

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



**"EFECTO DE MICROORGANISMOS EFICACES EN EL PROCESO  
DE COMPOSTAJE EN LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA"**

**Bach. Rene Coyla Ccari**

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

**Asesor: Dr. Wile Mamani Navarro**

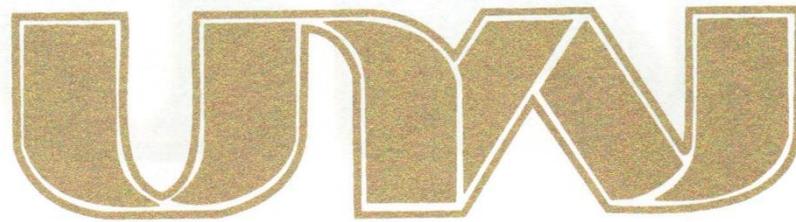


**Juliaca, 2022**





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



"EFECTO DE MICROORGANISMOS EFICACES EN EL PROCESO  
DE COMPOSTAJE EN LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA"

**"EFECTO DE MICROORGANISMOS EFICACES EN EL PROCESO  
DE COMPOSTAJE EN LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA"**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

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

**Asesor: Dr. Wile Mamani Navarro**



**Juliaca, 2022**

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



**“EFECTO DE MICROORGANISMOS EFICACES EN EL PROCESO  
DE COMPOSTAJE EN LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA”**

Bach. Rene Coyla Ccari

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Asesor: Dr. Wile Mamani Navarro

Juliaca-Perú

2022

Coyla, R. (2022). *Efecto de microorganismos eficaces en el proceso de compostaje en lodos de la Planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional de Juliaca. Juliaca.

**AUTOR:** Rene Coyla Ccari

**TÍTULO:** Efecto de microorganismos eficaces en el proceso de compostaje en lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa.

**PUBLICACIÓN:** Juliaca, 2022.

**DESCRIPCIÓN:** Cantidad de páginas (131).

**NOTA:** Tesis (**Ingeniería Ambiental y Forestal**) – Universidad Nacional de Juliaca  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal.

**CÓDIGO:** 01-000019-01/C86

**NOTA:** Incluye bibliografía.

**ASESOR:** Dr. Wile Mamani Navarro.

**PALABRAS CLAVE:** Compost, lodos, microorganismos eficaces, tratamiento

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

**“EFECTO DE MICROORGANISMOS EFICACES EN EL PROCESO  
DE COMPOSTAJE EN LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA”**  
**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y  
FORESTAL**

**Presentado por:**

**Bach. Rene Coyla Ccari**

**Sustentado y aprobada ante el siguiente jurado:**

M.Sc. Eliana Mullisaca Contreras

**PRESIDENTE DE JURADO**



Dr. Alejandro Félix Taquire Arroyo

**JURADO (Secretario)**



**2° MIEMBRO**

M.Sc. Hugo Apaza Aquino

**JURADO (Vocal)**



**3° MIEMBRO**



Dr. Wile Mamani Navarro  
**ASESOR DE TESIS**

## **DEDICATORIA**

*A Dios y a mi familia, principalmente a mis padres, Emerita Ccari Maraza, Leoncio Coyla Quispe, por brindarme, confianza, oportunidad y los recursos para lograrlo y estar siempre a mi lado, por cada motivación que me dieron para lograr la meta de terminar mi carrera profesional .*

*A todas las personas que me motivaron y me ayudaron a tener el deseo de superarme cada día y que me apoyaron en el transcurso de mi carrera profesional.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios, por darme la bendición cada día, la vida, la salud y las fuerzas para luchar por este proyecto de vida.*

*A la Universidad Nacional de Juliaca por las oportunidades brindadas en la culminación de mi carrera profesional y a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal, por brindarme los más grandes conocimientos en mi formación.*

*A los docentes de la Universidad Nacional de Juliaca que contribuyeron con el desarrollo de la presente investigación*

*A mi Asesor y los miembros del jurado quienes con sus conocimientos aportaron con éxito el presente estudio y a todos las personas que contribuyeron en la culminación de este estudio.*

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN .....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
<b>CAPITULO I</b>	
<b>PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA</b>	
1.1. Situación problemática .....	4
1.2. Formulación del problema.....	6
1.2.1. Problema general .....	6
1.2.2. Problemas específicos .....	6
1.3. Objetivos de investigación .....	7
1.3.1. Objetivo general .....	7
1.3.2. Objetivos específicos.....	7
1.4. Justificación de la investigación.....	8
<b>CAPITULO II</b>	
<b>MARCO TEÓRICO</b>	
2.1. Antecedentes.....	9
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	9
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	11
2.1.3. Antecedente regional .....	13
2.2. Marco teórico.....	14
2.2.1. Planta de tratamiento de agua residuales.....	14
2.2.2. Lodos residuales .....	14
2.2.3. Características de lodos residuales .....	15
2.2.4. Metales en lodos residuales .....	15
2.2.5. Características microbiológicas en lodo.....	16
2.2.6. Tipos de lodos.....	17

2.2.7. Tratamientos de lodos.....	18
2.2.8. Tratamiento físico.....	18
2.2.9. Tratamiento químico .....	19
2.2.10. Tratamiento térmico .....	19
2.2.11. Tratamiento biológico .....	19
2.2.12. Compostaje .....	20
2.2.13. Proceso del compostaje .....	21
2.2.14. Sistemas de compostaje .....	22
2.2.15. Fases del compostaje .....	24
2.2.16. Cinética microbiana.....	25
2.2.17. Factores que intervienen en el proceso de compostaje.....	26
2.2.18. Microorganismos eficaces .....	28
2.2.19. Metabolismo microbiano.....	30
2.2.20. Activación de microorganismos eficaces .....	31
2.2.21. Microorganismos eficaces (ME) en compost .....	32
2.2.22. Biosólidos .....	32
2.2.23. Clasificación de biosólidos.....	32
2.2.24. Parámetros de estabilización .....	33
2.2.25. Parámetros de toxicidad química.....	33
2.2.26. Parámetros de higienización.....	34

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	Ámbito de estudio.....	35
3.2	Tipo, nivel y diseño de la investigación .....	35
3.3	Población y muestra .....	36
3.3.1	Tamaño de muestra.....	36
3.4	Materiales e instrumentos.....	37

3.5	Procedimiento metodológico .....	38
3.5.1.	Caracterización de los parámetros microbiológicos y metales totales en lodos de lecho de secados de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa. ....	38
3.5.2.	Determinación del efecto de microorganismos eficaces en el proceso y tiempo de obtención de compost a partir de lodos de lecho de secado de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa. ....	41
3.5.3.	Determinación de la remoción de parámetros microbiológicos y contenido de macronutrientes en compost obtenido a partir de lodos de lecho de secado de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa. ....	43
3.5.4.	Análisis estadístico .....	47

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Características de los parámetros microbiológicos y metales totales en lodos de lecho de secados de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa..	50
4.1.1.	Análisis de parámetros microbiológico .....	50
4.1.2.	Análisis de metales totales.....	51
4.2.	Efecto de los microorganismos eficaces en el proceso y tiempo de obtención de compost a partir de lodos de lecho de secado de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa. ....	52
4.2.1.	pH .....	52
4.2.2.	Humedad.....	54
4.2.3.	Temperatura.....	56
4.3.	Remoción de los parámetros microbiológicos y contenido de macronutrientes en compost obtenido a partir de lodos de lecho de secado de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa. ....	61
4.3.1.	Remoción de agentes patógenos.....	61
4.3.1.1.	Coliformes fecales .....	61
4.3.1.2.	Helminchos y parásitos .....	62

4.3.1.3. Salmonella .....	63
4.3.2. Metales totales .....	63
4.3.3. Contenido de macronutrientes, nitrógeno, potasio y fósforo en compost .....	64
4.3.3.1. Nitrógeno (N) .....	65
4.3.3.2. Potasio (K).....	66
4.3.3.3. Fosforo (P).....	67
CONCLUSIONES.....	70
RECOMENDACIONES .....	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores característicos de parámetros más frecuentes estudiados en lodos .....	15
Tabla 2. Concentración permisible para metales pesados en lodos.....	16
Tabla 3. Parámetros de vida de salmonella sp.....	16
Tabla 4. Etapas del proceso de compostaje. ....	21
Tabla 5. Condiciones óptimas para el compostaje .....	27
Tabla 6. Principales diferencias entre la producción de compost con ME y sin ME .....	32
Tabla 7. Diseño experimental.....	35
Tabla 8. Métodos para determinación de parámetros de metales totales. ....	40
Tabla 9. Distribución de tratamiento .....	41
Tabla 10. Medición de parámetros del efecto de los microorganismos eficaces en el tiempo en la obtención de compost.....	42
Tabla 11. Método de medición de N, P, K y materia orgánica en compost .....	46
Tabla 12. Características de parámetros microbiológicas de lodos.....	51
Tabla 13. Características de metales totales en lodos.....	51
Tabla 14. PH.....	52
Tabla 15. Humedad .....	54
Tabla 16. ANOVA de un factor.....	59
Tabla 17. Prueba de normalidad.....	59
Tabla 18. Prueba de homogeneidad de varianza .....	60
Tabla 19. Tiempo.....	60
Tabla 20. Remoción de agentes patógenos.....	62
Tabla 21. Análisis de metales totales .....	63
Tabla 22. Contenido de macronutrientes .....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Proceso de tratamiento de agua residual .....	14
Figura 2. Generación de lodos en las etapas de tratamiento de aguas residuales:.....	18
Figura 3. Descripción simplificada de lo que ocurre en un compostaje.....	21
Figura 4. Compostaje en pilas estáticas con aireación pasiva. ....	22
Figura 5. Compostaje en pilas estáticas con aireación forzada .....	23
Figura 6. Tipos de recipientes usados como composteras.....	23
Figura 7. Fases del proceso de compostaje .....	25
Figura 8. Distribución de los tiempos máximos de duplicación para microorganismos:.	26
Figura 9. Bacterias fotosintéticas .....	29
Figura 10. Bacterias ácido láctico .....	29
Figura 11. Levaduras .....	30
Figura 12. Metabolismo microbiano .....	31
Figura 13. Activación de los microorganismos eficaces .....	31
Figura 14. Puntos de muestreo de lodos en lecho de secado del PTAR Lampa.....	37
Figura 15. Flujograma para el análisis microbiológica de lodo. ....	39
Figura 16. Flujograma para el análisis metales pesados.....	40
Figura 17. Diagrama de flujo para la determinación del porcentaje de remoción microorganismos patógenos en compost.....	44
Figura 18. Comportamiento del pH en los tres tratamientos.....	53
Figura 19. Comportamiento de la humedad en los tres tratamientos. ....	55
Figura 20. Temperatura de los tres tratamientos. ....	56
Figura 21. Concentración de nitrógeno en compost en los tres tratamientos .....	65
Figura 22. Concentración de potasio en los tres tratamientos .....	67
Figura 23. Concentración de fósforo en compost en los tratamientos.....	68
Figura 24. Concentración de relación C/N en compost de los tres tratamientos.....	69
Figura 25. Construcción del invernadero. ....	73
Figura 26. Armado de la base del invernadero .....	73
Figura 27. Construcción de composteras.....	73
Figura 28. Armado de composteras en el invernadero .....	73
Figura 29. Toma de muestra de lecho de secado de la planta de tratamiento de aguas residuales .....	73
Figura 30. Preparación y activación de microorganismos eficaces.....	73

Figura 31. Armado de composteras .....	73
Figura 32. Volteo de composteras .....	73
Figura 33. Monitoreo de los parámetros (temperatura, pH, humedad). .....	73
Figura 34. Maduración de compost .....	73
Figura 35. Zarandeo de compost. ....	73
Figura 36. Muestra de compost para el análisis .....	73

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Protocolo de monitoreo de biosólidos aprobado con Resolución Ministerial N°093-2018 Vivienda.....	88
Anexo 2. Decreto supremo que aprueba el reglamento para el reaprovechamiento de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales N° 015 – 2017 – VIVIENDA.....	102
Anexo 3. Resultados iniciales de parámetros químicos en el lodo de lecho de secado de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de lampa.....	112
Anexo 4. Resultados finales de parámetros químicos en compost .....	114
Anexo 5. Resultados de monitoreo de parámetros físicos (temperatura, ph, humedad...)	120
Anexo 4. Panel fotográfico.....	124

## RESUMEN

Los lodos constituyen una fuente de materia prima, que puede ser aprovechado con tecnologías eco amigables y tener una fuente de abono de mejor calidad. El objetivo de investigación fue evaluar el efecto de microorganismos eficaces en el proceso de compostaje en lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa. Se tomaron 4 muestras por lecho, teniendo un total de 8 muestras de dos lechos de secado, que fueron extraídos al azar, según el protocolo de monitoreo de lodos R.M. 093-2018 vivienda. Los resultados demostraron que, el T2 tuvo un tiempo de maduración en 69 días, menor que el T1 y el T3, donde el porcentaje de remoción de coliforme fecal fue de 99.80 %, 99.56 % y 99.80 % en el T1, T2 y T3 respectivamente, y nitrógeno, fosforo, potasio, se encuentran dentro del rango de valores propuestos por la FAO y la relación C/N de 28.6, 22.5, 22.3 en el T1, T2 y T3 respectivamente, los resultados fueron analizados mediante ANOVA y test de Duncan. Se concluye que los microorganismos eficaces tienen un efecto en el proceso de degradación ya que se obtuvo en menor tiempo el compost, mejorando la calidad del lodo transformándolo en un fertilizante, las cuales pueden ser dispuesto en la agricultura y silvicultura.

**Palabras clave:** Compost, lodos, microorganismos eficaces, tratamiento biológico.

## INTRODUCCIÓN

La generación de lodos es uno de los problemas ambientales más complejos y de mayor preocupación en el tratamiento de aguas residuales (Sánchez et al., 2020), y estos residuos se generan durante el proceso de tratamiento mecánico, biológico y/o químico (Flores & Juscamaita, 2018) y están formados principalmente por agentes contaminantes, debido a la acumulación de materias en suspensión y compuestos orgánicos en las condiciones de tratamiento (Díaz & Venta, 2015), donde grandes volúmenes de lodos se generan diariamente en las plantas de tratamiento, con una carga de microorganismos patógenos y metales totales (Díaz et al., 2015; Pino, 2021).

En la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Lampa no es la excepción, el lodo acumulado se dispone inadecuadamente a cielo abierto sin ningún tratamiento previo, causando un impacto negativo al suelo, agua, aire y que traen consecuencias negativas en la salud (Díaz et al., 2015), debido a la presencia de organismos patógenos y otros contaminantes (Courtois & Vandebulcke, 2019). Estos residuos pueden ser tratados con tecnologías ecológicas y de bajo costo (Oviedo et al., 2017). Sin embargo, por muchos años no se han dado la importancia a lodos producidos, por la que no se tiene una inversión para su tratamiento y disposición final (Pérez, 2016).

Investigaciones demostraron que el uso de lodos representan una alternativa en la agricultura y la silvicultura, sin embargo no deben utilizarse en su estado puro, por ende requiere un tratamiento previo a su disposición (Silva, 2013; Samuel & Joseph, 2019). Por lo tanto, el compostaje con inóculos de microorganismos eficaces es una alternativa para el tratamiento, ya que es un proceso aeróbico donde los microorganismos descomponen y transforman materiales degradables complejos en subproductos orgánicos (Aminah et al., 2016), también reduce los olores fétidos, agentes patógenos, metales pesados y aumenta el contenido de macronutrientes, el mismo que puede ser utilizado como abono orgánico, de manera segura y beneficiosa como biofertilizantes en el suelo (Pane et al., 2014).

El propósito de esta investigación fue demostrar el efecto que tiene los microorganismos eficaces en la obtención de compost teniendo como materia prima el lodo generado en la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa. Del mismo modo, se evaluó la eficacia de los microorganismos eficaces en las tres dimensiones de nuestro trabajo es decir el tiempo de producción, la medición de parámetros físicos y químicos. De esta manera se puede mejorar las características físicas, químicas y microbiológicas, disminuyendo el riesgo sobre los seres humanos y de un producto con valor agregado en beneficio de la población, para el uso en la agricultura, así como para entidades encargadas en cuanto de la gestión de lodos en la misma planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa, de manera sostenible y poder ser aprovechadas puesto que el producto resultante puede ser utilizado en jardinería, cultivos y reforestación al ser un excelente fertilizante orgánico.

## CAPITULO I

### PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

#### 1.1. Situación problemática

A nivel mundial uno de los problemas de contaminación es la generación de lodos de aguas residuales (Gherghel & Gisi, 2019), el aumento dramático de estos residuos se da en los últimos años a causa del incremento de la población (Wang & Wong, 2019), ya que en China se generan hasta  $2.6 \times 10^7$  t/año, sin embargo, más del 80 % de lodos no fueron tratado adecuadamente (Chen et al., 2016), provocando la contaminación al medio ambiente, debido a su manejo inadecuado (Saraf & Dakhore, 2021) ya que la mayor parte de estos residuos son vertidos en cuerpos de aguas superficiales, rellenos sanitarios o incinerados, sin que se tomen las medidas de protección adecuadas para evitar la contaminación del suelo y agua, provocando un problema ambiental y de salud pública (Cupe & Juscamaita, 2018).

Actualmente en el Perú, el 90 % de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, no han desarrollado una gestión de disposición adecuada de lodos (SUNASS, 2015), uno de los factores que generan esto es la carencia de recursos económicos destinados al manejo de lodos, ya que el 60 % del costo en una planta lo compone el tratamiento de estos residuos (Zhao et al., 2010), y la falta de instrumentos de gestión y planificación de la disposición de lodos no son considerados un tema de importancia dentro de las políticas públicas (Kocbek et al., 2022). Por tanto, se convierte en un problema social y ambiental a causa de la toxicidad que presenta el lodo, debido a la presencia de metales totales y microorganismos patógenos (Cupe & Morales, 2018).

Actualmente en el proceso de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa se generan lodos, que son dispuestos en lechos de secado hasta lograr su deshidratación, pero esta alternativa, no ha alcanzado la eliminación de patógenos como el coliforme fecal, huevos de helmintos y metales totales (Cupe & Juscamaita, 2018; Geng et al., 2020). Sin embargo, al concluir el periodo de deshidratación de estos residuos son desechados directamente al suelo sin control previo de los parámetros de toxicidad química ni higienización requeridos como lo establece el D.S. 015-2017 vivienda, generando riesgos potenciales para la salud pública y el medio ambiente (Galvis & Manjarres, 2018).

Los lodos generados en lecho de secado de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa, necesitan un tratamiento, ya que generan focos infecciosos, y contienen contaminantes como bacterias, protozoos, helmintos, virus, algas (López et al., 2019), y metales totales, como el Zn, Pb, Cu, Cr, Ni, Cd, Hg, y As (Geng et al., 2020), cuyo efecto en la salud pública se refleja en la irritación de los pulmones, gastroenteritis, colera, fiebre tifoidea, infertilidad, dolores musculares, dolor de estómago, entre otros (Cruz & Chimbo, 2015; Gholipour et al., 2022), por lo que una alternativa es el compostaje con la aplicación de inóculos de microorganismos eficaces la cual agiliza la degradación del material a compostar, contribuye a la reducción de la contaminación del ambiente y mejora la calidad del compost (Aminah et al., 2016). Por lo cual se plantea el problema principal: El porqué, de la necesidad de realizar el proceso de compostaje con la aplicación de los microorganismos eficaces.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

- ¿Cuál es el efecto de microorganismos eficaces en el proceso de compostaje en lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa?.

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cuáles son las características microbiológicas y metales totales en lodos de lecho de secados de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa?.
- ¿Cuál es el efecto de los microorganismos eficaces en el proceso y tiempo de obtención de compost a partir de lodos de lecho de secado de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa?.
- ¿Cuál es el porcentaje de remoción de los parámetros microbiológicos y contenido de macronutrientes en compost obtenido a partir de lodos de lecho de secado de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa?.

### **1.3. Objetivos de investigación**

#### **1.3.1. Objetivo general**

- Evaluar el efecto de microorganismos eficaces en el proceso de compostaje en lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar los parámetros microbiológicos y metales totales en lodos de lecho de secados de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa.
- Determinar el efecto de los microorganismos eficaces en el proceso y tiempo de obtención de compost a partir de lodos de lecho de secado de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa.
- Determinar el porcentaje de remoción de los parámetros microbiológicos y contenido de macronutrientes en compost obtenido a partir de lodos de lecho de secado de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa.

#### **1.4. Justificación de la investigación**

Los lodos generados en la planta de tratamiento del distrito de Lampa son residuos peligrosos que traen consecuencias negativas en la salud por la proliferación de moscas y olores fétidos y en consecuencia contaminan el medio ambiente que afectan directamente al suelo y al agua por la presencia de agentes patógenos y metales totales (Cupe & Juscamaita, 2018), ya que actualmente, son depositados inadecuadamente sin ningún tratamiento previo, desperdiciando las propiedades beneficiosas (Díaz, & Venta, 2015). Estos residuos pueden ser tratados con tecnologías ecológicas y de bajo costo (Oviedo et al., 2017), así como los microorganismos eficaces que son capaces de digerir y ayudar a transformar los lodos en productos libres de agentes patógenos, incrementando un potencial nutricional de estos (Morocho & Leiva, 2019).

Esta tecnología trae consigo un gran beneficio económico, ya que al utilizar los microorganismos eficaces en compost es de costo accesible comparado con otras técnicas industrializadas de tratamiento (Ricardo et al., 2017), social porque genera nuevas opciones de empleo a través del enfoque de reaprovechamiento de lodos y transformarlo en compost para luego ser utilizados en actividades agrícolas y forestales (Salcedo et al., 2007). Asimismo, en lo ambiental porque habrá una reducción en la contaminación del agua, aire y suelo, ocasionada por la disposición inadecuada de lodos (Da et al., 2018).

Es por ello, que en la presente investigación se optará por la incorporación de microorganismos eficaces, con la finalidad de acelerar el proceso de transformación de lodos en un producto aprovechable como el compost. De esta manera, se convertirá en un producto con valor agregado en beneficio de la población, así como en beneficio de las entidades encargadas en cuanto de la gestión de lodos en la misma planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa, de manera sostenible y poder ser aprovechadas puesto que el producto resultante puede ser utilizado en jardinería, cultivos, reforestación y ser comercializado convirtiéndose en un ingreso potencial al ser un excelente fertilizante orgánico.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Caldas (2020), evaluó el efecto de los microorganismos benéficos en compostaje de residuos orgánicos, empleó el diseño experimental completamente al azar, donde en los tratamientos T1 y T3 no se inoculó carga microbiana, mientras que en las pilas de los tratamientos T2 y T4 si se agregó 1000 mL de microorganismos benéficos. En el análisis de laboratorio determinaron que el T1, T2, T3 y T4 lograron alcanzar a una temperatura de 45 °C a 55 °C mostrando un óptimo desarrollo del mismo. Además, en el T2 obtuvo el N, P, K valores de 4.5 %, 0.98 % y 4.58 % respectivamente. Los microorganismos benéficos aceleran el proceso de compostaje y reducen el tiempo, es una alternativa viable, amigable con el ambiente para tratar los residuos.

Wang et al. (2019), estudiaron la capacidad de los microorganismos eficaces (ME) en la conversión de lodos en compost, donde los tratamientos incluyeron sustrato mixto inoculado frente a no inoculado con ME, los resultados mostraron que el pH, carbono orgánico total, nitrógeno total y la relación C/N disminuyeron con respecto a los datos iniciales en el rango de 17.43 - 18.46 %, 25.48 - 33.82 %, 19.60 - 25.37 % y 6.68 - 14.05 % respectivamente. Además, aumentaron el fósforo total del 19.84 - 63.01 % y el potasio del 16.41 - 50.78 %. Concluyeron que los microorganismos eficaces son un método eficiente para el compostaje ya que aumenta los nutrientes y la reducción del contenido de contaminantes.

Fan et al. (2018), reportaron el efecto de microorganismos eficaces (ME) para el compostaje a escala doméstica de residuos, donde se desarrollaron con y sin ME. El compost con ME alcanzó una temperatura ligeramente más alta que el tratamiento sin ME, con la supresión del mal olor, obtuvo un pH de 6.14 y con ME se obtuvo un pH de 7.22, relación C/N <14, color marrón oscuro, contenido de patógenos (sin salmonella, <1000 NMP/1g de *Escherichia coli*). Donde estos tratamientos llegaron a una etapa de maduración en 2 meses, también obtuvieron concentraciones de N, P, K de 3.5 %, 1.5 % y 0.4 % y sin ME obtuvo de 2 %, 1.7 %, 0.5 % respectivamente. Concluyeron que el uso de microorganismos eficaces degradan en menor tiempo, especialmente en el control de olores y la humificación.

Yang et al. (2017), investigaron el efecto de inóculo de microorganismos eficaces (ME) en compost a partir de lodos, diseñaron dos tratamientos (T1, T2): T1 con microorganismos eficaces, y T2 como control por 40 días, y durante la investigación se observaron que la T1 y T2 se mantuvo por encima de los 55 °C, obteniendo un pH de 8.08 y 8.13, la materia orgánica de 9.23 % y 6.67 % respectivamente, el contenido de carbono orgánico aumentó al inicio del compostaje, después se redujo esto por la reproducción de los microorganismos, el contenido de agua de T1 y T2 disminuyó un 7.93 % y 7.93 %, el contenido de nitrógeno de T1 y T2 se perdió de 3.82 % y 7.54 %, demostraron que el inóculo de ME prolongó la duración de la alta temperatura, disminuyó la pérdida de nitrógeno, y aceleró la descomposición y así obtuvo el compost.

### 2.1.2. Antecedentes nacionales

Pino (2021), evaluó el efecto de los tratamientos de estabilización y compostaje de lodos residuales con microorganismos eficaces en la calidad de plántulas - Huancayo. Distribuyó en 4 tratamientos con 4 repeticiones por tratamiento, empleó una muestra de 120 kg de lodos procedente de la planta de tratamiento de aguas residuales – Viques donde después de tres meses obtuvo un compost maduro en el T3, obteniendo 1.53 % de nitrógeno, pH de 6.81, relación C/N 18.40 y 14.46 con ME en T3 y T4 respectivamente. Concluyó que el compostaje de lodos residuales mezclados con residuos orgánicos y microorganismos eficaces, en proporciones iguales, obtuvo un compost maduro.

Cruz (2019), demostró la transformación de lodos, mediante la tecnología del compostaje con microorganismos eficaces. Para lo cual realizó con diferentes proporciones de inóculos de microorganismos eficaces (ME) de 0 L, 2 L, y 4 L, luego de tres meses obtuvo los contenidos de arsénico al inocular 2 litros de ME y 4 litros de ME se redujo de 9.71 a 3.8 y de 11.3 a 2.2 mg/kg ST, frente a la pila testigo, los resultados de *Escherichia Coli* indican que al inocular 2 litros de EM y 4 litros de ME se redujo de  $4.6 \times 10^7$  a  $1.5 \times 10^6$  y de  $4.6 \times 10^7$  a  $2.4 \times 10^6$  NMP/g ST, frente a la pila testigo, el cual presentó una reducción de  $4.6 \times 10^7$  a  $9.3 \times 10^6$  NMP/g ST, los huevos de helmintos de 10 a 5 y de 10 a 7 N°/4 g ST, pH resultaron 7.15 y 7.0, para la pila T2 y T3, en el caso de la pila testigo T1 (7.31), la temperatura máxima en la pila T2 fue 40.2 °C, mientras que la pila T3 de 33.3 °C, mientras que la pila testigo T1, una temperatura 26.9 °C.

Ludeña (2019), determinó el efecto de los microorganismos eficaces en la descomposición de los residuos sólidos orgánicos más el estiércol del ganado vacuno. Donde realizó con cuatro tratamientos teniendo 70 % de residuos, 30 % de estiércol de ovino, donde se proporcionó 0, 1, 0.15, 0.2 litros de microorganismos eficaces respectivamente, por un tiempo de 80 días para: T2, 70 días para T3, 60 días para T4, por lo contrario, en relación al testigo T1 que experimentó en mayor tiempo de 135 días. En el tratamiento T1, T2, T3 obtuvo un pH de 7.48, 7.52, 7.35, 7.46, materia orgánica 49.9 %, 52.54 %, 52.19 %, 50.58 %, nitrógeno 1.73 %, 1.77 %, 1.92 %, 1.81 %, relación C/N 15.54, 16.38, 14.91, 14.7 respectivamente.

Concluyo que los microorganismos eficaces influyó en el tiempo de descomposición de la materia orgánica y estiércol.

Morales (2018), estudió la influencia de los microorganismos eficientes y lodos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales, durante un período 5 meses, lo cual desarrollo con tres pilas (C1, C2, C3), de 10 por 1.5 metros las cuales cada una contaba con su respectiva repetición, donde utilizó tres inóculos distintas de ME (2, 3, y 4 L.) respectivamente, los resultados obtenidos fueron que a mayor contenido de lodo y ME, mayor es el contenido de macronutrientes, siendo en la primera etapa más notorio contenido de N, P, K la pila P3, con 2.26 %, 1.47 %, y 2.94 % respectivamente.

Huayllani (2016), determinó la influencia de la aplicación de microorganismos eficientes, en los parámetros de calidad del compost, preparado con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, para ello ensayaron con cinco tratamientos con inóculos de ME de 0 %, 2 %, 4 %, 6 % y 8 % de ME, utilizando una mezcla de 20 kg de lodos por unidad experimental. Los resultados que obtuvieron fue, nitrógeno total varía entre 1.88 % y 2.00 %, fósforo total fluctuó entre 0.140 % a 0.160 %, la relación C/N varió entre 10.554 y 11.457, el pH se incrementó de 7.9 a 8.4 con ME fase termófila, finalmente se estabilizo a neutro, cromo y cadmio, presenta una disminución de 52.49 mg/kg a 30.88 mg/kg y cadmio de 3.93 mg/kg a 2.45 mg/kg, el tiempo de compostaje se dio en el T1, T2, en 35 días, T3, T4, en 39 días y T5 (0 %) en 51 días.

Beltrán & Campos (2016), reportaron los efectos de los microorganismos eficaces (ME) en lodo residual de la planta de tratamiento de aguas residuales, para ello realizaron evaluaciones a los 0, 30, 60 y 90 días después del tratamiento para determinar el efecto de estos microorganismos. Los resultados mostraron que el pH varia desde 7.12 a 6.85, lo que indica que los microorganismos eficaces si ejercieron efectos significativos en pH, los resultados de coliformes termo tolerantes varia de 421 a 27 x 10<sup>3</sup> NMP /1g ST, los microorganismos eficaces tuvieron efectos en el control de lodo, disminuyendo notablemente la concentración de coliformes, aceites y grasas, así mismo estabilizo el pH, se deduce que la eficiencia de remoción para lodo residual con ME fue de 92.77 %.

### **2.1.3. Antecedente regional**

Pillco (2020), evaluó el proceso de compostaje de residuos orgánicos, aplicando microorganismos eficaces. Se utilizó un diseño completamente al azar con tres tratamientos, el T1, T2, T3 se empleó con 200 mL de EM, cada uno con tres repeticiones. Obtuvo que el tiempo de descomposición del T1 fue de 61 días, T2 fue de 52 días y el T3 se obtuvo en 75 días. La temperatura en promedio T1 fue de 25.58 °C y pH a 7.05, T2 fue de 27.63 °C y pH 7.7 y el T3 de 25.78 °C y pH 7.6. Concluyo que los sustratos empleados en la preparación de diferentes compost influyen en el tiempo de descomposición, temperatura, pH y los EM contribuyeron en la calidad del compost.

Mamani (2019), determinó la calidad de compost con lodos, donde empleo pilas aireadas con lodos residuales, donde evaluaron los parámetros fisicoquímicos del proceso de compostaje, que contenía 50 % de lodos residuales, 25 % de estiércol de ovino y 25 % de aserrín, se colocaron en cada 10 cm capa por capa, realizando por un tiempo de 91 días, mostrando los siguientes resultados, el compost presentó un pH de 6.56 y 6.62 unidades, nitrógeno, fósforo y potasio de 1.61, 2.45 y 2.59 % respectivamente, materia orgánica de 65 %, humedad 40.80 %, 48.20 % y coliformes totales y fecales de  $4.6 \times 10^6$  NMP/g y  $2.1 \times 10^6$  NMP/g respectivamente.

## 2.1. Marco teórico

### 2.2.1. Planta de tratamiento de agua residuales

El tratamiento de las aguas residuales es un conjunto de operaciones que involucran procedimientos físicos, químicos y biológicos, con el fin de eliminar los contaminantes (Rodríguez, et al. 2020) y permitir que las aguas residuales se eliminen de forma segura, sin ser perjudiciales para la salud pública y cumplir las normas de vertido pertinentes (Kulkarni & Shinde, 2018). El proceso de tratamiento de aguas residuales incluye el pretratamiento, el tratamiento primario, el tratamiento secundario y el tratamiento terciario como se muestra en la figura 1 (Ou & Zeng, 2018), estos procesos ayudan a tener calidad del agua ya que es un factor determinante en el bienestar humano (Baque et al., 2016).

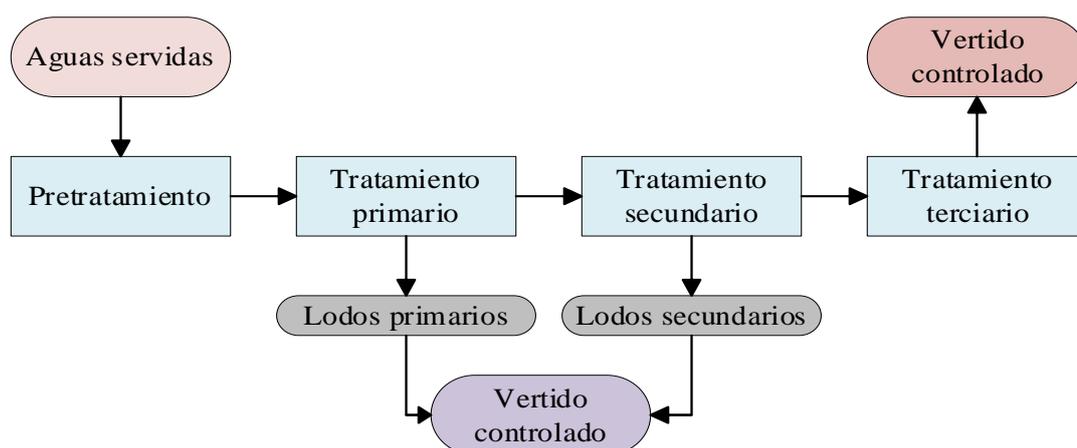


Figura 1. Proceso de tratamiento de agua residual: Condorchem (2022).

### 2.2.2. Lodos residuales

Son subproductos líquidos, sólidos o semisólidos generados durante los procesos mecánicos, biológicos y químicos de tratamientos de aguas servidas (Díaz et al., 2015), que contienen gran cantidad de materia orgánica, microorganismos, macro y micro nutrientes, metales pesados y agua (Arrocha, 2021), por lo tanto, estos se deben tratar ya que es uno de los problemas críticos, por el rápido aumento de la producción de lodos (Canziani & Spinosa, 2019), y actualmente la disposición final de lodos son vertidos en rellenos sanitarios o incinerados sin medidas de protección de los cuerpos receptores, lo que genera problemas ambientales y de salud pública (Díaz et al., 2018).

### 2.2.3. Características de lodos residuales

Las características de lodos varían ampliamente, ya que dependen de las aguas residuales vertidas a un sistema de alcantarillado (Canziani & Spinosa, 2019), por lo que la caracterización del lodo ayuda a identificar las alternativas para considerar su posible reúso de forma sanitaria, y así, poder utilizar este subproducto generado (Arrocha, 2021), en la tabla 1 se muestra valores característicos de parámetros más frecuentes estudiados en lodos.

Tabla 1

*Valores característicos de parámetros más frecuentes estudiados en lodos.*

Indicadores	Máximo	Mínimo
DQO total (mg/L)	90 000	6 000
DBO total (mg/L)	30 000	2 000
Nitrógeno total (mg/L)	1 500	200
Fósforo total (mg/L)	300	40
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	100 000	7 000
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	60 000	4 000
pH	8.5	7.0
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	10 <sup>8</sup>	10 <sup>6</sup>

Fuente: Diaz et al. (2015).

### 2.2.4. Metales en lodos residuales

Uno de los contaminantes detectados en lodos son los metales pesados, es decir, Cu, Cd, Cr, Hg, Pb, Ni y Zn, provenientes de aguas residuales domésticas e industriales (Michalska et al., 2022), si estos residuos se maneja inadecuadamente puede poner en peligro la salud, los ecosistemas del suelo y el agua, por la presencia de patógenos en lodos (García et al., 2008), se ha demostrado que los patógenos que son removidos de las aguas residuales, se concentran en su mayoría en lodos residuales (Moeller, 2015), donde muestra la concentración permisible para metales pesados en lodos como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2

*Concentración permisible para metales pesados en lodos.*

Metal	Concentración (mg/kg de lodo seco)
Cadmio	20 - 40
Cobre	1000 - 1750
Níquel	300 - 400
Plomo	750 - 200
Zinc	2500 - 4000
Mercurio	16 - 25
Cromo	1000 - 500
Arsénico	20 - 40
Selenio	50 - 100
Molibdeno	10 - 25

Fuente: Diaz et al. (2015).

### 2.2.5. Características microbiológicas en lodo

- a. **Salmonella:** Es un patógeno estérico de la familia Enterobacteriaceae y es una bacteria anaerobia facultativa, no formadora de esporas y con forma de bacilo gramnegativo (Percival & Williams, 2013), estas bacterias pueden sobrevivir una vez liberadas en el medio ambiente en parte a través del esparcimiento de los lodos en las parcelas agrícolas en las condiciones que muestra la tabla 3. Así, el consumo de alimentos procedentes de estas tierras podría ser una vía de contaminación (Rorat et al., 2019) y al estar en contacto con el ser humano ocasiona enfermedades como la diarrea, la fiebre y los calambres estomacales severos, pero casi nunca la muerte (Parra & Máttar, 2015).

Tabla 3

*Parámetros de vida de salmonella sp.*

Parámetro	Mínimo	Óptimo	Máximo
Temperatura	2 - 4 °C	35 - 37 °C	54 °C
pH	4	6.5 - 7.5	9
NaCl	0.4 %	-	4 %
Actividad acuosa	0.94	0.99	0.99

Fuente: Mora (2019).

- b. Coliformes totales:** Se definen como bacterias gram negativas en forma bacilar que fermentan la lactosa a temperatura de 35 a 37 °C y producen ácido y gas (CO<sub>2</sub>) en 24 h, aerobias o anaerobias facultativas, son oxidasa negativa (Larreal et al., 2013), no forman esporas y presentan actividad enzimática β-galactosidasa, entre ellas se encuentran *Escherichia coli*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella* (Gerba, 2015).
- c. Huevos de helmintos:** Son gusanos complejos, multicelulares y parásitos que ocupan una gran variedad de nichos geográficos, ecológicos y anatómicos sus ciclos vitales varían en complejidad (Dempsey, 2010), estos parecen coexistir pacíficamente con sus huéspedes, sin embargo, generan enfermedades, especialmente en los intestinos, causando obstrucción y posiblemente perforación, los gusanos también secretan o excretan sustancias tóxicas, que afectan a los tejidos (Lindquist & Cross, 2017).

#### 2.2.6. Tipos de lodos

- a. Lodos primarios:** Se generan durante la sedimentación de lodos orgánicos e inorgánicos de fácil caída (Grobelač & Murtaš, 2019), son ricos en materia orgánica fácilmente biodegradable, tienen un alto potencial de producción de biogás si se tratan en procesos de digestión anaeróbica y, normalmente tienen una buena deshidratación (Canziani & Milano, 2019).
- b. Lodos secundarios:** Se obtiene después del tratamiento primario que aún tiene un alto contenido de orgánicos biodegradables y se generan después del tratamiento biológico de flujo con lodos activados o en lechos biológicos (Grobelač et al., 2019). El proceso produce un crecimiento excesivo de biomasa, conocido como lodo secundario (Canziani & Milano, 2019).
- c. Lodos terciarios:** Se forman en los procesos de tratamiento avanzado que eliminan los nutrientes químicos o mejoran la calidad de las aguas residuales (Ambientale & Milano, 2019), las características de estos lodos son muy diferentes, ya que dependen de los tratamientos a los que han sido sometidos (Canziani & Spinosa, 2019).

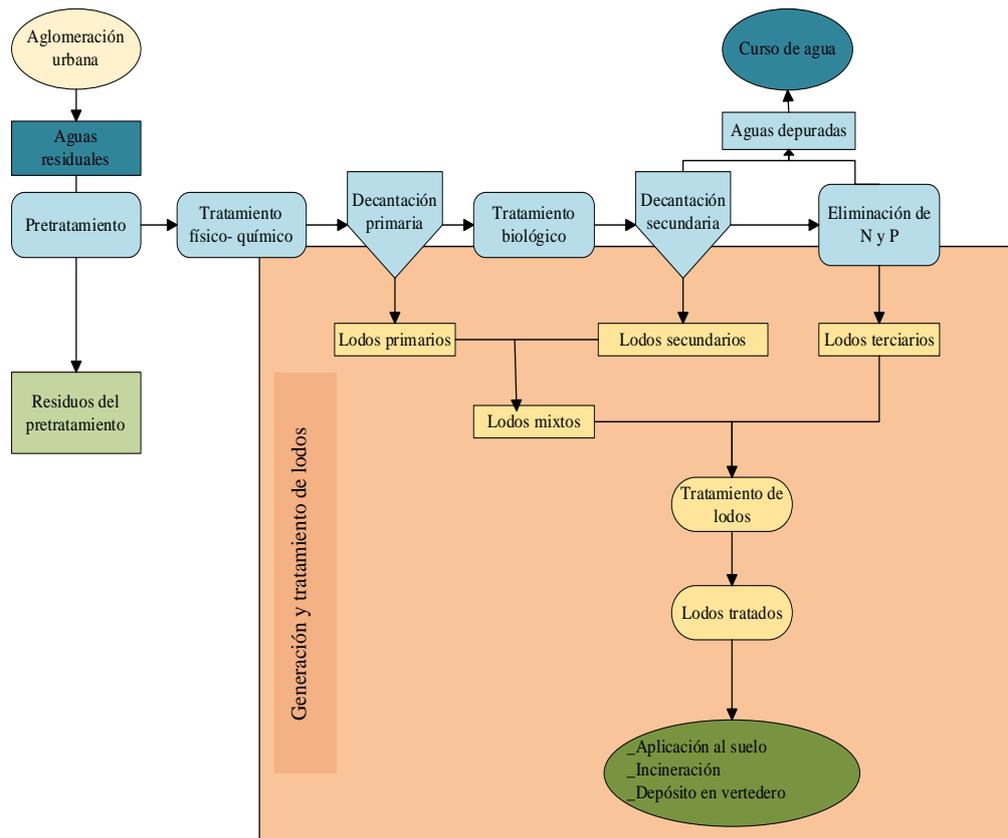


Figura 2. Generación de lodos en las etapas de tratamiento de aguas residuales: MTE (2018).

### 2.2.7. Tratamientos de lodos

Actualmente, existen varios métodos de tratamiento de lodos, algunos de los cuales están muy enfocados al saneamiento y la eliminación de sustancias tóxicas y la limitación del volumen de estos residuos, el tratamiento de lodos debe contener pasos mecánicos, biológicos y químicos para lograr un proceso de tratamiento (Grobela et al., 2019).

### 2.2.8. Tratamiento físico

- a. **Espesamiento:** Es un proceso de reducción del volumen de alrededor del 30 % al 80 %, y puede ser por gravedad y flotación. (Grobela et al., 2019), esto puede ser beneficioso para tratamientos posteriores tales como la estabilización y desinfección, ya que se necesitaría menos espacio para estas operaciones (Díaz et al., 2015).

- b. Secado:** Se realiza mediante calentamiento en horno, incineración y exposición a la luz solar para evaporar el agua presente en los lodos, que es el método más utilizado (Díaz et al., 2015), esta evaporación dependerá de las condiciones climáticas de la zona, los días de exposición de los lodos y las características del lodo (Condorchem, 2022).

#### **2.2.9. Tratamiento químico**

- a. Acondicionamiento químico:** El acondicionamiento del lodo libera la mayor cantidad de agua posible de sus partículas para incrementar el proceso de deshidratación (Díaz et al., 2015).

#### **2.2.10. Tratamiento térmico**

- a. Secado térmico:** Gracias al proceso de secado térmico de lodos, se consigue reducir su peso y eliminar los organismos ya que se realiza por evaporación del agua en hornos, incineración y la exposición al sol, que son los métodos más utilizados (Díaz et al., 2015), durante este proceso, se producen dioxinas, furanos, NO<sub>x</sub>, N<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, HCl y HF, todos ellos afectan la salud humana y pueden ser los principales obstáculos para el uso de esta técnica (Grobela et al., 2019).
- b. Incineración:** Se lleva a cabo descomponiendo los residuos en un ambiente rico en oxígeno y a altas temperaturas, es costosa debido a que están demasiado húmedos para arder por sí solos. Asimismo, este método plantea un problema importante, ya que las cenizas contienen metales tóxicos como el plomo, el cadmio, el cobre y el zinc, así como dioxinas y furanos, que podrían pasar a la atmósfera (Sánchez et al., 2017).

#### **2.2.11. Tratamiento biológico**

- a. Digestión anaeróbica:** Son reacciones orgánicas en las que los microbios descomponen los residuos biológicos en ausencia de oxígeno (Sivamani et al., 2020), este proceso libera biogás mientras convierte un sustrato orgánico inestable y rico en nutrientes, como el estiércol, en un material más estable y rico en nutrientes con una carga reducida de patógenos (Martin & Jones, 2020), los microorganismos anaerobios utilizan el carbono para obtener energía y el nitrógeno para construir estructuras celulares (Kirk & Gould, 2020).

- b. Digestión aeróbica:** Es un proceso para descomponer los residuos orgánicos y biológicos utilizando microbios y oxígeno (Sivamani et al., 2020), la principal ventaja es que produce un producto final biológicamente estable, apto para el tratamiento posterior en una variedad de procesos (Cheremisinoff, 2002) y generalmente da lugar a la producción de biosólidos de clase B (Gerba & Pepper, 2015).
- c. Compostaje:** El compostaje como método de descomposición biológica, en presencia de oxígeno, contribuye poderosamente al reciclaje y conservación de varios macro y micronutrientes en el suelo (Vandenbulcke et al., 2019), el compostaje se produce en cuatro fases; la fase mesófila que es el aumento de temperatura, fase termófila (temperatura 60 a 75 °C), en esta fase se descomponen los compuestos orgánicos fácilmente biodegradables, fase de transiciones, también denominada compostaje principal (descenso de la temperatura a 30 - 40 °C) y la fase de maduración en ella se produce un enfriamiento del material, con una fracción de compost estable (Kozłowska, 2019).
- d. Vermicompost:** Es una biotecnología moderna, barata y ecológica en la que se emplean lombrices de tierra lombrices como biorreactores naturales para descomponer la materia orgánica (Vandenbulcke et al., 2019), para la obtención de vermicompost, la especie de lombriz que comercialmente más se emplea es *Eisenia foetida* conocida comúnmente como la lombriz roja californiana, a pesar de ser originaria de Europa (FAO, 2015).

### 2.2.12. Compostaje

El compostaje es un método biológico que transforma restos orgánicos de distintos materiales en un producto relativamente estable (Acosta, 2012), en este proceso se dan lugar a una actividad microbiana muy alta y a la generación de calor que aumenta la temperatura del compost (Gerba & Pepper, 2015), tras su transformación en compost, la sustancia orgánica puede utilizarse como abono, reformador de estructuras o material de recuperación, los microorganismos presentes en la masa de compost mejoran la microflora y la microfauna del suelo como se muestra en la figura 3 (Kwarciak, 2019).

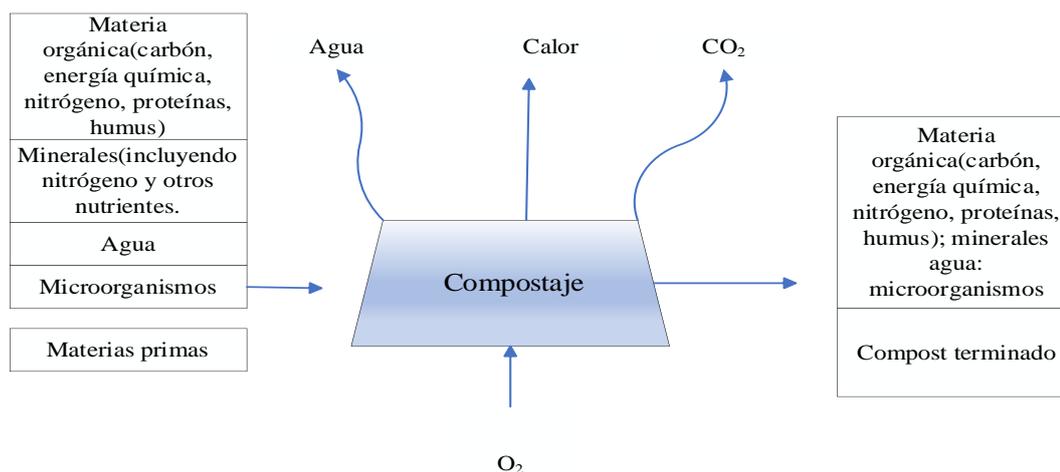


Figura 3. Descripción simplificada de lo que ocurre en un compostaje: Kuo et al. (n.d.).

### 2.2.13. Proceso del compostaje

En la tabla 4 muestra el proceso de compostaje, donde utiliza microorganismos como bacterias y hongos para descomponer los materiales orgánicos, para que el proceso funcione mejor, es importante que los microorganismos tengan un suministro continuo de alimento (materia orgánica), agua y oxígeno (Rudnik, 2019).

Tabla 4

*Etapas del proceso de compostaje.*

Estado de la materia orgánica	Materia orgánica	Inicio de la descomposición	Semi descompuesto a fresco (2-3 meses)	Descompuesto maduro (6-9 meses)	Mineralización vieja
<b>Peso aprox.</b>	10 kg	8 kg	6 kg	4 kg	2 kg
<b>Estado, forma o presentación</b>					
<b>Usos recomendables</b>	Como acolchado en capas de unos 10 cm, sin enterrar y no alimenta a los cultivos	Sobre la tierra, protegido con paja o hierba	Sobre la tierra o ligeramente mezclado aun no alimenta los cultivos.	Alimenta directamente a los cultivos	
<b>Usos en función de tipo de suelo</b>	Tierras pedregosas o muy arenosas	Tierras calcáreas y bien aireadas	Tierras francas	Tierras arcillosas	Tierras pesadas

Fuente: FAO (2015).

## 2.2.14. Sistemas de compostaje

Existen diferentes sistemas para desarrollar el proceso de compostaje, los cuales buscan llegar a los rangos de temperatura establecidos para el desarrollo de los microorganismos benéficos y que, a su vez; puedan conseguir una aireación óptima, podemos establecer dos categorías principales: sistemas abiertos y sistemas cerrados (FAO, 2015).

- a. **Sistemas abiertos o en pilas:** Se realizan al aire libre y cuando hay una cantidad abundante y variada de residuos orgánicos (sobre 1 m<sup>3</sup> o superior) (FAO, 2015), en este proceso las temperaturas llega hasta el rango mesófilo (20 – 40 °C), donde la degradación microbiana se produce a través de bacterias, posteriormente, las temperaturas aumentan hasta los 40 – 80 °C, estas altas temperaturas inactivan los microorganismos patógenos, tiempo durante el cual las temperaturas dentro de la pila disminuyen a niveles ambientales (Gerba & Pepper, 2015).
- b. **Pilas estáticas con aireación pasiva:** Empleadas para permitir un mejor flujo de la masa de aire desde la parte inferior hacia la zona superior de la pila estas son ventiladas por convección natural el aire caliente que sube desde el centro de la pila crea un vacío parcial que aspira el aire de los lados como muestra la figura 4 (Isaza, 2009). La forma y tamaño óptimo de la pila depende del tamaño de partícula, contenido de humedad, porosidad y nivel de descomposición, todo lo cual afecta el movimiento del aire hacia el centro de la pila (Berrio, 2015).

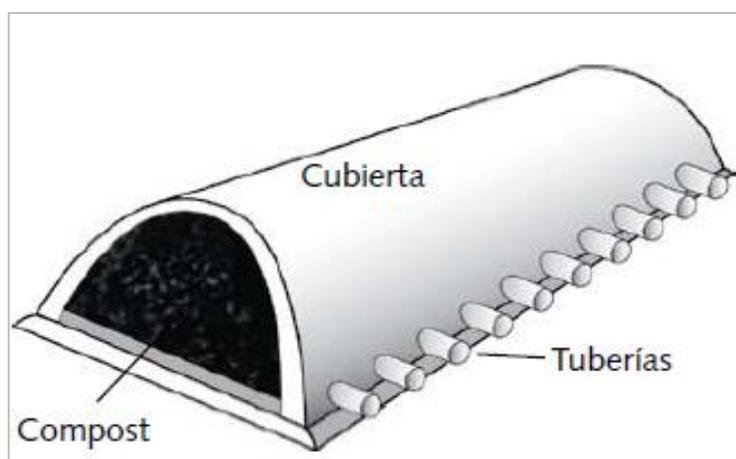


Figura 4. Compostaje en pilas estáticas con aireación pasiva: FAO (2015).

- c. **Pilas estáticas con aireación forzada:** La aireación forzada, en el que se proporciona aire a través de canales construidos en el suelo para así mantener los niveles óptimos de oxígeno (FAO, 2015), ya que estos permiten tener un mayor control de la concentración de oxígeno y mantenerla en un porcentaje apropiado (15 – 20%) para favorecer la actividad metabólica de los microorganismos aerobios durante el proceso (figura 5) (Berrio, 2015).

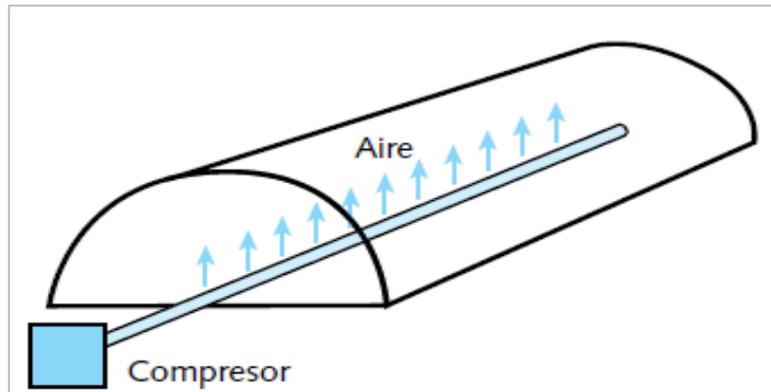


Figura 5. Compostaje en pilas estáticas con aireación forzada: FAO (2015).

- d. **Sistemas cerrados o en recipiente:** Los sistemas cerrados se realizan en recipientes de acero de 10 - 15 m de altura por 3 - 4 m de diámetro, para este tipo de compostaje, la aireación es mediante sopladores, esto da como resultado un compost de clase A de alta calidad, Sin embargo, los costes de los sistemas cerrados son más elevados (Gerba & Pepper, 2015), como se muestra en la figura 6, una de las ventajas son que evita la acumulación de lluvia, protege al material de vientos fuertes, facilita las labores de volteo, facilita la extracción de lixiviado, controla la invasión de vectores (ratones, aves), y evita el acceso al material en descomposición por personal no autorizado y animales (FAO, 2015).

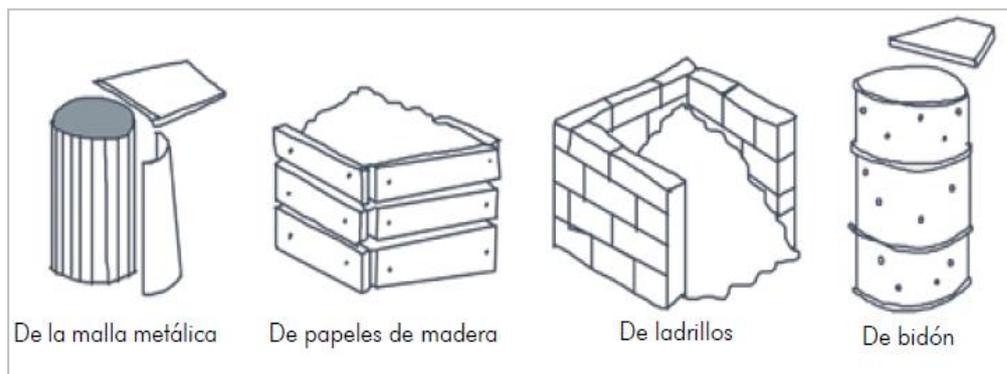


Figura 6. Tipos de recipientes usados como composteras (FAO, 2015).

### 2.2.15. Fases del compostaje

- a. **Fase mesófila:** Una vez iniciado el compostaje, ingresan a la primera etapa, en la que los microorganismos descomponen rápidamente sustratos orgánicos fácilmente descomponibles (Rudnik, 2019), y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura sube hasta los 45 °C, este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor (FAO, 2015).
- b. **Fase termófila:** Cuando el material alcanza temperaturas superiores a 40 °C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son sustituidos por aquellos que crecen a mayores temperaturas (Rudnik, 2019). Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco, especialmente a partir de los 60 °C, y aparecen bacterias productoras de esporas y actinobacterias, que se encargan de descomponer las ceras y las hemicelulosas. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, dependiendo del material de partida (FAO, 2015).
- c. **Fase enfriamiento:** Una vez consumidas las fuentes de carbono fácilmente degradables, el compost comienza a enfriarse (Rudnik, 2019), agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente a 40 °C, donde los organismos mesófilos reinician su actividad, esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración (FAO, 2015).
- d. **Fase de maduración:** Es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos (FAO, 2015), por tanto, la adición de un compost inmaduro al suelo provoca una deficiencia de oxígeno, la inmovilización del nitrógeno e incrementa los problemas fitopatogénicos radiculares (Laich, 2011).

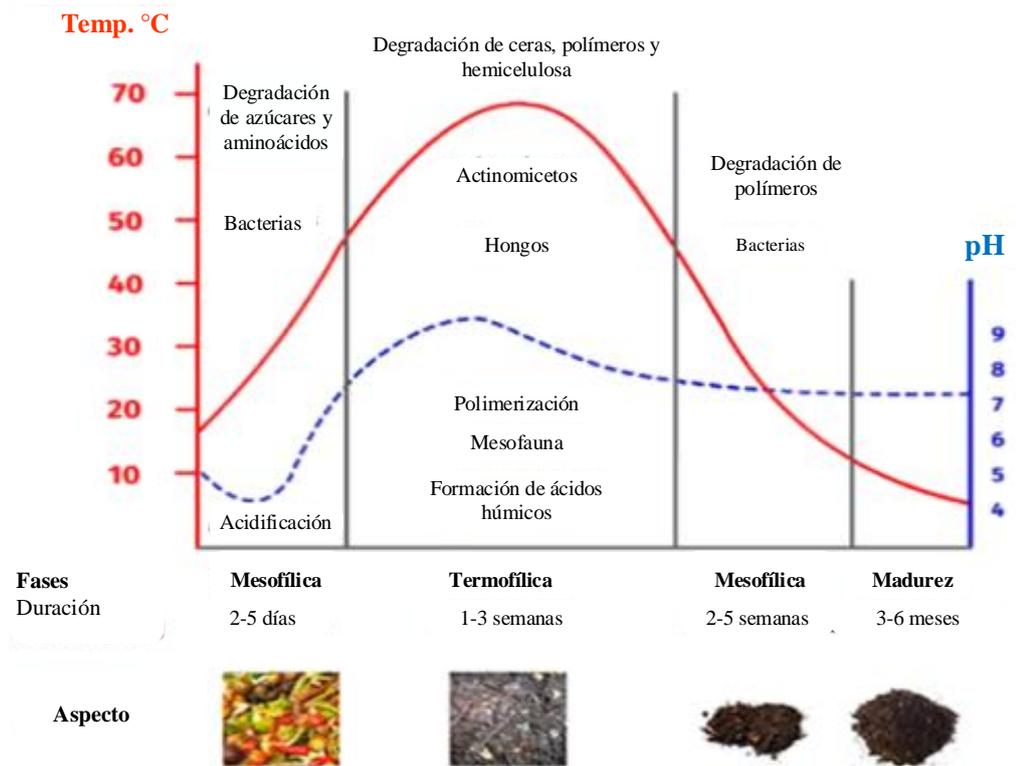


Figura 7. Fases del proceso de compostaje: Pedraza & Hernández (2019).

### 2.2.16. Cinética microbiana

La cinética microbiana se encarga de entender todas las manifestaciones y reacciones de la vida microbiana: crecimiento, supervivencia, muerte, adaptaciones, formación de producto, ciclos celulares e interacciones con el medio ambiente (figura 8) (Gallegos et al., 2014), en los procesos fermentativos industriales es muy importante estudiar el comportamiento cinético del microorganismo ya que de él depende el rendimiento del producto de interés, entre otras variables (Vargas, 1998). La finalidad es describir y resaltar la necesidad que presentan los microorganismos para su crecimiento, procesos metabólicos y algunos factores que influyen en su crecimiento (Gallegos et al., 2014).

Se integra la ecuación entre los límites siguientes:

$$\int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{dt} = \int_0^{td} u dt \quad (1)$$

Donde:

$$x_2 = 2x_1 \quad (2)$$

$t_d$ : tiempo de duplicación

se contiene que

$$td = \frac{\ln 2}{u} \quad (3)$$

Esta ecuación es de importancia biológica pues si se tabulan los tiempos de duplicación máximos para bacterias, levaduras, mohos y protozoarios, (López & Garcés, 2008).

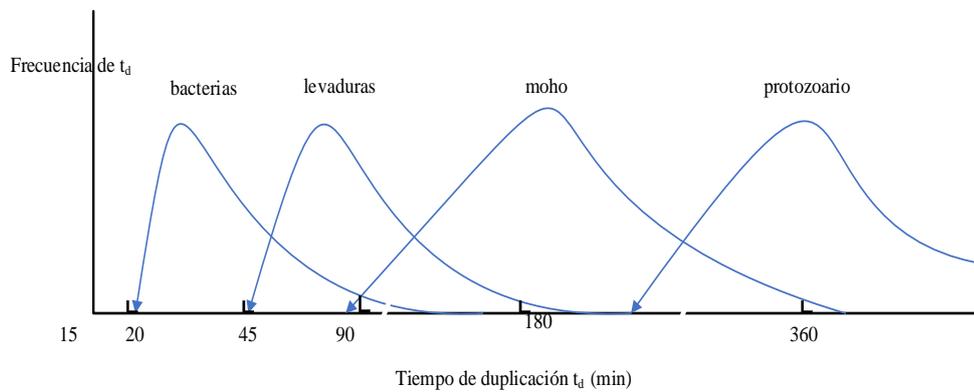


Figura 8. Distribución de los tiempos máximos de duplicación para microorganismos: Gallegos et al. (2014).

### 2.2.17. Factores que intervienen en el proceso de compostaje

Los parámetros importantes del compostaje son la temperatura, el pH, el contenido de humedad y la transferencia de oxígeno, que se regula mediante la aireación, el espacio de aire libre y la agitación (Tabla 5). Las principales propiedades de los materiales de alimentación incluyen la relación C/N, el tamaño de la relación rigidez, y nutrientes y lignina del compost (Rudnik, 2019).

Tabla 5

*Condiciones óptimas para el compostaje.*

Condiciones	Aceptable	Ideal
Relación C/N de materias primas	20/1 a 40/1	25 a 35/1
Contenido de Humedad	40 – 65 %	45 – 60 %
Concentración de Oxígeno disponible	> 5 %	> 10 % o más
pH	5.5 - 9.0	6.5 - 8.0
Temperatura	43 – 66 °C	54 – 60 °C

Fuente: Rudnik (2019).

- a. **Oxígeno:** El oxígeno es esencial para apoyar el proceso de degradación microbiana, y su disponibilidad depende tanto de la estructura de los materiales de compostaje como del diseño de los reactores de compostaje (Wang et al., 2019), durante el proceso de maduración no deben hacerse aportaciones adicionales de oxígeno, ya que una excesiva aireación podría dar lugar a un consumo de los compuestos húmicos formados y a una rápida mineralización de los mismos (Tang & Chen, 2017).
- b. **Humedad:** La humedad es esencial para el proceso de descomposición, ya que la mayor parte de la descomposición se produce en finas películas líquidas sobre la superficie de las partículas (Rudnik, 2019), no debe ser ni demasiado húmeda, ni demasiado seca ya que limita la actividad microbiana (Gerba & Pepper, 2015). Sin embargo, los lodos contienen un alto contenido de humedad, superior al 70 %, pueden requerir la adición de material orgánico seco, como aserrín o heno seco para reducir el contenido de humedad al 55 % y facilitar el proceso de degradación (Wang et al., 2019).
- c. **pH:** Tiene una influencia directa en el compostaje debido a su acción sobre la dinámica de los procesos microbianos (Tang et al., 2017), un pH adecuado puede proporcionar condiciones fisiológicas cómodas para el crecimiento de los microorganismos, el cambio de pH puede afectar al proceso normal de compostaje; por lo tanto, el control eficaz del pH es fundamental para el compostaje (Wang et al., 2019).

- d. Relación carbono-nitrógeno (C/N):** Para un correcto compostaje en el que se aproveche la relación C/N debe ser la adecuada, por esta razón se considera que el intervalo de C/N teóricamente debe estar de 25 - 35 (Tang et al., 2017), el carbono sirve principalmente como fuente de energía para los microorganismos, el nitrógeno es para el crecimiento de la población microbiana, (Rudnik, 2019), se debe tener en cuenta ya que las relaciones C/N extremadamente altas o bajas pueden ralentizar la actividad microbiana que el proceso de compostaje sea más largo (Wang et al., 2019).
- e. Temperatura:** En la masa de compostaje es un factor crítico para indicar las actividades microbianas del sistema de compostaje (Wang et al., 2019), las temperaturas de 45 - 59 °C proporcionan la mayor tasa de descomposición, con temperaturas superiores a 59 °C reducen la tasa de descomposición debido a la reducción de la diversidad microbiana (Rudnik, 2019), por lo tanto, se debe mantener una aireación y una humedad adecuadas para asegurar que las temperaturas alcancen los 60 °C, para inactivar los patógenos microbianos (Gerba & Pepper, 2015), ya que cada especie de microorganismo tiene un intervalo de temperatura óptima en el que su actividad es mayor y más efectiva (Tang et al., 2017).

#### **2.2.18. Microorganismos eficaces**

También conocido como microorganismos efectivos o eficientes, es un cultivo mixto de microorganismos benéficos naturales, sin manipulación genética, presentes en ecosistemas naturales, fisiológicamente compatibles unos con otros (Feijoo & Mesa, 2016), el principio fundamental de esta tecnología fue la introducción de un grupo de microorganismos benéficos para mejorar las condiciones del suelo, evita la putrefacción (incluyendo enfermedades) microbios y mejorar la eficacia del uso de la materia orgánica por las plantas (Emprotec, 2019).

- a. **Bacterias fotosintéticas:** Es un grupo de microorganismos representados fundamentalmente por microorganismos autótrofos facultativos, este grupo utiliza como fuente de carbono moléculas orgánicas producidas por los exudados de las raíces de las plantas y como fuente de energía utilizan la luz solar (Morocho & Leiva, 2019), las sustancias sintetizadas comprenden aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares, promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas (Feijoo & Mesa, 2016).

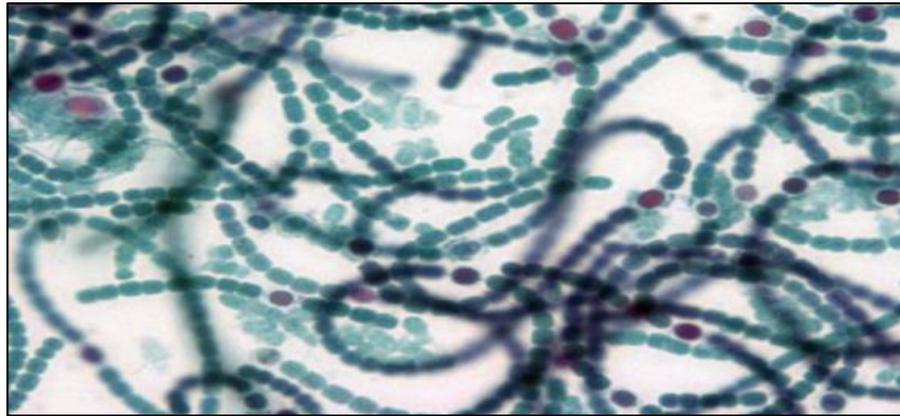


Figura 9. Bacterias fotosintéticas: Núñez (2012).

- b. **Bacterias ácido lácticos:** Estas bacterias (*Lactobacillus spp*) producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos sintetizados por bacterias fototróficas y levaduras (figura 10) (Feijoo & Mesa, 2014). Sin embargo, el ácido láctico es un compuesto esterilizante fuerte que suprime microorganismos dañinos y ayuda a la descomposición de materiales como la lignina y la celulosa fermentándolos, removiendo efectos no deseables de la materia orgánica no descompuesta (Emprotec, 2019).

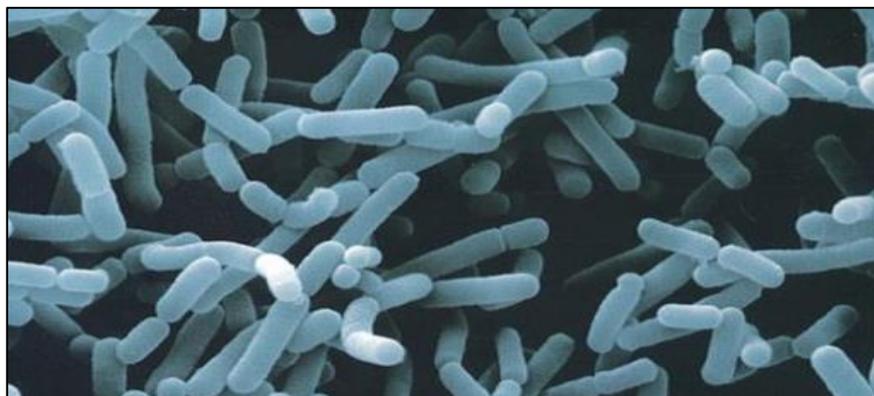
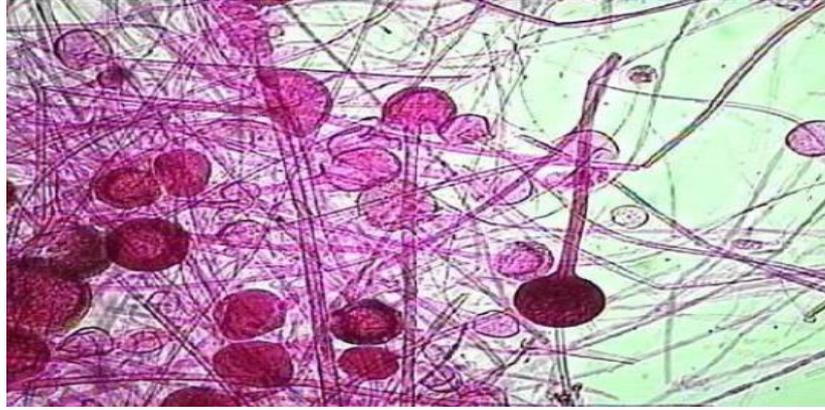


Figura 10. Bacterias ácido láctico: Ydoru & Vwh (2012).

- c. **Levadura:** Es un grupo microbiano presente en la preparación de los microorganismos eficaces capaces de utilizar diversas fuentes de carbono (glucosa, sacarosa, fructosa, galactosa, maltosa, suero hidrolizado y alcohol) y de energía (Morochó & Leiva, 2019).



*Figura 11.* Levaduras: Wordpress (2012).

#### **2.2.19. Metabolismo microbiano**

Cuando se tienen las condiciones óptimas de crecimiento de un microorganismo, las células empiezan a crecer a consecuencia, se generan productos debido al metabolismo del microorganismo (Gallegos et al., 2014). La conversión de cierto sustrato a productos ha sido motivo de muchas investigaciones (Díaz & Pérez, 2013). La figura 12 indica la importancia de las reacciones metabólicas, sobre todo en lo que se refiere a la producción de metabolitos específicos han demostrado los mecanismos de control microbiano tanto para metabolitos primarios como secundarios (Corrales et al., 2015).

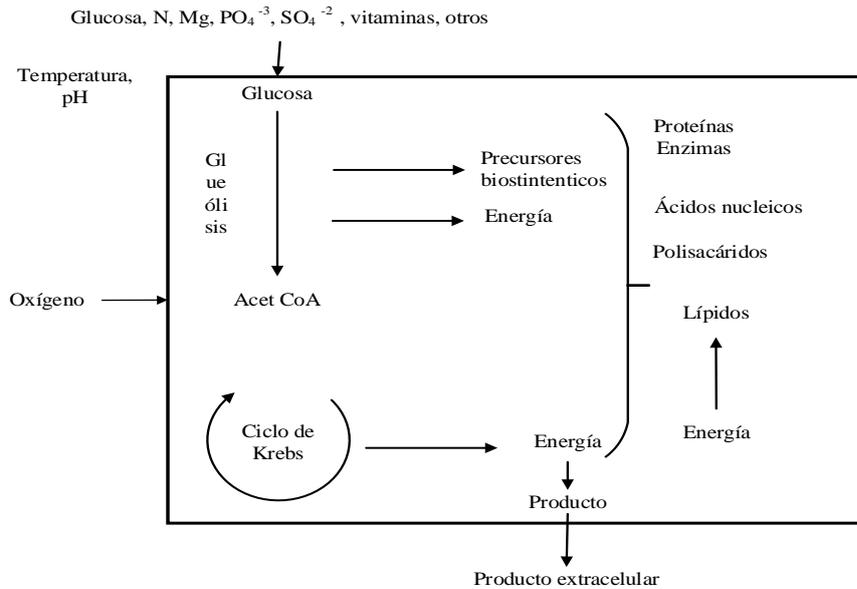


Figura 12. Metabolismo microbiano: Gallegos et al. (2014).

### 2.2.20. Activación de microorganismos eficaces

ME es un producto microbiano, que contiene varios tipos de organismos vivos, estos microorganismos se propagan entre ellos mismos si existen unas condiciones adecuadas de alimento y medios ambientales, esta propagación se conoce como activación y es de sencilla elaboración (Feijoo & Mesa, 2014).

La activación de ME consiste en 5 % de ME - 1 y 5 % de melaza diluidos en 90 % de agua limpia en un recipiente herméticamente cerrado. Se deja para que se fermente durante una o dos semanas. Un olor agridulce y un pH 3.5 o menos indica que el proceso de activación está completa (Emprotec, 2019).



Figura 13. Activación de los microorganismos eficaces: Deiver et al. (2008).

### 2.2.21. Microorganismos eficaces (ME) en compost

Comparado con el compost convencional, el compost con ME tiene la ventaja de promover la descomposición de la materia orgánica y neutraliza el hedor generado, como muestra la tabla 6 (BID, 2009). Estos podrán ser clasificados en biosólidos de clase A, aplicable sin restricciones; y, biosólidos de clase B, aplicables al suelo con restricciones sanitarias según localización y/o tipo de cultivo (Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA).

Tabla 6

*Principales diferencias entre la producción de compost con ME y sin ME.*

<b>Compost con ME</b>	<b>Compost sin ME</b>
Menor tiempo de descomposición	Mayor tiempo de descomposición
Entre 1 y 3 meses	Normalmente entre 3 y 6 meses
No hay presencia de malos olores ni moscas	Presencia de malos olores y moscas
Producto final con mayor contenido de nutrientes	Menor contenido nutricional
Mayor contenido de microorganismos benéficos	Menor contenido de microorganismos benéficos

### 2.2.22. Biosólidos

Los biosólidos son productos del proceso de estabilización de lodos orgánicos provenientes del tratamiento de aguas residuales (MVCS, 2017), la estabilización se realiza para reducir su nivel de patogenicidad, su poder de fermentación y su capacidad de atracción de vectores, gracias a este proceso, el biosólido tiene aptitud para utilización agrícola y forestal, y para la recuperación de suelos degradados (EPA, 2000).

### 2.2.23. Clasificación de biosólidos

Se clasifican en clase A y B, por tanto, los productos deben cumplir de forma conjunta con los parámetros de estabilización, toxicidad química higienización de

acuerdo a las condiciones del reglamento para cada tipo de biosólido (MVCS, 2017).

#### 2.2.24. Parámetros de estabilización

Los lodos generados en las PTAR para ser estabilizados y calificados como biosólidos de clase A y de clase B, deben cumplir con el siguiente parámetro establecido en la tabla 7, según el MVCS (2017) el proceso de reducción de fracción orgánica (sólidos volátiles) en relación a la materia seca (sólidos totales) para controlar la degradación biológica en el producto, los potenciales de generación de olores, de atracción de vectores.

Tabla 7

*Estabilización de lodos.*

Parámetros establecidos para ser considerado biosólido.		
Parámetro	Clase A	Clase B
Estabilización de lodos	Materia orgánica (SV) $\leq$ 60 % de Materia seca (ST)	

Fuente: MVCS (2017).

#### 2.2.25. Parámetros de toxicidad química

Según los decretos establecidos deben tener en cuenta los valores máximos y los valores máximos permisibles de químicos - metales en los biosólidos, estos varían según el reglamento de cada país, en el Perú se aprobó la Resolución Ministerial 024-2017- Vivienda, la cual pone los parámetros de reaprovechamiento de lodos residuales de las PTAR en la Tabla 8.

Tabla 8

*Parámetros de toxicidad química en biosólidos.*

Parámetro	Clase A								Clase B
	Arsénico	Cadmio	Cromo	Cobre	Plomo	Mercurio	Níquel	Zinc	
Toxicidad química (mg/kg)	40	40	1200	1500	400	17	400	2400	

Fuente: MVCS (2017).

## 2.2.26. Parámetros de higienización

Es el proceso de reducción de la concentración de indicadores de contaminación de origen fecal y/o agentes patógenos los biosólidos deben cumplir con los parámetros de higienización según establecidos en la tabla 9.

Tabla 9

*Parámetros de higienización de biosólidos.*

Parámetros establecidos para ser considerado biosólido.		
Parámetro	Clase A	Clase B
Indicador de contaminación fecal	Echericha coli <1000 NMP/1 g ST O <i>Salmonella sp</i> < 1NMP/10 g ST	El nivel de higienización se puede demostrar con el cumplimiento de los procesos previstos en el reglamento, en su efecto, mediante algunas tecnologías indicadas para la higienización, como el compostaje térmico, secado termino, digestión anaerobia termofílica, tratamiento alcalino.
Indicador de Huevos de Helmintos	Huevos viables de Helmintos <1/4 g ST O Prueba de utilización de tecnologías indicadas para la higienización.	

Fuente: MVCS (2017).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ámbito de estudio

La investigación se llevó a cabo en la planta de tratamiento de aguas residuales, ubicado a 500 m del distrito de Lampa (15°22'40.76"S, 70°21'49.73"O), posteriormente se realizaron los análisis microbiológicos y metales totales en el laboratorio Analítico del Sur ubicado en Parque Industrial Rio Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa.

#### 3.2 Tipo, nivel y diseño de la investigación

- El tipo de investigación es aplicada.
- El nivel de investigación es de alcance explicativa
- El diseño experimental será completamente al azar (DCA).

Tabla 10

*Diseño experimental.*

Diseño experimental			
G <sub>1</sub>	O <sub>1</sub>	-	O <sub>2</sub>
RG <sub>2</sub>	O <sub>1</sub>	X <sub>1</sub>	O <sub>2</sub>
RG <sub>3</sub>	O <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>

Dónde:

R: Asignación al azar de lodo.

G<sub>1</sub>: Grupo 1, definido como lodos antes de recibir el tratamiento (control).

G<sub>2</sub>: Grupo 2, definido como lodos con estiércol de oveja y aserrín antes del tratamiento.

G<sub>3</sub>: Grupo 3, definido como lodos con estiércol de oveja y aserrín antes del tratamiento.

X<sub>1</sub>,X<sub>2</sub>: Ampliación del estímulo (2 litros y 4 litros de microorganismos eficaces (ME)).

O<sub>1</sub>, O<sub>1</sub> y O<sub>1</sub>: Medición de parámetros microbiológicos y metales totales antes del tratamiento (ejecución de pre - prueba).

O<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>: Medición de parámetros físico-químicos y microbiológicos después del tratamiento en el grupo (ejecución de post - prueba).

( - ) Ausencia de tratamiento denominado control.

### **3.3 Población y muestra**

La población de la investigación se constituyó de lodo generado en la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito Lampa, y se obtuvo la muestra desde el lecho de secado del PTAR Lampa.

#### **3.3.1 Tamaño de muestra**

El número de muestras fue de acuerdo al protocolo de monitoreo de lodos aprobado con Resolución Ministerial N° 093-2018-Vivienda (anexo 1), la cual indica que la superficie del lecho de secado se divide en 4 partes, donde del centro de cada cuadro se tomó una muestra puntual, obteniendo cuatro muestras por lecho de secado. Sin embargo, el estudio se realizó en dos lechos de secado del PTAR Lampa donde se obtuvieron un total de 8 muestra.

Las muestras fueron comprendidas por un total de 700 kg de los dos lechos de secado del PTAR, los mismos que se distribuyeron en 3 grupos con tres repeticiones cada uno, a fin de comparar y obtener el tratamiento más óptimo (Huayllani, 2016), y se utilizaron 3 kg del lodo restante para los análisis físicos - químicos y microbiológicos (MVCS, 2018).

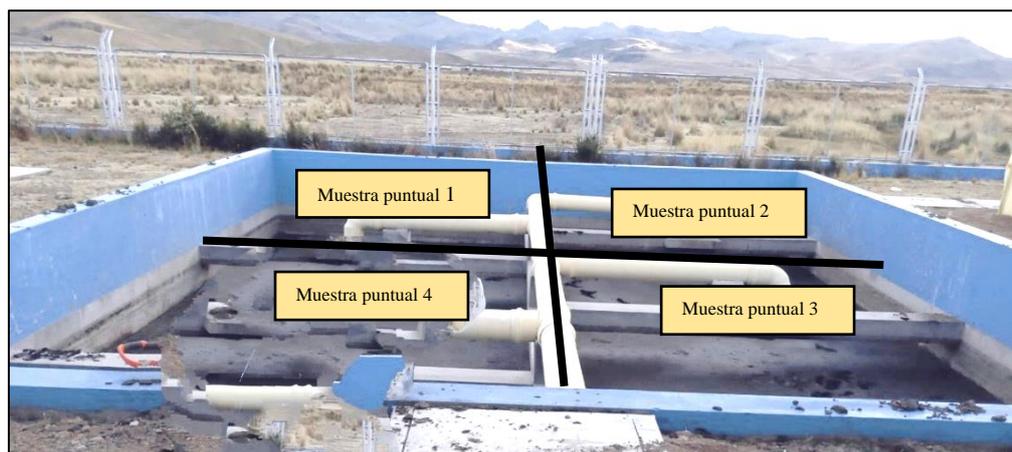


Figura 14. Puntos de muestreo de lodos en lecho de secado del PTAR Lampa.

### 3.4 Materiales e instrumentos

#### 3.4.1. Instrumentos y equipos de campo

Cámara fotográfica, GPS (Garmin - 650), 9 composteras de (0.80 x 0.80 x 0.80 m); termómetro digital (Tp - 101), pH digital (Hanna – HI98103), termo - hidrómetro (THC-120), 8 bolsas ziploc (14x20 cm), 5 baldes, 1 cuchara de acero inoxidable, 1 flexómetro, 1 caja de guantes de nitrilo, 1 caja de barbijo (mascarilla de un solo uso) y 2 cajas de tecnopor.

#### 3.4.2. Instrumentos y equipos de gabinete

Computadora personal HP, memoria USB, papeles A4, cuaderno de apuntes, lapiceros, papel A4, impresora (Epson -tank L3150).

#### 3.4.3. Material biológico

Microorganismos eficaces (EM-compost).

#### 3.4.4. Materiales para el acondicionamiento del terreno

Listones de madera de eucalipto 8 unidades (1.80 m), clavo de 1", alambre, flexómetro, manguera, escoba, plástico agrofilm (2x20 m), 2 picos, 2 lampas, 1 barreta, martillo, carretilla, balanza digital de 300 kg, cordel, estacas, yeso, guantes de lona, cemento, balde, nivel (I – 28G252), cierra de mano, plástico (4 x 7 m), alambre dulce.

### 3.5 Procedimiento metodológico

#### 3.5.1. Caracterización de los parámetros microbiológicos y metales totales en lodos de lecho de secados de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa.

Los lodos residuales fueron extraídos de lechos de secado de PTAR Lampa, para ello se empleó la metodología establecida en el protocolo de monitoreo de lodos aprobado con Resolución Ministerial N° 093-2018-Vivienda (Anexo 1), se extrajo una muestra utilizando el método de cuarteo, para el análisis inicial de los parámetros de metales tales como arsénico, Cadmio, Cromo, Cobre, Plomo, Mercurio, Níquel Y Zinc (Anexo 3) y parámetros microbiológicos de *Echerichia coli*, *Salmonella sp* y huevos de helmintos.

##### 3.5.1.1. Análisis microbiológico

Se extrajo una muestra compuesta empleando el método de cuarteo hasta obtener 1 kg de muestra homogénea seguidamente se envaso en bolsa ziploc rotulada, posteriormente se transportó en un cooler a una temperatura de (4 °C) (MVCS, 2018), al laboratorio Analítico del Sur– Arequipa, a fin de efectuar el análisis de parámetros microbiológicos tales como; *Echerichia coli*, *Salmonella sp* y huevos viables de helmintos, y se realizó bajo la siguiente metodología (tabla 11).

Tabla 11

*Métodos para determinación de parámetros microbiológicos.*

Parámetros	Unidad	Método
<i>Echerichia coli</i>	Número más probable (NMP)/g	Se realizo por método de los tubos múltiples, acuerdo al método EPA/625/R-92/013 (anexo 2). Se analizo mediante el método estandarizado 9221 C de APHA AWWA WPCF (1992).
<i>Sallmonella sp</i>	Número más probable (NMP)/g	La muestra fue preparada de acuerdo al método EPA/625/R-92/013 (anexo 2). Para el análisis se empleó el método estandarizado 9260 D de APHA AWWA WPCF (1992).
Huevos de helminto,	N°/4g ST	Se empleo el método EPA/625/R-92/013. Para el análisis se empleó el método EPA/625/R-92/013.

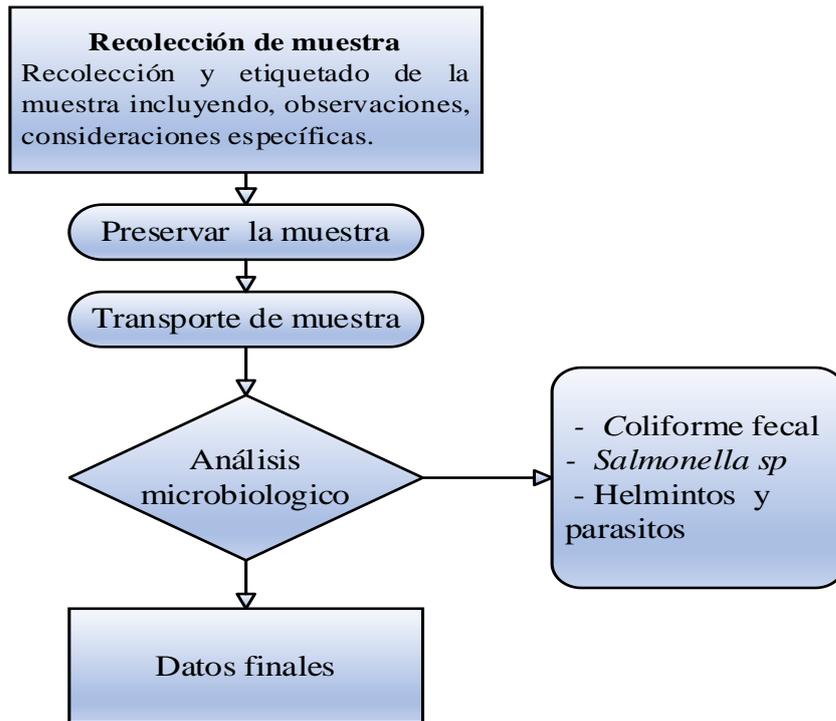


Figura 15. Flujograma para el análisis microbiológica de lodo.

### 3.5.1.2. Análisis de metales pesados

Se extrajo una muestra compuesta empleando el método de cuarteo hasta obtener 2 kg de muestra homogénea (MVCS, 2018), seguidamente se envaso en bolsa ziploc rotulada, esto fue transportada en un cooler a una temperatura de (4 °C) y se analizó las concentraciones de los metales totales; Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobre, Plomo, Mercurio, Níquel Y Zinc, debido a que las investigaciones demuestran la existencia de estos metales totales en lodos residuales (Geng et al., 2020).

El análisis fue realizado por el laboratorio certificado (Laboratorios Analíticos del Sur– Arequipa), se utilizó la siguiente metodología tabla 12.

Tabla 12

*Métodos para determinación de parámetros de metales totales.*

Parámetros	Unidad	Método
Arsénico	mg/kg	7002 EPA 200.7
Cadmio	mg/kg	7003 EPA 200.7
Cromo	mg/kg	
Cobre	mg/kg	
Plomo	mg/kg	
Mercurio	mg/kg	7022 EPA 200.7
Níquel	mg/kg	7003 EPA 200.7
Zinc	mg/kg	

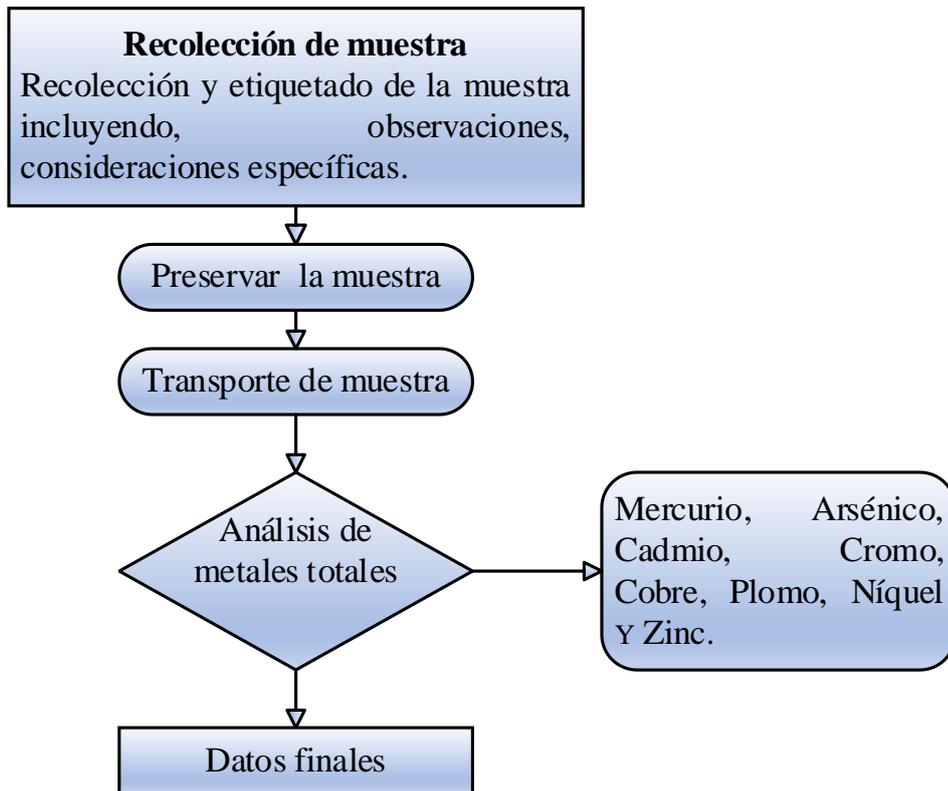


Figura 16. Flujograma para el análisis metales pesados.

### 3.5.2. Determinación del efecto de microorganismos eficaces en el proceso y tiempo de obtención de compost a partir de lodos de lecho de secado de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa.

En tabla 13 se describe la distribución de los tratamientos de los tres grupos: tratamiento uno (T1) de control, tratamiento dos (T2) y finalmente tratamiento tres (T3), con tres repeticiones cada uno, se empleó 700 kg lodos para el armado de 9 composteras (Gupta & Garg, 2008), el tratamiento T1 estuvo compuesto por 90 kg de lodo y 10 kg de aserrín , mientras que, los tratamientos T2 y T3 estuvieron compuestos por 70 kg de lodos más estiércol de ovino 20 kg más aserrín de 10 kg, además se introdujo 2 litros y 4 litros de microorganismos eficaces respectivamente teniendo la proporción 70 % de lodo con 30 % de estiércol de ovino y aserrín (Huayllani, 2016).

Tabla 13

*Distribución de tratamiento.*

Tratamiento	Contenido	Lodos (kg)	Estiércol de ovino (kg)	Aserrín (kg)	Microorganismos eficaces
Tratamiento 1	lodos + aserrín	90	-	10	-
		90	-	10	-
		90	-	10	-
Tratamiento 2	lodos +	70	20	10	2 L
	estiércol +	70	20	10	2 L
	aserrín + ME	70	20	10	2 L
Tratamiento 3	lodos +	70	20	10	4 L
	estiércol +	70	20	10	4 L
	aserrín + ME	70	20	10	4 L

Asimismo todas las pilas de compost se mantuvo bajo un área cerrado y techado con plástico agrofilm de 35 m<sup>2</sup>, a fin de lograr la protección, también se empleó aspersión de agua para mantener la humedad. El proceso de compost se desarrolló por 3 meses (10 de Junio a 10 Septiembre), en el que se monitorearon parámetros físico - químicos como: pH, temperatura, humedad de forma semanal como se muestra en la tabla 14, también se realizó el volteo respectivo con el fin de aireación ya que es un proceso aerobio (Berrio, 2015), este proceso se llevó a cabo de forma semanal.

Tabla 14

*Medición de parámetros del efecto de los microorganismos eficaces en el tiempo en la obtención de compost.*

Parámetros	Tiempo (días)																			
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	
Temperatura																				
pH																				
Humedad																				

### **3.5.3. Determinación del porcentaje de remoción de parámetros microbiológicos y contenido de macronutrientes en compost obtenido a partir de lodos de lecho de secado de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa.**

#### **3.5.3.1. Análisis de parámetros microbiológico**

Transcurrido el proceso de compostaje con microorganismos eficientes se extrajo una muestra compuesta obtenida a partir de muestras puntuales de cada cama de compostaje y se envaso en bolsa ziploc, posteriormente se trasladó en un cooler a una temperatura de (4 °C) hasta el laboratorio certificado (Laboratorios Analíticos del Sur– Arequipa), donde se realizó el análisis microbiológico a fin de conocer la concentración final de *Echerichia coli*, *Salmonella sp* y huevos de helminto, como se detalla en la tabla 11.

#### **3.5.3.2. Determinación del porcentaje de remoción**

Para determinar el porcentaje (%) de remoción, se utilizó la concentración inicial y final, con la siguiente formula (Muñoz, 2017):

$$\% \text{ remoción} = (C_i - C_f) * 100 / C_i \quad (4)$$

Dónde:

C<sub>i</sub>: Concentración inicial

C<sub>f</sub>: Concentración final

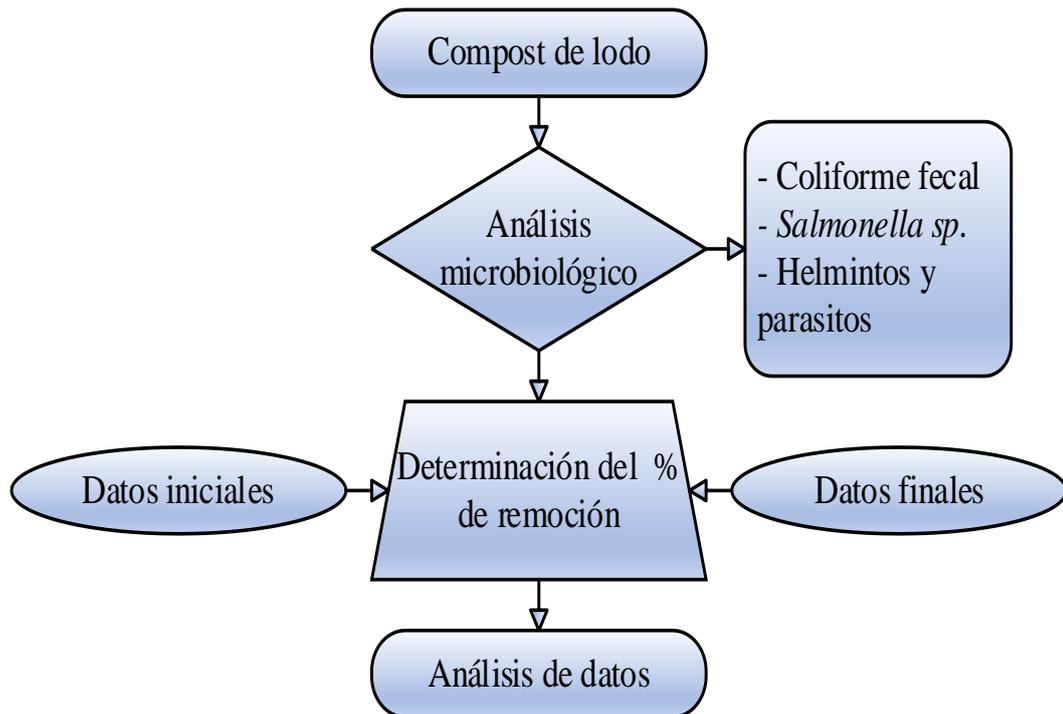


Figura 17. Diagrama de flujo para la determinación del porcentaje de remoción microorganismos patógenos en compost.

### 3.5.3.3. Análisis de metales pesados

Se extrajo una muestra puntual de cada compostera de 2 kg de muestra homogénea, seguidamente se envaso en bolsa ziploc rotulada, esto fue transportada en un cooler a una temperatura de (4°C) para el análisis de la concentración de los metales pesados totales; Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobre, Plomo, Mercurio, Níquel y Zinc (MVCS, 2017), el análisis se realizó en el laboratorio certificado (Laboratorios Analíticos del Sur– Arequipa) tabla 15.

Tabla 15

*Técnicas y métodos utilizados para los análisis de contenido de metales totales.*

<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método de ensayo aplicado</b>
Arsénico (As)	mg/kg	7002 EPA 200.7.
Cadmio (Cd)	mg/kg	7003 EPA 200.
Cobre (Cu)	mg/kg	7003 EPA 200.7.
Cromo (Cr)	mg/kg	7003 EPA 200.7.
Níquel (Ni)	mg/kg	7003 EPA 200.7.
Plomo (Pb)	mg/kg	7003 EPA 200.7.
Zinc (Zn)	mg/kg	7003 EPA 200.7.
Mercurio (Hg)	mg/kg	7022 EPA 200.7.

#### **3.5.3.4. Determinación del contenido de macronutrientes, nitrógeno, potasio, fósforo y C/N.**

Se extrajo una muestra compuesta de 1 kg de cada bloque y se envasó en bolsa ziploc posteriormente se trasladó en un cooler a una temperatura de (4 °C) hasta el laboratorio Analíticos del Sur - Arequipa, a fin de realizar el análisis de concentración de macronutrientes tales como nitrógeno, potasio, fósforo y relación carbono nitrógeno en el compost obtenido (Braga et al., 2017), se empleó el método tabla 16.

Tabla 16

Método de medición de N, P, K y materia orgánica en compost.

Parámetro	Unidad	Técnica de medición
Nitrógeno	mg/kg	7005 método de ensayo para Nitrógeno total por Destilación-Fotometría en suelos y sedimentos.
Fósforo	mg/kg	7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP - OES.
Potasio	mg/kg	7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP - OES.

### 3.5.3.5. Determinación de C/N en compost

Se determino la relación C/N en compost con el siguiente método: para CO se aplicó método de ensayo para materia orgánica de 7006 y para nitrógeno total se aplicó el método de ensayo de 7005, este método es una variación de APHA – AWWA – WPFC – 5310 - A del Standards Methods.

$$\frac{C}{N} = \frac{CO (\%)}{NT (\%)} \quad (5)$$

Donde:

C/N: Relación carbono /nitrógeno.

%CO: Porcentaje de carbono orgánico

%NT: Porcentaje de nitrógeno total Kjeldahl

### 3.5.4. Análisis estadístico

El modelo estadístico que se aplicó en la presente investigación fue mediante la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk, ANOVA y a prueba de comparación múltiple de Duncan.

El análisis de datos se realizará con el diseño completamente al azar, donde se usara el modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad (6)$$

Donde:

$Y_{ij}$ : resultado obtenido

$\mu$ : media general

$\tau_i$ : tratamiento aplicado

$\beta_j$ : efecto de los bloques

$\varepsilon_{ij}$ : error asociado a cada uno de las unidades experimentales

#### 3.5.4.1. Análisis de varianza

Tabla 17

*Análisis de varianza*

<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	$F_C$	$F_t$
					<b>0.05</b>
					<b>0.01</b>
Entre tratamientos (muestras)	t - 1	$SC_{Tratamiento}$	$\frac{SC_{Trat}}{GL_{Trat}}$	$\frac{CM_{Trat}}{CM_{ErrExp}}$	
Dentro de tratamientos (Error experimental)	n - t	$SC_{ErrExp}$	$\frac{SC_{ErrExp}}{GL_{ErrExp}}$		
Total	n - 1	$SC_{Total}$			

$$T_{..} = \sum_{i=1}^t T_i \quad (7)$$

$$n = \sum_{i=1}^t n_i \quad (8)$$

$$SC_{\text{Trat}} = \sum_{j=1}^k \frac{T_{.j}^2}{n_{.j}} - \frac{T_{..}^2}{n} \quad (9)$$

Donde:

$SC_{\text{Trat}}$ : suma de cuadrados del tratamiento

$T_j$ : total de tratamiento

$n$ : número de tratamiento

$$SC_{\text{ErrExp}} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n X_{ij}^2 - \sum_{j=1}^k \frac{T_{.j}^2}{n_{.j}} \quad (10)$$

$$SC_{\text{Total}} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n X_{ij}^2 - \frac{T_{..}^2}{n} \quad (11)$$

$$CV = \frac{\sqrt{CM_{EE}}}{Y} \times 100 \quad (12)$$

Donde:

CV: coeficiente de variación

$CM_{EE}$ : cuadrado medio del valor

Y: media general

### 3.5.4.2. Procedimiento para la prueba de hipótesis

#### a) Planteamiento de hipótesis.

$H_0$ :  $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k = \mu$  [Los promedios son iguales]

$H_a$ :  $\exists \mu_j \neq \mu$   $j = 1, 2, \dots, t$  [Algún promedio es diferente]

**b) Nivel de significancia.**

$$\alpha = 0,05$$

**c) Prueba estadística.**

$$F_c = \frac{CM_{\text{Trat}}}{CM_{\text{EE}}} \quad (13)$$

**d) Región de rechazo y aceptación.**

- a. Si  $F_c \leq F_{n_2, \alpha}^{n_1}$ , no se rechaza la  $H_0$ .
- b. Si  $F_c > F_{n_2, 0.05}^{n_1}$ , se rechaza la  $H_0$ , representándose por un asterisco (\*), lo cual significa que la prueba es significativa.
- c. Si  $F_c > F_{n_2, 0.01}^{n_1}$ , se rechaza la  $H_0$ , representándose por dos asteriscos (\*\*), lo cual significa que la prueba es altamente significativa.

**e) Decisión:** Propio de los resultados

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Características de los parámetros microbiológicos y metales totales en lodos de lecho de secados de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa.

Se realizó la caracterización de los parámetros microbiológicos Coliforme fecal, *Salmonella sp*, huevos de helmintos y metales totales, Arsénico Cadmio, Cromo, Cobre, Plomo, Mercurio, Níquel y Zinc.

##### 4.1.1. Análisis de parámetros microbiológico

El análisis realizado en el laboratorio revelo los valores obtenidos de coliformes fecal de  $21 \times 10^7$  NMP/ 1g ST, salmonella, helmintos y parásitos 2 N° / 4g ST, como se muestra en la tabla 18 las cuales indican que son mayores al límite establecido por el D.S. 015-2017 VIVIENDA, ya que estos lodos son provenientes de tratamiento secundario de aguas residuales, según Sezione et al. (2010) indica que en esta etapa existe la concentración de patógenos que se encuentran como bacterias, protozoos y helmintos, mezclado con detritus orgánicos derivados de la descomposición celular y algunos materiales inertes, por lo cual estos resultados obtenidos requieren un tratamiento para su disposición.

Tabla 18

*Características de parámetros microbiológicas de lodos.*

Parámetros	Unidad	Datos iniciales	Limite D.S. 015-2017-VIVIENDA
Coliforme fecal	NMP/ 1g ST	$21 \times 10^7$	< 1000 NMP/1g ST
Helmintos y parásitos	N° / 4g ST	2	< 1 NMP/1g ST
Salmonella	N° / 4g ST	Presencia	< 1/4g ST

#### 4.1.2. Análisis de metales totales

De los resultados (tabla 19) se puede evidenciar los valores de metales totales como As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn, donde son menores al límite que establece el D.S. 015-2017 VIVIENDA, ya que los metales totales pueden llegar a ser potencialmente tóxicos para los animales y los seres humanos, por lo que su concentración en los lodos no debe sobrepasar valores límites admisibles según las normas (Acosta et al., 2003).

Tabla 19

*Concentración de metales totales en lodos antes del tratamiento.*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Concentración inicial</b>	<b>Límite D.S. 015-2017-VIVIENDA</b>
Arsénico	mg/kg	3.52	40
Cadmio	mg/kg	1.035	40
Cromo	mg/kg	17.26	1200
Cobre	mg/kg	21.1	1500
Plomo	mg/kg	7.47	400
Mercurio	mg/kg	0.17	17
Níquel	mg/kg	7.09	400
Zinc	mg/kg	1427	2400

## 4.2. Efecto de los microorganismos eficaces en el proceso y tiempo de obtención de compost a partir de lodos de lecho de secado de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa.

Cambios físico-químico en el efecto de microorganismos eficaces en el proceso y tiempo de obtención de compost.

### 4.2.1. pH

De los resultados (tabla 20), muestra los valores obtenidos de pH en los tratamientos T1, T2 y T3, donde el pH inicio de 6.93 estos son ligeramente ácidos, en el T2 en la semana dos descendió hasta 6.85 y en la última semana se mantuvo un pH de 7.17 estos son ligeramente alcalinos, de igual manera en el tratamiento T3, en la semana dos disminuyo a un pH de 6.82 posteriormente en las últimas semanas se mantuvieron de un pH de 7.42, donde, el tratamiento T2 muestra niveles de pH menor que en el tratamiento T3.

Tabla 20

*Determinación de pH en los tres tratamientos.*

Parámetro	Unidad	Semanas											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
pH	T1 (Lodos + aserrín)	6.93	6.80	6.87	6.79	6.62	6.45	6.34	6.38	6.32	6.20	6.16	6.19
	T2 (lodos + estiércol + aserrín + 2ME)	6.93	6.85	6.89	6.97	6.99	7.02	7.08	7.11	7.18	7.16	7.15	7.17
	T3 (lodos + estiércol + aserrín + ME)	6.93	6.82	6.90	7.14	7.26	7.21	7.37	7.38	7.41	7.42	7.40	7.42

Según Fan et al. (2018) lo resulto un pH de 6.14 sin ME y con ME 7.22 similares a lo que se obtuvo; así mismo reporto Yang et al. (2017) un pH de 8.08 y 8.13 con ME mayor a lo obtenido, de la misma forma Cruz (2019) en T2, T3 reporto un pH de un valor de 7.15 y 7.0 con microorganismos eficaces, valores similares al T2, de igual forma, Beltrán & Campos (2016), obtuvieron un pH de 6.85 a 7.12 con ME, valores cercano al T2, el pH inicial puede sufrir un descenso, debido a que los microorganismos actúan sobre la materia orgánica más lábil, produciéndose una liberación de ácidos orgánicos. Posteriormente tiene lugar una subida del pH como consecuencia de un aumento en la concentración del ión amonio.

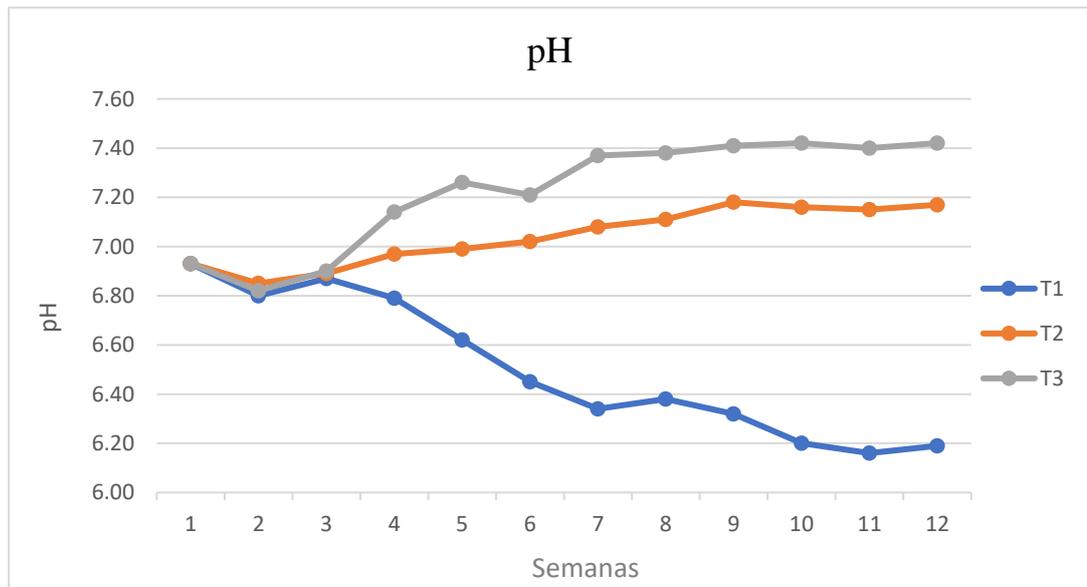


Figura 18. Comportamiento del pH en los tres tratamientos.

Además, en la figura 18 se puede evidenciar el pH durante los tres meses para los tratamientos T1, T2 y T3, donde se muestran la disminución del pH en el T1, sin embargo los resultados de pH en los tratamientos T2 y T3 aumentaron más que el tratamiento T1, esto podría ser atribuido a la actividad microbiana que metabolizan de forma más rápida, y los componentes presentes en lodos podrían generar la disminución del pH, y posterior la estabilización o madurez del compost (Monica et al., 2001).

El pH es un parámetro que indica el buen desarrollo del proceso y la actividad microbiana. El pH inicial de del proceso de compostaje de lodo, estiércol, varía generalmente de 5.5 a 7; éste empieza a incrementarse debido a la pérdida de ácidos orgánicos a través de la volatilización (altas temperaturas), a la descomposición microbiana y a la liberación de amoníaco a través de la mineralización del nitrógeno orgánico (Ferrer & Páez, 1994). Después el pH se ajusta a un rango entre 7.5 - 8.5, y puede ser crítico si sobrepasa los niveles de 8.5 por la volatilización del amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), que genera pérdida de nitrógeno y malos olores. Se considera que un pH de 8.1 a 8.5 al final del proceso indica la estabilización del compost y por tanto un producto apto para el uso agrícola (Monica et al., 2001).

#### 4.2.2. Humedad

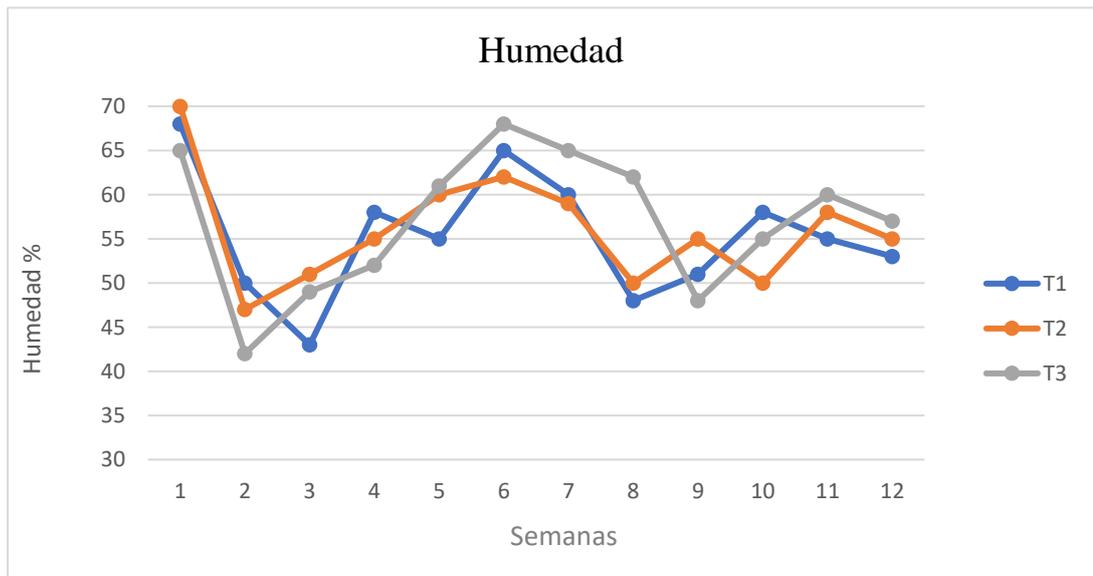
Los resultados obtenidos en la tabla 21 muestra los valores de humedad en los tratamientos T1, T2 y T3, dicha humedad fueron obtenidos semanalmente, que iniciaron con 68, 70, y 65 % respectivamente, y terminaron con una humedad de 53, 55 y 57 %, se observa que cada tratamiento se mantiene en un rango de 40 a 70 %, según Berrio (2015) indica que para un proceso de compost aeróbico eficiente se requiere un rango de humedad entre 40 y 60 %.

Tabla 21

*Determinación de humedad en los tres tratamientos.*

Parámetro	Unidad	Semanas											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	T1 (Lodos + aserrín)	68	50	43	58	55	65	60	48	51	58	55	53
Humedad (%)	T2 (lodos + estiércol + aserrín + 2ME)	70	47	51	55	60	62	59	50	55	50	58	55
	T3 (lodos + estiércol + aserrín + ME)	65	42	49	52	61	68	65	62	48	55	60	57

Además, en la tabla 21 muestra el porcentaje de humedad de 48%, mayores a lo que reporto Mamani (2019) determino de 40.80 % a 48.20 % similares a lo que obtuvo en T3. Ya que uno de los factores más importantes en el proceso de compostaje, es la humedad, pues si ésta baja, los microorganismos no se desarrollan por no tener el agua suficiente para su metabolismo, disminuyendo la actividad microbiana que es esencial en éste tipo de proceso (Thien et al., 2022). Y si, por el contrario, es muy alta, desplaza el aire saturando de agua los intersecciones dejados por el material, generándose condiciones anaerobias (Monica et al., 2001).



*Figura 19.* Comportamiento de la humedad en los tres tratamientos.

Según la figura 19 se puede apreciar las variaciones de la humedad durante los tres meses para los tratamientos T1, T2 y T3, donde iniciaron con 68 %, 70 % y 65 % la primera semana, en la segunda semana descendieron a 50 %, 47 % y 42 %, posteriormente en las semanas siguientes la humedad en los T1 y T2 se mantuvieron en un intervalo de 42 % a 65 %, pero el T3 se mantuvo en un intervalo de 42 % a 68 % más que T1 y T2, esto podría ser atribuido a situaciones distintas dependiendo de las características físicas y químicas de los materiales orgánicos utilizados, especialmente en cuanto a porosidad y capacidad de absorción (Richard, 2005), por ésta razón se realizó el riego de las composteras de los tratamientos durante el proceso de compostaje.

### 4.2.3. Temperatura

Los datos de temperatura se registraron con un termómetro digital a una profundidad de 15 cm en cada compostera, esta medición se realizó diariamente (anexo 5), en un plazo de 90 días, desde el 10 de Junio hasta el 10 de Septiembre de 2021 el proceso de compostaje con microorganismos eficaces, produjo los siguientes resultados más relevantes.

La figura 20 muestra la comparación de temperaturas en los diferentes tratamientos registradas durante el proceso de compostaje con microorganismos eficaces.

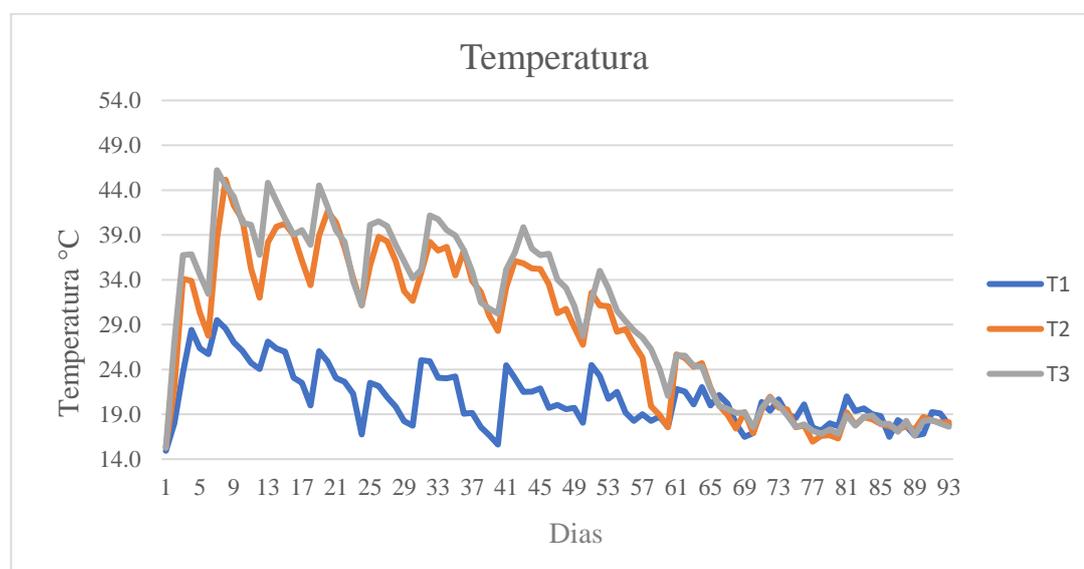


Figura 20. Temperatura de los tres tratamientos.

En la figura 20 se puede apreciar la variación de las temperaturas obtenidas en los tres tratamientos, el T1 (testigo) al cual no se aplicó ningún inóculo ME, inició con 14.9 °C, posteriormente comenzó a subir hasta 28.4 °C, hasta que en el día 6 se realizó el primer volteo, se observó que la temperatura comenzó a ascender hasta alcanzar una temperatura máxima de 29.5 °C, esto se produjo en el día 7 iniciado el proceso, además, la temperatura durante los 15 días antes que termine el proceso de compostaje se mantuvo constante teniendo una temperatura promedio de 17.8 °C, en total se realizaron 12 volteos, y se observó que después de cada volteo la temperatura comenzaba nuevamente a ascender, sin poder superar la temperatura máxima.

En el T2, al cual se le aplicó 2 L de EM, inició con 15.3 °C, posteriormente comenzó a subir hasta 34.1 °C, y a partir del día 6, fecha en la que se realizó el primer volteo la temperatura comenzó a ascender, en el día 8 alcanzó una temperatura máxima de

45.2 °C, alcanzado la fase termófila del proceso de compostaje. se observó que la temperatura durante los últimos 24 días se mantuvo constante teniendo una temperatura promedio de 18.1 °C. En total se realizaron 12 volteos, además, se observó que después de cada volteo la temperatura comenzaba nuevamente a subir, sin poder superar la temperatura máxima.

Finalmente, el T3, al cual se le aplicó 4 L de EM, inició con 15.3 °C posteriormente subió 36.8 °C, hasta que en el día 6 luego de haber realizado el primer volteo, la temperatura comenzó a ascender hasta alcanzar una temperatura máxima de 46.2 °C, esto se produjo al día 7 de iniciado el proceso, se observó que la temperatura durante los últimos 17 días se mantuvo constante teniendo una temperatura promedio de 17.6 °C, en total se realizaron 12 volteos, además, se observó que después de cada volteo la temperatura comenzó nuevamente a subir, pero no se logró superar la temperatura máxima.

Según investigaciones realizadas por Caldas (2020) reportó una temperatura de 45 °C a 55 °C, valores similares a lo que se obtuvo en la presente investigación, de igual forma Cruz T, (2019), obtuvo una temperatura máxima en el T2 que fue de 40.2 °C, y 33.3 °C en el T3, mientras que la pila testigo T1, una temperatura máxima de 26.9 °C; donde los resultados obtenidos se muestran cercanos a investigaciones realizadas, la temperatura máxima en el T2 fue 43.8 °C, mientras que el T3, registró una temperatura máxima de 46.2°C, mientras que el T1 (testigo), solo registró una temperatura máxima de 29.9°C. Según la FAO (2013) para lograr la higienización del compost, el rango ideal de temperatura debe superar los 45 °C, verificándose que el T3 es la que más se acerca al valor óptimo, probablemente esto se debe a que presenta mayor cantidad de inóculo de microorganismo eficaces.

#### 4.2.3.1. Contratación de hipótesis

Prueba de hipótesis: Los microorganismos eficaces tienen alta capacidad de degradar los lodos en menor tiempo y obtener un producto de mejor calidad en el proceso de compostaje en lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa.

Para la contratación de la hipótesis se planteará las siguientes hipótesis alterna y nula:

##### **Hipótesis**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

H<sub>a</sub>: Al menos un tratamiento es diferente

##### **Nivel de significación**

Alfa=0,05

##### **Prueba estadística**

$F = \text{CMT} / \text{CME} \sim F(1 - g_1, A, g_1 E)$

##### **Diseño estadístico**

Diseño completamente al azar DCA

$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$

$i = 1, 2, \dots, t$

$j = 1, 2, \dots, r$

Donde:

$\mu$  = Es el efecto de la media general

$\tau_i$  = Es el efecto del i-esimo tratamiento

$\varepsilon_{ij}$  = Efecto de la j-esima unidad experimental (replica), sujeta al i-esimo tratamiento (error experimental).

## Cálculo de ANOVA

Tabla 22

*ANOVA de un factor.*

ANOVA de un factor					
Tiempo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	134.000	2	67.000	67.000	0.000
Intra-grupos	6.000	6	1.000		
Total	140.000	8			

Los tratamientos son diferentes estadísticamente

### Supuestos:

NORMALIDAD (Shapiro–Wilk)

Ho=Los datos tienen una distribución normal.

Ha=Los datos NO tienen una distribución normal.

Tabla 23

*Prueba de normalidad*

Pruebas de normalidad						
Tratamientos	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
T1	0.175	3	.	1000	3	1000
tiempo T2	0.175	3	.	1000	3	1000
T3	0.175	3	.	1000	3	1000

a. Corrección de la significación de Lilliefors.

Decisión: La variable tiempo de maduración de compostaje en los tres tratamientos tienen una distribución normal, porque los p-valor son mayores que 0.05.

### Igualdad de varianzas (Prueba de Levene)

Ho= Las varianzas son homogéneas.

Ha= Las varianzas no son homogéneas..

Si P- valor=> alfa, se acepta Ho

Tabla 24

*Prueba de homogeneidad de varianza*

<b>Prueba de homogeneidad de varianzas</b>			
tiempo			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
0.000	2	6	1000

Decisión: Las varianzas son homogéneas, porque el P-valor es mayor que 0.05.

**Prueba de contrastes**

Tabla 25

*Tiempo.*

Duncan		<b>Tiempo</b>		
Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
		1	2	3
T2	3	690.000		
T3	3		760.000	
T1	3			780.000
Sig.		1.000	1.000	1.000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica

=3,000.

El tratamiento 2 tiene mejor tiempo de maduración que los otros dos tratamientos.

### **4.3. Remoción de los parámetros microbiológicos y contenido de macronutrientes en compost obtenido a partir de lodos de lecho de secado de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa.**

#### **4.3.1. Remoción de agentes patógenos**

La tabla 26 muestra los resultados de la concentración inicial, final y porcentaje remoción de Coliformes fecales, *Helmintos parásitos* y *Salmonella*.

##### **4.3.1.1. Coliformes fecales**

De los resultados obtenidos en la tabla 26 se puede evidenciar los resultados de la concentración inicial y final de coliformes fecales, observándose que, las tres composteras del T1, T2 y T3, iniciaron con  $21 \times 10^7$  NMP/1g ST, y pasando los 90 días se observó que las concentraciones finales con la inoculación de microorganismos eficaces de 2L (T2), 4L (T3) de  $93 \times 10^4$  NMP/1g ST y  $43 \times 10^4$  NMP/1g ST respectivamente, éstos se encuentran sobre los límite establecido en la normativa, por lo tanto no cumplen con los criterios de higienización establecidos en el D.S. N° 015-2017, por lo que se presentaron reducciones mínimas superando el límite establecido (anexo 2).

Esto se debe a las temperaturas obtenidas durante el proceso de compostaje no lograron llegar a la temperatura máxima de 60 °C (fase termófila), solamente se alcanzó una temperatura máxima de 45.2 °C y 46.2 °C en el T2, T3 respectivamente, lo cual se visualiza una reducción mayor de coliformes fecales comparado con el T1.

Según investigaciones realizadas por Cruz (2019) reporto los coliformes fecales, inoculando 2 litros de ME y 4 litros de ME se redujo de  $4.6 \times 10^7$  a  $1.5 \times 10^6$  y de  $4.6 \times 10^7$  a  $2.4 \times 10^6$  NMP/g ST, frente a la pila de testigo, el cual presentó una reducción de  $4.6 \times 10^7$  a  $9.3 \times 10^6$  NMP/g ST; son valores mayores a lo que se obtuvo, de igual forma Mamani (2019), determino en su resultado final de coliformes fecales de  $2.1 \times 10^6$  NMP/g en la calidad de abono a partir de lodos, como se muestran las investigaciones no fue posible la reducción de los microorganismos patógenos menores a  $< 1000$  NMP/1 g ST, debido a que solo alcanzó temperatura aproximada de 43 °C, según FAO (2013) establece que es importante que las temperaturas en el compostaje superen los 45°C porque el calor generado destruye las bacterias y contaminantes de origen fecal.

Tabla 26

*Remoción de agentes patógenos.*

Parámetro	Detalle	Unidad	T1	T2	T3
			Lodos + aserrín	lodos + estiércol + aserrín + 2ME	lodos + estiércol + aserrín + 4ME
Coliforme fecal	Inicial	(NMP/ 1g ST)	21x10 <sup>7</sup>	21x10 <sup>7</sup>	21x10 <sup>7</sup>
	Final	(NMP/ 1g ST)	43x10 <sup>4</sup>	93x10 <sup>4</sup>	43x10 <sup>4</sup>
	% remoción	-	99.80	99.56	99.80
	limite	(NMP/ 1g ST)	<1000	<1000	<1000
Helmintos y parásitos	Inicial	(Nº/ 4g ST)	2	2	2
	Final	(Nº/ 4g ST)	30	30	30
	% remoción	-	-1400	-1400	-1400
	limite	(Nº/ 4g ST)	< 1	< 1	< 1
Salmonella	Inicio	(Nº/ 4g ST)	presencia	presencia	presencia
	Final	(Nº/ 4g ST)	Ausencia	Ausencia	Ausencia
	limite	(Nº/ 4g ST)	< 1	< 1	< 1

#### 4.3.1.2. Helmintos y parásitos

Según los resultados (tabla 26) muestra los resultados de la concentración inicial y final de Helmintos y parásitos, observándose que, las tres composteras del T1, T2 y T3, iniciaron con 2 N° /4 g ST, y pasado los 90 días se observa que las concentraciones finales con la aplicación de inóculo de microorganismos eficaces de 2 L y 4 L se obtuvo de 30 N°/4 g ST en el T1, T2 y T3, éstos se encuentran sobre los límite establecido en la normativa vigente, por lo tanto no cumplen con los criterios de higienización establecidos.

Según Cruz (2019) obtuvo la disminución de huevos de helmintos de 10 a 5 y de 10 a 7 N°/4 g ST, valores bajos a lo obtenido, de igual forma reporto Wimmer (2018) entre 3 y 22 N°/4 g ST, según Campos et al. (2018) indica que el aumento de estos patógenos es debido al aporte de estiércol que se dispone, debido a que este patógenos se inactiva a una temperatura mayor a 50 °C, y la cantidad detectada

no altera la calidad de compost obtenido y no representa riesgo para la salud pública y animal (Ahumada & Arango, 2019).

La presencia de huevos de helmintos y parásitos varía considerablemente según factores como la humedad y la temperatura, pero, en general, los huevos son resistentes al ambiente durante (Wimmer, 2018), ya que son resistentes al ambiente durante largos períodos, tanto que se los considera los microorganismos patógenos más resistentes (Campos et al., 2018).

#### **4.3.1.3. Salmonella**

Según la tabla 26 muestra los resultados de la concentración inicial y final de Salmonella sp., se observa que las concentraciones iniciales hay presencia de salmonella, mientras con los tratamientos con el inóculo de microorganismo eficaces del (T1, T2, T3) existe la ausencia de salmonelas en los tres tratamientos, donde está por debajo del límite establecido en la normativa vigente, por lo tanto cumple con el criterio de higienización según el D.S. 015-2017-Vivienda.

Investigaciones realizadas por Fan et al. (2018) reportó con un porcentaje de remoción al 99% de salmonella en lodos, esto a causa de la temperatura superior al 30 °C, sin embargo en la presente investigación la temperatura fue mayor a 30 °C.

#### **4.3.2. Metales totales**

De los resultados (tabla 27), muestra los resultados finales obtenidos en los parámetros de toxicidad química, se precisa que estos se encuentran dentro de los parámetros establecidos por el Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA, sin embargo, el proceso de compostaje con microorganismos eficaces interviene en la reducción de los valores de Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobre, Plomo, Mercurio, Níquel y Zinc presentes en el lodo, obteniéndose que al inóculo 2 L, 4 L de EM se presentó alta reducción frente a la compostera de testigo, donde no se aplicó ningún inóculo de ME, el cual presentó una mínima reducción.

Según Cruz (2019), reportó contenidos de arsénico al inocular 2 L y 4 L de ME se redujo de 9.71 a 3.8 y de 11.3 a 2.2 mg/kg ST, frente a la pila testigo, esta reducción es mayor a lo obtenidos en la investigación realizada, de igual forma Huayllani (2016) obtuvo cromo y cadmio una disminución de 52.49 mg/kg a 30.88 mg/kg y 3.93 mg/kg a 2.45 mg/kg respectivamente. A pesar de los resultados obtenidos en

ambas investigaciones, es muy importante realizar el análisis de metales pesados como plomo, cromo, cadmio, mercurio, arsénico, entre otros, ya que se convierte en una preocupación para la salud pública debido a su toxicidad aguda y crónica (Metcalf & Eddy, 1995).

Tabla 27

*Análisis de metales totales obtenidos en los tres tratamientos.*

Parámetros	Detalle	Unidad	T1	T2	T3	Limite D.S. 015- 2017- VIVIENDA
			Lodos + aserrín	lodos + estiércol + aserrín + 2 L ME	lodos + estiércol + aserrín + 4 L ME	
Arsénico	Inicial	mg/kg	3.52	3.52	3.52	40
	Final		1.77	1.37	1.24	
Cadmio	Inicial	mg/kg	1.03	1.03	1.03	40
	Final		0.49	0.54	0.43	
Cromo	Inicial	mg/kg	17.26	17.26	17.26	1200
	Final		10.26	9.62	17.37	
Cobre	Inicial	mg/kg	21.1	21.1	21.1	1500
	Final		11.82	11.03	9.64	
Plomo	Inicial	mg/kg	7.47	7.47	7.47	400
	Final		7.88	8.44	9.41	
Mercurio	Inicial	mg/kg	0.17	0.17	0.17	17
	Final		0.08	0.09	0.1	
Níquel	Inicial	mg/kg	7.09	7.09	7.09	400
	Final		5.91	5.36	8.80	
Zinc	Inicial	mg/kg	1427	1427	1427	2400
	Final		73.35	75.85	63.341	

#### 4.3.3. Contenido de macronutrientes, nitrógeno, potasio y fósforo en compost

En la tabla 28 muestra los concentraciones finales de macronutrientes en compost obtenido a partir del tratamiento con microorganismos eficaces.

Tabla 28

*Contenido de macronutrientes en compost.*

Tratamiento	Nitrógeno (N) ppm	Potasio (K) ppm	Fosforo (P) ppm	materia orgánica (%)	C/N
T1 (Lodos + aserrín)	13030	1929	1036	64.3	28.6
T2 (lodos + estiércol + aserrín + 2ME)	15290	5781	1474	59.2	22.5
T3 (lodos + estiércol + aserrín + 4ME)	15370	7570	1506	59.2	22.3

#### 4.3.3.1. Nitrógeno (N)

De los resultados (figura 21), se muestra el contenido de nitrógeno total en el compost, resultado del tratamiento del lodo, con aplicación de diferentes inóculos de ME, el T1, T2, T3 presentan valores entre 13030 mg/kg, 15290 mg/kg, 15370 mg/kg respectivamente, que se encuentran dentro al rango de calidad propuesto por la FAO (3000 mg/kg a 15000 mg/kg).

Según Fan et al. (2018), reporto 35000 mg/kg de nitrógeno con microorganismos eficaces y 20000 mg/kg sin microorganismos eficaces, de igual forma Yang et al. (2017) quienes obtuvieron 75400 mg/kg con EM y 38200 mg/kg sin EM. Asimismo, Ludeña (2019) obtuvo 17300 mg/kg sin ME, 17700 mg/kg con un litro de ME y 18100 mg/kg con dos litros de ME valores superiores a lo obtenido en presente investigación.

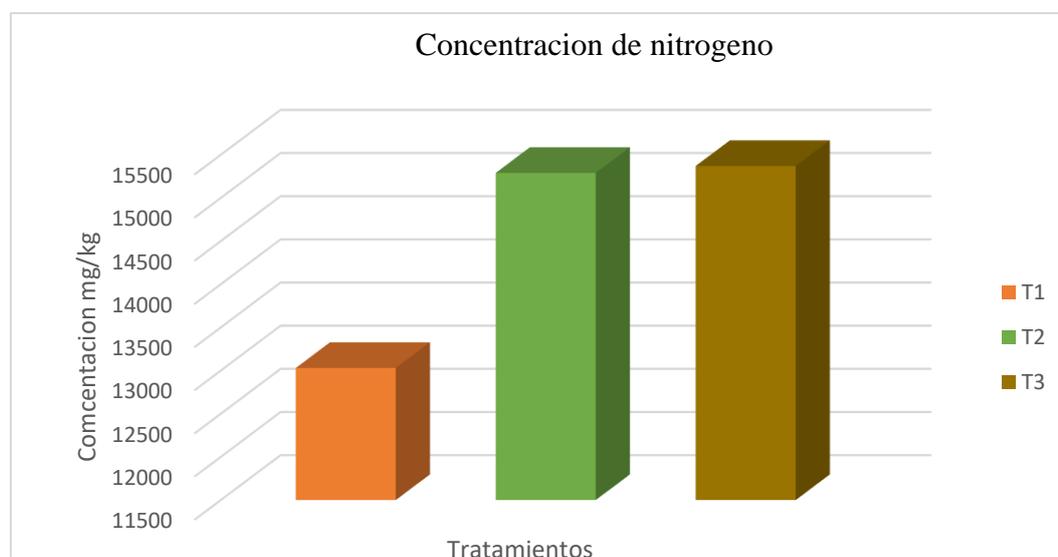


Figura 21. Concentración de nitrógeno en compost en los tres tratamientos.

Esto indica que el compost obtenido es apto en nitrógeno si es incorporado al suelo. Los valores de nitrógeno total en los tratamientos con diferentes inóculos de ME, tienen poca variación, pero se observa un aumento conforme se incrementa en inóculo de ME 2 litros y 4 litros, respecto al tratamiento con 0 litros de ME, debido a una posible inmovilización del nitrógeno, al ser asimilado por los microorganismos, así como a la volatilización de compuestos nitrogenados durante la fase termofílica (Soobhany et al., 2015).

#### **4.3.3.2. Potasio (K)**

En la figura 22 se puede evidenciar el contenido de potasio total en el compost de lodos, con la aplicación de diferentes cantidades de inóculos de ME, el T1, T2, T3 presentaron valores de 1929 mg/kg, 5781 mg/kg, 7570 mg/kg, respectivamente, los tres tratamientos se encuentran dentro del rango de valores propuestos por FAO (3000 mg/kg a 15000 mg/kg).

Sin embargo Caldas (2020), obtuvo 45800 mg/kg con ME, valores cercanos al T2, de igual manera Fan et al. (2018) determino valores de 4000 mg/kg sin ME y 5000 con ME, de igual manera Mamani (2019) reporto 4300 mg/kg sin ME y 5900 mg/kg con ME valores similares al tratamiento al tratamiento dos. Esto se puede atribuirse a la liberación de iones de potasio de los compuestos orgánicos que se van transformando en el proceso de compostaje, pues el potasio no tiene formas orgánicas. Si se compara el contenido de potasio del lodo sin procesar (1929 mg/kg), se puede observar que se incrementó el potasio total mediante el proceso de compostaje aplicando microorganismos eficaces (Castillo, 2019).

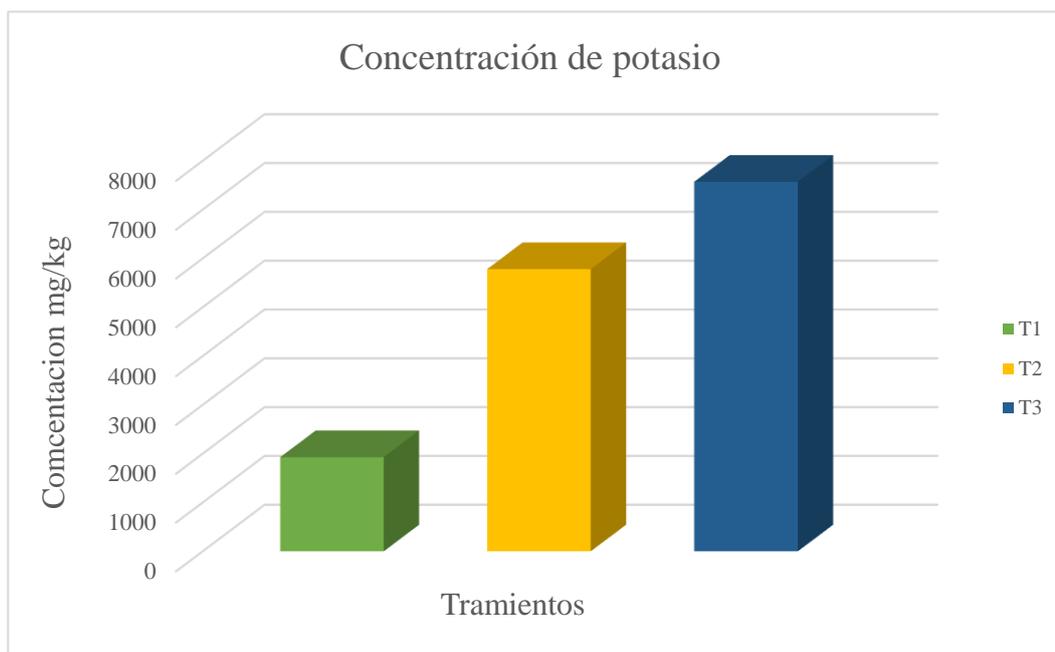


Figura 22. Concentración de potasio en los tres tratamientos.

#### 4.3.3.3. Fósforo (P)

Según la figura 23 se muestra el contenido de fósforo total en el compost, resultado del tratamiento del lodo, con aplicación de diferentes inóculos de ME, el T1, T2, T3 presentan valores entre 1036 mg/kg, 1474 mg/kg, 1506 mg/kg respectivamente, que se encuentran dentro al rango de calidad propuesto por la FAO (3000 mg/kg a 15000 mg/kg). Indicando que el compost obtenido con microorganismos eficaces, es de buena calidad. Si es aplicado al suelo como abono orgánico, incrementará fósforo al suelo y mejorará las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo (Castillo, 2019).

Según investigaciones de Huayllani (2016) reporto 1520 mg/kg, 1600 mg/kg, 1400 mg/kg en los tratamientos T1, T2 y T3 respectivamente, valores similares que se obtuvo en los tratamientos T2 y T3, de la misma forma, Fan et al. (2018) obtuvo 1500 mg/kg con ME y 1700 mg/kg sin ME. Los valores de fósforo total tienen ligera variación según la cantidad de inóculo aplicado, y comparando con el testigo (T1), el tratamiento con 2 litros y de 4 litros de ME tienen un ligero incremento, posiblemente atribuible a la incompleta descomposición orgánica o puede ser al estiércol de ovino utilizado, una vez que es transformado por acción de los microorganismos aplicados al compost.

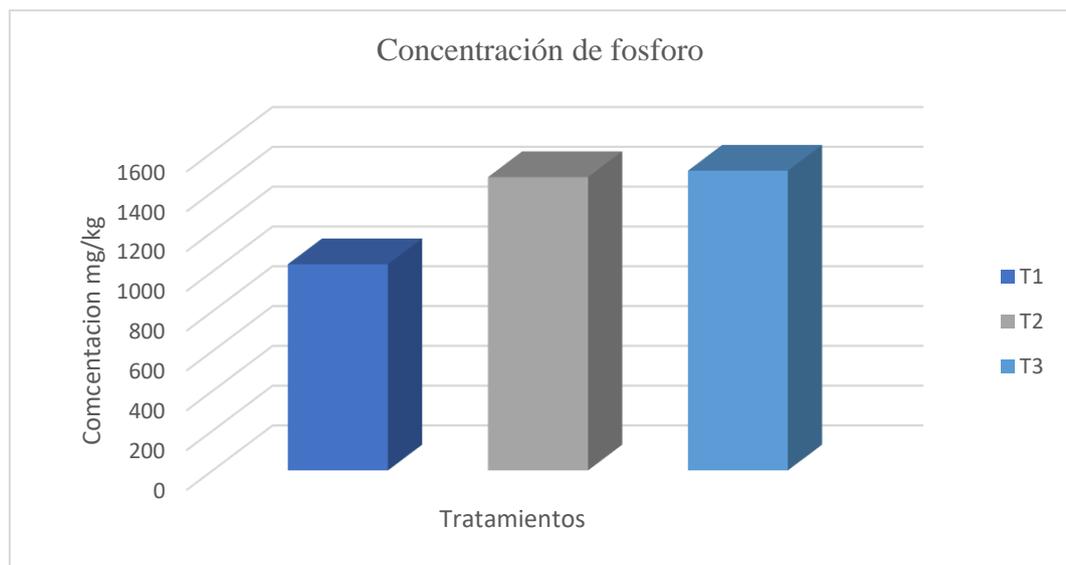


Figura 23. Concentración de fosforo en compost en los tratamientos.

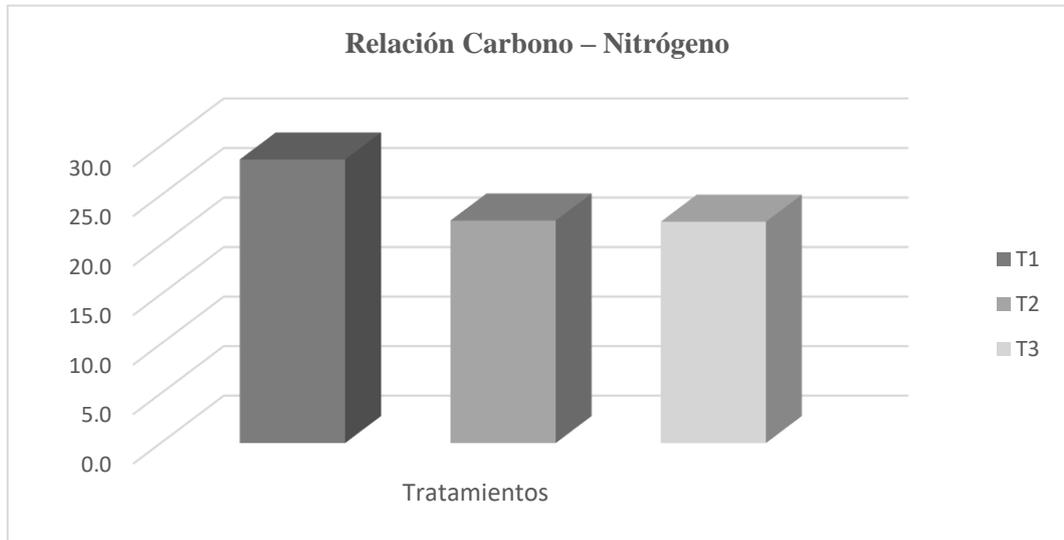
#### 4.3.3.4. Relación de C/N en compost

De los resultados (figura 24), se puede evidenciar el contenido de la relación carbono/nitrógeno (C/N) en compost, con la aplicación de diferentes cantidades de inóculos de ME, el T1 (control), T2, T3 presentaron valores de 28.6, 22.5, 22.3, respectivamente, los tres tratamientos se encuentran más altos del rango de valores propuestos por FAO (10 a 15 ). Este factor influye en la velocidad del proceso y en la pérdida de amonio durante el compostaje.

Se observan mayores diferencias entre los tratamientos de ME y el testigo, indicando que los lodos utilizados pueden racializarse compostaje y obtenerse un abono orgánico de buena relación de C/N, y a la vez permitir reducir el peso de los lodos convirtiéndolos en un abono orgánico que mejorará las propiedades del suelo (Rodríguez, 2017).

De acuerdo a Huayllani (2016) en su investigación tuvo 10.5, 11.4 y 11. 4 de relación C/N con 0, 2, 4 % de microorganismos eficaces valores menores a lo obtenido, de la misma forma Pino (2021) reporto 18.40 y 14.46 con ME en T3 y T4 respectivamente, valores menores a lo que se obtuvo en el tratamiento T2 y T3. La relación C/N es un importante factor que influye en la velocidad del proceso y en la pérdida de amonio durante el compostaje; si la relación C/N es mayor que 40 la actividad biológica disminuye y los microorganismos deben oxidar el exceso de

carbono con la consiguiente ralentización del proceso, debido a la deficiente disponibilidad de N para la síntesis proteica de los microorganismos.



*Figura 24.* Concentración de relación C/N en compost de los tres tratamientos.

## CONCLUSIONES

Los parámetros de coliformes fecales, Salmonella sp, helmintos y parásitos fueron  $21 \times 10^7$  NMP/ g ST y 2 N°/ 4g ST respectivamente, donde presentaron valores superiores al límite  $< 1000$  (NMP/ 1g ST); y los metales totales, Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobre, Plomo, Mercurio, Níquel Y Zinc fueron 3.52 mg/kg, 1.035 mg/kg, 17.26 mg/kg, 21.1 mg/kg, 7.47 mg/kg, 0.17 mg/kg, 7.09 mg/kg y 1427 mg/kg respectivamente en lodos lecho de secados de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa presentaron valores menores al límite que establece el D.S. 015-2017-VIVIENDA.

Los microorganismos eficaces tienen un efecto en el proceso de compostaje ya que se obtuvo en menor tiempo de transformación de lodos en compost, donde se demostró que el T2 tuvo un tiempo de maduración en 69 días con un pH de 7.17, humedad de 55 % y de una temperatura de 18.1 °C, menor que el T1 y T3.

Coliforme fecal, tuvo una remoción de 99.80 %, 99.56 % y 99.80 % en el T1, T2, T3 respectivamente; helmintos y parásitos; no tuvo una remoción en los tres tratamientos; metales totales, Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobre, Plomo, Mercurio, Níquel, Zinc tuvo una reducción significativa y con respecto a la cantidad de macronutrientes, nitrógeno, fósforo, potasio, se encuentran dentro del rango de valores propuestos por FAO, con respecto a la relación de C/N el T1 (control), T2, T3 presentaron valores de 28.6, 22.5, 22.3 respectivamente, los tres tratamientos se encuentran más altos del rango de valores propuestos por FAO en compost obtenido a partir de lodos.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda utilizar diferentes tipos de estiércol en el proceso de compostaje y con diferentes cantidades de microorganismos eficaces.

Se recomienda fomentar el uso de compost de lodos con fines de aprovechamiento y comercialización, aplicando a especies forestales que se desarrollen en sustratos con pH entre 7 y 7.5 para ser aprovechados el lodo generado en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Se recomienda realizar monitoreo de los macronutrientes y micronutrientes semanalmente para saber la variación en cada proceso de la compostaje de lodo con diferentes inóculos de microorganismos eficaces y procesar los datos estadísticamente .

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, Y. et al. (2012). Cambios en las propiedades fisicoquímicas en el proceso de compostaje de lodos residuales. N° Extraordinario, 12, 18–24.
- Acuña, M. (2018). Influencia de microorganismos eficientes y lodos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas – Exalmar, en la composición de macronutrientes del compost generado, 80. Retrieved from <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/25049>.
- Ahumada, M. & Arango, G. (2019). Evaluación del efecto de un bio-inoculante sobre la degradación de mortalidad en una granja porcícola. *Psikologi Perkembangan*, (October 2013), 1–224. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/162568967.pdf>.
- Alfaro, R. (2019). Revista Cubana de Medicina General Aspectos relevantes sobre Salmonella sp en humanos Relevant aspects of Salmonella sp in humans. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 3(2018), 1–15.
- Amador, A. et al. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 46, 1–10.
- Amador, M. (2018). Tratamiento de lodos residuales de una industria cervecera a través de fermentación homoláctica para la producción acelerada de abono orgánico treatment of sewage sludge from a brewing industry through homlactic fermentation for the accelerated production. *ecología aplicada*, 17(1). retrieved from <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v17i1.1179>.
- Aminah, S. (2016). Application of Effective Microorganism ( EM ) in food waste composting : a review application of effective microorganism ( em ) in food waste composting : a review. *asia pacific environmental and occupational health journal*, 2(1), 37–47.
- Arrocha, C. (2021). Caracterización para oportunidad de reúso de lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales de una industria de grasas vegetales, 16(2).
- Baque, R., et al. (2016). Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador / Quality of water intended for human consumption in a canton of Ecuador. *Ciencia Unemi*, 9(20), 109–117. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol9iss20.2016pp109-117p>.

- Beltrán, T. & Campos, C. (2016). Influencia de microorganismos eficaces sobre la calidad de agua y lodo residual, planta de tratamiento de Jauja. Universidad Nacional Del Centro Del Perú, 206. Retrieved from [http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3461/Beltran\\_Beltran-Campos\\_Rivero.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3461/Beltran_Beltran-Campos_Rivero.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- BID (2009). Manual práctico de uso de em. banco interamericano de desarrollo como administrador del fondo especial de japon, 35. retrieved from [http://www.emuruguay.org/images/manual\\_practico\\_uso\\_em\\_oisca\\_bid.pdf](http://www.emuruguay.org/images/manual_practico_uso_em_oisca_bid.pdf).
- Braga, F. et al. (2017). Chemical characterization of vermicompost of sewage sludge with different proportions of diatomaceous material. *Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental*, 21(8), 519–523. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n8p519-523>.
- Caldas, P. (2020). Comunidad educativa al servicio del pueblo, 1–47. retrieved from <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/7954>.
- Campos, M. et al. (2018). Helminth eggs as parasitic indicators of fecal contamination in agricultural irrigation water, biosolids, soils and pastures. *Biomédica*, 38(1), 42. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v38i0.3352>.
- Canziani, R. & Spinosa, L. (2019). Sludge from wastewater treatment plants. industrial and municipal sludge: emerging concerns and scope for resource recovery. elsevier inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815907-1.00001-5>.
- Castillo, L. (2019). Evaluación de la calidad del compost obtenido a partir de residuos orgánicos y microorganismos eficaces (EM) en el distrito de Huayucachi, Huancayo, 2019. Repositorio Institucional Continental, 130.
- Chen, Z. et al. (2016). Preliminary investigation on the effect of earthworm and vegetation for sludge treatment in sludge treatment reed beds system. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(12), 11957–11963. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6399-5>.
- Cheremisinoff, P. (2002). Chapter 12 - Treating the sludge. handbook of water and wastewater treatment technologies, 496–600. retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780750674980500152>.

- Condorchem (2022). Procesos y tecnologías para el tratamiento de lodos. condorchem evitech, 1–11. retrieved from <https://condorchem.com/es/blog/tratamiento-de-lodos/>.
- Corrales, L. et al. (2015). Anaerobic bacteria: processes they perform and their contribution to life sustainability on the planet. nova. retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v13n24/v13n24a06.pdf>.
- Cruz, C. (2019). "Transformación de lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de carhuaz en biosólidos, mediante la tecnología de compostaje con microorganismos eficaces, Carhuaz".
- Cruz, D. (2015). Comparación de la efectividad del hongo pleurotus ostreatus y trichoderma harzianum en la disminución de concentración de metales pesados en lodos de lixiviación de un relleno.
- Cupe, B. & Juscamaita, J. (2018). Tratamiento de lodos residuales de una industria cervecera a través de fermentación homoláctica para la producción acelerada de abono orgánico. *Ecología Aplicada*, 17(1), 22.
- Da, N. et al. (2018). Efecto del compost de residuos orgánicos domiciliarios , vegetales y estiércol en el crecimiento de lechuga Effect of organic residue compost made from household waste , plant residues and manure on the growth of lettuce, 12(2), 464–474.
- Deiver, H. et al. (2008). Utilidad de los microorganismos eficaces (em®) en una explotación avícola de córdoba: Parámetros productivos y control ambiental. *Revista MVZ Cordoba*, 13(2), 1369–1379. <https://doi.org/10.21897/rmvz.397>.
- Dempsey, T. (2010). Helminthic infections. antibiotic and chemotherapy: expert consult, 842–859. <https://doi.org/10.1016/b978-0-7020-4064-1.00064-6>.
- Diaz, A. et al. (2015). Tratamiento de lodos , generalidades y aplicaciones. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 46, 1–10.
- Díaz, R. & Pérez, C. (2013). Metabolismo microbiano. 190.121.143.77, (December 2015), 1–10. Retrieved from [http://www.fca.uner.edu.ar/academicas/deptos/catedras/microbiologia/unidad\\_2\\_metabolismo\\_microbiano.pdf](http://www.fca.uner.edu.ar/academicas/deptos/catedras/microbiologia/unidad_2_metabolismo_microbiano.pdf).

- Emprotec (2019). Guía de la Tecnología de Microorganismos eficientes. Emprotec.
- Fan, Y. et al (2018). Evaluation of effective microorganisms on home scale organic waste composting. *Journal of environmental management*, 216, 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.019>.
- FAO (2015). Manual de compostaje del agricultor. oficina regional de la fao para américa latina y el caribe. retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>.
- Feijoo, M. (2014). Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores.
- Ferrer, J. & Páez, G. (1994). Aerobic bioprocess of coffee pulp. *Revista Técnica de Ingeniería Universidad Zulia*, 17(2).
- Gallegos, A. et al. (2014). Biofertilizantes microbianos. *Journal of Chemical Information and Modeling*, (August), 363.
- Galvis, J. & Manjarres, E. (2018). Deshidratación de los lodos en lecho de secado y su influencia sobre la actividad biológica de los microorganismos, 21(2), 242–251.
- Garcia, N. et al. (2008). Evaluación del contenido de metales pesados en lodos residuales aerobios. *Multiciencias*, 8, 281–193.
- Geng, H. et al. (2020). An overview of removing heavy metals from sewage sludge: Achievements and perspectives. *Environmental Pollution*, 266, 115375. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115375>.
- Gerba, C. (2015). Indicator microorganisms. *environmental microbiology: third edition*. elsevier inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-394626-3.00023-5>.
- Gerba, C. & Pepper, I. (2015). Municipal wastewater treatment. *environmental microbiology: third edition (3rd ed.)*. elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394626-3.00025-9>.
- Gherghel, A. et al. (2019). A review on wastewater sludge valorisation and its challenges in the context of circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 228, 244–263. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.240>.
- Gholipour, S. et al. (2022). Occurrence of viruses in sewage sludge: A systematic review. *Science of the Total Environment*, 824, 153886. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153886>.

- Grobelak, A. et al. (2019). General considerations on sludge disposal, industrial and municipal sludge. *Industrial and Municipal Sludge: Emerging Concerns and Scope for Resource Recovery*, 135–153. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815907-1.00007-6>.
- Gupta, R. & Garg, V. (2008). Stabilization of primary sewage sludge during vermicomposting. *Journal of Hazardous Materials*, 153(3), 1023–1030. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.055>.
- Huayllani, K. (2016). Influencia de microorganismos eficaces (Em-compost) en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento, Concepción, 2016.
- Ileleji, K. et al. (2020). Basics of energy production through anaerobic digestion of livestock manure. *Bioenergy: Biomass to Biofuels and Waste to Energy (Second Edi)*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815497-7.00016-6>.
- Isaza-arias, G. (2009). Comparación de dos técnicas de aireación en la degradación de la materia orgánica. *comparación de dos técnicas de aireación en la degradación de la materia orgánica*, 25(3), 233–243. <https://doi.org/10.19136/era.a25n3.196>.
- Jadhav, A. et al. (2021). Materials today : proceedings energy recovery from waste water treatment plant sludge. *materials today: Proceedings*, 42, 1224–1229. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.871>.
- Kirk, D. & Gould, M. (2020). Bioenergy and anaerobic digestion. *Bioenergy: Biomass to Biofuels and Waste to Energy (Second Edi)*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815497-7.00017-8>.
- Kocbek, E. et al (2022). Effects of the sludge physical-chemical properties on its microwave drying performance. *Science of the Total Environment*, 828. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154142>.
- Kulkarni, B. et al. (2018). Study on sewage quality from sewage treatment plant at vashi, navi mumbai. *materials today: proceedings*, 5(1), 1859–1863. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.286>.
- Kwarciak, A. (2019). Co-composting of sewage sludge and wetland plant material from a constructed wetland treating domestic wastewater. *Industrial and Municipal Sludge: Emerging Concerns and Scope for Resource Recovery*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815907-1.00015-5>.

- Laich, F. (2011). El papel de los microorganismos en la elaboración del compostaje. *Jornada Técnica: Fertilidad y Calidad Del Suelo*, 2(38270), 174–183.
- Larreal, J. et al. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de calidad de las aguas. La Habana, Cuba.
- Lindquist, A., & Cross, J. (2017). Helminths. *Infectious Diseases*, 1763–1779.e1. <https://doi.org/10.1016/b978-0-7020-6285-8.00195-7>.
- López, A. et al. (2019). Assessment of the methodologies used in microbiological control of sewage sludge. *Waste Management*, 96, 168–174. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.07.024>.
- López, A. et al. (2008). Determinación de la velocidad específica de consumo de oxígeno en microorganismos incluyendo el tiempo de respuesta del electrodo de oxígeno. *Revista Facultad de Ingeniería*, (43), 33–41.
- Ludeña, J. (2019). Efecto de los microorganismos eficaces en la descomposición de los desechos sólidos orgánicos más estiércol de ganado vacuno en el distrito de José Gálvez., 1–74. Retrieved from [https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/2784/Tesis\\_Final\\_mariela.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/2784/Tesis_Final_mariela.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Mamani (2019). Producción de compost empleando pilas aireadas con lodos residuales provenientes de la ptar, 8(5), 55.
- María, J. (2016). Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores.
- Michalska, J. et al (2022). Characterization of humic substances recovered from the sewage sludge and validity of their removal from this waste. *EFB Bioeconomy Journal*, 2(March), 100026. <https://doi.org/10.1016/j.bioeco.2022.100026>.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2018). Protocolo de monitoreo de biosólidos, Perú.
- Moeller, G. (2015). Reducción de patógenos en lodos primarios digeridos anaeróbicamente, (January).

- Monica, S. et al. (2001). Evaluación de los Microorganismos eficaces (E. M) en producción de abono orgánico a partir del estiércol de aves de jaula. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 14(2), 164–172.
- Morocho, T. & Leiva M. (2019). Microorganismos eicientes , propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas Efficient microorganisms , functional properties and agricultural applications, 46(2), 93–103.
- MTE (2018). Lodos de depuración de aguas residuales. Gobierno de España, 0. Retrieved from <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/lodos-depuradora/>.
- Muñoz J. (2017). Remoción de bacterias coliformes en un sistema de lodos activados y humedal construido. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(11), 287. <https://doi.org/10.19136/era.a4n11.913>.
- MVCS (2017). Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. *Diario El Peruano*, 32–40. Retrieved from <http://www.usil.edu.pe/sites/default/files/revista-saber-y-hacer-v2n2.2-1-19set16-aguas-residuales.pdf>.
- Núñez, T. (2003). Aislamiento y caracterización pigmentaria de las bacterias rojas del azufre de la laguna de Tampamachoco , Veracruz Isolation and pigment characterization of purple sulphur bacteria from Tampamachoco lagoon , Veracruz, 13(3), 171–176.
- Ou, H. & Zeng, E. (2018). Occurrence and fate of microplastics in wastewater treatment plants. *Microplastic Contamination in Aquatic Environments: An Emerging Matter of Environmental Urgency*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813747-5.00010-2>.
- Pane, C. et al. (2014). systems under organic cropping management on commercial use on commercial, 9, 153–156. <https://doi.org/10.4081/ija.2014.596>.
- Parra, M. & Máttar, S. (2015). Producidas por salmonella. *mvz*, 7(2), 187–200.
- Pedraza A., & Hernández, A. (2019). Disminución del tiempo de obtención de abono orgánico mediante vermicompostaje como método de estabilización de un residuo en proceso de compostaje. *Avances Investigación En Ingeniería*, 16(2), 52–63. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.5439>.

- Percival, L. & Williams, W. (2013). *Salmonella. microbiology of waterborne diseases: microbiological aspects and risks: second edition (second edi).* elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-415846-7.00010-x>.
- Peter, C. et al. (2019). Suitability of biosolids from university sewage ponds as a substrate for crop production. *African Journal of Agricultural Research*, 14(35), 2062–2074. <https://doi.org/10.5897/ajar2019.14231>.
- Pillco, K. (2020). Evaluación Del Proceso De Compostaje De Residuos Orgánicos, Aplicando Microorganismos Eficaces. Repositorio Institucional UNAP, 1–95. Retrieved from [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/12303/Yana\\_Aydee\\_Quispe\\_Patricia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/12303/Yana_Aydee_Quispe_Patricia.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Pino, A. (2021). Efecto de la estabilización y compostaje de lodos residuales con microorganismos eficaces en el índice de calidad de planta de tecoma stans en el distrito de viques – Huancayo.
- Ricardo, E. et al. (2017). Avances en investigación sobre el compostaje de biorresiduos en municipios menores de países en desarrollo . Lecciones desde Colombia Countries . Lessons from Colombia.
- Richard, L. (2005). *Compost Production*, 294–301.
- Roberto Canziani, L. S., & Milano, P. (2019). *treatment plants. Industrial and Municipal Sludge*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815907-1.00001-5>.
- Rodriguez, N. (2017). Universidad Nacional Agraria La Molina Universidad Nacional Agraria La Molina". Universidad Nacional Agraria La Molina, 1–76. Retrieved from [https://repositorio.concytec.gob.pe/bitstream/20.500.12390/187/3/2017\\_Puicon\\_Evaluacion-resistencia-natural.pdf](https://repositorio.concytec.gob.pe/bitstream/20.500.12390/187/3/2017_Puicon_Evaluacion-resistencia-natural.pdf).
- Rodríguez, J. et al. (2020). Physical, chemical, and biological treatment of chemical waste from teaching laboratories at Universidad Nacional, Costa Rica. *Uniciencia*, 34(2), 82–94. <https://doi.org/10.15359/ru.34-2.5>.
- Rorat, A. & Vandenbulcke, F. (2019). Sanitary and environmental aspects of sewage sludge management 8, (1). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815907-1.00008-8>.

- Rorat, A. et al. (2019). Sanitary and environmental aspects of sewage sludge management. *Industrial and Municipal Sludge: Emerging Concerns and Scope for Resource Recovery*, (1), 155–180. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815907-1.00008-8>.
- Rudnik, E. (2019). Composting methods and legislation. *Compostable Polymer Materials*, 127–161. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-099438-3.00005-7>.
- S. Kuo M. (n.d.). Composting and compost utilization for agronomic and container crops s. kuo 1 , m. e. ortiz-escobar 2 , n. v. hue 2 , and r. l. hummel 3 (pp. 1–60).
- Salcedo, E. (2007). Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en jalisco, méxico, 32, 115–120.
- Sánchez, C. et al. (2020). Alternativas en la estabilización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales, 23–27.
- Sánchez, C. et al. (2017). Heavy Metal Content in Sewage Sludge: A Management Strategy for an Ocean Island. *Revista de Salud Ambiental*, 17(1), 3–9.
- Silva, G. (2013). Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto 1.
- Sivamani, S. et al. (2020). A comprehensive review of experimental studies on aerobic digestion of wastewater sludge. Removal of Toxic Pollutants Through Microbiological and Tertiary Treatment. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821014-7.00007-1>.
- SUNASS. (2015). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento. Depósito Legal En La Biblioteca Nacional Del Perú N° 2015-16066, I, 150.
- Tang, H., et al. (2017). Materials Chemistry of Nanoultrasonic Biomedicine. In *Advanced Materials* (Vol. 29). <https://doi.org/10.1002/adma.201604105>.
- Thien, T. et al. (2022). Compost para mejorar el cultivo sostenible del suelo y la productividad de los cultivos, 6.
- Vargas, P. (1998). Cinética de biodegradación de un nonilfenol polietoxilado en agua de río, 5(septiembre), 27–32.

- Verdugo, G. et al. (2010). Manuales fia de apoyo a la formación de recursos humanos para la innovación agraria.
- Wang, F. et al (2019). Effects of earthworms and effective microorganisms on the composting of sewage sludge with cassava dregs in the tropics. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 69(6), 710–716.  
<https://doi.org/10.1080/10962247.2018.1552215>.
- Wang, Q. et al. (2019). Sustainable composting and its environmental implications. *Sustainable Resource Recovery and Zero Waste Approaches*. Elsevier B.V.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64200-4.00009-8>.
- Wimmer, L. (2018). Prevalencia de huevos de helmintos en biosolidos efluentes de un proceso de tratamiento por lagunas aireadas sometidas a un proceso de compostaje en pilas, 13–95.
- Yang, P. et al. (2017). Effects of Exogenous Microorganism Inoculation on Efficiency and Bacterial Community Structure of Sludge Composting. *Huanjing Kexue/Environmental Science*, 38(8), 3536–3543.  
<https://doi.org/10.13227/j.hjkx.201702176>.
- Zhao, L. et al. (2010). Earthworm – microorganism interactions : A strategy to stabilize domestic wastewater sludge. *Water Research*, 44(8), 2572–2582.  
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.01.011>.
- Zúñiga, M. (2016). Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de metales pesados (Pb), 82.

## ANEXOS

### ANEXO 1

Protocolo de monitoreo de biosólidos aprobado con Resolución Ministerial N°093-2018-Vivienda



## Resolución Ministerial

N° 093-2018-VIVIENDA

13 MAR. 2018

### CONSIDERANDO:

Que, la Sexta Disposición Complementaria Final del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos establece que el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento emite, mediante Decreto Supremo, el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos de los Sistemas de Tratamiento generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas para consumo humano, Plantas de Tratamiento de Agua Residuales y otros sistemas vinculados a la prestación de los servicios de saneamiento, el cual debe contar con el refrendo del Ministerio del Ambiente

Que, mediante Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA, se aprueba el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, el cual tiene por objeto establecer las disposiciones para determinar las características de los Lodos, así como la clasificación, los parámetros para la producción y el control de la aplicación de los biosólidos provenientes de la estabilización de Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas o municipales;

Que, la Quinta Disposición Complementaria Final del referido Reglamento dispone que el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en el término de ciento ochenta (180) días calendario aprueba, mediante Resolución Ministerial, el Protocolo de Monitoreo de Biosólidos;

Que, el Protocolo de Monitoreo de Biosólidos es la herramienta que permite establecer los procedimientos y metodologías que deben cumplirse para la determinación de la calidad de los Lodos provenientes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales u otros sistemas de saneamiento para la disposición final o reaprovechamiento, en el marco de lo establecido en las Condiciones Mínimas de Manejo de Lodos y las Instalaciones para su Disposición Final, aprobadas mediante Resolución Ministerial N° 128-2017-VIVIENDA;

De conformidad con lo dispuesto en la Ley N° 30156, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, su Reglamento de Organización y Funciones, aprobado por Decreto Supremo N° 010-2014-VIVIENDA, modificado por el Decreto Supremo N° 006-2015-VIVIENDA y en el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, aprobado mediante Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA;



**SE RESUELVE:**

**Artículo 1. Aprobación del Protocolo de Monitoreo de Biosólidos**

Apruébese el Protocolo de Monitoreo de Biosólidos que como anexo forma parte integrante de la presente Resolución Ministerial.

**Artículo 2. Publicación**

La presente Resolución Ministerial y el Protocolo de Monitoreo de Biosólidos que se aprueba en el artículo precedente, son publicados en el Portal Institucional del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento ([www.vivienda.gob.pe](http://www.vivienda.gob.pe)) el mismo día de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

Regístrese, comuníquese y publíquese



  
CARLOS BRUCE  
Ministro de Vivienda,  
Construcción y Saneamiento

## PROTOCOLO DE MONITOREO DE BIOSÓLIDOS

### CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	3
2	JUSTIFICACIÓN.....	4
3	OBJETIVO .....	4
3.1	Objetivo general.....	4
3.2	Objetivo específico .....	4
4	MARCO LEGAL .....	4
5	ALCANCE Y APLICACIÓN DEL PROTOCOLO.....	5
6	METODOLOGÍA.....	5
6.1	Toma y manejo de muestra .....	5
6.1.1	Plan de monitoreo – Control de calidad en el monitoreo .....	5
6.1.2	Toma de muestra.....	6
6.1.3	Preservación - Conservación y transporte de muestra.....	17
6.1.4	Frecuencia de monitoreo.....	19
6.1.5	Documentación .....	19
6.1.6	Normas y buenas prácticas nacionales e internacionales .....	21
6.2	Análisis de muestras en laboratorios.....	21
6.2.1	Parámetros relevantes.....	21
6.2.2	Número de análisis.....	22
6.2.3	Términos de referencia para el análisis en los primeros 3 años.....	22
6.2.4	Términos referencia para el análisis luego de los 3 años .....	27
6.2.5	Manejo de los resultados de monitoreo .....	27
7	BIBLIOGRAFÍA.....	28
8	ANEXOS .....	29
8.1	Etiqueta del envase de muestra.....	29
8.2	Protocolo de transporte – Cadena de custodia.....	30
8.3	Equipos de muestreo de lodos o biosólidos.....	31



### Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Ejemplo de una tabla de números aleatorios (Brobst, 2017).....	13
Ilustración 2: Las líneas 3 hasta 5 de la tabla de número aleatorios según Ilustración 1 con determinación de los 27 números de dos (2) dígitos que representan los números de las cuadras de donde se tomará la muestra de puntual del cuerpo del sustrato. ....	13
Ilustración 3: Esquema de la laguna con malla de 100 cuadrados uniformes sobre toda la superficie de lodo o biosólido acumulado (cuadro con línea ancha). .....	14

## 1 INTRODUCCIÓN

El Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos<sup>1</sup> establece entre las finalidades de la gestión integral, la valorización de los residuos, a través de la reutilización, reciclaje, compostaje u otras alternativas de aprovechamiento o disposición final.

Por otro lado, el precitado Decreto Legislativo establece en su Sexta Disposición Complementaria Final que el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento regula el reaprovechamiento de lodos generados en las plantas de tratamiento de agua para consumo humano, las plantas de tratamiento de aguas residuales y otros sistemas vinculados a la prestación de los servicios de saneamiento, de acuerdo con el tipo de actividad a desarrollar.

En ese marco, se emitió el Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA que aprueba el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, el cual establece las características de los lodos; así como la clasificación, los parámetros para la producción y el control de la aplicación de biosólidos provenientes de la estabilización de lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) domésticas o municipales.

El Protocolo de Monitoreo de Biosólidos es la herramienta que permite establecer los procedimientos y metodologías que deben cumplirse para determinar si un lodo proveniente de una PTAR puede ser calificado como biosólido, cumpliendo exigencias definidas respecto:

- Al grado mínimo de estabilización,
- A concentraciones máximas de metales pesados y
- A concentraciones máximas de parámetros microbiológicos, según el caso.

Además, permite determinar las restricciones en la tasa de aplicación de biosólidos en suelos para evitar dotaciones en exceso de nitrógeno y metales pesados.

La aplicación del protocolo, ante la ausencia de capacidades y oferta actual de laboratorios acreditados a nivel Nacional permite el desarrollo de actividades de monitoreo y control del cumplimiento de las disposiciones contenidas en el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos Generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, contribuyendo a la protección del ambiente y la salud de las personas.



<sup>1</sup> Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos se emitió en el marco de la Ley N° 30508, Ley que delega en el Poder Ejecutivo la facultad de legislar en materia de reactivación económica y formalización, seguridad ciudadana, lucha contra la corrupción, agua y saneamiento y reorganización de Petroperú S.A., mediante la cual el Congreso de la República delega en el Poder Ejecutivo la facultad para legislar, por el término de noventa (90) días calendario, entre otras, en materia de reactivación económica y formalización, así como en agua y saneamiento.

## 2 JUSTIFICACIÓN

El Protocolo de Monitoreo de Biosólidos es la herramienta que brinda la orientación técnica necesaria para sustentar la producción de biosólidos y su reaprovechamiento adecuado, de conformidad con lo establecido en el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Asimismo, permitirá el desarrollo de acciones de monitoreo a cargo de productores y comercializadores, siendo una herramienta indispensable para las acciones de supervisión y fiscalización ambiental, ante la ausencia de laboratorios con acreditación de métodos necesarios para la caracterización de biosólidos.

Esta herramienta podrá utilizarse supletoriamente para la determinación de la calidad de los lodos generados en las PTAR u otros sistemas de saneamiento para la disposición final o reaprovechamiento en el marco de la Resolución Ministerial N° 128-2017-VIVIENDA.

## 3 OBJETIVO

### 3.1 Objetivo general

Estandarizar la metodología y unidades para el desarrollo del monitoreo, análisis de muestras y evaluación de biosólidos.

### 3.2 Objetivo específico

El protocolo de monitoreo tiene los siguientes objetivos específicos:

- a) Determinar el procedimiento y criterio técnico para la toma y manejo de muestras de lodos o sustratos de lodo producido en una PTAR; y,
- b) Definir criterios de análisis de estas muestras para evaluar si el lodo o sustrato de lodo producido en una PTAR cumple los criterios para ser calificado como biosólido.

## 4 MARCO LEGAL

El Protocolo de Monitoreo de Biosólidos es la herramienta que sirve como base para el desarrollo de las acciones de monitoreo, supervisión y fiscalización en el marco de lo establecido en el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. En este sentido estas acciones están vinculadas a la aplicación e implementación de las siguientes normas:

- Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.
- Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.
- Ley N° 29325, Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental.
- Ley N° 30224, Ley que crea el Sistema Nacional para la Calidad y el Instituto Nacional de Calidad.
- Decreto Legislativo N° 1280, Decreto Legislativo que aprueba la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento.
- Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.



- Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, que aprueba el Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.
- Decreto Supremo N° 019-2017-VIVIENDA, que aprueba el Reglamento del Decreto Legislativo N° 1280, Decreto Legislativo que aprueba la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento.
- Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA, que aprueba el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Decreto Supremo N° 004-2015-PRÓDUCE, que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Instituto Nacional de Calidad.
- Resolución Ministerial N° 128-2017-VIVIENDA, que aprueba las Condiciones Mínimas de Manejo de Lodos y las Instalaciones para su Disposición Final.

## 5 ALCANCE Y APLICACIÓN DEL PROTOCOLO

El Protocolo de Monitoreo de Biosólidos es aplicable de forma obligatoria para determinar si se ha producido un biosólido a partir de lodos o sustratos de lodos provenientes de una PTAR, así como para las acciones de monitoreo, supervisión y fiscalización en el proceso de producción y comercialización de biosólidos.

Por otro lado, el Protocolo de Monitoreo de Biosólidos se centra en la definición de condiciones para el análisis de los parámetros con límites definidos en el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales y otros sistemas de saneamiento que los generen.

No obstante, según el Reglamento precitado, la Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (en adelante, **MVCS**) puede exigir el monitoreo de parámetros adicionales. En este caso, es responsabilidad del productor o comercializador revisar si las condiciones definidas en el presente protocolo son aplicables para el monitoreo de parámetros adicionales.

El Protocolo de Monitoreo de Biosólidos debe ser aplicado para efectos de control operacional de los productores o comercializadores de biosólidos, sin perjuicio de la acreditación de laboratorios ante el Instituto Nacional de Calidad (en adelante, **INACAL**).

Asimismo, el presente Protocolo podrá ser aplicado para las actividades de monitoreo y supervisión en el marco de la Resolución Ministerial N° 128-2017-VIVIENDA "Aprueban Condiciones Mínimas de Manejo de Lodos y las Instalaciones para su Disposición Final".

## 6 METODOLOGÍA

### 6.1 Toma y manejo de muestra

#### 6.1.1 Plan de monitoreo – Control de calidad en el monitoreo

El plan de monitoreo del lodo o biosólido es un documento adicional al manual de operación y mantenimiento de una PTAR (productora del lodo o biosólido) y es la base principal para el control de la calidad en el monitoreo. El plan debe asegurar condiciones similares cada vez que se realiza el monitoreo, a fin de asegurar la comparabilidad de los resultados, considerando los siguientes puntos:

- Metodología para la toma de muestra (se deben considerar las condiciones operacionales representativas de la PTAR productora del lodo o biosólido,



punto de toma muestra – de ser posible georeferenciación, volúmenes de muestras, reactivos de preservación, equipamiento usado, descripción del procedimiento, seguridad del trabajo).

- Contratación de laboratorios externos (lista de laboratorios, verificación de acreditación por parámetro requerido, definición de análisis requeridos, organización de la cadena de custodia, asegurar la adecuada cantidad y calidad de envases para el transporte).
- Documentación (etiquetas estandarizadas, formato y/o registro en el libro de ocurrencias, cadena de custodia).
- Procesamiento de la data (ruta para la evaluación interna, reportes de resultados a terceros).

### 6.1.2 Toma de muestra

La correcta toma de muestra es crucial para la representatividad de los resultados del análisis del lodo o biosólido y, por lo tanto, para concluir que se cumple con los criterios o parámetros establecidos para los biosólidos, lo que permite su aprovechamiento con riesgos controlados.

La representatividad de los resultados de una toma de muestra se aumenta analizando varias muestras puntuales en una ocasión o muestras compuestas preparadas de varias muestras puntuales. Sin embargo, el mejor conocimiento y fiabilidad sobre la calidad de lodos o biosólidos a largo plazo se logra realizando los monitoreos con las frecuencias definidas en el presente protocolo.

Los lodos o los biosólidos se monitorean, principalmente, en las condiciones en las cuales son entregados al usuario o comercializador, en el momento de la extracción de la PTAR. En caso los lodos o los biosólidos proceden de diferentes procesos de una PTAR como, por ejemplo, de los lechos de secados de los Tanques Imhoff (tratamiento primario) o de las lagunas de estabilización (tratamiento secundario) de la misma PTAR, donde no se puede asegurar una buena homogenización de los diferentes sustratos, se debe realizar lo siguiente:

1. Analizar el lodo o el biosólido de cada procedencia por separado.
2. Producir muestras compuestas con fracciones relacionadas a la producción de cada lodo o biosólido dentro la producción total de estos.

#### 6.1.2.1 Tipos de muestras

##### 6.1.2.1.1 Muestra puntual

La muestra puntual es la muestra de cierto tamaño que ha sido tomada en un punto y momento determinado. La muestra puntual representa únicamente la calidad del lodo o biosólido en el momento del muestreo y respecto a un punto determinado.

La extrapolación de los resultados a partir de una sola muestra puntual a todo el lodo o biosólido producido no es válida. Para asegurar la representatividad sobre la calidad del lodo o biosólido se deben tomar varias muestras puntuales y analizar cada muestra de manera separada o preparar y analizar muestras compuestas a partir de varias muestras puntuales.

##### 6.1.2.1.2 Muestra compuesta

La muestra compuesta es una muestra que resulta de la mezcla y homogenización de varias muestras puntuales. En caso del monitoreo de un lodo o biosólido acumulado por varias semanas o incluso por años, antes de la entrega al usuario (por ejemplo, en



contenedores, reservorios, lechos de secado, fondo de lagunas de estabilización, almiarés, etc.), la muestra compuesta se constituye de muestras puntuales tomadas al azar respecto a la ubicación en el cuerpo total del lodo acumulado, siguiendo las especificaciones en adelante.

Considerando que se trata de la toma de muestra de lodos o biosólidos acumulados por varias semanas, el tiempo entre dos (2) tomas de muestras puntuales no es un factor relevante para la calidad de la muestra compuesta. Se pueden tomar las muestras en el mismo momento o una tras otra, según el avance del trabajo de la toma de muestra.

En caso del monitoreo de un lodo o biosólido de un proceso productivo continuo (deshidratación mecánica, purga de lodo o biosólido líquido a un camión con tanque) la muestra compuesta se compone de muestras puntuales tomadas en el mismo punto. El intervalo entre la toma de cada muestra puntual debe ser por lo menos de treinta (30) minutos. Sin embargo, una mayor representatividad se asegura con la toma de un mínimo de cinco (5) muestras puntuales en un periodo de dos (2) semanas.

Generalmente, se produce la muestra compuesta de muestras puntuales de la misma masa o volumen. Es importante asegurar una buena homogenización de las muestras puntuales que forman la muestra compuesta, porque finalmente en el laboratorio se utiliza solo una menor parte de la muestra, lo que aumenta el riesgo de analizar solo la parte de una muestra puntual.

De toda la muestra compuesta se obtiene el volumen de muestra necesario para el análisis principal y en caso de su necesidad el volumen para la muestra dirimente.

El procedimiento práctico de la preparación y subdivisión de la muestra compuesta depende de la condición física de la muestra (véase los ítems 6.1.2.1.2.1 hasta 6.1.2.1.2.3).

#### **6.1.2.1.2.1 La preparación de muestras compuestas de lodos o biosólidos líquidos**

Las muestras compuestas de sustratos líquidos se producen asegurando una homogenización completa entre muestras puntuales dentro de un envase / botella de cuello ancho de plástico o acero inoxidable con un volumen que permite una agitación intensiva con barras batidoras de vidrio, teflón o cucharas de acero inoxidable.

Es importante que se evite la separación de las fases de la muestra por sedimentación, especialmente en el momento de transvasado de una submuestra, por ejemplo, para el envío al laboratorio. Una alternativa es la toma de la submuestra del volumen bien agitado mediante una pipeta con boca suficientemente abierta para tomar todas fracciones de sólidos de la muestra.

#### **6.1.2.1.2.2 La preparación de muestras compuestas de lodos o biosólidos pastosos**

Dependiendo de la consistencia se puede homogenizar lodos o biosólidos pastosos con batidoras mecánicas manuales. Otra opción aceptable es la homogenización con la mano (con guantes adecuados) de varias submuestras antes de juntar y homogenizar todo el sustrato.

La reducción de la muestra compuesta al volumen necesario para el análisis se realiza por cuarteo. Se forma de toda la muestra homogenizada una torta regular encima de una superficie lisa y limpia, partiéndola en 4 pedazos uniformes; 2 partes



diametralmente opuestas se homogeniza nuevamente y cuartea de la manera descrita antes, hasta cuando el volumen de la muestra se haya reducido al volumen necesario para el análisis principal y de ser el caso para la muestra dirimente.

La subdivisión y toma de la muestra se debe realizar rápidamente para evitar que se descomponga la mezcla.

#### 6.1.2.1.2.3 La preparación de muestras compuestas de lodos o biosólidos secos

Los sustratos o lodos o biosólidos secos tienen la tendencia a formar conglomerantes de diferentes tamaños y de alta dureza. Por lo tanto, para una buena homogenización puede ser necesario reducir sus tamaños mediante el uso de molinos, batidoras o almireces.

Las submuestras, preparadas de tal manera, se juntan y homogenizan posteriormente en un envase cerrado, agitándolas o rotándolas.

En caso de grandes cantidades de muestras de sustrato granular se asegura la homogenización, ordenando las muestras puntuales en forma de un anillo encima de una superficie plana, lisa y limpia. Posteriormente, con una pala se lleva una parte del anillo hacia su centro avanzando por todo el perímetro del anillo donde se acumula un cono de las muestras mezcladas. Luego, se aplasta el cono para obtener un disco el cual se divide en cuatro (4) partes, se apila nuevamente en un cono, el cual se aplasta y divide nuevamente para su apilamiento. Este procedimiento se repite por lo menos 3 (tres) veces.

La reducción de la muestra compuesta al volumen necesario para el análisis se realiza por cuarteo como descrito en el ítem 6.1.2.1.2.2.

#### 6.1.2.1.3 Tipo de muestras para el análisis de los diferentes parámetros

En caso del análisis de los parámetros químicos se analiza en el laboratorio muestras compuestas preparadas de un mínimo de cinco (5) muestras puntuales, salvo la definición de cantidades diferentes en el presente protocolo.

En caso del análisis de los parámetros microbiológicos se analizan muestras puntuales, sin mezcla con otras muestras.

#### 6.1.2.2 Punto de la toma de muestra

Un buen punto de toma de muestra es representativo del material a evaluar, debe ser fácil de alcanzar sin peligros para la persona que toma la muestra. En el caso ideal debe asegurar la toma de muestra del lodo o biosólido en un proceso de movimiento, por ejemplo descargas de máquinas procesadoras del lodo, fajas transportadoras, tubos y canal de transporte de lodo. Sin embargo, esto depende mucho del proceso de generación del lodo y su condición física.

#### 6.1.2.2.1 Lodos o biosólidos líquidos

##### Toma de muestra de tubos

Las muestras puntuales deben obtenerse directamente de tuberías transportadoras del lodo o biosólido. El punto de la toma de muestra debe ser siempre el mismo. Los puntos que aseguran una buena homogenización de las muestras son tubos de presión directamente después de la bomba de lodos, y tubos de mayor velocidad de flujo ( $> 0,6$  m/s). La instalación de la toma de muestra (tubos, válvulas) debe ser lavado con el mismo flujo de lodo o biosólido ante de la toma de muestra. El tiempo de lavado debe asegurar un volumen de lavado correspondiente a mayor que 3 veces del



de la faja. Esto se logra por ejemplo pasando una pala de forma transversal de un lado al otro lado de la faja operativa, desviando la cantidad necesaria del lodo o biosólido al recipiente de la muestra. En caso que la cinta no opere se toma el volumen necesario de la muestra directamente de la cinta.

#### Toma de muestra de contenedores

En caso de la toma de muestra de un contenedor estándar para el transporte vial, se debe conseguir al menos cuatro (4) muestras de diferentes puntos del contenedor. Cada muestra debe contener todo el perfil del lodo o biosólido acumulado o submuestra de diferentes profundidades a lo largo del perfil. Es importante no tomar solo muestras superficiales, porque la superficie generalmente está expuesta a impactos climáticos, lo que puede afectar la concentración de sólidos, sólidos volátiles y nutrientes. Por lo tanto, preferentemente se toma muestras intermitentes durante el proceso de descarga del lodo o biosólido.

#### Toma de muestra de lechos de secado

En caso de toma de muestras de lechos de secado se divide la superficie de un lecho en cuatro (4) cuadros. Del centro de cada cuadro se saca una muestra puntual (en total cuatro (4) muestras) de todo el perfil del lodo o biosólido acumulado, permitiendo la preparación de una muestra compuesta por lecho a partir de las cuatro (4) muestras puntuales. Es importante evitar que la muestra de lodo sea contaminada con arena de la capa filtrante del lecho de secado.

En caso de la operación de varios lechos de secado en paralelo se repite este procedimiento en cada lecho.

Si los lechos de secado reciben el lodo o biosólido de diferentes procesos, por ejemplo, de diferentes Tanques Imhoff de una PTAR, es responsabilidad del productor decidir:

1. Si las unidades que alimentan los lechos de secado tienen un funcionamiento y eficiencia similar (por lo cual se pudiera esperar calidades similares en cada lecho de secado) y/o
2. El lodo o biosólido de los lechos de secado será bien homogenizado antes de su entrega.

En caso que se puedan homogenizar las muestras tomadas en cada lecho, se debe preparar mínimo una (1) muestra compuesta de las muestras compuestas por lecho de secado para el análisis en el laboratorio. De no ser posible, se deben analizar las muestras compuestas por lecho de secado separado.

#### Toma de muestra de almiarés o apilamientos

En caso de la toma de muestra de almiarés o apilamientos de lodos o biosólidos secos, que requieren ser removidos frecuentemente como en el proceso de compostaje, se obtienen las muestras puntuales de la máquina o del equipo que descarga el lodo o biosólido al envase de entrega o a diferentes profundidades de la parte del almiar desde la cual se está tomando el sustrato para el envasado. Es importante no tomar solo muestras superficiales, porque la superficie generalmente está expuesta a impactos climáticos, que pueden afectar la concentración de sólidos y nutrientes.



- a. El sistema de calentamiento en tubos de grafito (AA-ET) hasta temperaturas de 2500 °C,
- b. El sistema de reducción primero los elementos (metales pesados) presentes a sus hidruros gaseosos, tras reacción química y calentarlos después hasta temperaturas cerca de 1000 °C. En este caso se habla de la (AA-HG o AA Hidruro). Esta tecnología detecta solamente aquellos elementos que reaccionan a hidruros gaseosos.

En caso de la detección de mercurio se trabaja con otros químicos para su reducción y además con menores temperaturas. Por esto se habla en su caso con detección en vapor frío (AA-CV).

Normas y recomendaciones internacionales para la medición de metales pesados se encuentran en la TABLA 4 del presente Protocolo de Monitoreo de Biosólidos.

#### **6.2.3.1.3 Nitrógeno total**

El nitrógeno total se mide quemando la muestra en condiciones especiales, las cuales aseguran que todas las formas químicas de nitrógeno se conviertan en nitrógeno elemental, presente en el gas de incineración. El nitrógeno del gas se separa para la determinación de su concentración.

La concentración de nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal se determina mediante el método de Kjeldahl, donde se separa primero ambas fracciones del nitrógeno de la muestra del lodo o biosólido por digestión en condiciones ácidas y extracción en condiciones básicas. La cantidad del nitrógeno extraído se determina posteriormente.

El nitrato se mide en la solución de la muestra por ejemplo por fotometría.

Normas y recomendaciones internacionales para la medición de nitrógeno total se encuentran en la TABLA 4 del presente Protocolo de Monitoreo de Biosólidos.

#### **6.2.3.2 Parámetros microbiológicos**

##### **6.2.3.2.1 Escherichia Coli**

El primer paso para su análisis consiste en lavar la muestra del sustrato en agua destilada por cierto tiempo y diluir esta solución varias veces. De la dilución se realiza el monitoreo de Escherichia Coli según el procedimiento para la determinación del NMP en aguas vía tubos de incubación con sustrato de incubación de Escherichia Coli.

Normas y recomendaciones internacionales para la medición de Escherichia Coli se muestran en la Tabla 4 del presente Protocolo de Monitoreo de Biosólidos.

##### **6.2.3.2.2 Salmonellas sp.**

El procedimiento es similar al procedimiento para Escherichia Coli, pero se utiliza el medio de incubación correspondiente para Salmonellas sp.

Normas y recomendaciones internacionales para la medición de Salmonellas sp se detallan en la TABLA 4 del presente Protocolo de Monitoreo de Biosólidos.

##### **6.2.3.2.3 Huevos de helmintos**

En un proceso de lavado (con surfactantes), colado y centrifugado (con ciertos químicos) de la muestra en varias etapas, se separa los huevos de helmintos del resto de la sustancia particular de la muestra. En una segunda etapa se incuban los huevos separados para determinar su viabilidad.



Normas y recomendaciones internacionales para la medición de Huevos de Helminthos se detallan en la TABLA 4 del presente Protocolo de Monitoreo de Biosólidos.

TABLA 4: Normas y recomendaciones internacionales para la medición de los parámetros de biosólidos relevantes según el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (Moodley, Archer, Hawksworth, & Leibach, 2008) (New Jersey Department of Environmental Protection, 2012) (State of Ohio Environmental Protection Agency, 2009) (US EPA, Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge, 2003)

Parámetro	Norma y/o método normalizada <sup>1)</sup>
Pérdida por calcinación (sólidos totales)	SM 2540 G-1997 DIN EN 12880:2001-02
Pérdida por calcinación (sólidos totales volátiles)	SM 2540 G-1997 DIN EN 15935:2012-11
Arsénico	SW-846 Method 6010 (ICP) SW-846 Method 6020 (ICP/MS) SW-846 Method 7061 (AA Hidruro) SW-846 Method 7060*, SW-846 Method 7010 (AA ET) DIN 38405-35:2004-09 (AA) DIN EN ISO 15586:2004-02 (AA) ISO 17378-2:2014-02 (AA Hidruro) DIN EN ISO 17294-2: 2005-02 (ICP-MS) DIN EN ISO 11885:2009-09 (ICP-OES)
Cadmio	SW-846 Method 6010 (ICP) SW-846 Method 6020 (ICP/MS) SW-846 Method 7130*, SW-846 Method 7000 (AA Direct Aspiration) SW-846 Method 7131*, SW 846 Method 7010 (AA Graphite Furnace) DIN EN 13346:2001-04 (Extracción con agua regia) DIN ISO 11047:2003-05 (AA ET) DIN EN ISO 11885:2009-09 (ICP-OES) DIN EN ISO 17294-2 (ICP-MS) DIN 38406-16:1990-03 (Voltimetría)
Cromo	SW-846 Method 6010 (ICP) SW-846 Method 6020 (ICP/MS) SW-846 Method 7190*, SW-846 Method 7000 (AA Direct Aspiration) SW-846 Method 7191*, SW 846 Method 7010 (AA Graphite Furnace) DIN EN 13346:2001-04 (Extracción con agua regia) DIN ISO 11047:2003-05 (AA ET) DIN EN ISO 11885:2009-09 (ICP-OES) DIN EN ISO 17294-2 (ICP-MS)
Cobre	SW-846 Method 6010 (ICP) SW-846 Method 6020 (ICP/MS) SW-846 Method 7210*, SW-846 Method 7000 (AA Direct Aspiration) SW-846 Method 7211*, SW 846 Method 7010 (AA Graphite Furnace) DIN EN 13346:2001-04 (Extracción con agua regia) DIN ISO 11047:2003-05 (AA ET) DIN EN ISO 11885:2009-09 (ICP-OES) DIN EN ISO 17294-2 (ICP-MS) DIN 38406-7:1991-09 DIN 38406-16:1990-03 (Voltimetría)



Parámetro	Norma y/o método normalizada <sup>9)</sup>
Plomo	SW-846 Method 6010 (ICP) SW-846 Method 6020 (ICP/MS) SW-846 Method 7420*, SW-846 Method 7000 (AA Direct Aspiration) SW-846 Method 7421*, SW 846 Method 7010 (AA Graphite Furnace) DIN EN 13346:2001-04 (Extracción con agua regia) DIN ISO 11047:2003-05 (AA ET) DIN EN ISO 11885:2009-09 (ICP-OES) DIN EN ISO 17294-2 (ICP-MS) DIN 38406-6:1999-07 DIN 38406-16:1990-03 (Voltametría)
Mercurio	SW-846 Method 7471 (Cold Vapor (manual)) DIN EN ISO 17294-2 DIN EN ISO 12846:2012-08
Níquel	SW-846 Method 6010 (ICP) SW-846 Method 6020 (ICP/MS) SW-846 Method 7520*, SW-846 Method 7000 (AA Direct Aspiration) SW-846 Method 7521*, SW 846 Method 7010 (AA Graphite Furnace) DIN EN 13346:2001-04 (Extracción con agua regia) DIN ISO 11047:2003-05 (AA ET) DIN EN ISO 11885:2009-09 (ICP-OES) DIN EN ISO 17294-2 (ICP-MS) DIN 38406-11:1991-09 DIN 38406-16:1990-03 (Voltametría)
Zinc	SW-846 Method 6010 (ICP) SW-846 Method 6020 (ICP/MS) SW-846 Method 7950*, SW-846 Method 7000 (AA Direct Aspiration) SW-846 Method 7951*, SW 846 Method 7010 (AA Graphite Furnace) DIN EN 13346:2001-04 (Extracción con agua regia) DIN ISO 11047:2003-05 (AA ET) DIN EN ISO 11885:2009-09 (ICP-OES) DIN EN ISO 17294-2 (ICP-MS) DIN 38406-8:2004-10 DIN 38406-16:1990-03 (Voltametría)
Nitrógeno total	ISO 13878:1998-03
Nitrógeno total de Kjeldahl	SM 4500-Norg B or C-1997 EPA Method 351.1 (TKN) EPA Method 351.2 (TKN) SM 4500-Norg D-1997 DIN EN 13342:2001-01
Nitrógeno del nitrato	SW-846 Method 9056
Salmonellas Sp.	DIN 38414-13:1992-03 SM 9260 D EPA Method 1682 Note 11,12 "Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge", Appendix G (Kenner and Clark), EPA/625/R-92/013, July 2003 (Método de análisis) "Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge", Appendix F, EPA/625/R-92/013, July 2003



Parámetro	Norma y/o método normalizada <sup>1)</sup>
Escherichia Coli	(Método de preparación de muestra) SM-9221 C E-2008 EPA Method 1680 Note 15,12 EPA Method 1681 Note 16,12 (Método de análisis) "Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge", Appendix F, EPA/625/R-92/013, July 2003 (Método de preparación de muestra)
Huevos de helmintos viables	Yanko (1987) and "Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge", Appendix I, EPA/625/R-92/013, July 2003 Standard Methods for the Recovery and Enumeration of Moodley et al: Helminth Ova in Wastewater, Sludge, Compost and Urine-Diversion Waste in South Africa (Moodley, Archer, Hawksworth, & Leibach, 2008)

- 1) SM significa Método estandarizado para la examinación de aguas y aguas residuales, American Public Health Association, 1015 15th Street, NW., Washington, DC 20005  
SW-846 significa Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods, EPA Publication SW-846, incluyendo todas modificaciones y actualizaciones.
- 2) ISP, ISP-OES, ISP-MS, AA, AA-ET, AA-Hidruro véase el ítem 6.2.3.1.2.

#### 6.2.4 Términos referencia para el análisis luego de los 3 años

Según el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales se reconoce después de un plazo de tres (3) años de adecuación solo resultados de mediciones en base de la aplicación de métodos de análisis acreditados por INACAL.

#### 6.2.5 Manejo de los resultados de monitoreo

##### 6.2.5.1 Registro y reportes internos

Los resultados de los análisis son almacenados y registrados colocando toda la información en orden cronológico (señalando la fecha de monitoreo) en una hoja de cálculo o una base de datos computarizada. La información es comparada con los límites de calidad para biosólidos establecidos en el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

El registro cronológico de los datos es necesario para determinar tendencias a largo plazo respecto a la calidad del lodo o biosólido, permitiendo obtener conclusiones sobre el funcionamiento de su producción e Ingreso de contaminantes (metales pesados) no controlados en el proceso de producción.

Esta información, conjuntamente con la información del protocolo de monitoreo, la cadena de Custodia y los documentos conteniendo los reportes de los análisis realizados en los laboratorios correspondientes, deberá ser almacenada por un periodo mínimo de cinco años, debiendo estar, el archivo, a disposición del MVCS.

##### 6.2.5.2 Registro y reportes externos

Los resultados del monitoreo son reportados al Registro Nacional de Producción y Reaprovechamiento de Biosólidos, que administra el MVCS y entregados a los adquirientes y/o usuarios finales de biosólidos, según las indicaciones del Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales .



## ANEXO 2

Decreto supremo que aprueba el reglamento para el reaprovechamiento de los lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales N° 015

### CAPÍTULO II

#### REAPROVECHAMIENTO DE LOS BIOSÓLIDOS PROVENIENTES DE LA ESTABILIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

##### SUBCAPÍTULO I

###### Reaprovechamiento de biosólidos

###### Artículo 6.- Facultad de los prestadores de servicios de saneamiento para comercializar biosólidos con fines de reúso

6.1 Los prestadores de servicios de saneamiento se encuentran facultados a comercializar biosólidos provenientes de la estabilización de lodos generados en las PTAR con fines de reúso a favor de terceros, con la correspondiente contraprestación, siempre que exista acuerdo previo entre los actores, de conformidad con lo establecido por el Decreto Legislativo N° 1280, Decreto Legislativo que aprueba la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento.

6.2 El destino de los ingresos obtenidos por los prestadores de servicios de saneamiento, como consecuencia de la comercialización de biosólidos se sujeta a las disposiciones establecidas por la normativa vigente.

###### Artículo 7.- Otros productores vinculados a la comercialización

El productor de biosólidos de Clase A y de Clase B distintos al indicado en el artículo precedente, puede comercializar biosólidos con el adquirente o usuario final, según corresponda, previo cumplimiento de las disposiciones establecidas en el presente Reglamento.

###### Artículo 8.- Comercialización de lodos sin condiciones de estabilización

La comercialización de lodos generados en las PTAR a los productores de biosólidos que no cumpla el parámetro de estabilización indicado en el artículo 12, obliga al generador, por lo menos, al cumplimiento de los parámetros establecidos en la Tabla N° 2 del artículo 13.

##### SUBCAPÍTULO II

###### Características de los lodos

###### Artículo 9.- Características de lodos para su transformación en biosólidos

9.1. Los lodos generados en las PTAR para poder ser transformados en biosólidos deben contar con alta concentración de materia orgánica (SV).

9.2. La transformación de dichos lodos y excretas en biosólidos exige la ausencia de impurezas visibles y no degradables tales como plástico, vidrio y/o metal.



**Artículo 10.- Posibilidad de mezclar los lodos con otros componentes para la producción de biosólidos**

10.1. A efectos de los procesos de estabilización y/o de higienización, el productor de biosólidos está habilitado a mezclar los lodos con sustratos de complemento siempre y cuando se garantice que la calidad final del biosólido que se produzca cumpla con los parámetros establecidos en el presente Reglamento.

10.2. Se encuentra prohibido mezclar o incorporar a los lodos generados en las PTAR para la producción de biosólidos, los siguientes sustratos:

1. Residuos sólidos del servicio de alcantarillado sanitario y de pretratamiento de PTAR tales como residuos de rejillas, arenas y lodos de alcantarillado y de desarenador.
2. Material flotante que contiene residuos no degradables (plástico) de decantadores primarios, caja de distribución, digestores de lodo y de otros tipos de reactores.
3. Lodos terciarios generados en el postratamiento de aguas residuales domésticas y/o municipales y lodos generados en las PTAP en función de aditivos químicos por procesos de precipitación, floculación, sedimentación y filtración.

**SUBCAPÍTULO III**

**Clasificación y parámetros para la producción de biosólidos**

**Artículo 11.- Clasificación de biosólidos**

11.1. El productor puede producir biosólidos que, de acuerdo a sus características, se clasifican en:

1. Biosólido de Clase A: Son aquellos aplicables al suelo sin restricciones sanitarias.
2. Biosólido de Clase B: Son aquellos aplicables al suelo con restricciones sanitarias según localización de los suelos y/o tipo de cultivo.

11.2. Para el reaprovechamiento de los biosólidos de Clase A y/o de Clase B, los productores deben cumplir de forma conjunta con los parámetros de estabilización, toxicidad química e higienización, de acuerdo a las condiciones establecidas en el presente Reglamento para cada tipo de biosólido.

11.3. En caso que los lodos generados en las PTAR no cumplan con los parámetros de estabilización e higienización al momento de su extracción de la PTAR, dichos parámetros deben ser alcanzados como parte del proceso de producción de biosólidos conforme a las tecnologías de estabilización e higienización previstas en los Anexo I y II, respectivamente.

**Artículo 12.- Parámetro de estabilización**

12.1. Los lodos generados en las PTAR para ser estabilizados y calificados como biosólidos de Clase A y de Clase B deben cumplir con el siguiente parámetro:



Tabla N° 1 Estabilización de lodos.
Concentración de materia orgánica: Materia orgánica (SV) ≤ 60% de Materia seca (ST)

12.2. Para llevar a cabo el proceso de estabilización del lodo deben aplicarse las tecnologías previstas en el Anexo I.

12.3. En caso de no aplicar las tecnologías indicadas en el Anexo I o no obtener el valor de estabilización indicado en la Tabla N° 1, el lodo resultante del proceso empleado no puede ser calificado como biosólido de Clase A ni de Clase B. Dicho lodo debe ser reaprovechado o dispuesto conforme a lo establecido por la norma sectorial que regula las condiciones mínimas de manejo de lodos y las instalaciones para su disposición final.

### Artículo 13.- Parámetro de toxicidad química

13.1. Los biosólidos de Clase A y de Clase B deben cumplir con los siguientes parámetros de toxicidad química:

Tabla N° 2 Parámetros de toxicidad química en biosólidos de Clase A y de Clase B								
Mg/kg ST Materia Seca	Arsénico	Cadmio	Cromo	Cobre	Plomo	Mercurio	Niquel	Zinc
Clase A y Clase B	40	40	1200	1500	400	17	400	2400

13.2 En caso la concentración exceda uno de los valores indicados en la Tabla N° 2, el lodo no puede ser calificado como biosólido de Clase A ni de Clase B.

### Artículo 14.- Parámetros de higienización

14.1. Los biosólidos de Clase A y de Clase B deben cumplir con los parámetros de higienización siguientes:

Tabla N° 3 Parámetros de higienización de biosólidos		
Indicador	Clase A	Clase B
Indicadores de contaminación fecal	Escherichia coli < 1000 NMP/ 1g ST o Salmonella sp. < 1 NMP / 10g ST	El nivel de higienización se puede demostrar con el cumplimiento de los procesos previstos en el Anexo I, en su defecto, mediante alguna de las tecnologías indicadas para la higienización, en la Sección B del Anexo N° II.
Indicador de Huevos de Helminfos	Huevos viables de Helminfos < 1 / 4g ST o Prueba de utilización de tecnologías indicadas para la higienización	

*dy*



14.2. El productor de biosólidos de Clase A está obligado a cumplir como mínimo con uno de los Indicadores de Contaminación Fecal (*Escherichia coli* o *Salmonella sp*) de acuerdo con la Tabla N° 3 y con las condiciones determinadas en la Sección A del Anexo II. La inviabilidad de huevos de helmintos puede ser probada, alternativamente a lo establecido en la Tabla N° 3, con la utilización de alguna de las tecnologías para la higienización de biosólidos establecidas en la Sección A del Anexo II.

14.3. El productor de biosólidos de Clase B está obligado a realizar la higienización de acuerdo con los procesos previstos en el Anexo I. En defecto de ello, mediante alguna de las tecnologías indicadas en la Sección B del Anexo II.

14.4. El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y el Ministerio de Agricultura y Riego, de considerarlo necesario, pueden solicitar el monitoreo de otros parámetros de higienización. Como alternativa para el Indicador de Contaminación Fecal *Escherichia Coli* se puede autorizar la utilización del parámetro de Bacterias Termotolerantes < 1000 NMP/ 1g ST, en caso de ser necesario.

14.5. En caso de no cumplir con una de las exigencias indicadas en la Tabla N° 3, el biosólido de Clase A o de Clase B, según corresponda, no puede ser reaprovechado para las actividades establecidas por el presente Reglamento.

#### **Artículo 15.- Control de la concentración de nitrógeno total y otros nutrientes**

15.1. A efectos de la comercialización de biosólidos, el productor debe informar a la Dirección General de Asuntos Ambientales – DGAA del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en cada oportunidad que realice dicha actividad, la concentración del parámetro nitrógeno total en los biosólidos. De no cumplirse con ello, el subproducto no puede ser reaprovechado como biosólido de Clase A ni de Clase B.

15.2. El Ministerio de Agricultura y Riego y/o el usuario final, según corresponda, puede exigir el monitoreo de las concentraciones de otros nutrientes presentes en los biosólidos de Clase A y de Clase B en función del suelo y cultivo sobre el cual sea reaprovechado. Dicho requerimiento se relaciona únicamente con el destino del biosólido y no influye en su clasificación.

#### **Artículo 16.- Monitoreo inicial de los parámetros**

16.1. A efectos de la inscripción en el Registro Nacional para la Producción y Reaprovechamiento de Biosólidos, los productores de biosólidos de Clase A realizan un monitoreo inicial que compruebe el cumplimiento de los parámetros exigidos en los artículos 12, 13, 14 y 15, de manera previa al inicio de la comercialización.

16.2. Para productores de biosólidos de Clase B no es obligatorio realizar un monitoreo inicial previo a la comercialización. Excepcionalmente, la DGAA puede solicitar dicho monitoreo a los productores que generen grandes cantidades de biosólidos o productores que obtengan lodos generados en las PTAR con gran influencia de actividad industrial.

#### **Artículo 17.- Frecuencia del monitoreo de los parámetros**

17.1. Los productores de biosólidos que operen lagunas de estabilización, lagunas anaerobias, facultativas, aireadas y lagunas con macrofitas deben realizar el



inciso 5 del Anexo I, la frecuencia de monitoreo se realiza de acuerdo a la frecuencia de producción obtenida durante el primer año de operación. Posteriormente, la frecuencia se determina en función al tipo de lodo que se genere.

#### **Artículo 18.- Aplicación del biosólido de Clase A**

18.1. El biosólido de Clase A destinado para su reaprovechamiento como acondicionador de suelos en agricultura y/o mejoramiento de suelos. De manera enunciativa y no limitativa, puede ser reaprovechado en las siguientes actividades:

1. Producción de almácigo y utilización en viveros.
2. Acondicionamiento de suelos para agricultura, pastos y forrajes, excepto la aplicación directa a los cultivos de vegetales y frutas rastreras de consumo crudo.
3. Mejoramiento de suelos y áreas verdes urbanas con acceso restringido a la población en un periodo no menor a siete (7) días.
4. Aplicación en las áreas destinadas para el biosólido de Clase B.
5. Comercialización a empresas productoras de insumos de usos agrícolas, que se encarguen de producir compost, humus u otros productos con fines de acondicionamiento del suelo.
6. Comercialización a empresas del sector privado que tengan como objeto social la producción, comercialización y/o disposición final de biosólidos.
7. Comercialización a empresas operadoras de residuos sólidos.

18.2. El Ministerio de Agricultura y Riego, de acuerdo a sus competencias, puede establecer otras áreas de aplicación para el reaprovechamiento del biosólido de Clase A como acondicionador de suelos en agricultura y/o mejoramiento de suelos, teniendo en consideración sus características así como las prohibiciones establecidas en el artículo 20. Dicha entidad debe obtener previamente la opinión favorable del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

#### **Artículo 19.- Aplicación del biosólido de Clase B**

19.1. El biosólido de Clase B está destinado para su reaprovechamiento en suelos que excluyen el riesgo de contacto con la población y actividades ganaderas. Este biosólido puede ser reaprovechado únicamente en las siguientes actividades:

1. Fines agrícolas y/o forestales para plantas de tallo alto y que son procesados para su comercialización (cultivo de café y cultivos para la producción de fibra y madera).
2. Recuperación de áreas degradadas ubicadas a por lo menos 100 metros de distancia de pueblos y viviendas.
3. Reforestación de suelos con acceso restringido a la población y/o animales por un periodo mínimo de treinta (30) días calendario a partir de la aplicación del biosólido.
4. Material de cobertura final para rellenos sanitarios, rellenos de seguridad o canchas de relaves con fines de reforestación o siembra de otros cultivos.
5. Comercialización a empresas que se encarguen de transformar biosólidos de Clase B en Clase A para su venta como compost, humus u otros acondicionadores de suelos.
6. Comercialización a empresas operadoras de residuos sólidos.



ANEXO 3

Resultados iniciales de parámetros químicos en el lodo de lecho de secado de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa.

## Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582  
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

### INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00030

Pág: 1/3

#### Hoja de datos

Señores: RENE COYLA CCARI  
Dirección: JR. HUANACAHUIRE - JULIACA  
Atención: RENE COYLA CCARI  
Proyecto: "EFECTO DE MICROORGANISMOS EFICACES EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE EN LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA"

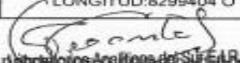
Producto(s) Declarado(s): Sedimento  
Nro de muestras: 1  
Muestreo a cargo de(l): BACH. RENE COYLA CCARI  
Registro de muestreo: 014-21  
Fecha de recepción: 9/06/2021  
Fecha de ensayo: 9/06/2021  
Fecha de emisión: 23/06/2021  
Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas  
Observaciones : -----

#### Método de ensayo aplicado

- \*7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -OES, Revisión 4.4.
- \*7002 EPA 200.7 Determinación de Arsénico en Suelos y Sedimentos (Lixiviación Ácida) por ICP -OES, Revisión 4.4.
- \*7022 EPA 200.7 Determinación de Mercurio en Suelos y sedimentos (Lixiviación Ácida) por ICP -OES, Revisión 4.4.
- \*7005 Método de Ensayo para Nitrógeno total por Destilación - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7006 Método de Ensayo para Materia Orgánica - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7023 Determinación de pH 1:2 potenciométrica en suelos
- \*7097 Método de ensayo para la determinación de Humedad a 70C
- \*7020 Recuento Huevos y larvas de Helmintos patógenos.
- \*7070 Numeración de Coliformes Fecal. ISO 4831:2006. Horizontal method for the enumeration of coliforms - Most probable number technique en sedimentos
- \*7114 Detección de Salmonella SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part -9260 B(Ídem1,2d,3,4,5,7,8),22nd Ed. Detección of Pathogenic Bacteria.Salmonella en sedimentos

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Punto de muestreo y/o coordenadas		Fecha de muestreo	Hora de muestreo
			Coordenadas UTM	Este / Norte		
SD2100048	LODO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAMPA	LAMPA / LAMPA / PUNO	LATITUD:353618 S - LONGITUD:8299404 O		08/06/21	4:13 p. m.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de laboratorio. Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

  
Sixto Vicente Juárez Nelra  
Gerente General  
Ing. Químico C.I.R. 19474

NH-18 N° 1865

# Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582  
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

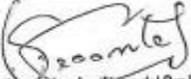
## INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00030

Hoja de resultados

23/06/2021

Pág.: 3/3

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	7005	7006	*7023	*7097	*7020	*7070	*7114
		Ni MT mg/Kg	P MT mg/Kg	Pb MT mg/Kg	Sb MT mg/Kg	Se MT mg/Kg	Sn MT mg/Kg	Sr MT mg/Kg	Te MT mg/Kg	Ti MT mg/Kg	Ti MT mg/Kg	V MT mg/Kg	Zn MT mg/Kg	N g/Kg	MO %	pH 18.5 °C	H2O %	Helminfos y Parasitos N° de huevos y larvas de Helminfos (2g)	Coliforme Fecal NMP/g	Salmonella Pres. o Aus./g
SD21000048	LODO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAMPA	7,09	4 257	7,47	<0,16	<0,16	<4	26,22	<0,20	114,64	<0,16	18,32	1 427	25,9	44,02	6,93	83,13	2	21x10 <sup>7</sup>	Presencia

  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Sixto Vicente Juárez Neira  
Gerente General  
Ing. Químico C.I.P. 19474

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

NH-18 N° 1867

ANEXO 4

Resultados finales de parámetros químicos en compost

Resultados del tratamientos del bloque I

## Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582  
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

### INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00057

Pág: 1/2

#### Hoja de datos

Señores: RENE COYLA CCARI  
Dirección: JR. HUANACAHUIRE - JULIACA  
Atención: RENE COYLA CCARI  
Proyecto: "EFECTO DE MICROORGANISMOS EFICACES EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE EN LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA"

Producto(s) Declarado(s): Sedimento  
Nro de muestras: 1  
Muestreo a cargo de(l): BACH. RENE COYLA CCARI  
Registro de muestreo: 023-21  
Fecha de recepción: 10/09/2021  
Fecha de ensayo: 10/09/2021  
Fecha de emisión: 5/10/2021  
Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas  
Observaciones: —

#### Método de ensayo aplicado

\*7115 Método de ensayo para metales y elementos traza en suelos digestión por microondas ICP OES.  
\*7005 Método de Ensayo para Nitrógeno total por Destilación - Fotometría en suelos y sedimentos  
\*7006 Método de Ensayo para Materia Orgánica - Fotometría en suelos y sedimentos  
\*7023 Determinación de pH 1.2 potenciometría en suelos  
\*7097 Método de ensayo para la determinación de Humedad a 70C  
\*7070 Numeración de Coliformes Fecales. ISO 4831:2006. Horizontal method for the enumeration of coliforms - Most probable number technique en sedimentos  
\*7114 Detección de Salmonella: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part -9260 B(Ídem1,2d,3,4,6,7,8),22nd Ed. Detección of Pathogenic Bacteria, Salmonella en sedimentos  
\*7126 Método para la cuantificación de huevos de helmintos en lodos y biosólidos, basado en la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 ANEXO V

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM / Norte Este	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
SD21000066	R1 (LODO + ASERRIN)	PTAR / LAMPA / LAMPA / PUÑO	8299412 S 353610 O	09/09/21	4:20 p. m.

  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Gerardo Coronado  
Calle Vicente Juárez, N°10  
Ingeniero Químico C.I.P. 19474

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con el sistema de gestión de calidad como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.  
Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

NH-18 N° 1895

# Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582  
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

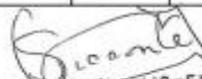
## INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00057

Hoja de resultados

5/10/2021

Pág.: 2/2

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7115	*7115	*7115	*7115	*7115	*7115	*7115	*7115	*7115	*7115	7005	7006	*7023	*7097	*7070	*7114	*7126
		As MT mg/Kg	Cd MT mg/Kg	Cr MT mg/Kg	Cu MT mg/Kg	Hg MT mg/Kg	K MT mg/Kg	Ni MT mg/Kg	P MT mg/Kg	Pb MT mg/Kg	Zn MT mg/Kg	N Dest Fot g/Kg	MO Fot %	pH 22,7 °C	H2O %	Coliforme Fecal NMPig ST	Salmonella Pres. o Aus /g	Helmintos y Parásitos N° de huevos y larvas de Helmintos / 4g ST
SD21000066	R1 (LODO + ASERRIN)	1,7742	0,4921	10,261	11,824	0,0866	1 929	5,9109	1 036	7,8823	73,350	13,03	64,3	6,19	53,15	43x10 <sup>4</sup>	Ausencia	30

  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Sixto Vicente Juárez Neira  
Gerente General  
Ing. Químico C.I.P. 19474

  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
José A. Ortiz Condori  
Microbiología  
Biólogo C.B.P. 13052

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

NH-18 N° 1896

Resultados de tratamientos del loque II

# Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582  
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00058

### Hoja de datos

Pág: 1/2

Señores: RENE COYLA CCARI  
Dirección: JR. HUANACAHUIRE - JULIACA  
Atención: RENE COYLA CCARI  
Proyecto: "EFECTO DE MICROORGANISMOS EFICACES EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE EN LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA"

Producto(s) Declarado(s): Sedimento  
Nro de muestras: 1  
Muestreo a cargo de(l): BACH. RENE COYLA CCARI  
Registro de muestreo: 023-21  
Fecha de recepción: 10/09/2021  
Fecha de ensayo: 10/09/2021  
Fecha de emisión: 5/10/2021  
Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas  
Observaciones : -----

#### Método de ensayo aplicado

\*7115 Método de ensayo para metales y elementos traza en suelos digestión por microondas ICP OES  
\*7006 Método de Ensayo para Nitrógeno total por Destilación - Fotometría en suelos y sedimentos  
\*7006 Método de Ensayo para Materia Orgánica - Fotometría en suelos y sedimentos  
\*7023 Determinación de pH 1:2 potenciométrica en suelos  
\*7097 Método de ensayo para la determinación de Humedad a 70C  
\*7070 Numeración de Coliformes Fecales. ISO 4831:2006. Horizontal method for the enumeration of coliforms - Most probable number technique en sedimentos  
\*7114 Detección de Salmonella: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part - 9260 B(idem1,2d,3,4,6,7,8),22nd Ed. Detección of Pathogenic Bacteria.Salmonella en sedimentos  
\*7126 Método para la cuantificación de huevos de helmintos en lodos y biosólidos, basado en la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 ANEXO V

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Punto de muestreo y/o coordenadas		Fecha de muestreo	Hora de muestreo
			Coordenadas UTM	Este / Norte		
SD21000087	R2 (LODOS + ESTIERCOL+ ASERRIN + ME (2C))	PTAR / LAMPA / LAMPA / PUNO	8299415 S 353610 O		09/09/21	4:30 p. m.

  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Sixto Vicente Juárez Neira  
Gerente General  
R. O. C. C. P. 19474

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o con el sistema de calidad de la entidad que lo produce.  
Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

NH-18 N° 1897

# Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582  
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

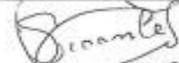
## INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00058

Hoja de resultados

5/10/2021

Pág.: 2/2

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7115	*7115	*7115	*7115	*7115	*7115	*7115	*7115	*7115	*7115	7005	7006	*7023	*7097	*7070	*7114	*7126
		As MT mg/Kg	Cd MT mg/Kg	Cr MT mg/Kg	Cu MT mg/Kg	Hg MT mg/Kg	K MT mg/Kg	Ni MT mg/Kg	P MT mg/Kg	Pb MT mg/Kg	Zn MT mg/Kg	N Dest Fot g/Kg	MO Fot %	pH 22,7 °C	H2O %	Coliforme Fecal NMPig ST	Salmonella Pres. o Aus./g	Helmintos y Parasitos N° de huevos y larvas de Helmintos / 4g ST
SD21000067	R2 (LODOS + ESTIERCOL + ASERRIN + ME (2C))	1,3775	0,5483	9,6268	11,030	0,0938	5 781	5,3647	1 474	8,4430	75,850	15,29	59,2	7,17	55,78	93x10 <sup>4</sup>	Ausencia	30

  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Sixto Vicente Juárez Neira  
Gerente General  
Ing. Químico C.I.P. 19474

  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
José A. Ortiz Condori  
Microbiología  
Biólogo C.B.P. 13052

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

NH-18 N° 1898

Resultados de tratamientos del bloque III

# Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582  
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00059

### Hoja de datos

Pág: 1/2

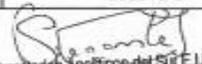
Señores: RENE COYLA CCARI  
Dirección: JR. HUANACAHUIRE - JULIACA  
Atención: RENE COYLA CCARI  
Proyecto: "EFECTO DE MICROORGANISMOS EFICACES EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE EN LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA"

Producto(s) Declarado(s): Sedimento  
Nro de muestras: 1  
Muestreo a cargo de(l): BACH. RENE COYLA CCARI  
Registro de muestreo: 023-21  
Fecha de recepción: 10/09/2021  
Fecha de ensayo: 10/09/2021  
Fecha de emisión: 5/10/2021  
Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas  
Observaciones : ----

#### Método de ensayo aplicado

- \*7115 Método de ensayo para metales y elementos traza en suelos digestión por microondas ICP OES
- \*7005 Método de Ensayo para Nitrógeno total por Destilación - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7006 Método de Ensayo para Materia Orgánica - Fotometría en suelos y sedimentos
- \*7023 Determinación de pH 1:2 potenciométrica en suelos
- \*7097 Método de ensayo para la determinación de Humedad a 70C
- \*7070 Numeración de Coliformes Fecall. ISO 4831:2006. Horizontal method for the enumeration of coliforms - Most probable number technique en sedimentos
- \*7114 Detección de Salmonella: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part. 9260 B (idem 1,2,3,4,6,7,8), 22nd Ed. Detección of Pathogenic Bacteria.Salmonella en sedimentos
- \*7126 Método para la cuantificación de huevos de helmintos en lodos y biceólidos, basado en la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 ANEXO V

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Punto de muestreo y/o coordenadas		Fecha de muestreo	Hora de muestreo
			Coordenadas UTM	Este / Norte		
SD21000068	R3 (LODOS + ESTIERCOL+ ASERRIN + ME (4L))	PTAR / LAMPA / LAMPA / PUNO	8299415 S 353610 O		09/09/21	4:40 p. m.

  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Sixto Vicente Juárez Neira  
Ingeniero Químico, certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.  
Ing. Químico C.I.P. 19474

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producción, sino como un certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

NH-18 N° 1899

# Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582  
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

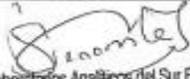
## INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00059

Hoja de resultados

5/10/2021

Pág.: 2/2

Codigo Interno #	Nombre de Muestra	*7115	*7115	*7115	*7115	*7115	*7115	*7115	*7115	*7115	*7115	7005	7006	*7025	*7097	*7070	*7114	*7126
		As MT	Cd MT	Cr MT	Cu MT	Hg MT	K MT	Ni MT	P MT	Pb MT	Zn MT	N Dest Fot	MO Fot	pH	H2O	Coliforme Fecal	Salmonella	Helminfos y Parasitos
		mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	g/Kg	%	22,7 °C	%	NMPig ST	Pres. o Aus.Jg	N° de huevos y larvas de Helmintos /4g ST
SD21000068	R3 (LDDOS + ESTIERCOL+ ASERRIN + ME (4L))	1,2447	0,4384	17,371	9,648	0,1000	7 570	8,8033	1 506	9,4173	63,341	15,37	60,7	7,42	57,88	43x10 <sup>4</sup>	Ausencia	30

  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Srto. Vicente Juárez Neira  
Gerente General  
Ing. Químico C.I.P. 19474

  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
José A. Ortiz Condori  
Microbiología  
Biólogo C.B.P. 13052

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

NH-18 N° 1900

## ANEXO 5

Resultados de monitoreo de parámetros físicos (temperatura, pH, Humedad

Temperatura

Mes	Fecha	Días	Tratamientos		
			T1	T2	T3
Junio	10/06/2021	1	14.9	15.3	15.3
	11/06/2021	2	18.0	22.0	27.0
	12/06/2021	3	23.6	34.1	36.8
	13/06/2021	4	28.4	33.9	36.8
	14/06/2021	5	26.4	30.3	34.6
	15/06/2021	6	25.7	27.8	32.4
	16/06/2021	7	29.5	38.5	46.2
	17/06/2021	8	28.6	43.8	44.5
	18/06/2021	9	27.0	42.3	43.2
	19/06/2021	10	26.1	40.7	40.3
	20/06/2021	11	24.7	35.2	40.1
	21/06/2021	12	24.0	32.0	36.8
	22/06/2021	13	27.1	38.2	44.8
	23/06/2021	14	26.3	39.9	42.8
	24/06/2021	15	26.0	40.3	40.8
	25/06/2021	16	23.1	39.0	39.0
	26/06/2021	17	22.5	36.1	39.5
	27/06/2021	18	20.0	33.4	37.9
	28/06/2021	19	26.0	38.9	44.5
	29/06/2021	20	24.9	41.6	42.1
	30/06/2021	21	23.0	40.4	39.5

	01/07/2021	22	22.6	37.6	38.2
	02/07/2021	23	21.3	34.2	33.8
	03/07/2021	24	16.7	31.1	31.2
	04/07/2021	25	22.5	35.6	40.1
	05/07/2021	26	22.2	38.8	40.5
	06/07/2021	27	20.9	38.3	40.0
	07/07/2021	28	19.8	36.1	37.9
	08/07/2021	29	18.2	32.8	36.1
	09/07/2021	30	17.7	31.6	34.2
	10/07/2021	31	25.0	34.8	35.1
	11/07/2021	32	24.9	38.2	41.2
	12/07/2021	33	23.1	37.3	40.8
	13/07/2021	34	23.0	37.7	39.5
	14/07/2021	35	23.2	34.5	38.9
Julio	15/07/2021	36	19.1	37.3	37.3
	16/07/2021	37	19.2	33.9	34.9
	17/07/2021	38	17.6	32.7	31.5
	18/07/2021	39	16.7	30.0	30.8
	19/07/2021	40	15.6	28.3	30.2
	20/07/2021	41	24.5	33.2	35.1
	21/07/2021	42	23.0	36.1	37.0
	22/07/2021	43	21.5	35.8	39.9
	23/07/2021	44	21.5	35.3	37.5
	24/07/2021	45	21.9	35.2	36.7
	25/07/2021	46	19.7	33.5	36.9
	26/07/2021	47	20.1	30.3	34.0
	27/07/2021	48	19.6	30.7	33.1
	28/07/2021	49	19.7	28.7	31.1
	29/07/2021	50	18.1	26.8	27.7
	30/07/2021	51	24.5	32.6	31.7
	31/07/2021	52	23.3	31.2	35.0

Agosto	01/08/2021	53	20.7	31.1	33.0
	02/08/2021	54	21.5	28.2	30.6
	03/08/2021	55	19.2	28.5	29.4
	04/08/2021	56	18.3	26.8	28.4
	05/08/2021	57	19.0	25.3	27.6
	06/08/2021	58	18.3	19.9	26.3
	07/08/2021	59	18.7	18.9	24.1
	08/08/2021	60	17.6	17.6	21.0
	09/08/2021	61	21.8	25.7	25.6
	10/08/2021	62	21.5	25.3	25.5
	11/08/2021	63	20.1	24.3	24.4
	12/08/2021	64	22.0	24.7	24.3
	13/08/2021	65	20.0	22.0	21.9
	14/08/2021	66	21.1	20.0	19.9
	15/08/2021	67	20.2	18.9	19.6
	16/08/2021	68	17.9	17.4	19.1
	17/08/2021	69	16.5	19.2	19.2
	18/08/2021	70	16.9	16.9	17.6
	19/08/2021	71	20.4	19.5	19.7
	20/08/2021	72	19.4	21.0	20.8
	21/08/2021	73	20.7	19.7	20.0
	22/08/2021	74	19.0	19.5	18.9
	23/08/2021	75	18.6	17.5	17.6
	24/08/2021	76	20.1	17.8	17.9
	25/08/2021	77	17.5	16.0	17.2
	26/08/2021	78	17.2	16.6	16.8
	27/08/2021	79	18.0	16.7	17.3
	28/08/2021	80	17.7	16.3	16.8
	29/08/2021	81	21.0	19.2	18.9
	30/08/2021	82	19.4	17.8	17.7
	31/08/2021	83	19.7	18.7	18.7
Septiembre	01/09/2021	84	19.0	18.4	18.9
	02/09/2021	85	18.8	17.9	17.9
	03/09/2021	86	16.5	17.7	18.0
	04/09/2021	87	18.3	17.3	17.1
	05/09/2021	88	17.7	17.7	18.3
	06/09/2021	89	16.6	17.3	16.6
	07/09/2021	90	16.8	18.7	18.3
	08/09/2021	91	19.3	18.3	18.3
	09/09/2021	92	19.1	18.1	18.0
	10/09/2021	93	17.8	18.1	18.1

pH en los tres tratamiento.

Parámetro	Unidad	SEMANA											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
pH	T1 (Lodos + aserrín)	6.93	6.80	6.87	6.79	6.62	6.45	6.34	6.38	6.32	6.20	6.16	6.19
	T2 (lodos + estiércol + aserrín + 2ME)	6.93	6.85	6.89	6.97	6.99	7.02	7.08	7.11	7.18	7.16	7.15	7.17
	T3 (lodos + estiércol + aserrín + ME)	6.93	6.82	6.90	7.14	7.26	7.21	7.37	7.38	7.41	7.42	7.40	7.42

Humedad en los tres tratamientos.

Parámetro	Unidad	SEMANA											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Humedad (%)	T1 (Lodos + aserrín)	68	50	43	58	55	65	60	48	51	58	55	53
	T2 (lodos + estiércol + aserrín + 2ME)	70	47	51	55	60	62	59	50	55	50	58	55
	T3 (lodos + estiércol + aserrín + ME)	65	42	49	52	61	68	65	62	48	55	60	57

## ANEXO 4

Panel fotográfico del proceso experimental.



*Figura 25.* Construcción del invernadero.



*Figura 26.* Armado de la base del invernadero.



*Figura 27.* Construcción de composteras.



*Figura 28.* Armado de composteras en el invernadero.



*Figura 29.* Toma de muestra de lecho de secado de la planta de tratamiento de aguas residuales.



*Figura 30.* Preparación y activación de microorganismos eficaces.



*Figura 31.* Armado de composteras.



*Figura 32.* Volteo de composteras.



*Figura 33. Monitoreo de los parámetros (temperatura, pH, humedad).*



*Figura 34. Maduración de compost.*



*Figura 35. Zarandeo de compost.*



*Figura 36. Muestra de compost para el análisis.*





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**

*"Universidad Pública de Calidad"*