos de ácidos a neutros. 7.1.11.

(*) **Humedad:** DINAMA Versión 1. 2017. 1050UY Determinación de humedad en muestras sólidas (residuos sólidos industriales, sedimentos, suelos). Método termogravimétrico.

(*) **Nitrógeno Total:** NOM-021-SEMARNAT-2000-2002 (Segunda edición). Que establece las especificaciones de salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. AS-25. Nitrógeno Total 7.3.17.

(*) **Sólidos Totales:** SMEWW-APHA AWWA-WEF PART 2540 G, 24th. Ed. 2023. Total, Fixed, and Volatile Solids in Solid and Semisolid Samples

(*) **Sólidos Volátiles:** SMEWW-APHA AWWA-WEF PART 2540 G, 24th. Ed. 2023. Total, Fixed, and Volatile Solids in Solid and Semisolid Samples

(*) **pH:** Gobierno de Chile. Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos. Universidad de Concepción, Elaborado con la participación de la Comisión de Normalización y Acreditación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo por encargo del Servicio Agrícola y Ganadero. 2007. Método 4.1 (VALIDADO). pH Suspensión y determinación potenciométrica (lodos y suelos).

(1) **Salmonella (Suelo, Lodo, Biosólidos):** NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental - Lodos y biosólidos - Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final

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

(1) Ensayos subcontratado No Acreditado

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Arequipa, 10 de mayo de 2025

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

Lic. Quim Eddie Mendoza Mamani
C.O.P. N° 775
JEFE DE LABORATORIOS - AREQUIPA

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

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Anexo 04: Evidencias fotográficas.

IMAGEN 1. Lodo residual cubierto con geomembrana en la PTAR-SEDAJULIACA.



IMAGEN 2. FORMACIÓN DE PILA.



IMAGEN 3. MONITOREO Y CONTROL.(temperatura,humedad)



IMAGEN 4.MONITOREO Y CONTROL.(temperatura,humedad)



IMAGEN 5. Maduración, tiempo del compostaje con el microorganismo eficaces EM-1.



IMAGEN 6. INVERNADERO DE SEDA JULIACA.

