



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES PROVENIENTES DE
LA PTAR PROVISUR DEL DEPARTAMENTO DE LIMA A
TRAVÉS DE FERMENTACIÓN LÁCTICA”**

Tesis para optar el título profesional de:
INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por:
Gary Andree Pérez Zevallos (0009-0000-8020-5337)

Asesor:
Edgar Avelino Marcelino Tarmeño (0000-0003-0301-0629)

Lima – Perú
2023

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 23 de febrero del 2024.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dr. Noé Ordóñez Machicao
Miembro: Mg. Olga Vadimovna Kostenko
Miembro: Mg. Sc. Freddy Pillpa Aliaga

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

“TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA PTAR PROVISUR DEL DEPARTAMENTO DE LIMA A TRAVÉS DE FERMENTACIÓN LÁCTICA”

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Gary Andree Pérez Zevallos**

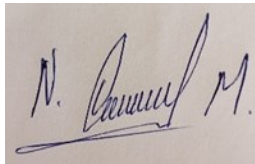
Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por: Mg. Edgar Avelino Marcelino Tarmeño

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del tesista de la carrera de Ingeniería Ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime () por mayoría simple (X) calificar a:

Tesista: Gary Andree Pérez Zevallos		Nota (en letras): (Trece punto cinco) 13.5	
Aprobado (X)	Aprobado - Muy buena ()	Aprobado - Sobresaliente ()	Desaprobado ()

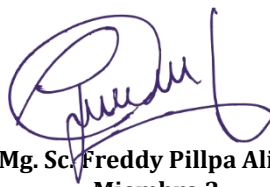
Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



Dr. Noé Ordóñez Machicao
Presidente



Mg. Olga Vadimovna Kostenko
Miembro 1



Mg. Sc. Freddy Pillpa Aliaga
Miembro 2



Mg. Ing. Edgar A. Marcelino Tarmeño
Asesor

ANEXO: FORMATO DE DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS / TRABAJO DE INVESTIGACIÓN¹

Lima, 27 de febrero del 2023

Señor,
Dr. Carlos Zavalaga Reyes

**Director General de Investigación, Desarrollo e Innovación
Universidad Científica del Sur
Presente. –**

De nuestra consideración,

Yo: Gary Andree Perez Zevallos, estudiante/egresado de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Científica del Sur, en conjunto con el asesor/la asesora de tesis Edgar Avelino Marcelino Tarmeño, declaramos que este informe final de tesis/trabajo de investigación titulado: Tratamiento de lodos residuales provenientes de la PTAR Provisur del departamento de Lima a través de fermentación láctica, sustentado para obtener el título/grado de Ingeniero Ambiental es original.

Es decir, no contiene plagio parcial ni total, cuando se utilizó información de fuentes externas se reconoció la autoría mediante la adecuada citación y los resultados obtenidos son producto entero de mi (nuestra) investigación y no han sido falseados ni fabricados. Todo esto en cumplimiento del Código de ética en la investigación, Reglamento del Comité de Integridad Científica, Reglamento de Propiedad Intelectual, Normas y procedimientos de los trabajos de investigación para la obtención de títulos profesionales y grados académicos ², que afirmamos conocer en su totalidad.

Por ello, en caso de identificarse alguna situación de plagio, falsificación o fabricación de resultados, nos allanamos al proceso de investigación que establezca la Universidad y las posibles sanciones que pudieran surgir.

Firmamos en conformidad con lo declarado,



Firma tesista
DNI: 70602135



Mg. Ing. Edgar A. Marcelino Tarmeño
CIP N° 189149
Firma del asesor de tesis
DNI: 10706424

¹ En conformidad con la Resolución del Consejo Directivo N° 084-2022-SUNEDU/CD

² Los documentos están en: <https://investigacion.cientifica.edu.pe/reglamentos/>

INFORME DE REVISIÓN DE ORIGINALIDAD

Título del documento evaluado. Tratamiento de lodos residuales provenientes de la PTAR PROVISUR del departamento de Lima a través de fermentación láctica

Autores. Gary Andree Perez Zevallos

Mecanismo de revisión de originalidad. Evaluación con Turnitin (ID 2332941427).

Resultado de la evaluación. 7%

Revisado por. Magaly Kelly Guerrero Huaracallo.

Comentarios sobre la revisión. Filtros usados: excluir fuentes de menos de 12 palabras.



DEDICATORIA

Este proyecto se logró gracias al apoyo de mis padres, mi hermano y amigos que estuvieron brindándome sus consejos, y por medio de esto logré culminar mi carrera universitaria.

Agradecer a toda mi familia porque con sus buenas vibras, palabras de aliento y oraciones de alguna manera sé que están cerca de mí, acompañándome en mis objetivos trazados.

El autor.

AGRADECIMIENTOS

Extender mi gratitud hacia Dios, quien siempre llena mi vida de gratitud y bendición y a todos los que estuvieron presentes en mi vida, quienes son mis padres, mi hermano y amigos.

Dar los agradecimientos del caso también a los colaboradores de la Planta Desaladora del Sur S.A., por permitir que pueda desarrollar parte de mi proyecto de investigación dentro de sus instalaciones.

Finalmente agradecer a la Universidad Científica del Sur y a los docentes, quienes con sus conocimientos y enseñanzas he logrado crecer cada día como profesional.

El autor.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Realidad Problemática.....	1
1.2. Identificación del Problema.....	4
1.3. Justificación.....	5
II. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Tratamiento de Aguas Residuales.....	7
2.2. Lodos residuales.....	7
2.3. Marco normativo.....	9
2.4. Estabilización de lodos.....	9
2.5. Fermentación Láctica.....	11
2.6. Mecanismo del proceso de fermentación láctica.....	12
2.7. Bacterias ácido lácticas (BAL).....	14
III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	16
3.1. Objetivos.....	16
3.2. Hipótesis.....	16

IV. METODOLOGÍA	18
4.1. Enfoque de la Investigación.....	18
4.2. Diseño de la Investigación	18
4.3. Operacionalización de las Variables	19
4.4. Población y Muestra	20
4.5. Técnicas e instrumentos de Recolección de Datos	20
4.6. Técnicas de Procesamiento de Datos.....	21
4.7. Procedimientos.....	22
V. RESULTADOS	26
5.1. Nivel de contaminantes microbiológicos y metales del lodo sin tratamiento biológico.....	26
5.2. Nivel de contaminantes micrbiológicos y metales de lodos después del tratamiento biológico.....	27
5.3. Efectividad del tratamiento de fermentación láctica en la disminución del nivel de contaminantes del lodo	29
VI. DISCUSIÓN.....	40
VII. CONCLUSIÓN.....	42
RECOMENDACIONES	43
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
ABREVIATURAS	49
ANEXOS.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros de toxicidad química para biosólidos de clase A y B	9
Tabla 2 Parámetros de higienización de biosólidos A y B	9
Tabla 3 Esquema de dosificación de Lactobacilos activadas	24
Tabla 4 Nivel de contaminantes microbiológicos del lodo sin tratamiento biológico (GC)	26
Tabla 5 Nivel de contaminantes fisicoquímicos (metales) del lodo sin tratamiento biológico (GC).....	27
Tabla 6 Nivel de contaminantes microbiológicos del lodo con tratamiento biológico (GE)	28
Tabla 7 Nivel de contaminantes fisicoquímicos (metales) del lodo con tratamiento biológico (GE)	28
Tabla 8 Remoción de contaminantes microbiológicos.....	30
Tabla 9 Remoción de metales.....	32
Tabla 10 Prueba de normalidad de los datos	33
Tabla 11 Prueba paramétrica (t-student) para coliformes fecales GC vs GE.....	35
Tabla 12 Prueba paramétrica (t-student) para coliformes totales GC vs GE.....	35
Tabla 13 Prueba paramétrica (t-student) para Cu GC vs GE	37
Tabla 14 Prueba paramétrica (t-student) para Fe GC vs GE.....	37
Tabla 15 Prueba no paramétrica (U de Mann Whitney – Wilcoxon) para Zn GC vs GE	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mecanismos de la fermentación láctica	13
Figura 2 Diagrama del Reactor Anaeróbico	23
Figura 3 Procedimiento experimental	25
Figura 4 Comparación de Coliformes fecales del GC vs GE.....	29
Figura 5 Comparación de Coliformes totales del GC vs GE.....	30
Figura 6 Comparación de cobre (Cu) del GC vs GE.....	31
Figura 7 Comparación de hierro (Fe) del GC vs GE.....	31
Figura 8 Comparación de zinc (Zn) del GC vs GE	32

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de operacionalización de las variables	50
Anexo 2. Matriz de consistencia	51
Anexo 3. Ficha de observación de análisis de lodos pre – tratamiento	53
Anexo 4. Ficha de observación de análisis fisicoquímicos de lodos – monitoreo	54
Anexo 5. Ficha de observación de análisis biológico de lodos - monitoreo	55
Anexo 6. Base de datos del muestreo	56
Anexo 7. Registro fotográfico de los experimentos	58

RESUMEN

El objetivo de ésta investigación se basó en determinar la efectividad del tratamiento por fermentación láctica en la aminoración de contaminantes de lodos residuales provenientes del proyecto Provisur de la PTAR. El estudio tuvo un diseño experimental de corte longitudinal y alcance explicativo. Se aplicó la técnica de la observación experimental para la recolección de datos; para la obtención de las bacterias lactobacillus, se realizó un tratamiento a base de arroz, con lo cual se obtuvo concentraciones de 15% respecto a la masa del lodo tratado en un reactor anaeróbico de 20 L. Se realizó un diseño 2x2 del tratamiento, específicamente dos (2) grupos de control y dos (2) grupos experimentales que contenían las bacterias activadas. Los resultados mostraron que el lodo inicial contenía altas concentraciones de coliformes totales y coliformes fecales que superan los LMP, también se evidenció concentraciones de metales cuyas concentraciones fueron mínimas. Se determinó un 99.99% y 100% de remoción de coliformes fecales y coliformes totales respectivamente durante un período de 4 semanas de tratamiento. Se concluye que el tratamiento por fermentación láctica es eficiente principalmente, en la remoción de contaminantes biológicos como coliformes ya que presentaron, estadísticamente, diferencias significativas entre los valores del GC y el GE a un nivel de confianza de 95%.

Palabras claves: bacterias lactobacillus, fermentación láctica, lodos residuales, tratamiento de lodo.

ABSTRACT

The objective of this research was based on determining the effectiveness of lactic fermentation treatment in reducing contaminants in residual sludge from the WWTP Provisur project. The study had a longitudinal experimental design and explanatory scope. The experimental observation technique was applied for data collection; To obtain the lactobacillus bacteria, a rice-based treatment was carried out, with which concentrations of 15% were obtained with respect to the mass of the sludge treated in a 20 L anaerobic reactor. A 2x2 design of the treatment was carried out, specifically two (2) control groups and two (2) experimental groups containing the activated bacteria. The results showed that the initial sludge contained high concentrations of total coliforms and fecal coliforms that exceed the LMP, concentrations of metals whose concentrations were minimal were also evident. A 99.99% and 100% removal of fecal coliforms and total coliforms, respectively, is calculated over a 4-week treatment period. It is concluded that the treatment by lactic fermentation is efficient mainly in the removal of biological contaminants such as coliforms since they presented, statistically, significant differences between the values of the CG and the EG at a confidence level of 95%.

Keywords: lactobacillus bacteria, lactic fermentation, residual sludge, sludge treatment.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Realidad Problemática

Los lodos residuales resultantes de los procesos de tratamiento de aguas, constituyen como un residuo que, si bien contiene importantes cantidades de compuestos orgánicos en diversos estados de la materia, macro y micro nutrientes que le otorgan potencial como insumo orgánico viable para su reutilización, también poseen gran cantidad de microorganismos patógenos, metales pesados y agua (Cupe y Juscamaita, 2018); que los convierten en una fuente contaminante que prolifera malos olores e insalubridad.

Un estudio realizado por De La Cruz y Ventocilla (2019), determinó considerables concentraciones de coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF), también concentraciones de metales como cadmio (Cd) con 10.39 mg/kg y cobre (Cu) con 1,312.95 mg/kg, en lodos resultantes de una (PTAP) sin ser estabilizados; resultando estas concentraciones mayores a los límites máximos en lodos para uso de suelos forestales según la Normativa Internacional Chilena.

En la actualidad, la cantidad de lodos residuales han aumentado a nivel mundial, debido al rápido incremento de la población, que provoca el aumento del volumen de las aguas residuales, por lo cual surge la necesidad de someter estos efluentes a diferentes tratamientos secundarios y terciarios para que puedan ser reutilizadas o devueltas a diferentes ecosistemas, como el agrícola, fuentes de aguas naturales, etc. En el contexto mundial, el total de producción de lodos en China mostró un aumento anual promedio del 13% desde 2007 a 2013; para este último año, ese país producía 6.25 millones de toneladas de lodos secos, mientras que en Estados Unidos se registraron 13.8 millones de toneladas de lodo seco durante el proceso del tratamiento

de efluentes. Por su parte, la Unión Europea estimó la producción de lodo residual de 12 millones de toneladas de sólidos secos por año para el 2020 (Teoh y Li, 2019). Al evaluar estas cifras en América Latina y el Caribe, se tiene que, en Colombia, se producen mensualmente 94 toneladas de biosólido seco, que al año representa 1,128 toneladas para el 2017 (Ruíz y Quevedo, 2017). En México, la obtención de lodos de efluentes municipales, se determinó 640 millones toneladas por año para el 2010, cantidad que aumentó en los años posteriores debido construcciones de varias PTA (Plantas de Tratamiento de Aguas) (Morales et al., 2017).

En el caso de Perú, según señala la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS, 2016), entre los principales problemas de las PTAR en el país, se tiene un 50% de falta de remoción de lodos de las PTAR de diferentes tipos, lo cual se asocia a recursos escasos para el control, falta de manuales e inadecuados programas de operación, monitoreo y mantenimiento.

De siete (7) PTAR, administradas por SEDAPAL en el departamento de Lima, se tratan 81,630.72 m³/día de efluentes, de las cuales se producen 2,537.85 Tn/día de lodos con un porcentaje elevado de humedad, siendo esto un problema puesto que los espacios que se les asigna para su confinamiento son insuficientes, o relacionados con las distancias existentes desde los centros de generación hasta los lugares de disposición final, ya que son significativas.

Las causas de esta problemática, pueden atribuirse a los altos costos que implica el tratamiento de lodos dentro del manejo de los efluentes, llegando a representar hasta el 50% del costo total de la infraestructura y disposición final (Morales et al., 2017). Por ello, la mayoría de lodos generados, son vertidos a los cuerpos de agua, sistemas de alcantarillado, rellenos sanitarios o incineratorios omitiendo medidas de control

apropiadas para mitigar el impacto ambiental y de salud pública, convirtiéndose en un problema mayor del que se quiere resolver (Cupe y Juscamaita, 2018).

Este panorama es presentado por la PTAR de Santa María del Mar, ubicada al Sur de Lima, donde los lodos generados en el tratamiento biológico, luego de pasar por procesos primarios de estabilización, no son aprovechados al ser gestionados por terceros, pudiéndose usar para la recuperación de suelos degradados (biosólidos tipo A o tipo B); así mismo, nutrientes como el fósforo también se puede extraer de los lodos y comercializar (Rodríguez et al., 2020).

La PTAR Santa María del Mar es la primera planta de efluentes en el Perú construida en la misma parcela con una planta desalinizadora, donde comparten urbanización en diferentes zonas de la parcela. En cuanto al proceso de tratamiento de las aguas residuales, la PTAR cuenta con 2 líneas de desbaste de gruesos que realizan pretratamiento. Posteriormente, se llega a un proceso de tamizado, desarenado y desengrasado, donde los residuos de desbastes son compactados para ser vertidos y las áreas y grasas son concentradas por separado.

Respecto al pretratamiento, el efluente pasa al tratamiento biológico a través de reactores por carga. El efluente proveniente de la PTAR tiene la calidad necesaria para que ésta pueda ser reutilizado para riego y bebidas de animales de acuerdo a la categoría 3 de la normativa vigente el DS 002-2008 MINAM, gracias a la etapa de desinfección con hipoclorito de sodio.

Finalmente, los lodos producidos en exceso, se estabilizan en una edad de 10.5 días, siendo bombeados hacia espesores de gravedad donde alcanzan 3% de sequedad para luego pasar por centrifugación y ser almacenados en una tolva para su posterior extracción de planta por terceros (camión).

El uso beneficioso de los biosólidos (lodos) se ha estudiado ampliamente; sin embargo, su práctica en la región es un poco limitada (Rodríguez et al., 2020). Con base en lo expuesto, la presente investigación se avoca a la evaluación de la calidad de lodos residuales generados por una PTAR en Lima y su tratamiento a través de fermentación láctica, con fines de reaprovechamiento de suelos.

1.2. Identificación del Problema

En la presente investigación se plantea como interrogante ¿Cuál es la efectividad del tratamiento de fermentación láctica en el aminoramiento de contaminantes presentes en los lodos residuales provenientes de la PTAR Provisur del distrito Santa María del Mar – Lima? En estos términos, las preguntas específicas son las siguientes:

- ¿Cuál es la efectividad de la fermentación láctica en la disminución de las concentraciones de metales presentes en los lodos producidos en la PTAR Provisur del Centro Poblado de Santa María del Mar en Lima Sur?
- ¿Cuál es la efectividad de la fermentación láctica en la disminución de las concentraciones de coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF) presentes en los lodos producidos en la PTAR Provisur del Centro Poblado de Santa María del Mar en Lima?

1.3. Justificación

La investigación adquiere una justificación teórica, ya que profundiza en los fundamentos teóricos al hacer revisión de estudios previos, compararlos entre sí y con los resultados del presente estudio, con el propósito de ampliar los conocimientos científicos sobre las técnicas para el tratamiento de lodos residuales, aportando ideas y generando reflexión académica acerca del tema en estudio. Cabe mencionar que, este tema ha sido abordado por diversos autores, sin embargo, muy pocas veces ha sido llevado a lo práctico. En este punto, es preciso mencionar que los lodos provenientes del tratamiento de las aguas residuales, poseen un alto potencial como contaminantes, puesto que lo caracteriza de contener gran cantidad de microorganismos patógenos, metales pesados; así lo afirman diversas investigaciones (Ruíz y Quevedo, 2017; Teoh y Li, 2019; Cupe y Juscamaita, 2018). Por otro lado, la presente investigación presenta una justificación práctica y social, puesto que plantea una posible solución al problema generado por el volumen de lodo de la PTAR del área de influencia, otorgando conocimiento sobre los procesos de tratamiento mediante técnicas como la fermentación láctica, para lograr su aprovechamiento en el mejoramiento de suelos, a la vez que disminuye el impacto ambiental. Así mismo, se orienta en brindar una mejor calidad de vida para los pobladores de la zona de estudio, al proporcionar una opción que permita minimizar los daños a la salud pública a causa de la contaminación provocada por los lodos provenientes en el tratamiento de efluentes.

Desde el punto de vista legal o normativo, también tiene importancia, puesto que los lodos provenientes de las PTAR tienen que someterse a tratamientos previos antes de ser dispuesto al ecosistema o a rellenos sanitarios. Por lo cual ha surgido el DS – N° 015-2017-VIVIENDA, que aprueba el Reglamento para su reaprovechamiento de

y la R.M. N° 128-2017-VIVIENDA que aprueba las condiciones mínimas a considerar en el manejo de lodos y las instalaciones para una correcta disposición final.

Finalmente, la investigación presenta justificación ambiental y económica, al convertirse en una solución que por un lado disminuya el impacto ambiental de no tratamiento y proceso de disposición de los lodos estabilizados y, por otro lado, se aprovecha el potencial orgánico de estos para mejorar los suelos degradados, a través del aporte de fósforo y nitrógeno. Al respecto, la ONU (2017) señala que se los recursos minerales como el fósforo se agotarán en los próximos 50 o 100 años, por lo cual su recuperación a través de los efluentes, se ha considerado una opción viable. En tanto, el reciclaje de nutrientes o extracción de energía de los efluentes puede generar nuevas oportunidades de crecimiento económico, siendo un ejemplo de ello, el compostaje, que tiene la capacidad de causar una solución de bajo costo, para aumentar la productividad en el sector agrícola, además de la disminución del impacto ambiental.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Tratamiento de Aguas Residuales

Cupe y Juscamaita Morales (2018) mencionan que el tratamiento de efluentes tiene por objetivo la aminoración de contaminantes presentes en estas, para convertirlas en aptas para otros usos o para evitar impactos negativos al medio ambiente. El sistema para llevarlo a cabo, de acuerdo con Alasino (2009), consiste en un conjunto de etapas de procesos que se acondicionan a la peculiaridad del efluente a ser tratada y del nivel de contaminación precisado según las disposiciones legales. La secuencia de las etapas consiste en tratamientos previos, seguido de los primarios, secundarios, terciarios o cuaternarios.

Continuando con Alasino (2009), los tratamientos primarios tienen como propósito adecuar al efluente para otros tratamientos consecuentes. Respecto a los tratamientos secundarios, estos contienen procesos biológicos y químicos.

Cupe y Juscamaita (2018) señalan que el tratamiento de efluentes generan subproductos de lodos residuales, los cuales se forman por las concentraciones de sólidos presente en el agua residual, los cuales son conocidos como lodos primarios o lodos activados producto de los sólidos disueltos de los efluentes.

2.2. Lodos residuales

Amador et al. (2015) explican que los lodos originados de las PTAR, son el producto de la aglomeración de partículas sólidas presentes en el residuo líquido o, de la generación de recientes partículas sólidas en suspensión; entonces los lodos residuales también denominados biosólidos, pueden ser compuestos de tipo líquidos, sólidos o incluso semisólidos, producidos en el transcurso de procesos biológicos, químicos, y mecánicos de descontaminación de efluentes en las PTAR.

Por su parte Arias y Restrepo (2018), indican que los lodos se componen por una combinación de agua y sólidos obtenidos de la separación del agua residual en los procesos de purificación realizados en las plantas de tratamiento, por lo que, su composición depende de las propiedades y características de las aguas residuales y de los procesos físicos o químicos a los que estas son sometidas para su tratamiento. Amador et al. (2015), indican que los lodos residuales integran una gran cantidad de nutrientes, microorganismos, materia orgánica, metales y agua; por lo que, su composición presenta principalmente, agentes contaminantes.

Un estudio realizado por De La Cruz y Ventocilla (2019), determinó considerables concentraciones de coliformes totales y coliformes fecales, también concentraciones de metales como cadmio (Cd) con 10.39 mg/kg y cobre (Cu) con 1,312.95 mg/kg, en lodos resultantes de una (PTAP) sin ser estabilizados; resultando estas concentraciones mayores a los límites máximos en lodos para uso de suelos forestales según la Normativa Internacional Chilena.

Además, su calidad en cuanto al nivel de estabilización, depende del tipo de tratamiento al cual son sometidos. Es por ello que, su caracterización es esencial para determinar la acumulación de nutrientes para su uso en suelos y de los contaminantes para que estos pueda ser eliminados; de esta manera, para un óptimo manejo, es necesario evaluar su composición química, incluido la aglomeración de metales, la cantidad de patógenos y parásitos que contienen (De La Cruz y Ventocilla, 2019).

2.3. Marco normativo

El DS-015-2017-VIVIENDA clasifica los biosólidos provenientes de lodos biológicos, en dos tipos, A y B. Los primeros están destinados para su uso en el acondicionamiento de suelos agrícolas y mejoramiento de suelos; los segundos, son reutilizados donde sea significativamente bajo el riesgo de exposición directa con las personas o animales de ganado. Así mismo, establece que, la factibilidad del aprovechamiento de biosólidos van a depender de los parámetros de toxicidad química, parámetros de higienización y parámetros de estabilización en cuanto al cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos para ello. Tal como se muestran en la tabla 1 y tabla 2, los parámetros que deben cumplir los biosólidos de clase A y clase B.

Tabla 1

Parámetros de toxicidad química en biosólidos de clase A y clase B

Mg/Kg ST Materia Seca	(As)	(Cd)	(Cr)	(Cu)	(Pb)	(Mg)	(Ní)	(Zn)
Clase A y clase B	40	40	1200	1500	400	17	400	2400

Tabla 2

Parámetros de higienización en biosólidos de clase A y clase B

Indicador	Clase A	Clase B
Indicadores de contaminación fecal	E. Coli menores a 1000 NMP / 1g ST o Salmonella sp. menores a 1 NMP / 10g ST	La higienización se puede verificar con el cumplimiento de los procesos ya existentes en el Anexo I o en su defecto por algunas tecnologías señaladas para la higienización en la Sección B del Anexo II.
Indicador de huevos de helmintos	Huevos viables de Helmintos menores a 1 / 4g ST o empleo de tecnologías adecuadas para la higienización	

2.4. Estabilización de lodos

Escorcia y Gámez (2022) indican que la necesidad de estabilización de lodos se supedita a la disposición o reuso que se les hará, teniendo como propósito la sustracción de olores, minimización de la capacidad de putrefacción y disminución de la carga orgánica. De manera similar, Amador et al. (2015) mencionan que la estabilización de lodos permite la degradación de la materia orgánica, sustracción de olores, inhibición del volumen y la infuncionalidad de organismos patógenos para que puedan ser reutilizadas o una adecuada disposición final.

Ambos autores exponen los diversos tipos de estabilización de lodos, siendo estos: el espesamiento, digestión anaerobia (biológica), digestión aerobia (biológica), tratamiento químico, incineración, pirolisis, ozonización, deshidratación, compostaje (biológica) y lumbricultura (biológica). En el caso de la digestión anaerobia, Escorcia y Gámez (2022) mencionan que consiste en un proceso llevado a cabo en el interior de un reactor sin presencia de oxígeno, en el cual se descompone la materia orgánica dando como resultado, la generación de ácidos volátiles y gas metano.

En un estudio llevado a cabo por Cupe y Juscamaita (2018), enfocado en la estabilización de lodos residuales generados de la PTAR perteneciente a una planta cervecera, mencionan que en este tipo de industrias se producen grandes volúmenes de lodos que causan contaminación y que, su disposición se da en procesos de entierro (rellenos sanitarios) o incineración (quema), en lugar de someterlos a tratamientos apropiados de estabilización y aprovechamiento. Tales razones, condujeron a los autores a aplicar la fermentación homoláctica como tratamiento de estos lodos, para la elaboración de un abono orgánico líquido acelerado (ALA), utilizando bacterias probióticas y melaza.

Por su parte, Segura (2018) menciona en su investigación, que en Costa Rica la generación de lodos residuales provenientes del purgado de tanques sépticos, los tratamientos que se les da y la disposición final de las mismas son insuficientes, existiendo en la actualidad, pocas empresas para tal finalidad. Adicionalmente, comenta la inexistencia de normativa que regulen la cantidad de contaminantes de estos subproductos en cuanto a indicadores microbiológicos y fisicoquímicos. Tomando en cuenta esta realidad, desarrollaron a escala de laboratorio, 2 técnicas nombrados “de emergencia” para la estabilización de lodos sépticos; una de las cuales consistió en la fermentación ácido – láctica (FAL) constituida por tres cepas de lactobacilos y mix.

2.5. Fermentación Láctica

Según describe Faife et al. (2020), las bacterias lácticas (*lactobacillus sp.*) son microorganismos que generan ácido láctico por medio de azúcares y diferentes carbohidratos generados mediante bacterias fotosintéticas y lavaduras como parte de su función de metabolismo. El ácido láctico es un compuesto que tiene composiciones bactericidas que pueden eliminar a microorganismos patógenos entre tanto contribuye a la degradación de materia orgánica.

Durante el proceso de fermentación, los lactobacillus como parte de su metabolismo producen ácidos orgánicos, usando los procedentes de la materia orgánica como sustrato generado en la hidrólisis. Consiguiente, los microorganismos fotosintéticos producen ácido sulfúrico para ser aprovechadas por las bacterias reductoras de sulfatos, dando lugar a los sacáridos, las cuales se vuelven a reprocesar en conjunto con los demás derivados orgánicos para repetir el ciclo (Faife et al., 2020).

Camargo (2019), indica que el uso de lactobacilos para el proceso de estabilización de lodos residuales es sencillo y de muy bajo costo que permite la eliminación de

patógenos presentes en estos; lo cual es logrado por la fermentación láctica de la glucosa y diferentes glúcidos generados mediante estas bacterias, lo que provoca una disminución del pH en un rango de 4 a 5, lo que permite suprimir microorganismos que no sobrevivan en este medio como son las coliformes termotolerantes o fecales. Es por ello, que en su investigación evaluó la eficiencia de estas bacterias en la degradación de coliformes presentes en el reactor tipo UASB, donde se logró reducir el 99% de estos microorganismos contaminantes llegando a valores menores a 3 NMP/g.

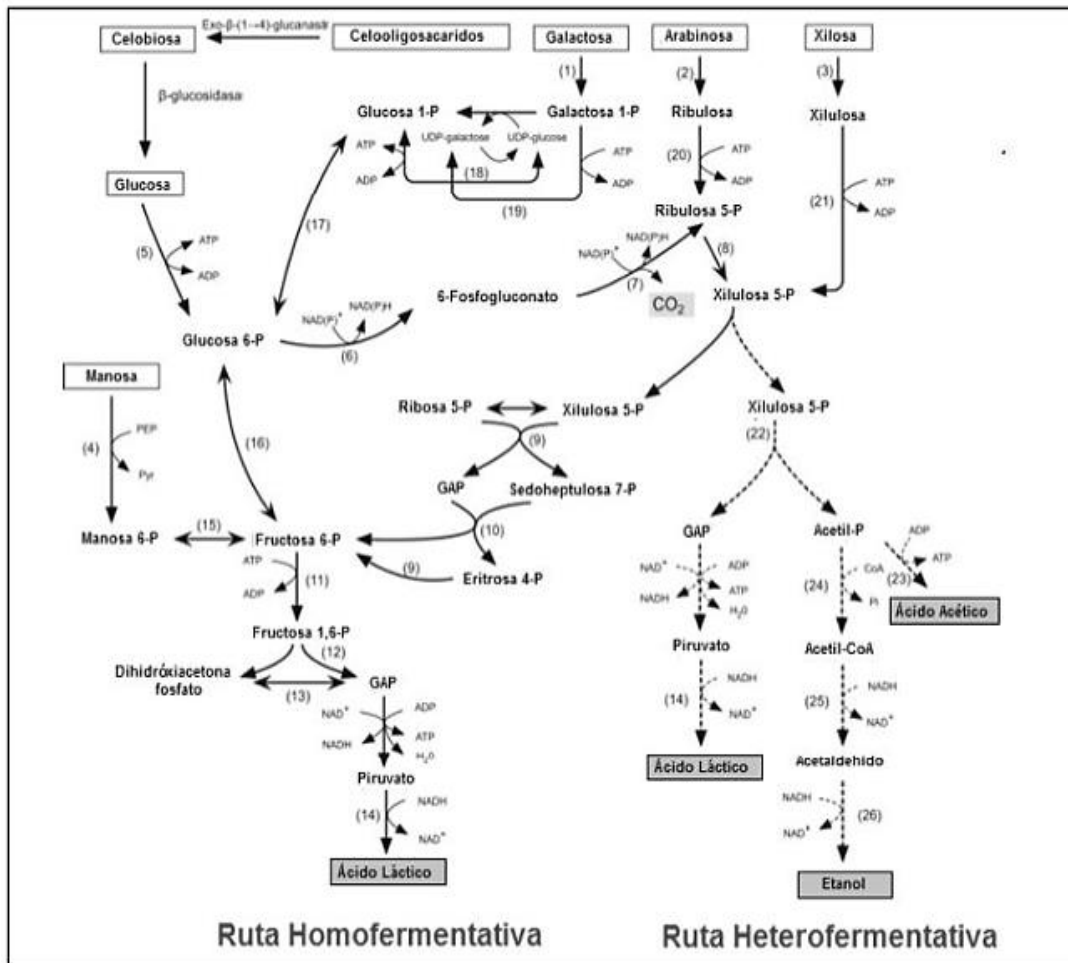
Así mismo, De La Cruz y Ventocilla (2019) aplicó la estabilización anaeróbica de lodos utilizando bacterias lactobacilos, demostrando que estas son capaces de reducir significativamente las concentraciones de CT y CF, también una disminución del mal olor, debido a la generación de medios ácidos dados por pH bajos.

2.6. Mecanismo del proceso de fermentación láctica

El mecanismo de reacción de la fermentación láctica se puede dar de dos formas, de acuerdo con los productos sintetizados en función de la glucosa se tiene la fermentación homoláctica y heteroláctica, tal como se puede observar en la figura 1.

Figura 1

Mecanismos de la fermentación láctica

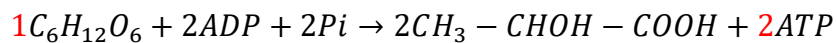


Nota. Adaptado por Aragón (2015) a partir de Wang et al. (2015).

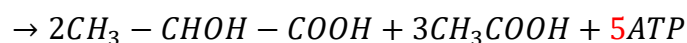
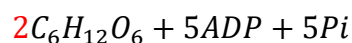
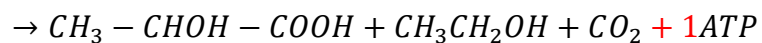
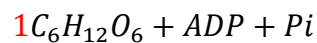
De la figura 1, se entiende que la glucosa se transforma casi cualitativamente en ácido láctico en la vía homoláctica, en tanto sobre la vía heteroláctica, a partir de la glucosa se genera una unión equimolar entre el etanol, ácido láctico y CO₂. En otros términos, la primera comprende la vía de Embden – Meyerhof, en tanto la fermentación heteroláctica, no se corresponde con ello, ya que no presenta la enzima fructosa difosfatoaldolasa (aldolasa), en su lugar, continúa por la vía oxidativa de las pentosas fosfato. Por ello Wang et al. (2015) menciona que azúcares menores como la celobiosa y monosacáridos pertenecientes a los grupos pentosas y hexoas también implican ambos mecanismos de fermentación.

En cuanto al rendimiento, la fermentación heteroláctica cuando obtiene etanol genera una (1) mol de ATP por una (1) mol de glucosa, y cuando adquiere ácido acético produce 2.5 mol de ATP por una (1) mol de glucosa. Por su parte, en la fermentación homoláctica se generan dos (2) mol de ATP por cada mol de glucosa (Chen y Wang, 2016; Pisabarro, 2009):

- Fermentación homoláctica:



- Fermentación heteroláctica:



La fermentación homoláctica es propiciada por microorganismos tales como los lactobacilos, pediococos, enterococos y estreptococos; en tanto la fermentación heteroláctica, las especies como levaduras y algunos lactobacilos son propios de este mecanismo (Pisabarro, 2009).

2.7. Bacterias ácido lácticas (BAL)

Representan un conjunto de especies inmóviles que tienen forma esférica, son cocos o bacilos Gram positivos denominadas ácido lácticas dado que su fermentación de carbohidratos produce principalmente ácido láctico; de acuerdo de ello, pueden ser clasificadas en homofermentativas o heterofermentativas; por lo que su fuente de energía principal es la fermentación de azúcares (Madigan et al., 2009; Pisabarro, 2009).

Este grupo de microorganismos son mesófilos y particularmente, pueden soportar temperatura desde 5°C hasta los 50°C, creciendo y produciendo ácido láctico,

compuesto que propicia su tolerancia en medios ácidos, es decir, en pH 4 – 4.5 y hasta proliferar a pH entre 3.2 – 9.6, lo cual les permite eliminar microorganismos competidores (Wang et al., 2015; Madigan, 2009).

Según menciona Wang et al. (2015), las bacterias lácticas presentan una inclinación por azúcares solubles, lo que genera una conducta de contención catabólica por carbono en el que se impide la adquisición de azúcares complejos frente a una cantidad relevante de otro azúcar saludable o de glucosa. De hecho RedCorn y Engelberth (2016), determinaron que las bacterias lácticas sobresalientes de una unión de residuos de alimentos con lodos primarios generados por las PTAR, alcanzaron disminuir en un 80% la acumulación de carbohidratos (glucosa y galactosa) en un período de veinticuatro horas.

III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.1. Objetivos

a. Objetivo General

Evaluar la efectividad del tratamiento de fermentación láctica en la disminución de contaminantes presentes en los lodos residuales generados en la PTAR Provisur.

b. Objetivos Específicos

- Determinar la efectividad de la fermentación láctica en la disminución de las concentraciones de coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF) presentes en los lodos generados en la PTAR Provisur del Centro Poblado de Santa María del Mar en Lima.
- Determinar la efectividad de la fermentación láctica en la disminución de las concentraciones de metales presentes en los lodos generados en la PTAR Provisur del Centro Poblado de Santa María del Mar en Lima Sur.

3.2. Hipótesis

a. Hipótesis General

Es posible que, a través del tratamiento por fermentación láctica, disminuya el nivel de contaminantes de los lodos residuales generados en la PTAR Provisur del Centro poblado Santa María del Mar de Lima Sur.

b. Hipótesis Específicas

- El tratamiento de fermentación láctica muestra efectividad en la reducción de las concentraciones de coliformes totales (CT) y

coliformes fecales (CF) presentes en los lodos generados en la PTAR Provisur del Centro Poblado de Santa María del Mar.

- El tratamiento de fermentación láctica muestra efectividad en la reducción de las concentraciones de metales presentes en los lodos generados en la PTAR Provisur del Centro Poblado de Santa María del Mar.

IV. METODOLOGÍA

4.1. Enfoque de la Investigación

La presente investigación parte de un análisis cuantitativo, ya que según explica Hernández et al. (2014), este enfoque utiliza los datos recopilados como evidencia para el problema de investigación, a partir de la medición numérica de los indicadores involucrados (mediante los ensayos y las pruebas de laboratorio establecidos por las normas para la afectación del medio ambiente y personas) y el análisis estadístico de los resultados (empleando técnicas estadísticas inferencial del tipo t – Student para muestras independientes). De esta manera, se recopiló información sobre los indicadores microbiológicos y metales, en cuanto a su concentraciones, presentes en lodos generados en el tratamiento de efluentes generados en la PTAR Provisur de Santa María del Mar; durante el tratamiento por fermentación láctica en condiciones controladas.

4.2. Diseño de la Investigación

La investigación se fundamenta en un diseño experimental de corte longitudinal y alcance explicativo. En un estudio experimental, la variable independiente es manipulada intencionalmente de manera controlada con el objeto de generar cambios en la variable dependiente a partir de los cuales se obtienen datos mediante la observación en varios períodos de estudio, que son analizados para determinar los comportamientos y causas del mismo sobre lo obtenido (Palomino et al., 2015). Por su parte, el alcance explicativo establece las causas de los fenómenos que son estudiados, considerando las condiciones en las que ocurren (Hernández et al., 2014). De esta manera, el diseño se corresponde con un experimento puro, conformado por dos (2) grupos siendo, donde uno de los grupos no está sometido

al tratamiento experimental (grupo control) y el otro si está sometido al tratamiento experimental (grupo experimental), según el diagrama siguiente:

RG₁ (lodos con tratamiento)	<i>X</i> (<i>fermentación láctica bajo condiciones controladas</i>)	0₁ (Nivel de contaminantes microbiológicos y metales)
RG₂ (lodos sin tratamiento)	<i>Condiciones controladas sin tratamiento</i>	0₂ (contaminantes)

4.3. Operacionalización de las Variables

a. Variable Independiente

Fermentación Láctica: procedimiento que se ejecuta en ausencia de oxígeno mediante el cual las bacterias ácido-lácticas y algunas especies de hongos, sintetizan hidratos de carbono generosamente degradables (tales como la fructuosa y glucosa) a piruvato, mediante la glucólisis. Este se transforma fundamentalmente en ácido láctico y otros productos secundarios metabólicos, supeditados a propósito del tipo de lacto-fermentadores que participen (Yemaneh et al., 2013).

b. Variable Dependiente

Contaminantes en lodos residuales: los contaminantes presentes en lodos residuales son de tipo biológicos (patógenos, helmintos, salmonella, coliformes); fisicoquímicas (metales como cadmio y cobre, pH, exceso de nutrientes, entre otros); siempre y cuando estos sobrepasen los límites establecidos por las normas para la afectación del medio ambiente y personas (Orozco et al., 2003; Rolim, 2000).

4.4. Población y Muestra

a. Población

La población para el presente estudio, estuvo constituida por la cantidad de lodos residuales provenientes de la PTAR Provisur, en el Centro Poblado de Santa María del Mar.

b. Muestreo

La técnica de muestreo que se empleó, corresponde al muestreo no probabilístico o dirigido por conveniencia, puesto que la elección se realizó a criterio del investigador sin recurrir a técnicas de selección aleatorias o estadísticas.

c. Muestra

Siendo la muestra un sub conjunto o parte representativa de la población, para el presente estudio estuvo constituida por 48 litros de lodos, distribuidos en 4 unidades de estudio (4 reactores domésticos) de 12 litros cada una; representando así, 2 grupos de control y 2 grupos experimentales.

4.5. Técnicas e instrumentos de Recolección de Datos

a. Técnicas de Recolección de Datos

La técnica de recolección de datos fue la observación directa, a través de la cual se observaron las características fisicoquímicas y microbiológicas de las muestras de lodos al ser sometidas a mediciones de estos parámetros, cuyos datos se registraron en los instrumentos de recolección de datos diseñados.

Ahora bien, respecto a las técnicas específicas, propias del objeto de estudio, se trata de la obtención de BAL en solución, de forma casera, a partir de arroz.

b. Instrumentos de Recolección de Datos

El instrumento para la recopilación de datos correspondió a formatos de observación, en los cuales se llevaron a cabo registros de los parámetros medibles observables de los análisis de lodos antes, durante y después del tratamiento láctico (anexos 3, 4 y 5).

4.6. Técnicas de Procesamiento de Datos

Las técnicas de procesamiento de datos corresponden a las técnicas estadísticas descriptivas mediante tablas y gráficos y, las pruebas de estadística inferencial que compararán las medias entre las variables independientes.

Para determinar la prueba de comparación de medias correcta, primeramente se verificó la distribución de datos (parámetros evaluados), aplicando la prueba de Shapiro Wilk, conocida como la prueba de normalidad, dado que el conjunto de datos que representan las muestras, fueron menores a 50. Para determinar si los datos tienen o no comportamiento normal, se aplicaron los siguientes criterios:

- Hipótesis nula (H_0): las variables continúan una distribución normal
- Hipótesis alterna (H_a): las variables no continúan una distribución normal
- Significancia 5% (0.05)
- Si el pvalor (significancia) > 0.05 se admite la H_0
- Si el pvalor (significancia) ≤ 0.05 se deniega la H_0

Una vez corroborada la distribución de los datos, se empleó la prueba paramétrica (T- Student) para aquellos parámetros que presentaron comportamiento normal y, para los datos que presentaron comportamiento no normal (no paramétrico), se aplicó su equivalente la no paramétrica (U de Mann Whitney – Wilconxon). Para la prueba T- Student el estadístico relevante de interpretación es la “significancia bilateral” para varianzas iguales; para la prueba no paramétrica, el estadístico es la

“significancia asintótica (bilateral)”. En ambos casos, su interpretación para la aceptación o rechaza de las hipótesis contempló los siguientes criterios:

- (Ho): no existen diferencias estadísticamente significativas en los niveles de contaminantes del lodo al aplicar la fermentación láctica.
- (Ha): existen diferencias estadísticamente significativas en los niveles de contaminantes del lodo al aplicar la fermentación láctica.
- Significancia 5% (0.05)
- Si el pvalor > 0.05 se admite la Ho (se deniega la hipótesis de la investigación).
- Si el pvalor ≤ 0.05 se deniega la Ho (se admite la hipótesis de la investigación).

4.7. Procedimientos

I. Etapa de campo. En esta etapa se realizó la recolección de lodos en la PTAR de Santa María del Mar, siguiendo normas de seguridad e higiene, con equipos de protección personal inocuos para no alterar la calidad del lodo; así como su adecuado transporte y conservación utilizando gel refrigerante en cooler, siguiente los siguientes pasos:

- I1. Se acudió a la planta, ingresando según previa coordinación con el jefe de la planta.
- I2. Se acudió a la zona de vertimiento de lodos, con los instrumentos y materiales para realizar la recolección de la población.
- I3. Se procedió a recolectar los lodos empleando balde immaculado, soga y jarra.
- I4. Se dispuso el lodo en los 4 recipientes que funcionaron como reactores.
- I5. Por último, se midieron los parámetros in situ del lodo.

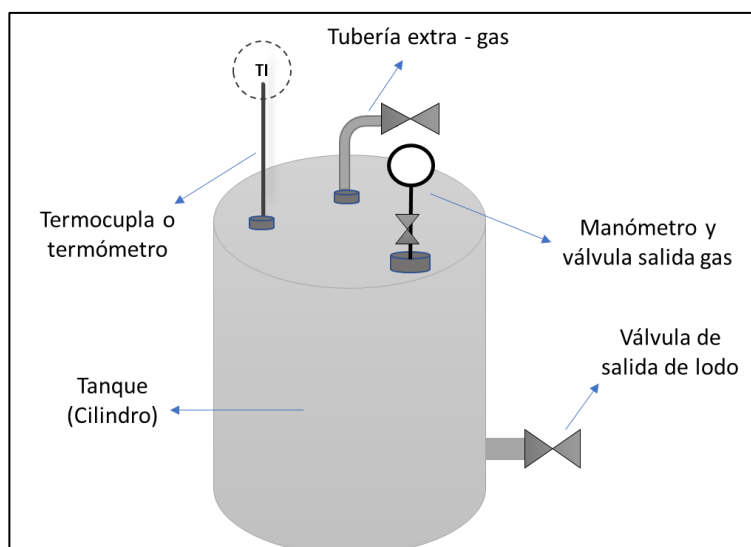
II. Etapa de Laboratorio. Esta etapa involucró diversas actividades experimentales, que se subdividieron en las siguientes fases:

II.1. Caracterización de los lodos antes de los tratamientos, donde se obtuvieron las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas.

II.2. Diseño y construcción de los reactores anaeróbicos. Según menciona Escorcía y Gámez (2022), la digestión anaerobia se lleva a cabo en el interior de un reactor en ausencia de oxígeno en donde se descompone la materia orgánica. Un estudio similar a este, realizado por De La Cruz (2019), utilizó reactores artesanales discontinuos a partir de contenedores cilíndricos de 20 L de capacidad. Con base en ello, en el presente estudio se construyeron 4 reactores doméstico discontinuos empleando recipientes cilíndricos de plástico de 20 litros de capacidad, los cuales fueron provistos con tapas para hermetizar, elementos para medición de temperatura (termocuplas), medición de presión (manómetro), válvulas de gas (tope), válvulas de salida de lodo (fondo) y los accesorios necesarios para su operación, como se muestra en la figura 2.

Figura 2

Diagrama del Reactor Anaeróbico



Nota. Desarrollo propio.

II.3. Producción y activación de bacterias lácticas, lactobacilos (BAL):

- Lavar el arroz con agua decolorada o destilada hasta lograr una solución blanca.
- Filtrar el líquido llenando hasta 1/3 de un frasco, luego cubrir con papel toalla para la respiración/ventilación y cerrar con una cinta o una liga, dejar fermentar de 3 a 7 días según la temperatura ideal entre 20° a 25°.
- Cuando la mezcla tenga un olor ligeramente dulce estará lista para filtrar y agregar la leche.
- Agregar a razón 1:10 y esperar alrededor de 48 horas, se notará la forma de 3 capas siendo la materia flotante, la solución líquida y residuos de leche, se remueve la materia flotante y filtrar, de esa manera se obtendrá la solución de BAL lista para la aplicación de fermentación.
- A partir de esto, se determina el volumen de bacterias activadas que se añadirá para el tratamiento, este corresponderá al 15% de lactobacillus; de esta manera, se tiene el esquema de proporciones de la tabla 3.

Tabla 3

Esquema de dosificación de Lactobacilos activadas

Componentes	Proporción	Cantidad
Lodos totales/muestra	100%	12 L
Melaza	5%	0.09 L
Lactobacilos (EM)	5%	0.09 L
Agua	90%	1.62 L
Lactobacilos activadas (MEA)	100% (15%/100% lodos)	1.8 L
Reactores con tratamiento	-	2
Total de lactobacilos	-	3.6 L

Nota. Desarrollo propio.

II.4. Preparación para el tratamiento de lodos y medición de parámetros. Agregar 12 litros de lodos en los 4 reactores, en dos de ellos no se agregan bacterias, estos

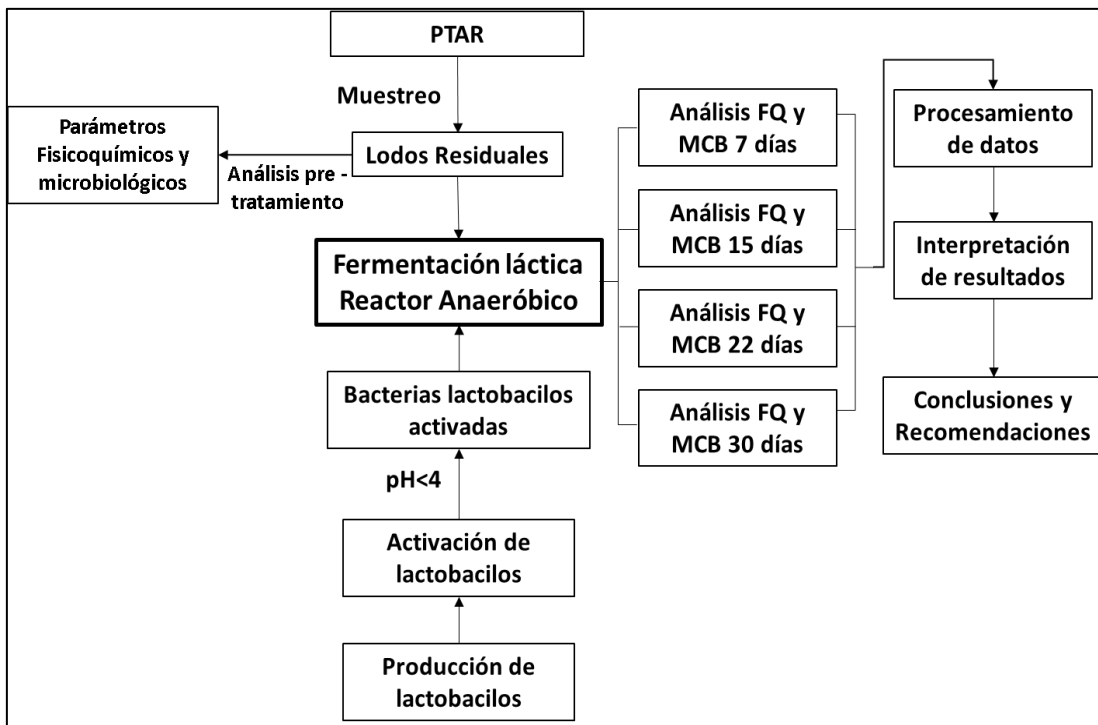
serían los grupos de control 1 y 2; en los otros 2, se añaden las bacterias activadas, 1.8 L en cada reactor, estos serían los grupos experimentales 1 y 2. Durante el proceso, se asegura la hermeticidad del sistema. Se recolectan muestras de lodos cada 7 días, 15 días, 22 días y 30 días, para los análisis microbiológicos y metales, las cuales se codificaron apropiadamente según los grupos de control y experimental.

III. Etapa de Gabinete

En esta etapa, se procesaron los datos obtenidos durante los tratamientos, los cuales se analizaron estadísticamente y los resultados se presentan en cuadros y gráficos; lo cual permite su interpretación y análisis. Posteriormente, se establecieron las conclusiones y recomendaciones del estudio. El procedimiento experimental se resume en el siguiente diagrama (figura 3).

Figura 3

Procedimiento experimental



Nota. Desarrollo propio.

V. RESULTADOS

5.1. Nivel de contaminantes microbiológicos y metales del lodo sin tratamiento biológico

En la tabla 4, se resume los contaminantes biológicos: coliformes fecales, coliformes totales, analizados en una frecuencia semanal durante 4 semanas consecutivas para el grupo de control, constituido por el lodo sin estabilización biológica por fermentación láctica, los cuales se pueden comparar con los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por el DS N°015-2017-VIVIENDA. De esta manera, se observa que para todos los parámetros biológicos, los valores superan los LMP para biosólidos del tipo A y B.

Tabla 4

Nivel de contaminantes microbiológicos del lodo sin tratamiento biológico (GC)

Período	Coliformes fecales (NMP/g)	Coliformes totales (NMP/g)
Semana 1	390000	14000000
	380000	13000000
Semana 2	350000	13500000
	340000	12500000
Semana 3	310000	13000000
	300000	12000000
Semana 4	280000	12000000
	270000	11000000
LMP (DS N°015-2017-VIVIENDA)	<1000	<1000

Por otro lado, en la tabla 5, se resumen las concentraciones de contaminantes fisicoquímicos analizados en el lodo sin tratamiento, es decir, en el grupo de control. Donde se tienen mayormente, metales pesados. Estos valores fueron medidos con la misma frecuencia semanal durante 4 semanas consecutivas. Se puede observar que,

las concentraciones de los metales durante el período son muy bajas y, se encuentran dentro de los LMP de la norma. Además, se encontró la presencia metales que no se tiene normalizados como el hierro y la plata, que de igual manera presentaron concentraciones muy bajas.

Tabla 5

Nivel de contaminantes fisicoquímicos (metales) del lodo sin tratamiento biológico (GC)

Período	As (mg/Kg ST)	Cd (mg/Kg ST)	Cu (mg/Kg ST)	Cr (mg/Kg ST)	Fe (mg/Kg ST)	Ag (mg/Kg ST)	Pb (mg/Kg ST)	Zn (mg/Kg ST)
Semana 1	0.008	0.0004	0.1501	0.0008	4.94	0.007	0.006	0.9349
	0.008	0.0004	0.1500	0.0008	4.938	0.007	0.006	0.9256
Semana 2	0.008	0.0004	0.1499	0.0008	4.939	0.007	0.006	0.9347
	0.008	0.0004	0.1497	0.0008	4.938	0.007	0.006	0.9254
Semana 3	0.008	0.0004	0.1495	0.0008	4.936	0.007	0.006	0.9346
	0.008	0.0004	0.1496	0.0008	4.94	0.007	0.006	0.9253
Semana 4	0.008	0.0004	0.1493	0.0008	4.935	0.007	0.006	0.9344
	0.008	0.0004	0.1494	0.0008	4.936	0.007	0.006	0.9251
LMP (DS N°015- 2017- VIVIEND A)	40	40	1500	1200	No está normali zado	No está normal izado	400	2400

5.2. Nivel de contaminantes microbiológicos y metales de lodos después del tratamiento biológico

En la tabla 6, se resumen los resultados de las concentraciones de contaminantes microbiológicos medidos durante el período de estudio para el grupo experimental, el cual estuvo sometido a estabilización biológica por fermentación láctica. Se puede observar una variación notable en las coliformes fecales y las coliformes totales, llegando a cumplir con lo estipulados en la norma para biosólidos clase A y B, con fines de disposición en diferentes tipos de suelos. Por su parte, los huevos de

helmintos y larvas no experimentaron cambios, encontrándose exactamente en el LMP.

Tabla 6

Nivel de contaminantes microbiológicos del lodo con tratamiento biológico (GE)

Período	Coliformes fecales (NMP/g ST)	Coliformes totales (NMP/g ST)
Semana 1	2400	5400
	2300	5200
Semana 2	1700	2300
	1600	2200
Semana 3	910	1400
	890	1250
Semana 4	23	540
	20	500
LMP (DS N°015-2017-VIVIENDA)	<1000	<1000

Similarmente, se muestran los contaminantes fisicoquímicos en la tabla 7, donde se puede observar que los metales que disminuyeron su concentración fueron el cobre, el hierro y el zinc, presentando variaciones proporcionales. Esto sugiere, que la fermentación láctica prevee mejor efecto en los contaminantes microbiológicos que en los fisicoquímicos.

Tabla 7

Nivel de contaminación fisicoquímicos (metales) del lodo con tratamiento biológico (GE)

Período	As (mg/K g ST)	Cd (mg/K g ST)	Cu (mg/Kg ST)	Cr (mg/Kg ST)	Fe (mg/Kg ST)	Ag (mg/K g ST)	Pb (mg/K g ST)	Zn (mg/Kg ST)
Semana 1	0.008	0.0004	0.1318	0.0008	3.671	0.007	0.006	0.7244
	0.008	0.0004	0.122	0.0008	3.668	0.007	0.006	0.7135
Semana 2	0.008	0.0004	0.0862	0.0008	3.054	0.007	0.006	0.6135
	0.008	0.0004	0.0848	0.0008	2.98	0.007	0.006	0.6054
Semana 3	0.008	0.0004	0.064	0.0008	2.571	0.007	0.006	0.5854

Período	As (mg/Kg ST)	Cd (mg/Kg ST)	Cu (mg/Kg ST)	Cr (mg/Kg ST)	Fe (mg/Kg ST)	Ag (mg/Kg ST)	Pb (mg/Kg ST)	Zn (mg/Kg ST)
	0.008	0.0004	0.0616	0.0008	2.492	0.007	0.006	0.5692
Semana 4	0.008	0.0004	0.038	0.0008	2.191	0.007	0.006	0.4476
	0.008	0.0004	0.0349	0.0008	2.085	0.007	0.006	0.4338
LMP (DS N°015-2017-VIVIENDA)	40	40	1500	1200	No está normalizado	No está normalizado	400	2400

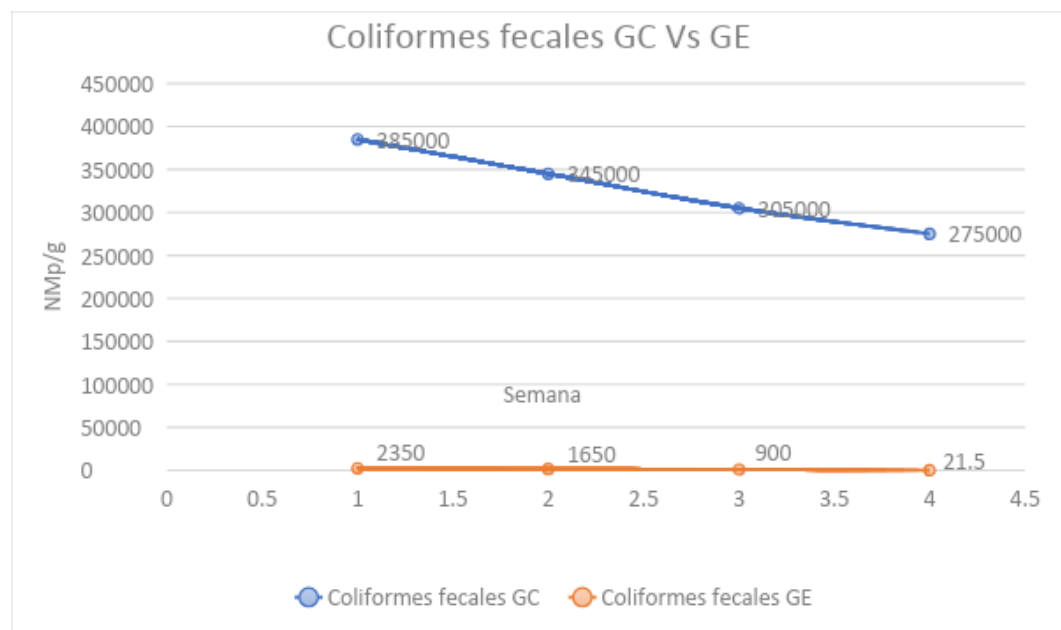
5.3. Efectividad del tratamiento de fermentación láctica en la disminución del nivel de contaminantes del lodo

a. Efectividad en disminución de contaminantes microbiológicos

En la figura 4, se puede observar las variaciones de los coliformes fecales del grupo de control (azul) en contraste con las variaciones del grupo experimental (naranja), evidenciándose gráficamente la gran disminución de estos, hasta llegar a un valor de 21.5 NMP/g.

Figura 4

Comparación de Coliformes fecales del GC vs GE

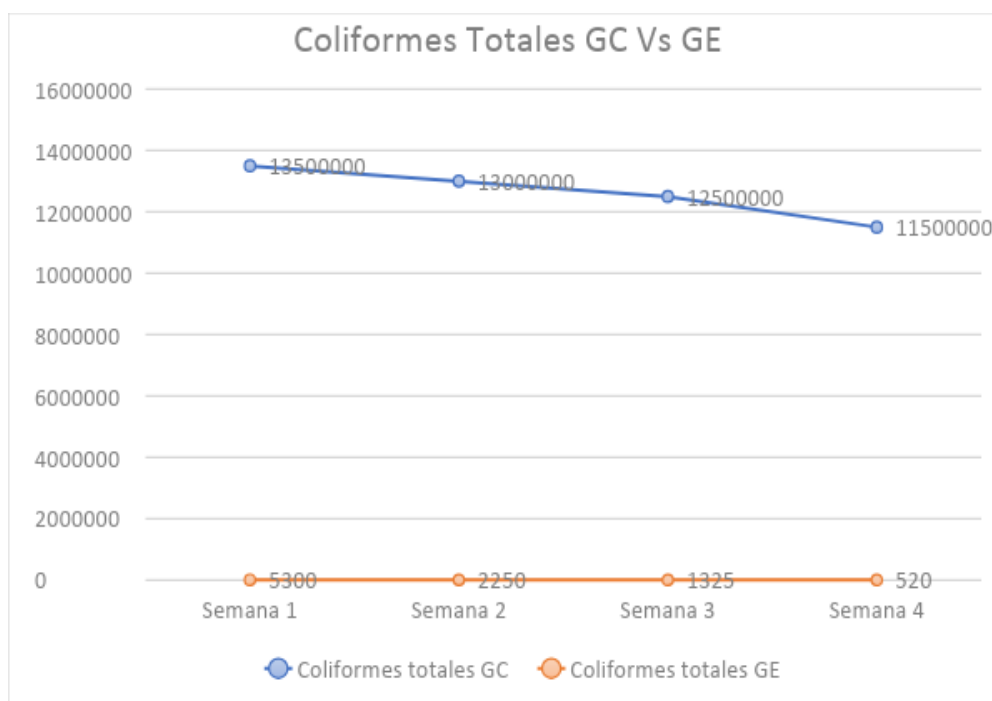


De forma similar, se muestra el comportamiento de los coliformes totales en la figura 5, pasando de un valor final en el GC de 11500000 a un valor final del

GE520 NMP/g. Esto es muy importante, ya que evidencia que la estabilización por fermentación láctica es efectiva en disminución o eliminación de contaminantes biológicos, tanto para coliformes fecales como para los coliformes totales.

Figura 5

Comparación de Coliformes totales del GC vs GE



De esta manera, se puede resumir la remoción de los contaminantes microbiológicos, tal como se evidencia en la tabla 8, representando con respecto a los coliformes fecales, hasta un 99.99% y en las coliformes totales, el 100% en términos de magnitud de valores iniciales y finales.

Tabla 8

Remoción de contaminantes microbiológicos

Período	Coliformes fecales GC	Coliformes fecales GE	% Remoción	Coliformes totales GC	Coliformes totales GE	% Remoción
Semana 1	385000	2350	99.39%	13500000	5300	100%
Semana 2	345000	1650	99.52%	13000000	2250	100%
Semana 3	305000	900	99.70%	12500000	1325	100%
Semana 4	275000	21.5	99.99%	11500000	520	100%

b. Efectividad en disminución de metales

En cuanto a los metales, solo se compararon aquellos que tuvieron variaciones en sus concentraciones, siendo el Cu, Fe y Zn, como se puede ver en las figuras 6, 7 y 8. Las curvas azules corresponden al grupo de control (sin tratamiento) y las de color naranja al grupo experimental (con tratamiento láctico).

Figura 6

Comparación de cobre (Cu) del GC vs GE

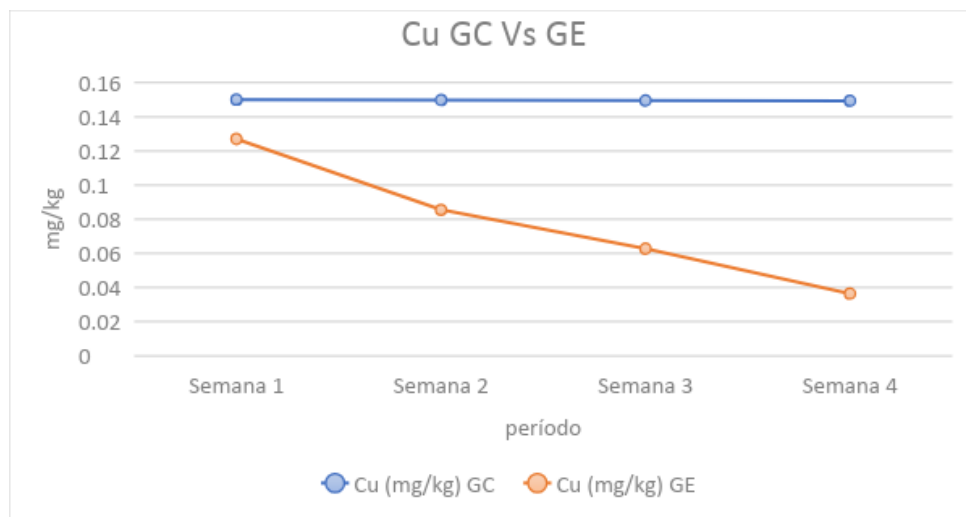


Figura 7

Comparación de hierro (Fe) del GC vs GE

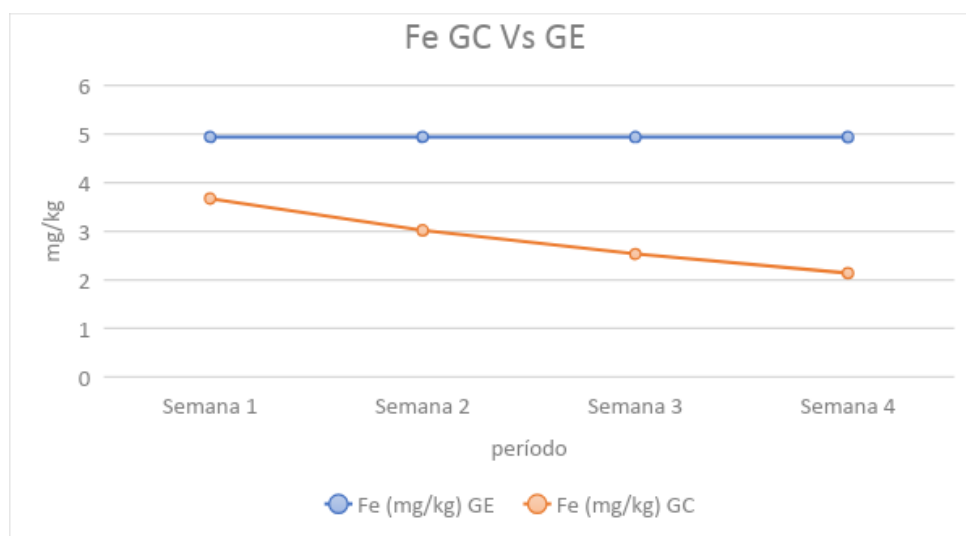
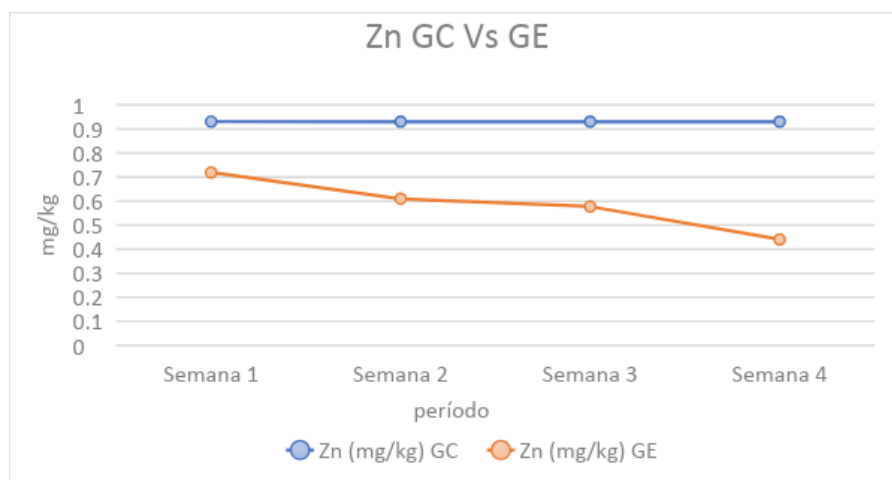


Figura 8

Comparación de zinc (Zn) del GC vs GE



Igualmente, las variaciones de estos contaminantes metálicos, se pueden resumir en términos de remoción (%), tal como se evidencia en la tabla 9, donde se puede visualizar que el Cu alcanzó una remoción de 75.59% en la semana 4 del estudio, el Fe hasta 56.68% y el Zn hasta 52.60% todos respecto a los valores del grupo de control de su tipo.

Tabla 9

Remoción de contaminantes por metales

Período	Cu (mg/kg St)			Fe (mg/kg St)			Zn (mg/kg St)		
	GC	GE	%Rem	GC	GE	%Rem	GC	GE	%Rem
Semana 1	0.1501	0.1269	15.43%	4.939	3.670	25.70%	0.93025	0.7190	22.71%
Semana 2	0.1498	0.0855	42.92%	4.939	3.017	38.91%	0.93005	0.6095	34.47%
Semana 3	0.1496	0.0628	58.01%	4.938	2.532	48.73%	0.92995	0.5773	37.92%
Semana 4	0.1494	0.0365	75.59%	4.936	2.138	56.68%	0.92975	0.4407	52.60%

c. Contraste de Hipótesis

A partir de los resultados descriptivos mostrados para los contaminantes microbiológicos y metales, obtenidos en el análisis de lodos del grupo de control y experimental, se procede a realizar el contraste de las hipótesis de la investigación, siendo aplicado el análisis inferencial.

Cabe destacar, para el caso de los metales, solo se contrastaron el Cu, Fe y Zn, en tanto que, para los microbiológicos, se contrastaron las coliformes fecales y la coliformes totales, ya que fueron los parámetros que presentaron variaciones en sus concentraciones.

Inicialmente, se verificó la normalidad de los datos, empleando la prueba de Shapiro Wilk, dado que fueron conjuntos de datos menores a 50, tomando en cuenta las siguientes hipótesis y criterios de aceptación y rechazo:

(H₀): los datos presentan un comportamiento normal.

(H_a): los datos no presentan un comportamiento normal.

Significancia= 5% (0.05)

Si el p-valor (significancia) es ≤ 0.05 , se deniega la hipótesis nula, lo que manifiesta que los datos no presentan un comportamiento normal.

Los resultados de la prueba de normalidad, se resumen en la tabla 10.

Tabla 10

Prueba de normalidad de los datos

Grupo		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Coliformes Fecales	Control	0.943	8	0.640
	Tratamiento experimental	0.912	8	0.367
Coliformes totales	Control	0.975	8	0.933
	Tratamiento experimental	0.830	8	0.059
Cu	Control	0.954	8	0.753
	Tratamiento experimental	0.927	8	0.493

Fe	Control	0.910	8	0.351
	Tratamiento experimental	0.913	8	0.374
Zn	Control	0.700	8	0.002
	Tratamiento experimental	0.913	8	0.376

De acuerdo a los valores de significancia (p-valor), se puede observar que todas las variables de los dos grupos, GC y GE, presentan un comportamiento normal a excepción del Zn. De esta manera, se aplicaron las pruebas de la siguiente manera:

- Prueba paramétrica (T- Student): coliformes fecales, coliformes totales, Cu, y Fe.
- Prueba no paramétrica (U de Mann Whitney – Wilconxon): Zn.

Tabla 11

Prueba paramétrica (T-student) para coliformes fecales GC vs GE

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior	
Coliformes Fecales	Se asumen varianzas iguales	27.969	0.000	20.668	14	0.000	326,269.62500	15,786.52825	292,410.88937	360,128.36063
	No se asumen varianzas iguales			20.668	7.006	0.000	326,269.62500	15,786.52825	288,946.93181	363,592.31819

Tabla 12

Prueba paramétrica (T-student) para coliformes totales GC vs GE

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior	
Coliformes totales	Se asumen varianzas iguales	16.734	0.001	37.411	14	0.000	12,622,651.25000	337,401.47401	11,898,997.06007	13,346,305.43993
	No se asumen varianzas iguales			37.411	7.000	0.000	12,622,651.25000	337,401.47401	11,824,824.87452	13,420,477.62548

- Comprobación hipótesis específica 1: esta hipótesis planteó que, el tratamiento por fermentación láctica es efectivo en el aminoramiento de las concentraciones de CF y CT presentes en los lodos generados en la PTAR.

En las tablas 11 y 12, se muestran los resultados de t-student para los coliformes fecales y totales, donde el valor de la significancia (p-valor) resultó <0.05 en ambos casos, lo cual indica que existe distinciones significativas en las concentraciones de estos parámetros entre el GC y el GE, esto quiere decir que, el tratamiento de lodos biológicos por fermentación láctica fue efectivo en la disminución de contaminantes biológicos.

Tabla 13

Prueba paramétrica (T-student) para Cu GC vs GE

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Cu	Se asumen varianzas iguales	17.874	0.001	5.704	14	0.000	0.0717750	0.0125833	0.0447865	0.0987635
	No se asumen varianzas iguales			5.704	7.001	0.001	0.0717750	0.0125833	0.0420210	0.1015290

Tabla 14

Prueba paramétrica (T-student) para Fe GC vs GE

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Fe	Se asumen varianzas iguales	23.900	0.000	9.691	14	0.000	2.0987500	0.2165579	1.6342796	2.5632204
	No se asumen varianzas iguales			9.691	7.000	0.000	2.0987500	0.2165579	1.5866740	2.6108260

Tabla 15

Prueba no paramétrica (U de Mann Whitney – Wilconxon) para Zn GC vs

GE

Estadísticos de prueba	
	Zn
U de Mann-Whitney	0.000
W de Wilcoxon	36.000
Z	-3.361
Sig. asintótica(bilateral)	0.001
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,000 ^b

Nota: a. Variable de agrupación: Grupo; b. No corregido para empates.

- Comprobación hipótesis específica 2: esta hipótesis planteó que, el tratamiento por fermentación láctica es efectivo en la disminución de las concentraciones de metales presentes en los lodos generados en la PTAR.

En las tablas 13 y 14, se exponen los resultados de t-student para el Cu y Fe, donde el valor de la significancia (p-valor) resultó <0.05 en ambos casos, lo cual indica que existe distinciones significativas en las concentraciones de estos parámetros entre el GC y el GE, esto quiere decir que, el tratamiento de lodos biológicos por fermentación láctica fue efectivo en la disminución de metales.

Se muestran en la tabla 15 los resultados de la prueba no paramétrica (U de Mann Whitney – Wilconxon) para corroborar las diferencias significativas del Zn, donde el valor de la significancia (p-valor) resultó < 0.05 , lo cual indica que existe distinciones significativas en las concentraciones de Zn entre el GC y el GE, esto quiere decir que, el tratamiento de lodos biológicos por fermentación láctica fue efectivo en la disminución de metales.

- Comprobación de la hipótesis general: el presente estudio, planteó que es posible a través del tratamiento por fermentación láctica, disminuir el nivel de contaminantes presentes en los lodos residuales provenientes de la PTAR Provisur del Centro poblado Santa María del Mar de Lima Sur; que de acuerdo a los resultados obtenidos, esta hipótesis es aceptada, dado las diferencias significativas en las concentraciones de contaminantes biológicos y algunos metales.

VI. DISCUSIÓN

El presente estudio evaluó el nivel de contaminantes presentes en los lodos residuales provenientes de la PTAR Provisur aplicando el tratamiento de fermentación láctica. Para lo cual se diseñaron reactores anaeróbicos en serie de 20 L de capacidad, 2 para el grupo control y 2 para el grupo experimental, es decir, el que se sometió a la fermentación con bacterias lactobacilos, en condiciones controladas, de los cuales se tomaron muestras cada 7 días durante 4 semanas, analizadas en laboratorio. A partir de ello, se encontró que los lodos residuales en cuestión, poseían altas concentraciones de contaminantes, principalmente, biológicos siendo las coliformes fecales y las coliformes totales las predominantes, en promedio, 32×10^4 NMP/g y 10×10^6 NMP/g respectivamente.

Luego de ser estabilizados por medio de fermentación láctica, las concentraciones de estos parámetros microbiológico fueron experimentando disminución significativa cada semana de monitoreo, para la semana 1 la remoción de coliformes fecales fue de 99.39%, para la semana 4 ya se habían removido 99.99%, en tanto que para las coliformes totales, desde la semana 1, la cantidad removida respecto al inicial (10×10^6) representó el 100%. En cuanto a los parámetros fisicoquímicos, particularmente metales, se encontró presencia en muy bajas concentraciones, donde predominaba cobre, fe y zinc. A pesar de ello, estos 3 metales experimentaron disminución de su concentración durante las 4 semanas de tratamiento. Además, las variaciones fueron significativas estadísticamente a un nivel de confianza de 95%.

Estos resultados evidencian que la estabilización anaeróbica de tipo biológica con microorganismos eficientes como las bacterias lactobacilos, es efectiva en la remoción de contaminantes microbiológicos. Como señala Amador et al. (2015), este proceso permite la degradación controlada de los compuestos orgánicos que contienen los lodos, la

eliminación de olores, la reducción del volumen y la inactivación de organismos patógenos, lo cual hace posible que este subproducto pueda disponerse en suelos.

Los resultados alcanzados en la presente investigación, pueden corroborarse apoyándose en la investigación de Camargo (2019), quien indica que el uso de bacterias lactobacilos, es un tratamiento de estabilización de lodos para la eliminación de patógenos presentes en estos que se logra por la fermentación láctica de la glucosa y diferentes glúcidos generados mediante estas bacterias, lo que provoca una disminución del pH en un rango de 4 a 5, que propicia la eliminación de microorganismos que no sobrevivan en este medio, como son las coliformes termotolerantes o fecales. Es por ello, que en su investigación evaluó la eficiencia de estas bacterias en la degradación de coliformes presentes en el reactor tipo UASB, donde se logró reducir el 99% de estos microorganismos contaminantes.

De la misma manera, los resultados obtenidos son coherentes con los determinados por Un estudio realizado por De La Cruz y Ventocilla (2019), determinó considerables concentraciones de coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF), también concentraciones de metales como cadmio (Cd) con 10.39 mg/kg y cobre (Cu) con 1,312.95 mg/kg, en lodos resultantes de una (PTAP) sin ser estabilizados; resultando estas concentraciones mayores a los límites máximos en lodos para uso de suelos forestales según la Normativa Internacional Chilena.

Sin embargo, les fue posible disminuir gran parte de los contaminantes biológicos a través de la estabilización por fermentación láctica a base de bacterias lactobacilos.

VII. CONCLUSIÓN

- En cuanto al objetivo general, se logró evaluar la efectividad del tratamiento de fermentación láctica en la aminoración de contaminantes presentes en los lodos residuales provenientes de la PTAR; donde se obtuvo diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones de contaminantes microbiológicos y metales entre el GC y GE a una confiabilidad del 95%. Demostrándose que la aplicación de la fermentación con bacterias lácticas es eficiente en la aminoración de contaminantes, principalmente biológicos como las CF y las CT.
- Respecto al primer objetivo específico, se logró remover en un 99.99% las coliformes fecales y en un 100% las coliformes totales en la última semana (4) del monitoreo. Por su parte los huevos y larvas no se encontraron presentes en ninguno de los grupos de estudio. El análisis inferencial mostró a un nivel de significancia del 95%, que las diferencias de los valores de estos parámetros microbiológicos, entre el GC (sin tratamiento) y el GE (con tratamiento), fueron estadísticamente significativas (p-valor <0.05), mostrando la efectividad del tratamiento de fermentación láctica en la reducción de estos.
- En cuanto al segundo objetivo específico, se observó que el Cu, Fe y Zn disminuyeron sus concentraciones, presentando hasta 75.59%, 130.85% y 110.97% de remoción en la semana 4 del estudio. El análisis inferencial mostró a un nivel de significancia del 95%, que las diferencias de los valores de estos metales entre el GC (sin tratamiento) y el GE (con tratamiento), fueron estadísticamente significativas (p-valor <0.05), mostrando la efectividad del tratamiento de fermentación láctica en la disminución de estos metales.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda el tratamiento de fermentación láctica para reducir contaminantes biológicos presente en lodos residuales.
- Se recomienda profundizar la investigación aplicando concentraciones diferentes de las bacterias lactobacillus para evaluar la disminución de otros patógenos microbiológicos como los huevos de helmintos, larvas y salmonella.
- Se recomienda dar aprovechamiento de lodos estabilizados por fermentación láctica, para enriquecer suelos tomando en cuenta los parámetros de biosólidos fijados por la normativa vigente, el DS-015-2017- VIVIENDA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alasino, N. P. X. (2009). *Síntesis y diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales* [Tesis de Postgrado]. <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar/handle/11185/119>
- Amador, A., Veliz, E., & Bataller, M. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. *CENIC Ciencias Químicas*, 1-10.
- Aragón, J. (2015). Tesis de Maestría. *Evaluación de fuentes alternativas de nitrógeno en fermentación láctica*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Arias, L. M. M., y Restrepo, M. del P. T. (2018). Valoración de lodos de plata de tratamiento de aguas residuales (PTAR) como materia prima para la extracción de lípidos en la obtención de biodiesel. *Revista ION*, 31(1), Article 1. <https://doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018012>
- Brito Medina, N. K., y Moreno Baque, M. J. (2023). *Estabilización de lodos residuales en el camal Municipal de la Zona 1 provincia de Imbabura a través de un tratamiento biológico para su aprovechamiento como fertilizante orgánico* [bachelorThesis]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13610>
- Camargo Zamora, C. E. (2019). *Evaluación De La Eficiencia Del Tratamiento Con Bacterias Ácido Lácticas Para La Remoción De Coliformes Termotolerantes De Lodos Residuales Del Citrar* [Trabajo de suficiencia, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur]. <https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/774>
- Chen, H., & Wang, I. (2016). *Technologies for Biochemical Conversion of Biomass*. Londres: Academic Press.
- Coyla Ccari, 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, Universidad Nacional de Juliaca].
<http://repositorio.unaj.pe:8080/xmlui/handle/UNAJ/223>
- Cuevas, B., Salgado, A., Luna, F., & Díaz, A. (2016). Deshidratación y estabilización de lodos en biodigestor solar. *Revista del Desarrollo Urbano y Sustentable*.
- Cupe, B., & Juscamaíta, J. (2018). Tratamiento de lodos residuales de una industria cervecera a través de fermentación homoláctica para la producción acelerada de abono orgánico. *Ecología Aplicada*.
- De La Cruz, K., & Ventocilla, E. (2019). *Aplicación de Bacterias Lactobacillus para la Estabilización anaeróbica de lodos activados en una planta potabilizadora de Agua, El Agustino*. Lima, Perú.
- Delgado Vaca, K. N., y Riofrio Cordero, H. A. (2020). *Propuesta de tratamiento para los Lodos generados en la PTAR Tereré de la Ciudad Tena mediante la caracterización físico químico y microbiológica de los mismos*. [bachelorThesis, Universidad Estatal Amazónica].
<https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/820>
- El Peruano. (2017). *Decreto Supremo que aprueba el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales* (Decreto Supremo 015-2017-VIVIENDA).
<https://www.redalyc.org/pdf/1932/193215825013.pdf>
- Escorcía, R. S., y Gámez, J. K. C. (2022). Alternativas para la estabilización de lodos generados en estaciones depuradoras de aguas residuales desde un enfoque sistémico: Una revisión. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), Article 1. <https://doi.org/10.22490/21456453.4504>
- Faife, E., Roget Guevara, D., Fandiño-Rodríguez, C., Pérez-Bermúdez, I., Hoz-Izquierdo, Y., Tortoló-Cabañas, K., y Michelena, G. (2020). *Empleo de microorganismos*

eficientes como alternativa para el tratamiento de residuales. Revisión bibliográfica. 52, 30-40.

Fernández, A. (2017). *Aguas residuales en el Perú, problemática y uso en la agricultura*. Lima.

Fernández, R. (2021). Proyecto PROVISUR: una solución pionera en el sur de Lima. *Igua Magazine*.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). D.F.: McGraw-HillInteramericana.

ISM. (6 de abril de 2015). *Instituto superior del medioambiente*. Obtenido de <https://www.ismedioambiente.com/el-potencial-fertilizante-y-economico-de-los-lodos-de-depuradora-para-los-cultivos-agricolas/>

Limón, J. (2013). Notas técnicas. *Los Lodos de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, ¿Problema o Recurso?* Guadalajara.

Madigan, M., Martinko, J., Dunlap, P., & Clark, D. (2009). *Brock. Biología de los microorganismos*. Madrid: Pearson Education.

Méndez, J. (2016). Proyecto “Adaptación de la Gestión de Recursos Hídricos en Zonas Urbanas al Cambio Climático con la Participación del Sector Privado - PROACC. *Tecnologías para el Reúso de Aguas Residuales*. Perú.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (22 de Junio de 2017). Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA. *Decreto Supremo que aprueba el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Perú: El Peruano. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-015-2017-VIVIENDA.pdf>

- Morales, G., Sandoval, L., Ramirez, E., Hernández, N., & Sotelo, A. (2017). *Energía Limpia del Agua Sucia: Aprovechamiento de Lodos Residuales*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Nolasco, D. (2010). Nota Técnica N° 16. *Desarrollo de proyectos MDL en plantas de tratamiento de aguas residuales*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Noyola, A., Morgan, J., & Guereca, L. (2016). Guía de Apoyo para Ciudades Pequeñas y Medianas. *Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Oficina de Información Científica y Tecnológica para el Congreso de la Unión. (2019). Nota Técnica INCyTU N°208. *Tratamiento de Aguas Residuales*. México.
- Organización de las Naciones Unidas. (2017). Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas 2017. *Las Aguas Residuales. El Recurso Desaprovechado*.
- Orozco, C., Pérez, A., González, N., Rodríguez, F., & Alfayate, J. (2003). *Contaminación Ambiental*. Madrid, España: Paraninfo.
- Palomino, J., Peña, J., Zevallos, G., & Orizano, L. (2015). *Metodología de la investigación*. Lima: San Marcos.
- Pisabarro, A. (2009). Curso de microbiología general. *Bacterias gram-positivas fermentadoras: bacterias del ácido láctico*. Navarra, España. Obtenido de http://www.unavarra.es/genmic/curso_microbiologia_general/20-bacterias_lacticas.htm
- RedCorn, R., & Engelberth, A. (2016). Identifying conditions to optimize lactic acid production from food waste co-digested with primary sludge. *Biochemical Engineering Journal*, 205-213.

- Rodríguez, D., Serrano, H., Delgado, A., & Nolasco, D. (2020). Informe Técnico. *De Residuo a Recurso: Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe*. Washington DC: Banco Mundial.
- Rolim, S. (2000). *Sistemas de laguna de estabilización*. Colombia: McGraw Hill.
- Ruíz, A., & Quevedo, L. (2017). Trabajo de Investigación Tecnológica. *Análisis de los Lodos Provenientes del Proceso de Tratamiento de Aguas Residuales del Municipio de Guatavita*. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- Segura, F. (2018). *Saneamiento y disposición de biosólidos provenientes de lodos sépticos residuales*. Cartago, Costa Rica: Tecnológica de Costa Rica.
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2016). Informe Técnico. *Diagnóstico de las Plntas de Tratamiento de Aguas Residuales en el Ámbito de operación de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento*. Lima.
- Teoh, S. K., & Li, L. (2019). Feasibility of alternative sewage sludge treatment methods from a lifecycle assessment (LCA) perspective. *Journal of Cleaner Production*.
- Toasa Cordero, M. I. (2018). *Estabilización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante digestión anaerobia* [bachelorThesis, Quito: Universidad de las Américas, 2018]. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/9840>
- Wang, Y., Tashiro, Y., & Sonomoto, K. (2015). Fermentative production of lactic acid from renewable materials: Recent achievements, prospects, and limits. *Journal of Bioscience and Bioengineering* .
- Yemaneh, A., Bulbo, M., Schmale, C., & Otterpohl, R. (2013). Investigation of Low-Cost Sugar Supplement for Lactic Acid Fermentation in Terra Preta Sanitation System. *Terra Preta Sanitation Woring Paper*.

ABREVIATURAS

PTAR: Planta de tratamiento de aguas residuales

GE: grupo experimental

GC: grupo de control

BAL: bacterias lactobacillus

LMP: límite máximo permisible

ST: solido total

Cu: cobre

Cd: cadmio

As: arsénico

Fe: hierro

Zn: zinc

Cr: cromo

Ag: plata

Pb: plomo

Se: selenio

ATP: adenosín trifosfato

ADP: adenosín difosfato

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de operacionalización de las variables


Variable	Definición	Dimensión	Indicador	Escala	
VI: Fermentación láctica	Proceso anaeróbico en el cual las bacterias ácido-lácticas y algunos hongos, metabolizan hidratos de carbono fácilmente degradables (como la glucosa y la fructosa) a piruvato, a través de glucólisis. Este se convierte principalmente, en ácido láctico y algunos otros subproductos metabólicos, dependiendo del tipo de lacto-fermentadores que participen (Yemaneh et al., 2013).	Parámetros del tratamiento	Concentración de bacterias Lactobacillus (% V/V)	A Razón	
			pH de la solución activada	A Razón	
			Tiempo de Tratamiento (días)	A Razón	
			Temperatura (°C)	A Razón	
VD: Contaminantes en lodo residual	Contaminantes biológicos, fisicoquímicos exceso de nutrientes, entre otros); siempre y cuando estos sobrepasen los límites establecidos por las normas para la afectación del medio ambiente y personas (Orozco et al., 2003; Rolim, 2000).	Fisicoquímicos	Cadmio (Cd mg/kg)	A Razón	
			Cobre (Cu mg/Kg)	A Razón	
			Plomo (Pb mg/Kg)	A Razón	
			Hierro (Fe mg/Kg)	A Razón	
			Zinc (Zn mg/Kg)	A Razón	
			Plata (Ag mg/Kg)	A Razón	
			Arsénico (As mg/Kg)	A Razón	
			Selenio (Se mg/Kg)	A Razón	
			Microbiológicos	Coliformes Totales (NMO/g)	A Razón
				Coliformes fecales (NMO/g)	A Razón
Larvas y Huevos de Helmintos N°/4g					

Anexo 2. Matriz de consistencia


Problema	Objetivos	Hipótesis	Operacionalización			Metodología	
General	General	General	Variable	Dimensión	Indicador	Tipo de investigación	Técnicas e Instrumentos
¿De qué manera el tratamiento de fermentación láctica reduce el nivel de contaminantes de lodos residuales provenientes de la PTAR Provisur del distrito Santa María del Mar – Lima	Evaluar el nivel de contaminantes presentes en los lodos residuales provenientes de la PTAR Provisur aplicando el tratamiento de fermentación láctica.	Es posible que, a través del tratamiento por fermentación láctica, disminuya el nivel de contaminantes presentes en los lodos residuales provenientes de la PTAR Provisur del Centro poblado Santa María del Mar de Lima Sur.	Independiente: Fermentación láctica	Parámetros del tratamiento	Concentración de BAL	Tipo: Aplicada	Técnicas: Observación directa
Específicos	Específicos	Específicas			pH de la solución activada		
¿Cuál es el nivel de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos en los lodos generados por la PTAR Provisur del Centro Poblado de Santa María del Mar, antes de ser sometidos a tratamiento?	Analizar el nivel de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos de los lodos generados en la PTAR Provisur del Centro Poblado de Santa María del Mar en Lima Sur antes de ser sometidos a tratamiento.	El nivel de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos es alto en los lodos generados por la PTAR Provisur del Centro Poblado de Santa María del Mar, antes de ser sometidos a tratamiento.			Tiempo de fermentación (días)	Diseño: Experimental - longitudinal	Instrumentos: Fichas de observación
					Temperatura (°C)	Enfoque: Cuantitativo	

¿Cuál es el nivel de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos en los lodos generados por la PTAR Provisur del Centro Poblado de Santa María del Mar, al ser tratados mediante fermentación láctica?	Analizar el nivel de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos de los lodos generados en la PTAR Provisur del Centro Poblado de Santa María del Mar en Lima Sur, luego de ser tratados mediante fermentación láctica.	Es posible reducir el nivel de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos en los lodos generados por la PTAR Provisur del Centro Poblado de Santa María del Mar, al ser tratados mediante fermentación láctica.	Dependiente: Contaminantes en el lodo residual	Fisicoquímicos (mg/kg)	Cadmio Cobre Plomo Hierro Zinc Plata Arsénico Selenio		
¿Cuál es la efectividad del tratamiento por fermentación láctica sobre el nivel de contaminantes presente en los lodos generados en la PTAR Provisur?	Determinar la efectividad del tratamiento por fermentación láctica sobre el nivel de contaminantes presente en los lodos generados en la PTAR Provisur.	El tratamiento por fermentación láctica es efectivo en la disminución del nivel de contaminantes presentes en los lodos generados en la PTAR Provisur.		Microbiológicos (NMO/g)	Coliformes totales Coliformes fecales		


Anexo 3. Ficha de observación de análisis de lodos pre – tratamiento

		
PROYECTO: "TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES PROVENIENTES DE UNA PTAR DEL DEPARTAMENTO DE LIMA A TRAVÉS DE FERMENTACIÓN LÁCTICA"		
Elaborado/Solicitado por:		
Descripción del Ensayo:		
Procedencia de muestra:		
Tipo de Envase:		
Fecha de Muestreo:		
Código de muestra:		
Cantidad de muestra:		
Análisis Fisicoquímicos de lodos		
Parámetro	Medida	Observación /Límite permisible
pH		
Materia Orgánica (%)		
Nitrógeno N (%)		
Fosforo P (ppm)		
Potasio K (pmm)		
Plomo pb (ppm)		
Cromo Cr (ppm)		
Cadmio Cd (ppm)		
Cobre Cu (ppm)		
Hierro Fe (ppm)		
Zinc Zn (ppm)		
Plata Ag (ppm)		
Arsénico As (ppm)		
Selenio Se (ppm)		
Análisis Biológico de lodos		
Cantidad de Coliformes Totales (NMP/g.)		
Cantidad de Coliformes Fecales (NMP/g.)		
Salmonella sp. En 25 g.		
Larvas y huevos de Helminthos (N°/4g.)		
Observaciones Generales		

Anexo 4. Ficha de observación de análisis fisicoquímicos de lodos – monitoreo

				
PROYECTO: "TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES PROVENIENTES DE UNA PTAR DEL DEPARTAMENTO DE LIMA A TRAVÉS DE FERMENTACIÓN LÁCTICA"				
Análisis Fisicoquímicos Durante el Monitoreo				
Elaborado/Solicitado por:				
Descripción del Ensayo:				
Procedencia de muestra:		Periodo de monitoreo:		
Tipo de Envase:				
Código de muestra:		Cantidad:		
Parámetro	GC1	GC2	GE1	GE2
Temperatura				
Presión				
Plomo pb (ppm)				
Cromo Cr (ppm)				
Cadmio Cd (ppm)				
Cobre Cu (ppm)				
Hierro Fe (ppm)				
Zinc Zn (ppm)				
Plata Ag (ppm)				
Arsénico As (ppm)				
Selenio Se (ppm)				
Observaciones Generales				
Leyenda		GC1: grupo de control 1 sin tratamiento GC2: grupo de control 2 sin tratamiento GE1: grupo experimental 1 con tratamiento GE2: grupo experimental 2 con tratamiento		

Anexo 5. Ficha de observación de análisis biológico de lodos - monitoreo

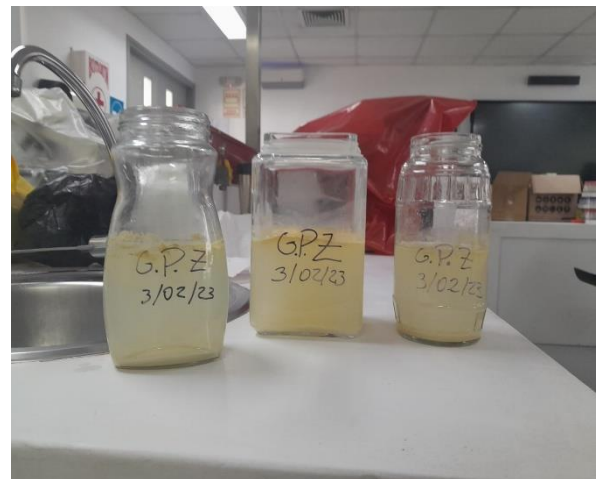
				
PROYECTO: "TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES PROVENIENTES DE UNA PTAR DEL DEPARTAMENTO DE LIMA A TRAVÉS DE FERMENTACIÓN LÁCTICA"				
Análisis Biológico Durante el Monitoreo				
Elaborado/Solicitado por:				
Descripción del Ensayo:				
Procedencia de muestra:		Período de monitoreo:		
Tipo de Envase:				
Código de muestra:		Cantidad:		
Parámetro	GC1	GC2	GE1	GE2
Cantidad de Coliformes Totales (NMP/g.)				
Cantidad de Coliformes Fecales (NMP/g.)				
Salmonella sp. En 25 g.				
Larvas y huevos de Helmintos (N°/4g.)				
Observaciones Generales				
Leyenda:		GC1: grupo de control1 sin tratamiento GC2: grupo de control 2 sin tratamiento GE1: grupo experimental 2 con tratamiento GE2: grupo experimental 2 con tratamiento		

Anexo 6. Base de datos del muestreo

Parámetros microbiológicos GC										
Período	Coliformes fecales (NMP/g)	Coliformes totales (NMP/g)	Huevos de helmintos (N°/4g)	Larvas (N°/4g)						
Semana 1	390000	14000000	1.00	1.00						
	380000	13000000	1.00	1.00						
Semana 2	350000	13500000	1.00	1.00						
	340000	12500000	1.00	1.00						
Semana 3	310000	13000000	1.00	1.00						
	300000	12000000	1.00	1.00						
Semana 4	280000	12000000	1.00	1.00						
	270000	11000000	1.00	1.00						
Parámetros microbiológicos GE										
Período	Coliformes fecales (NMO/g)	Coliformes totales (NMO/g)	Huevos de helmintos (N°/4g)	Larvas (N°/4g)						
Semana 1	2400	5400	1.00	1.00						
	2300	5200	1.00	1.00						
Semana 2	1700	2300	1.00	1.00						
	1600	2200	1.00	1.00						
Semana 3	910	1400	1.00	1.00						
	890	1250	1.00	1.00						
Semana 4	23	540	1.00	1.00						
	20	500	1.00	1.00						
Parámetros fisicoquímicos GC										
Período	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Ag (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Se (mg/kg)	Zn (mg/kg)	
Semana 1	0.008	0.0004	0.1501	0.0008	4.94	0.007	0.006	0.005	0.9349	
	0.008	0.0004	0.1500	0.0008	4.938	0.007	0.006	0.005	0.9256	
Semana 2	0.008	0.0004	0.1499	0.0008	4.939	0.007	0.006	0.005	0.9347	
	0.008	0.0004	0.1497	0.0008	4.938	0.007	0.006	0.005	0.9254	
Semana 3	0.008	0.0004	0.1495	0.0008	4.936	0.007	0.006	0.005	0.9346	
	0.008	0.0004	0.1496	0.0008	4.94	0.007	0.006	0.005	0.9253	
Semana 4	0.008	0.0004	0.1493	0.0008	4.935	0.007	0.006	0.005	0.9344	
	0.008	0.0004	0.1494	0.0008	4.936	0.007	0.006	0.005	0.9251	

Parámetros fisicoquímicos GE									
Período	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Ag (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Se (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Semana 1	0.008	0.0004	0.1318	0.0008	3.671	0.007	0.006	0.005	0.7244
	0.008	0.0004	0.122	0.0008	3.668	0.007	0.006	0.005	0.7135
Semana 2	0.008	0.0004	0.0862	0.0008	3.054	0.007	0.006	0.005	0.6135
	0.008	0.0004	0.0848	0.0008	2.98	0.007	0.006	0.005	0.6054
Semana 3	0.008	0.0004	0.064	0.0008	2.571	0.007	0.006	0.005	0.5854
	0.008	0.0004	0.0616	0.0008	2.492	0.007	0.006	0.005	0.5692
Semana 4	0.008	0.0004	0.038	0.0008	2.191	0.007	0.006	0.005	0.4476
	0.008	0.0004	0.0349	0.0008	2.085	0.007	0.006	0.005	0.4338

Anexo 7. Registro fotográfico de los experimentos





CONSTANCIA N° 111-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2022

El presidente del Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad de la Universidad Científica del Sur (CIEI-AB-CIENTÍFICA) da constancia que el proyecto de investigación, cuyos datos se registran a continuación, ha sido **aprobado**.

Código de registro: **152-2022-PRE11**

Título: **TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES
PROVENIENTES DE LA PTAR PROVISUR DEL
DEPARTAMENTO DE LIMA A TRAVÉS DE
FERMENTACIÓN LÁCTICA**

Investigador(a): **Gary Andree Pérez Zevallos**

La aprobación del proyecto de investigación implica que el documento presentado a evaluación cumple con los lineamientos de Universidad en materia de investigación y ética, los cuales se sustentan en la normativa internacional vigente. Adicionalmente, en el contexto de la pandemia de enfermedad por COVID-19, le recomendamos cumplir con las normas publicadas por el estado peruano.

En tal sentido, esta aprobación carecerá de valor si es que el proyecto de investigación arriba indicado es modificado de cualquier forma. Toda enmienda, añadido, eliminación o eventualidad (eventos adversos, etc.) posterior a la fecha de aprobación debe ser reportado al CIEI-AB-CIENTÍFICA.

La vigencia de la aprobación de este documento es de dieciocho (18) meses (**hasta el 14 de mayo de 2024**), periodo en el que puede desarrollarse el proyecto. Cualquier trámite para su renovación deberá ser enviado antes del término de la vigencia de este documento, debiendo suspenderse todo desarrollo hasta que la renovación sea aprobada.

Villa El Salvador, 15 de noviembre de 2022



Méd. Vet. Milena Paola Montenegro Veja
Presidenta (e)

Comité Institucional de Ética en Investigación
con Animales y Biodiversidad

RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N° 028-2023-DACIA-DAFCA-U.CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima, 15 de febrero del 2023

VISTO:

El informe de revisión académica independiente y la aprobación de un Comité de Ética (N° de Constancia: 111-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2022) del proyecto de tesis titulado: **TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA PTAR PROVISUR DEL DEPARTAMENTO DE LIMA A TRAVÉS DE FERMENTACIÓN LÁCTICA**, presentado por:

- **GARY ANDREE PÉREZ ZEVALLOS**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el título profesional de **Ingeniero(a) Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, según la modalidad elegida, es necesario la realización y sustentación de una tesis.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el proyecto de tesis titulado: **TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA PTAR PROVISUR DEL DEPARTAMENTO DE LIMA A TRAVÉS DE FERMENTACIÓN LÁCTICA** con N° de registro: **152-2022-PRE11**, y establecer el inicio del periodo de ejecución del mencionado proyecto.

Nombrar al docente/colaborador **Edgar Avelino Marcelino Tarmeño** como **asesor** para el desarrollo de la tesis en cuestión.

Regístrese, comuníquese y archívese,


Dr. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico
Carrera de Ingeniería Ambiental