



Facultad de Ingeniería

Ingeniería Industrial

Trabajo de Investigación:
“Diagnóstico de la disposición actual de los
lodos residuales en las lagunas de
estabilización de Epsel S.A – San José”

Melanie Gonzales León
Ana Lucía Atoche Pérez

para optar el Grado Académico de Bachiller en
Ingeniería Industrial

Chiclayo – Perú
2020

Resumen

Esta investigación tuvo como finalidad diagnosticar la disposición actual de los lodos residuales en las lagunas de estabilización de San José – Chiclayo y así poder determinar sus características, ya que EPSEL S.A. no cuenta con información necesaria acerca de la calidad de los lodos generados en su Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR), los cuales son acumulados en las lagunas anaeróbicas. Este trabajo es pre experimental y de tipo descriptivo, utilizando como instrumentos a la observación y Matriz de Leopold determinando el impacto ambiental que generan los lodos y realizando la deshidratación de los 2 Kg de muestra de lodo mediante un horno de secado para luego determinar las alternativas de aprovechamiento mediante la matriz de enfrentamiento. Como resultados se obtuvo no existe una disposición actual de lodos ocasionando impactos negativos a la sociedad, medio ambiente y al tratamiento mismo. Sin embargo, el lodo producido tiene características fisicoquímicas aptas para su futuro aprovechamiento para proceso de elaboración del fertilizante, abono o acondicionadores de suelos.

Palabras claves: *lodo residual, laguna de estabilización, laguna anaeróbica, laguna facultativa, lodo primario.*

Página de dedicatoria

Este trabajo está dedicado principalmente a Dios por permitirme culminar este proceso y a mis padres por todo el sacrificio y amor brindado a lo largo de mi carrera ya que gracias a ustedes he podido lograr uno de mis grandes anhelos.

Melanie Gonzales León

Este trabajo se lo dedico a Dios por guiarme en este camino para la conclusión de mi tesis, a mis padres por brindarme apoyo y sus consejos para seguir adelante y hacer de mí una mejor persona.

Ana Lucía Atoche Pérez

Página de agradecimiento

Agradecemos a Dios por guiarnos en todo este proceso y por brindarnos fortaleza en los momentos de dificultad y debilidad.

A nuestros padres, por confiar en nuestros sueños, por todos sus consejos y valores que nos inculcaron.

Agradecemos a nuestros docentes Zaida Chávez Romero e Iván Bazán Tantalean por su apoyo y todos sus conocimientos compartidos durante toda esta etapa.

A la empresa EPSEL S.A, por proporcionarnos toda la información requerida para nuestro trabajo de investigación.

Índice de contenidos

Introducción	8
Literatura y teoría del tema	9
Lodos residuales	14
Tipos de lodos residuales.....	14
Características de lodos residuales producidos en una Planta de Tratamiento	15
Acumulación de lodos en Lagunas Anaeróbicas según Wate Stabilisation Ponds ..	15
Metodología empleada	16
Materiales e instrumentos requeridos para la toma de muestras.....	17
Materiales e instrumentos utilizados para laboratorio	17
Resultados encontrados	18
Objetivo 1: Describir la disposición actual de los lodos residuales de las lagunas de estabilización.....	18
Descripción de la empresa	18
Análisis FODA	19
Descripción del Sistema de Producción.....	22
Proceso de producción de aguas residuales.....	22
Distribución de planta	24
Análisis para el Proceso de Producción de aguas residuales	25
Indicadores Actuales de Producción y Productividad del Tratamiento de Aguas Residuales.....	28
Acumulación de lodos en las lagunas de estabilización de San José	31
Indicadores Actuales de Acumulación de Lodos Residuales.....	33
Diagrama De Ishikawa.....	38
Impacto Ambiental	44
Objetivo 2: Caracterizar las propiedades fisicoquímicas de los lodos residuales.....	47
Muestreo del lodo residual	47
Análisis experimental de contenido de humedad	50
Objetivo 3: Identificar posibles alternativas de aprovechamiento.....	55
Análisis y discusión de resultados.....	58
Conclusiones	59
Recomendaciones	60
Anexos	61
Bibliografía.....	63

Índice de tablas

Tabla 1. Propiedades químicas de lodos tratados.....	15
Tabla 2. Operacionalización de variables.....	16
Tabla 3. Porcentaje de Remoción de DBO - Demanda Biológica de Oxígeno (2008-2018)	28
Tabla 4. Porcentaje de Remoción de Coliformes (2008-2018)	29
Tabla 5. Porcentaje de la tasa de acumulación de SST (Sólidos Suspendidos Totales) de los años 2013-2018	34
Tabla 6. Valores de SST (Sólidos Suspendidos Totales) en las lagunas de estabilización de los años 2013-2014	35
Tabla 7. Valores de SST (Sólidos Suspendidos Totales) en las lagunas de estabilización de los años 2015 - 2016	36
Tabla 8. Valores de SST (Sólidos Suspendidos Totales) en las lagunas de estabilización de los años 2017-2018	37
Tabla 9. Matriz de Leopold.....	44
Tabla 10. Valores del lodo primario de la laguna anaeróbica según norma EPA 40 CFR - 503	54
Tabla 11. Parámetro para lodo tratado	54
Tabla 12. Matriz de comparación de alternativas de la clase B.....	57

Índice de figuras

Figura 1. Organigrama Estructural.....	18
Figura 2. Esquema del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Chiclayo - San José.....	24
Figura 3. Diagrama de Operaciones del Proceso.....	25
Figura 4. Diagrama de Análisis del Proceso	26
Figura 5. Cursograma Analítico del Proceso.....	27
Figura 6. Límites Máximos Permisibles de efluente - DBO	30
Figura 7. Límites Máximos Permisibles de efluentes - Coliformes.....	30
Figura 8. Remoción de Organismos Patógenos (Coliformes) para su reúso en riegos agrícolas.....	31
Figura 9. Esquema del Sistema de Tratamiento de aguas residuales.....	33
Figura 10. Remoción de SST.....	34
Figura 11. Diagrama de Ishikawa.....	38
Figura 12. Laguna anaeróbica primaria	39
Figura 13. Estructura de salida de efluente de lagunas primarias	39
Figura 14. Cámara de rejillas	40
Figura 15. Estructura de entrada de afluente a lagunas secundarias.....	40
Figura 16. Porcentaje de Remoción de DBO - Demanda Biológica de Oxígeno (2008-2018)	42
Figura 17. Porcentaje de Remoción de Coliformes (2008-2018).....	42
Figura 18. Cámara de rejillas	43
Figura 19. Escurridor	43
Figura 20. Toma de muestra de lodo residual.....	47
Figura 21. Lodo residual secado al aire libre.....	48
Figura 22. Tubo de ensayo rotulado	48
Figura 23. Llenado de muestras	49
Figura 24. Secado de muestras	49
Figura 25. Contenido promedio de humedad (Día 1)	50
Figura 26. Contenido promedio de humedad (Día 2)	51
Figura 27. Contenido promedio de humedad (Día 3)	51
Figura 28. Contenido promedio de humedad (Día 4)	52
Figura 29. Contenido promedio de humedad (Día 5)	52
Figura 30. Contenido promedio de humedad (Día 6)	53
Figura 31. Contenido promedio de humedad.....	53
Figura 32. Entrada principal de Lagunas de Estabilización San José - Chiclayo.....	61
Figura 33. Llenado y pesado de muestras	61
Figura 34. Secado de muestras a 105°C	62
Figura 35. Toma de muestra.....	62

Introducción

Los lodos son residuos generados en el tratamiento de agua residual cruda en las lagunas de estabilización ubicadas en San José, pertenecientes al Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de EPSEL. Este tratamiento tiene como finalidad el remover los agentes contaminantes presentes en las aguas con el objetivo de que éstas puedan ser aptas para el uso humano. Sin embargo, este proceso tiene la consecuencia de la formación de una gran cantidad de lodos los cuales no siempre son tratados, dado que implican un gran costo de mantenimiento y limpieza.

Con el pasar del tiempo y teniendo en cuenta la ciudad, cantidad de habitantes, y crecimiento en general, estos lodos van aumentando considerablemente. El volumen de lodo producido depende de las características del agua residual, tratamiento previo, tiempo de sedimentación, densidad de sólidos, contenido de humedad, método y frecuencia de remoción de lodos (García, 2009).

Actualmente la empresa EPSEL no cuenta con un sistema de limpieza, tratamiento y aprovechamiento del residuo que se genera en las lagunas de estabilización. Es por esto que hace más de 17 años estas lagunas contienen un gran volumen de sedimento generando así un problema no sólo para la planta de tratamiento sino también una contaminación al medio ambiente y a las poblaciones más aledañas.

Frente a esta problemática que originan los lodos a las plantas de tratamiento en general es que se consideró evaluar posibles alternativas de aprovechamiento, realizando un diagnóstico previo de la situación actual y se determinó en el laboratorio de la Universidad Tecnológica del Perú las características que presentan estos lodos para saber cuál de estas alternativas se adecuaba más para dar un mayor uso a este subproducto, con el fin de minimizar el impacto negativo que generan los lodos a la planta de tratamiento de aguas residuales, y a la vez provocando daños al medio ambiente.

Literatura y teoría del tema

Vásquez J. y Vargas G. (2018). Desarrollaron un trabajo basado en el aprovechamiento de lodos para mejoramiento del suelo e insumo de cultivos extraídos de la ptar del municipio de Funza, dicho objetivo fue buscar una alternativa para poder aprovechar los lodos resultantes de la planta de tratamiento de aguas residuales. Su método a utilizar fue un estudio experimental en donde se compararon los nutrientes y características que presenta un cultivo de dos diferentes especies como la zanahoria y la lechuga en un estado normal, haciendo uso del lodo resultante del tratamiento de las aguas residuales como subproducto, permitiendo así la interpretación de resultados y establecer si el lodo es eficiente como insumo de cultivo y si presenta características que hace que sea un producto aprovechable. Como resultado se obtuvo que los lodos si son viables como alternativa para la utilización como subproducto para cultivo y reducir el impacto ambiental ocasionado por la mala disposición. Este proyecto aporta mucho al tema, ya que se obtuvo resultados importantes debido a que este lodo presenta considerables características las cuales ayudan considerablemente al mejoramiento del suelo agrícola.

Aldana A. y Pérez R. (2017). Desarrollaron un trabajo de investigación donde se realizó una proposición para el aprovechamiento y tratamiento de lodos en una planta de tratamiento convencional de agua potable El Espinal Tolima, con la finalidad de proponer un procedimiento que nos sirva para poder tratar y aprovechar de manera positiva estos lodos. Utilizaron una metodología mixta donde contenía primero la recopilación y análisis de la información y por consiguiente definieron 3 fases con actividades concretas como el potencial de aprovechamiento, evaluación de las alternativas y el plan de implementación, lo que les arrojó como resultados favorables de que los lodos si son aptos como insumo para materiales de construcción; esto se debe a que se incurriría en menos costos al transporte y construcción de infraestructura. Este trabajo aporta mucho al tema, ya que hace referencia de otra alternativa de aprovechamiento generando diversos beneficios.

Pérez M. (2016). Realizó un trabajo experimental referido al tratamiento de los lodos originados en las PTAR por medio de unos procesos electroquímicos para disminuir los metales pesados, cuyo fin fue tratar dichos lodos obtenidos en el proceso de tratamiento de aguas residuales para disminuir la concentración de plomo mediante procesos electroquímicos. Utilizaron un método donde evaluaron el comportamiento del lodo donde se somete a un tratamiento electroquímico, donde se identificó la actividad del tratamiento mediante una evaluación individual de variables independientes como son el tipo de electrodo, distancia y tiempo en función de la variable dependiente que es el

porcentaje de la eliminación del plomo. Según la aplicación realizada se obtuvo un 70% de una eficiencia de remoción del tratamiento electroquímico realizado en un lodo con contenido de agua del 98%, convirtiéndose en una alternativa para estabilizar los lodos residuales obtenidos en la ptar. Dicho trabajo ayuda a saber acerca de otro tipo de alternativa para el tratamiento de los lodos eliminando dichos metales pesado como es en este caso el plomo.

Martínez A., Castillo J. y Orgaz F. (2016). Realizaron un artículo de investigación que consistió en realizar una propuesta metodológica para el aprovechamiento de biosólidos producidos en las ptar en agricultura, dicho objetivo es fomentar un modelo para el uso de dichos residuos en el cultivo de maíz. Utilizaron un método experimental donde su área de estudio estará dividida en 5 bloques y se desarrolló en un cultivo de semillas de maíz. Como resultados se obtuvo un impacto positivo en el uso del biosólido debido a las diferentes características que presenta el cultivo de maíz, de forma que aumente la competitividad en los mercados. De esta manera la información ayuda al tema, ya que se presenta un tipo de aprovechamiento en los cultivos de maíz.

Gómez L. y Merchán A. (2016). En la investigación desarrollada se hizo referencia acerca de las características físicas y químicas que presentan los lodos procedentes de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales de una empresa de café, esta tuvo la finalidad de realizar un procedimiento experimental para saber las características fisicoquímicas de los lodos obtenidos del proceso de tratamiento de agua residual industrial en dicha empresa de alimentos. Su metodología empleada fue de tipo descriptivo y experimental dado que analizarán las muestras del lodo en un laboratorio de manera que se realice un análisis fisicoquímico y puedan hallar los porcentajes y cantidades de las propiedades de dicho residuo. Según resultados obtenidos el lodo podría ser aprovechado como un complemento del abono orgánico más no como materia prima, e incluso se podrían emplear elementos que ayuden al lodo para poder ser utilizado como un compostaje o abono orgánico. Esta investigación aporta al tema, ya que se realizará también una prueba de laboratorio y saber qué características presenta el lodo y según los resultados ver que alternativa de aprovechamiento se puede considerar emplear.

Kanti A., Rahman O., Das S. y Hossain S. (2015). Presentaron el trabajo de investigación titulado Resources and Environment cuyo objetivo fue estudiar los efectos del compostaje de lodos textiles en plantas no cultivadas que se utilizan para la jardinería de flores y la fabricación de muebles. Su método a emplear fue de manera experimental para el análisis, donde se tomó una muestra de lodo analizado por medio

del espectrofotómetro de adsorción atómica (AAS) y obtuvieron resultados de un efecto adverso en las plantas de Tagar, Joba y Mahogany, mientras que se encontró un impacto positivo en Gandharaj y Rain Tree. Esta investigación ayuda a dicho tema, ya que nos da a conocer el aprovechamiento de lodos textiles como es el compostaje utilizado en distintas plantas no cultivadas.

Ramdani N., Hamou A., Lousdad A. y Al-douri Y. (2014). Realizaron un trabajo de investigación cuyo objetivo es evaluar la caracterización fisicoquímica de lodos de depuradora y residuos verdes para el aprovechamiento agrícola. El método a emplear fue experimental, ya que los análisis fisicoquímicos se realizaron cada 30 días durante cinco meses y el resultado del análisis mostró que el compost obtenido tenía buena calidad fisicoquímica y se puede usar como fertilizante orgánico. Esta investigación aporta al tema dado que realiza dicho estudio de características que presentan los lodos y saber si pueden ser aprovechados.

Chuquimamani H. (2018). En la investigación desarrollada se evaluó el proceso de compostaje de lodos procedentes del tratamiento de aguas residuales de la industria textil, su objetivo fue el evaluar el proceso de compostaje de los lodos obtenidos del tratamiento de aguas residuales y poder determinar una alternativa de aprovechamiento para el uso en jardinería y agricultura, aplicándose un método de diseño de bloques donde se pudo determinar que el lodo resultante de la industria textil es apto como componente principal para ser sometido al proceso de compostaje y ser utilizado en la agricultura y jardinería, ya que contiene alto contenido de materia orgánica. Esta presentación ayuda al tema de manera que existe otra forma de aprovechamiento como es el compost, ya que presenta una determinada calidad para que dicho lodo textil pueda ser aprovechado en la agricultura y jardinería.

Calderón M. (2018). Realizó una investigación referida al aprovechamiento y al análisis comparativo de los lodos producidos en las PTARs de SEDAPAL, teniendo como objetivo establecer las características presentes en los lodos que se generan en dichas plantas tratamiento las cuales son: Santa Clara, Carapongo, Manchay San Antonio de Carapongo y San Bartolo Sur, con el fin de evaluar su aprovechamiento, donde se obtuvo que para el año 2015, cuatro PTARs clasifican como categoría A y B; siendo estas San Antonio de Carapongo, Carapongo, San Bartolo Sur y Manchay y para el año 2013 ninguna clasificaba como categoría A y B, por la presencia de metales pesados, salmonella y en algunas huevos de helminto. Dicho trabajo ayuda también a complementar en la información requerida para este trabajo de investigación.

Pomalaza C. y Ramos J. (2016). Desarrollaron una investigación basándose en la digestión de lodos activados para obtener compost y el efecto de las plántulas *Pinus Radiata*, su objetivo fue evaluar cómo afectan los tratamientos de vermiestabilización de los lodos en la producción del compost y el efecto que genera las *P. Radiata*. Se realizó un experimento mediante el método científico aplicado, con un diseño experimental puro completamente al azar donde se empleó una muestra de 100 kg de lodo activado procedente de la planta de tratamiento de aguas residuales "Doris Mendoza", donde se obtuvo un compost de calidad del tratamiento 2 con un 50% de lodo activado y el otro porcentaje de residuos orgánicos y el tratamiento 3 con un 25% lodo activado y el 75% de residuos orgánicos con mejor característica, de un tipo de calidad B a los 113 y 120 días respectivamente. Esto indica que la aplicación de estos tratamientos se transforma el lodo activado en compost y se puede disponer en áreas de conservación y aptitud forestal sin perjudicar el espacio natural. Este trabajo aporta al tema debido a la importancia del tratamiento que se les realiza a los lodos para poder obtener un compost.

Beltrán T. y Campos C. (2016). Presentaron la investigación referida al dominio de los microorganismos eficaces sobre el estado en que se encuentra el agua y los lodos residuales de la planta de tratamiento de Jauja, su objetivo fue determinar los efectos que generan los microorganismos presentes en el tratamiento de las aguas y el lodo residual de Jauja. El método empleado corresponde a un diseño pre experimental, de tipo pre y post prueba con un solo grupo (planta de tratamiento), con 1 tratamiento y 1 repetición. Dichos resultados demostraron que estos microorganismos realizaron efectos positivos con respecto a distintos parámetros del agua residual, así como también tuvo efectos en el lodo ya que se disminuyó una gran concentración de coliformes. Esta información da noción acerca del impacto de los diversos microorganismos en la calidad del agua y el lodo ayudando a que estos puedan reducir cantidades de coliformes los cuales son contaminantes para este residuo.

Castagnino S. (2014). Presentó la investigación acerca de las consecuencias de aplicar los lodos procedentes de la planta de tratamiento de aguas residuales en el suelo, la cual tuvo como objetivo evaluar la disposición de los lodos de dicha planta de tratamiento por medio de una aireación extendida generando una fuente orgánica para el desarrollo de las plantas. Utilizaron un método experimental realizando muestras representativas del residuo obtenido de la planta de tratamiento por aireación extendida y se comprobó que el uso de este desecho aporta grandes beneficios para el desarrollo de cultivos como es el maíz, el frijol y de esta manera no siendo apto para otro tipo de

cultivo. Esta fuente da a conocer acerca de los efectos ocasionados por los lodos utilizados como crecimiento de las plantas.

Gabriel Y. (2018). Desarrolló una investigación basada en las condiciones del entorno de las lagunas del tratamiento de aguas residuales de San José y de las bacterias patógenas que se encuentran en ellas. Su objetivo es aislar e identificar dichas bacterias y determinar las condiciones ambientales fisicoquímicas presentes en las lagunas de estabilización, con la finalidad de contribuir en la investigación de la eficiencia del tratamiento y si el agua está en óptimas condiciones para ser reusada en la agricultura, este trabajo reúne las condiciones para calificarla como una investigación ex postfacto, debido a la naturaleza y relación entre sus variables sin modificarlas, es porque analizó el agua de las 10 lagunas de estabilización, (5 anaerobias y 5 facultativas), se concluyó que en las lagunas anaerobias se identificaron las bacterias *Citrobacter* sp., *Enterobacter* sp., *Escherichia coli*, *Escherichia blattae*; en las lagunas facultativas se identificaron las bacterias *Providencia* sp, *Enterobacter* sp., *Salmonella* sp., *Citrobacter* sp. Con este trabajo se obtuvo los valores promedio de los parámetros, los cuales no sobrepasan los LMP del DS N.º 003 – 2010 MINAM; asimismo los valores promedio de DBO5 y DQO de las lagunas anaerobias y facultativas superan los valores establecidos por el DS N.º 003 – 2010 MINAM. Esta información nos ayuda a que tener conocimiento acerca de las bacterias patógenas existentes en las lagunas de estabilización.

Huamán A. y Palco A. (2018). En la investigación desarrollada se refirieron a la valoración fisiológica como abono orgánico de lodos activados en las lagunas de estabilización de la localidad de Jaén, su objetivo fue determinar las características fisiológicas de los lodos activados obtenidos de las lagunas del tratamiento de aguas residuales para ser usado como abono orgánico. Se utilizó un método de tipo experimental y está en base a dos aspectos, por el costo reducido y la simplicidad de la operación. Es así, que de esta manera se concluyó que los lodos activados presentan una gran efectividad fisiológica como abono orgánico. Esta presentación ayuda a conocer de las características presentes en los lodos y la importancia de cómo poder aprovecharlos.

Burga A. (2014). Se desarrolló una investigación refiriéndose a la valoración de los lodos residuales como uso para abono orgánico originados en las lagunas de EPSEL, con el fin de valorizar los lodos que se producen en dichas lagunas y poder establecer una metodología para la obtención del abono orgánico con este residuo, resultando así más viable el proceso de compostaje por pilas de volteo; para poder ubicar la planta se tomó en cuenta distintos factores, uno de ellos la disponibilidad de la materia prima y por

último determinar la viabilidad económica y financiera con el objetivo de poder establecer la viabilidad para aplicar el abono en los suelos agrarios de la región. Esto concluye a que es viable la producción de abono orgánico en la región, debido a la demanda que existe por el uso de fertilizantes y caracterización desarrollada de dichos lodos procedentes de las lagunas de estabilización pertenecientes a la Entidad Prestadora de Servicios de Lambayeque. Este tema de investigación también ayuda notablemente y guarda mucha relación con el tema a trabajar.

Lodos residuales

Son aquellos residuos o subproductos generados en el proceso de tratamiento de aguas residuales. Estos lodos constituyen un volumen mayor de producción, debido a su tiempo de retención en dichas lagunas o plantas depuradoras. (Carranza, 2014)

Tipos de lodos residuales

Lodo crudo: Aquel lodo que se extrae de las plantas de tratamiento y que no han sido debidamente tratados ni estabilizados.

Lodos primarios: Lodos resultantes de la sedimentación, donde se logra la remoción de sólidos orgánicos e inorgánicos.

Este lodo contiene una gran cantidad de material orgánico. Tiene la consistencia de un fluido denso con un porcentaje entre 93% y 97% de agua y es de color marrón a gris, generando olores desagradables.

Lodo activo: Es un lodo producido en un tratamiento biológico de aguas residuales, el cual contiene biomasa, minerales y se encuentra en forma de flóculos. Este también se caracteriza por la interacción de diversos microorganismos.

Lodo secundario: Se generan durante el tratamiento secundario biológico que se les realiza a las aguas residuales, el cual convierte los residuos en una biomasa. Este residuo se presenta de color marrón, no generan olor con mucha rapidez, sin embargo, se produce un olor muy fuerte al igual que el lodo primario. (Galvis y Rivera, 2013)

Características de lodos residuales producidos en un Sistema de Tratamiento

Las plantas de tratamiento presentan en sus aguas residuales distintas constituyentes tales como la basura, espuma, arena y lodo, es por eso que el residuo que se produce en estas operaciones depende generalmente de las características del agua residual, de la edad y del tratamiento utilizado en las plantas. Estos residuos son importantes, ya que son una gran fuente de materia orgánica pero debido al incorrecto manejo es que se convierten en un problema por el contenido de patógenos y metales que estos presentan requiriendo un proceso de estabilización (Galvis y Rivera, 2014).

Tabla 1

Propiedades químicas de lodos tratados

Propiedades	Unidad	Rango
Sólidos Totales	%	0.83 – 1.16
Sólidos volátiles	%	59-88
Aceites y grasa	%	0.5-12
Proteínas	%	32-41
Nitrógeno	%	2.4-5
Fósforo	%	1.2-4.8
Potasio	%	0.4-0.5
pH		6.5-8
Alcalinidad	Mg/l (CaCO ₃)	580-1 100
Ácidos grasos	Mg/l (HAc)	1 100-1 700
Contenido de energía	Kcal /kg	18 500-23 000

Fuente: Henríquez, 2011

Acumulación de lodos en Lagunas Anaeróbicas según Wate Stabilisation Ponds

(Wate Stabilisation Ponds, 2007)

- **Acumulación anual:** Total de habitantes x tasa de acumulación
- **Espesor del lodo:** $\frac{A_{\text{óu}}}{A_1 \cdot d \cdot l_0} \cdot a$
- **Tiempo para alcanzar la 1/3 profundidad de la laguna:**

$$\text{Tiempo} = \frac{P}{E} \cdot \frac{1}{3}$$

Metodología empleada

El trabajo está basado en un tipo de estudio descriptivo y pre experimental, porque se describe la realidad que se observa acerca de la disposición de los lodos y se realizará un estudio de laboratorio para saber las propiedades fisicoquímicas que estos adoptan, permitiendo así la interpretación de resultados y establecer alguna alternativa de aprovechamiento.

Tabla 2

Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Características de los lodos	Disposición actual de los lodos	Situación actual	Observación
		Impacto sobre la salud y medio ambiente	Matriz de Leopold
	Análisis próximo	Humedad	Secado a horno
	Análisis elemental	Carbono	Análisis de gases
		Hidrógeno Oxígeno Nitrógeno	
Aprovechamiento	Comparación de alternativas de uso y aprovechamiento	Matriz de comparación	

Fuente: Elaboración propia.

La población será el lodo residual generado en lagunas de estabilización ubicadas en San José. Además, según como lo indica el Reglamento para el Reaprovechamiento de los lodos de los sistemas de tratamiento, se tomará un volumen de muestra de 2 Kg de las lagunas de estabilización de San José, la cual será analizada en el laboratorio de la Universidad Tecnológica del Perú.

Dentro de las Técnicas a realizar serán:

- Observación
- Revisiones bibliográficas

Y como Instrumentos se utilizará:

- Módulo experimental
- Fichas o formatos para la recolección de datos

Materiales e instrumentos requeridos para la toma de muestras

- Guantes de látex descartables
- Mascarillas descartables
- Balde de 4kg
- Rastrillo
- Caja térmica
- Hielo

Materiales e instrumentos utilizados para laboratorio

- Fichas de registro
- Pirotines de aluminio
- Tubos de ensayo de plástico
- Plumón indeleble
- Estufa de incubación (Incucell 55 – Ecoline)
- Horno de secado (Ecocell 111 Std)
- Sierra
- Balanza
- Rejilla
- Guantes de látex descartables
- Mascarillas descartables

Resultados encontrados

Objetivo 1: Describir la disposición actual de los lodos residuales de las lagunas de estabilización

Descripción de la empresa

EpseL S.A (Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento de Lambayeque) es una empresa de derecho privado interno la cual brinda los servicios de alcantarillado sanitario y abastecimiento de agua potable. Con ámbito de atención para los Distritos de Chiclayo, Ferreñafe y Lambayeque.

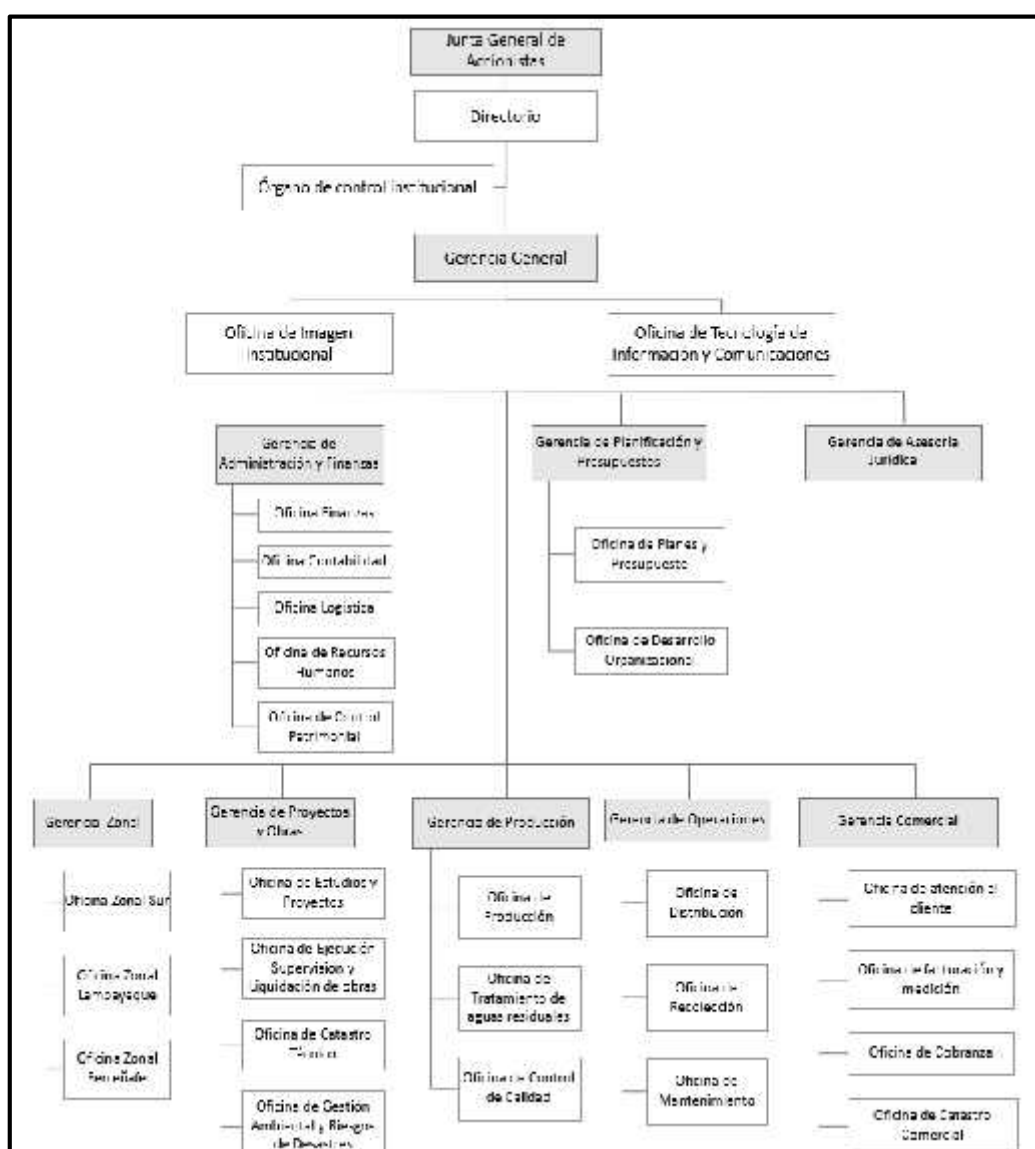


Figura 1. Organigrama Estructural

Fuente: Plan Estratégico Institucional de EPSEL S.A. 2019 – 2023

La figura 1, nos muestra la estructura organizacional de la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento aprobado el 24 de agosto de este año, teniendo al Directorio como el nivel máximo de decisión siendo el que establece los objetivos y lineamientos de la Institución, contando también con un Órgano de Control Institucional el cual se encarga de ejecutar el control gubernamental interno posterior y la Gerencia General siendo la máxima autoridad ejecutiva de EPSEL S.A., la cual es responsable de la ejecución de las políticas y objetivos de la Institución así como de implementar el Sistema de Gestión Calidad de la empresa.

Análisis FODA

Se identificó las distintas oportunidades y amenazas existentes, así como en la parte interna se identificaron las fortalezas y debilidades existentes, las cuales se presentan a continuación. (Plan Estratégico Institucional de EPSEL S.A., 2018)

Oportunidades

- Monopolio en el Servicio de Saneamiento en la Región de Lambayeque.
- Acceso al financiamiento de Gobierno Central.
- Expansión de Instrumentos legales de gestión para el recupero de deuda, en todas las jurisdicciones del ámbito de EPSEL S.A.
- Nuevas tecnologías que aprovechan el internet mejoran la macro, micro medición (telemetría), la supervisión de la calidad del agua, así como la atención al cliente (recibo digital), permitiendo menores costos de producción, mantenimiento y operación; garantizando mayor eficiencia y eficacia en la recuperación, protección y uso sostenible de recursos hídricos.
- Tipificación como delito del uso no autorizado del agua potable.
- Leyes, Normas, Políticas y Planes favorables al servicio de saneamiento.
- Existencia de insumos químicos en el mercado interno y externo.
- Existencia de Legislación Ambiental para conservar, preservar y/o restaurar el medio ambiente y los ecosistemas hídricos, mediante la implementación de los Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos Hídricos por parte EPSEL S.A en el (RAT) permite apoyo en recursos financieros y técnicos para mejorar la gestión, así como la posibilidad de menor influencia política en la Administración de la empresa.

- Desarrollo del Software Libre permite una alternativa para desarrollar programas a bajo costos para sistematizar la empresa.
- Contar con nuevo Estudio Tarifario del PMO, para el Quinquenio Regulatorio 2018 – 2023.

Amenazas

- Crecimiento demográfico desordenado de la población urbana no registrada, que origina concentración en determinadas zonas.
- Inadecuada cultura de la población en el uso de los servicios de saneamiento.
- Contaminación en las aguas de Río Chancay por los vertimientos de desagües municipales domésticos y riesgos de vertimientos mineros (Causes).
- Rápido avance tecnológico provocando desfase de equipos informáticos.
- Riesgos de Desastres Naturales que afectarían la ejecución de los proyectos previstos en el Plan de Acciones de Urgencia, los contenidos en el Segundo Estudio Tarifario del PMO correspondiente al Quinquenio Regulatorio 2018 – 2023 y el Plan Operativo Institucional destinados a mejorar y optimizar eficientemente la calidad de la presentación de los servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Residuales.
- La no entrega del total de información de parte de las entidades ejecutoras de obras de saneamiento que sustenten la calidad de las mismas, siendo EPSEL S.A quién debe administrar, operar y mantener dichas obras posteriormente, asumiendo los errores y mayores costos para la puesta en funcionamiento de las mismas. Adicionalmente a ello también por su mala ejecución poniendo en riesgo la calidad del servicio prestado por EPSEL S.A a sus usuarios.
- Las obras ejecutadas por terceros y que pasan a formar parte de los activos de la entidad no cuentan con saneamiento físico legal.
- Baja valoración de los servicios de saneamiento y percepción negativa de la gestión de las empresas prestadoras por parte de la población.
- Incremento del vandalismo de la infraestructura de saneamiento y el robo de los accesorios (tapas de buzón, medidores, etc.).
- Riesgo de multas por organismo regulador de software no licenciado.

- Incremento de la agroindustria y expansión de terrenos agrícolas genera uso no adecuado del agua potable en dichas actividades.
- Sentencias judiciales y Laudos arbitrales generan deudas laborales

Fortalezas

- Experiencia y conocimiento del personal.
- Aprobación del Segundo Estudio Tarifario correspondiente al Quinquenio Regulatorio 2018 – 2023 del PMO.
- Renovación de unidades móviles.
- Renovación de equipos informáticos.
- Página web y redes sociales.
- Trabajo en equipo.
- Contamos con infraestructura sanitaria propia.
- Capacidad instalada en Infraestructura Sanitaria.
- Disponibilidad del Recurso Hídrico Superficial y Subterráneo.

Debilidades

- Deficiente proceso de Administración Estratégica (planificación, ejecución y control).
- Inadecuada política y gestión de recursos humanos.
- Deficiente infraestructura, equipamiento y logística de operaciones y comercial para cumplir con la demanda de los servicios de saneamiento.
- Ineficiencia en el proceso de generación del servicio de saneamiento (pérdidas netas, incremento del costo de ventas y gastos administrativos del año 2012 al año 2016).
- Baja calidad del servicio de agua (continuidad, presión, roturas de redes de agua) y de alcantarillado (atoros en redes de alcantarillado).
- Ineficientes procesos administrativos y comerciales.
- Falta de solvencia económica y financiera (Margen neto – 7% endeudamiento patrimonial de 2.15 en el año 2017 y el incremento de deudas).
- Desactualización del catastro comercial y técnico del agua potable y alcantarillado.

- Problemas de macro medición y micro medición, más del 65% del parque de medidores supera su vida útil, ocasionando subregistros en la facturación.
- Deficiente proceso de mantenimiento preventivo y correctivo del equipamiento e infraestructura de los servicios de saneamiento.

Descripción del Sistema de Producción

Productos

El agua residual tratada, cuyas características son:

- Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5) = 22,3 mg/lit
- Coliformes totales = $1,70 \times 10^5$ NMP/100 ml
- COLOR = verde
- OLOR = sin olor

Residuos

Aquellos lodos residuales resultantes del tratamiento de aguas residuales generalmente de color grisáceo. Estos desechos son generados en las lagunas anaeróbicas primarias los cuales son sedimentados y acumulados en el fondo disminuyendo la capacidad de cada una de las lagunas.

Proceso de producción de aguas residuales

Canal de Ingreso de Aguas Residuales

El agua de desagüe es recolectada mediante las redes de alcantarillado de la ciudad de Chiclayo y llevada por gravedad al canal de ingreso hacia el sistema de tratamiento de agua residual. Este canal principal cuenta con una pendiente haciendo que el caudal máximo de 1600 litros por segundo circule adecuadamente por su forma rectangular.

Cámara de Rejas

La planta de tratamiento cuenta con dos unidades electromecánicas manual/automáticas. Los materiales flotantes como bolsas, paja, trozos de madera entre otros, son detenidos mediante estas dos unidades para luego ser llevados a un relleno sanitario.

Medidor de Caudal Parshall

Es utilizado para medir el caudal mediante la lectura del nivel de las aguas residuales las cuales circulan por el canal de ingreso hacia las lagunas. Estas aguas presentan un caudal promedio de 650 l/s y un máximo de 1600 l/s.

Lagunas Anaeróbicas Primarias

En estas lagunas primarias se producen la estabilización de la materia orgánica debido a la descomposición por acción de las bacterias anaeróbicas formándose un proceso de sedimentación y fermentación. En ellas se generan gases como el metano, produciéndose también lodos residuales los cuales son sedimentados en el fondo de la laguna.

Lagunas Facultativas Secundarias

En ellas el agua residual es depurada mediante la oxigenación la cual es resultado de la presencia de algas desarrolladas en las lagunas.

Canal de Descarga de Aguas Tratadas

En este canal de descarga a tajo abierto y sin recubrimiento las aguas residuales tratadas se dirigen al dren que las conduce hacia el mar.

Canal de Riego de los Agricultores

Este canal de riego está cubierto de concreto conduciendo a los agricultores las aguas residuales tratadas para el riego de plantas de tallo alto.

Estructura de Salida

El caudal de salida del agua residual tratada es regulado para ser entregada a los agricultores del Sector Gallito de la Comunidad Campesina del distrito de San José por esta estructura la cual tiene dos compuertas metálicas que permiten la distribución del agua.

Distribución de planta

El sistema de tratamiento de aguas residuales perteneciente a la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento (EPSEL S.A), está ubicada a la altura del km 6 de la carretera Chiclayo – San José a 500 metros de Ciudad de Dios. El terreno de las Lagunas de Estabilización de San José está destinado al tratamiento de las aguas drenadas de los distritos de Chiclayo, La Victoria y José Leonardo Ortiz con una capacidad de 76 850 metros cúbicos al día.

Este tipo de tratamiento cuenta con: Cámara de rejillas, sistema de medición de caudales Parshall, y de tres baterías de lagunas en serie que consta de cinco lagunas primarias anaeróbicas y cinco lagunas secundarias facultativas. Las lagunas primarias anaeróbicas cuentan con una dimensión de 1,65x1,22 m y una profundidad de 3,5 m mientras que las lagunas secundarias facultativas de 2,45x2,42 m y 1,80 m de profundidad.

La figura 2, muestra el estado actual del Sistema de tratamiento de Aguas Residuales en San José.

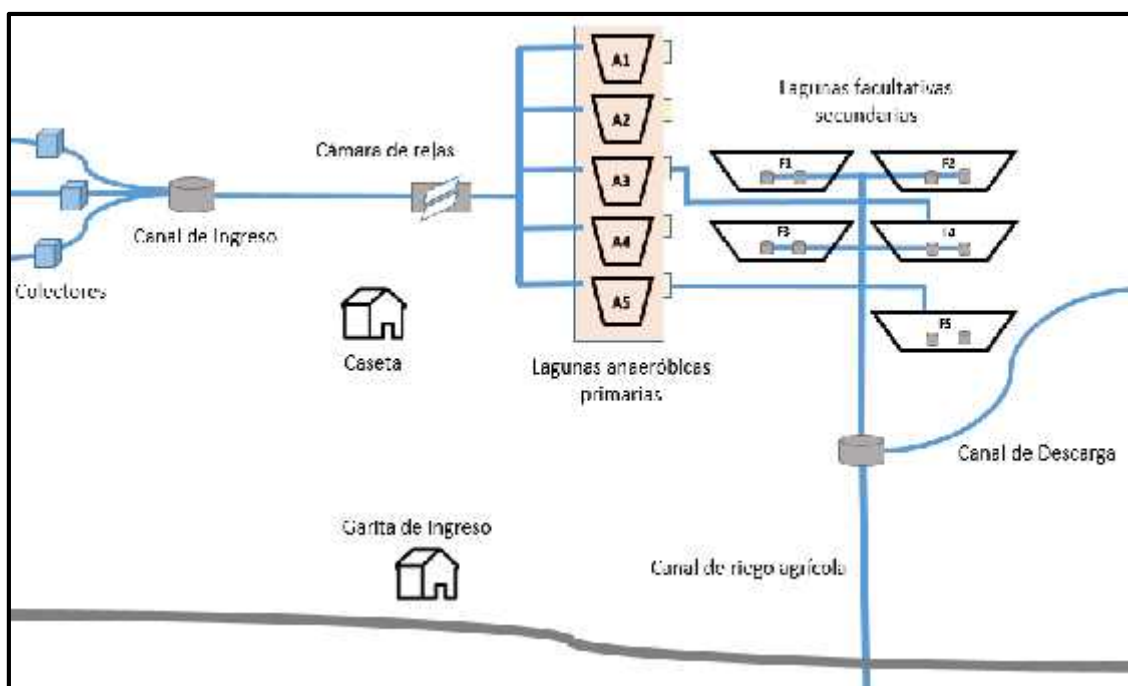


Figura 2. Esquema del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Chiclayo - San José

Fuente. Elaboración propia

Análisis para el Proceso de Producción de aguas residuales

Diagrama de Operaciones (DOP)

La figura 3 muestra el DOP de las diferentes operaciones que se tendrá en cuenta durante el tratamiento de aguas residuales en las lagunas de estabilización ubicada en San José – Chiclayo.



Figura 3. Diagrama de Operaciones del Proceso

Fuente. Elaboración propia.

Diagrama de Análisis de Operaciones (DAP)

En la figura 4 se muestra el DAP de las diferentes operaciones realizadas durante el tratamiento de aguas residuales en las lagunas de estabilización ubicadas en San José – Chiclayo, en este caso siendo aplicado al recorrido de las aguas residuales.

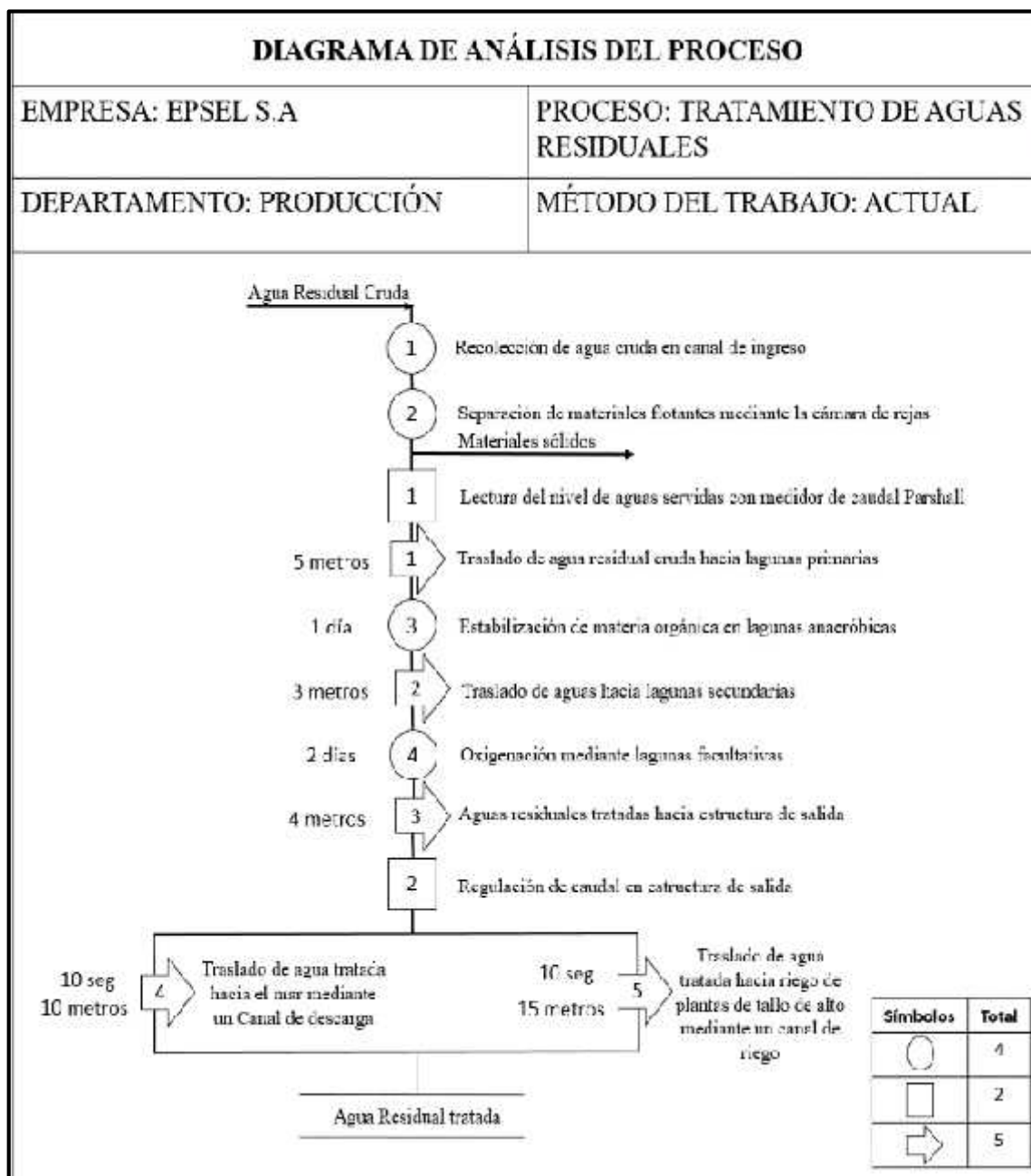


Figura 4. Diagrama de Análisis del Proceso

Fuente. Elaboración propia.

La figura 5 muestra las diferentes actividades y los tiempos que se tendrá en cuenta durante el tratamiento de aguas residuales en las lagunas de estabilización ubicadas en San José – Chiclayo.

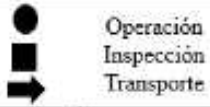



CURSOGRAMA ANALÍTICO DEL PROCESO						
MÉTODO : ACTUAL						
DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	Símbolos			Tiempo	Distancia	
						
Recolección de agua cruda en canal de ingreso	●					
Separación de materiales flotantes mediante la cámara de rejillas	●					
Lectura del nivel de aguas servidas con medidor de caudal Parshall						
Traslado de agua residual cruda hacia lagunas primarias					5 metros	
Estabilización de materia orgánica en lagunas anaeróbicas	●			1 día		
Traslado de aguas hacia lagunas secundarias					3 metros	
Oxigenación mediante lagunas facultativas	●			2 días		
Aguas residuales tratadas hacia estructura de salida					4 metros	
Regulación de caudal en estructura de salida						
Traslado de agua tratada hacia el mar mediante un Canal de descarga					10 metros	
Traslado de agua tratada hacia riego de plantas de tallo de alto mediante un canal de riego					15 metros	
RESUMEN	Cantidad	4	2	5		
	Tiempo				3 días	
	Distancia					37 metros

Figura 5. Cursograma Analítico del Proceso

Fuente. Elaboración propia.

Indicadores Actuales de Producción y Productividad del Tratamiento de Aguas Residuales

Según la Norma OS090 las lagunas de estabilización deberían estar entre un 70-85% de eficiencia de remoción de DBO (Norma OS090, 2006), sin embargo, según datos históricos de los análisis fisicoquímicos de las aguas residuales tratadas por EPSEL S.A el porcentaje de Remoción de las lagunas han ido disminuyendo con el transcurso de los años como lo muestra la tabla 3. Caso parecido se da con respecto a la eficiencia de remoción de Coliformes, debería estar entre un 99 – 99,9% (Norma OS090, 2006) el cual en los dos últimos años el porcentaje de remoción está por debajo de lo ideal como lo muestra la tabla 4.

Tabla 3

Porcentaje de Remoción de DBO - Demanda Biológica de Oxígeno (2008-2018)

AÑO	PH	T°	DBO5T (Desagüe crudo) mg/L	DBO5S (Efluente) mg/L	% de Remoción de DBO
2008	7,81	22,23	210,30	56,54	73,11
2009	7,94	22,36	202,73	55,00	72,87
2010	7,94	23,70	228,06	71,31	68,73
2013	7,80	24,67	223,38	70,38	68,49
2014	7,96	25,55	307,58	120,03	60,98
2015	7,99	25,00	294,36	122,03	58,55
2016	7,77	25,00	343,18	193,18	43,71
2017	7,70	25,30	311,27	149,59	51,94
2018	7,84	25,00	274,36	118,18	56,93

Fuente: Recuperado de Epsel S.A

Tabla 4*Porcentaje de Remoción de Coliformes (2008-2018)*

AÑO	Col.Total NMP/100ml (Desagüe Crudo)	Col.Total NMP/100ml (Efluente)	% de Remoción de Col.
2008	3,54E+07	1,24E+06	96,48
2009	4,48E+07	5,48E+05	98,78
2010	4,13E+07	4,92E+05	98,81
2013	3,16E+07	1,72E+05	99,45
2014	3,85E+07	2,35E+05	99,39
2015	3,83E+07	5,97E+05	98,44
2016	3,44E+07	2,38E+05	99,31
2017	3,35E+07	4,79E+05	98,57
2018	2,58E+07	7,08E+05	97,25

Fuente: Recuperado de Epsel S.A

Por otro lado, existe la exigencia de (LMP) para los vertimientos en un cuerpo de agua regulando la calidad del efluente de las (PTAR) y Estándares de Calidad del Agua (ECA-Agua), los cuales controlan la calidad del agua del cuerpo receptor, sin embargo, estos límites no se están cumpliendo ya que se están sobrepasando los parámetros establecidos como es el caso del DBO (100mg/L) (Decreto Supremo 003, 2010) desde el año 2014 en adelante según lo muestra la Figura 6 y con respecto a los Coliformes teniendo como LMP los (10000 NMP/100) (Decreto Supremo 003, 2010) siendo éstos incumplidos desde el año 2008 como lo muestra la Figura 7.

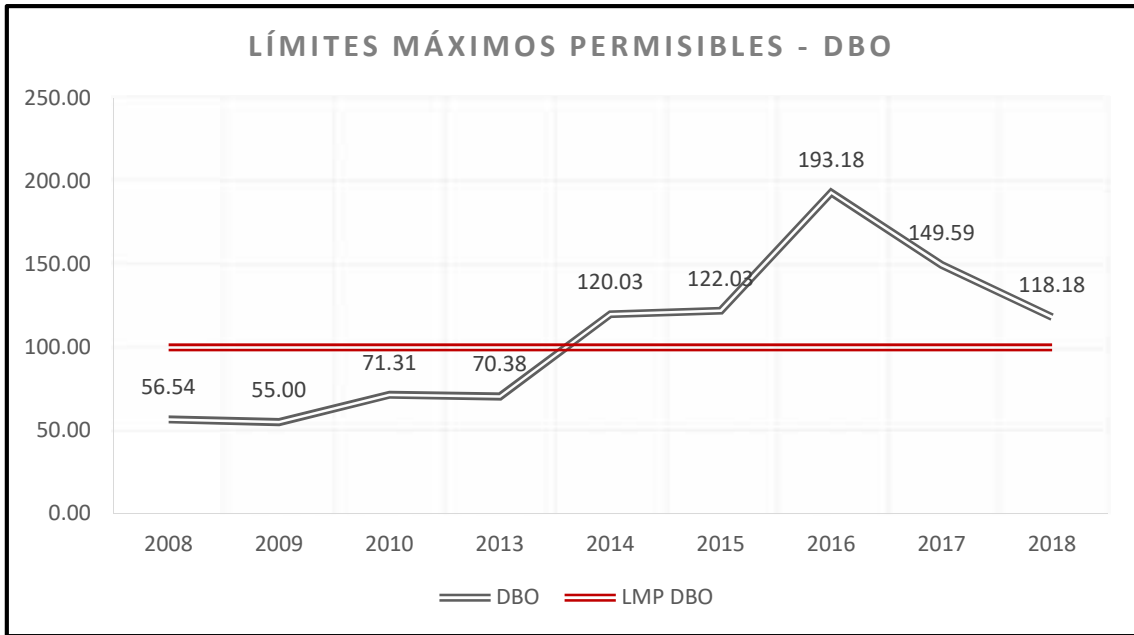


Figura 6. Límites Máximos Permisibles de efluentes - DBO

Fuente. Elaboración propia.

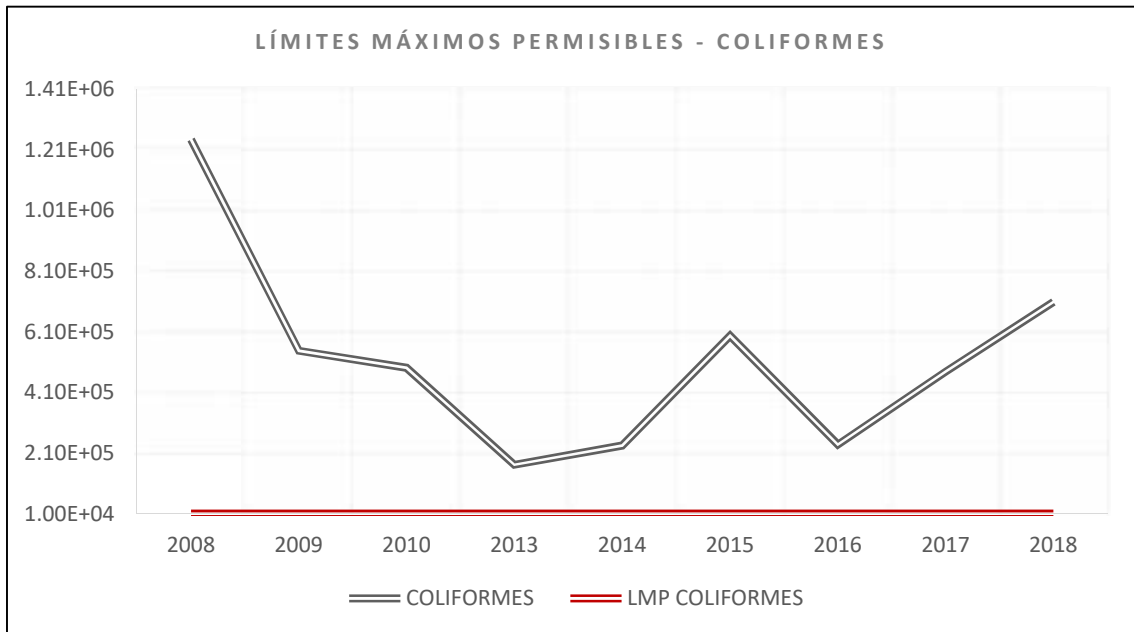


Figura 7. Límites Máximos Permisibles de efluentes - Coliformes

Fuente. Elaboración propia.

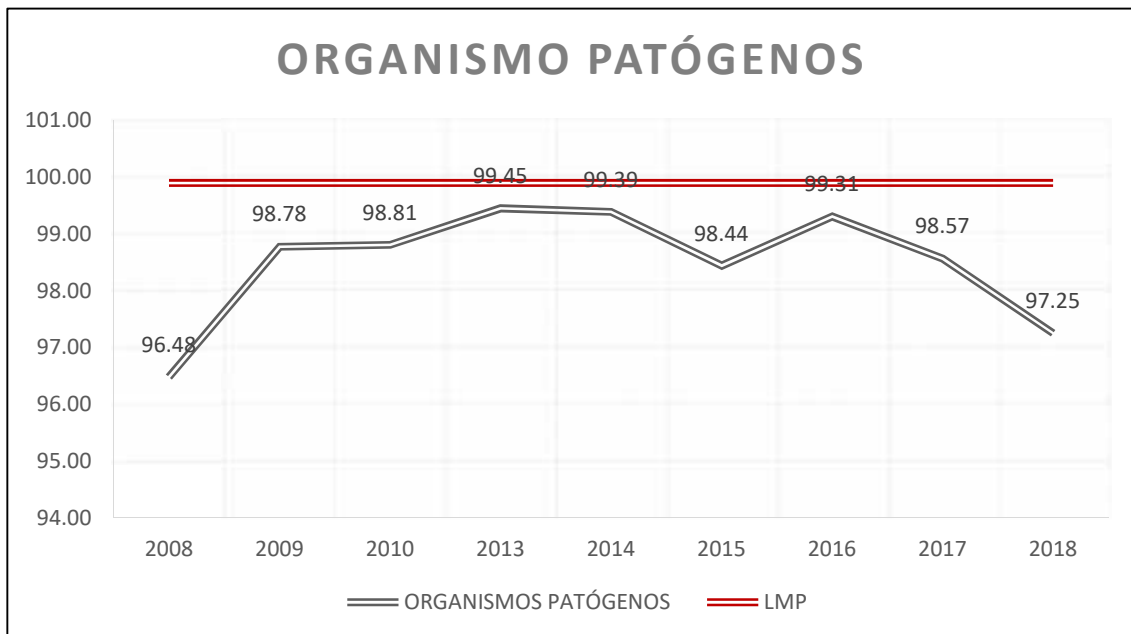


Figura 8. Remoción de Organismos Patógenos (Coliformes) para su reúso en riegos agrícolas

Fuente. Elaboración propia.

En la figura 8 se muestra que desde el año 2008 se viene incumpliendo el parámetro de remoción de organismos patógenos los cuales deben estar en 2 unidades logarítmicas es decir con un 99,9 % para irrigación de cultivo de tallo alto. Estos valores son establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Acumulación de lodos en las lagunas de estabilización de San José

La PTAR ubicada en el distrito de San José, realiza un tratamiento secundario mediante 10 lagunas de estabilización (5 anaeróbicas y 5 aeróbicas). En las lagunas anaeróbicas se forma un proceso de sedimentación, las cuales actualmente poseen 207 mil metros cúbicos de sedimento de materia orgánica en su interior afectando considerablemente a la infraestructura de saneamiento, ya que hace 21 años la PTAR no se limpia requiriendo ser descolmatada para su mejor funcionamiento.

A nivel global, los países en desarrollo tienen una inversión nula en infraestructura de tratamiento de lodos ya que nos los consideran como un residuo a tratar y es por esto que no se cuenta con un control sobre las cantidades producidas, así como de su disposición final. En cambio, usualmente los países desarrollados cuentan con un control sobre su cantidad y calidad invirtiendo en infraestructura para su reducción y estabilización de lodos, así como de su disposición final. (Rojas & Mendoza, 2012).

En el Perú, a causa de las lluvias en áreas de drenaje, deterioro de las tapas de buzón y a través de los sumideros de las casas, las arenas siempre ingresan a los sistemas de alcantarillado. Sin embargo, el 72% de las entidades prestadoras de servicios no cuentan con una unidad de pre tratamiento como un sistema de desarenadores. (Méndez & Marchán, 2008)

Las lagunas de estabilización de San José pertenecientes a la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento de Lambayeque soportan más de 207 mil metros cúbicos de sedimento ya que hace más de 17 años éstas no han recibido ningún tipo de limpieza. Para poder determinar la acumulación actual de los lodos residuales se ha realizado una proyección a 19 años, dando como resultado un volumen mayor al porcentaje establecido del tirante de la laguna.

Acumulación de lodos en las lagunas anaeróbicas

Para determinar la acumulación actual de los lodos en las lagunas anaeróbicas cuyas dimensiones es 1,65 x 1,22m con una profundidad de 3,5m teniendo como área de laguna $20\,130\text{m}^2$, se adoptó una tasa de acumulación de 0,03 debido a las temperaturas comprendidas entre los 21°C y 25°C. Además, se recopiló el número de habitantes del año 2 000 de los distritos de La Victoria y Chiclayo según INEI teniendo un total de 65 942 personas.

La acumulación de lodos por año es de $1\,978,25\text{ m}^3$ debido al total de habitantes de dichos distritos y a la tasa de acumulación ya mencionada anteriormente de 0,03. A partir del cálculo de la acumulación es que hallamos el espesor del lodo dividiendo los $1\,978,25\text{ m}^3$ entre el área de la laguna resultando un espesor de 10 cm por año.

Según lo indica la Norma OS090, el volumen del lodo acumulado no puede superar el 50% del tirante de la laguna es decir no puede superar el 1,75 m de profundidad, lo cual se considera determinar un tiempo considerable para que no se alcance el porcentaje establecido. De este modo se toma la tercera parte de la profundidad de la laguna y se divide entre el espesor resultando así un tiempo aproximado de 12 años para que los lodos deban ser eliminados.



Figura 9. Sistema de Tratamiento de aguas residuales

Fuente: Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento de Lambayeque (Epsel).

Indicadores Actuales de Acumulación de Lodos Residuales

Según la Norma OS090, la acumulación de lodos no debe superar el 50% del tirante de la laguna anaeróbica (Norma OS090, 2006), sin embargo, la tabla 5 indica que la tasa de acumulación de SST (Sólidos suspendidos totales) va incrementando cada año, lo que hace que la laguna no sea eficiente superando el porcentaje máximo del tirante y así no exista una correcta reducción de agentes contaminantes en las aguas residuales.

Tabla 5

Porcentaje de la tasa de acumulación de SST (Sólidos Suspendidos Totales) de los años 2013-2018

AÑO	% ACUMULACIÓN DE SST
2013	86,3
2014	96,1
2015	96,7
2016	95,0
2017	94,3
2018	90,8

Fuente: Recuperado de Epsel S.A.

En la tabla 5, el porcentaje de acumulación de sólidos suspendidos totales ha ido incrementando desde el año 2013 hasta el año 2018 basándose en las tablas 6, 7 y 8 las cuales detallan los valores de los sólidos suspendidos totales de las aguas crudas y efluente, así como también se ve graficado la tendencia del aumento en la figura 10.

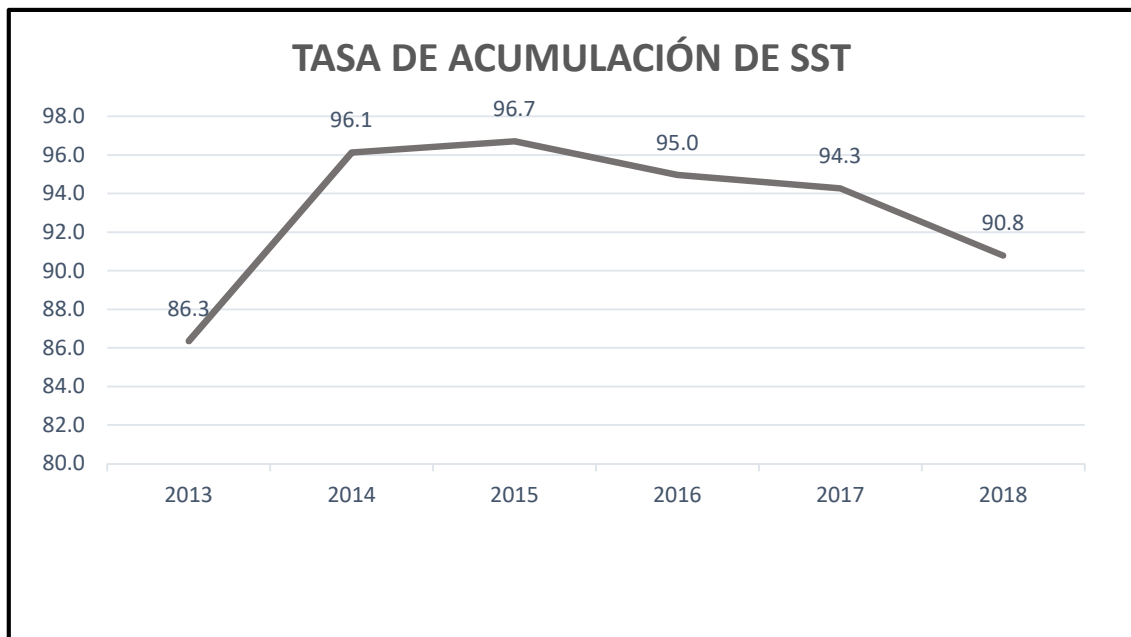


Figura 10. Remoción de SST

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6

Valores de SST (Sólidos Suspendidos Totales) en las lagunas de estabilización de los años 2013-2014

	2013		2014	
	Desagüe crudo (ml/L/hr)	Efluente (ml/L/hr)	Desagüe crudo (ml/L/hr)	Efluente (ml/L/hr)
Enero	1,30	0,20	3,00	0,15
Febrero	1,50	0,20	3,00	0,15
Marzo	1,20	0,02	2,00	0,05
Abril	2,50	0,50	1,40	0,10
Mayo	0,75	0,15	1,90	0,17
Junio	3,20	0,20	2,17	0,07
Julio	0,63	0,18	2,10	0,11
Agosto	0,63	0,15	2,50	0,03
Setiembre	1,20	0,18	1,75	0,03
Octubre	2,70	0,15	2,00	0,03
Noviembre	2,55	0,10	2,70	0,10
Diciembre	2,70	0,30	1,40	0,03

Fuente: Recuperado de Epsel S.A.

La tabla 6 aprecia los valores de Sólidos Suspendidos Totales de los años 2013 y 2014, teniendo el efluente del año 2013 un promedio de sólidos más alto al otro año respectivamente.

Tabla 7

Valores de SST (Sólidos Suspendidos Totales) en las lagunas de estabilización de los años 2015 - 2016

	2015		2016	
	Desagüe crudo (ml/L/hr)	Efluente (ml/L/hr)	Desagüe crudo (ml/L/hr)	Efluente (ml/L/hr)
Enero	2,00	0,08	3,00	0,10
Febrero	2,20	0,03	1,90	0,05
Marzo	4,00	0,06	1,60	0,10
Abril	2,35	0,03	3,40	0,50
Mayo	1,90	0,03	-	-
Junio	1,25	0,03	3,25	0,15
Julio	1,55	0,01	2,25	0,10
Agosto	4,50	0,03	2,85	0,10
Setiembre	2,70	0,05	2,00	0,00
Octubre	2,80	0,50	1,65	0,10
Noviembre	3,20	0,15	2,80	0,20
Diciembre	3,50	0,10	1,90	0,05

Fuente: Recuperado de Epsel S.A.

En la tabla 7 se aprecian los valores de Sólidos Suspendidos Totales de los años 2015 y 2016, teniendo el efluente del año 2016 un promedio de sólidos más alto al otro año respectivamente con una tendencia en aumento.

Tabla 8

Valores de SST (Sólidos Suspendidos Totales) en las lagunas de estabilización de los años 2017-2018

	2017		2018	
	Desagüe crudo (ml/L/hr)	Efluente (ml/L/hr)	Desagüe crudo (ml/L/hr)	Efluente (ml/L/hr)
Enero	2,00	0,00	1,30	0,10
Febrero	-	-	2,00	0,20
Marzo	1,90	0,05	1,50	0,10
Abril	1,75	0,05	1,20	0,10
Mayo	1,90	0,05	1,10	0,10
Junio	1,65	0,20	1,00	0,10
Julio	1,70	0,05	1,00	0,10
Agosto	-	-	1,80	0,20
Setiembre	1,25	0,10	1,80	0,20
Octubre	1,65	0,05	1,80	0,20
Noviembre	1,15	0,15	1,60	0,10
Diciembre	1,40	0,20	-	-

Fuente: Recuperado de Epsel S.A.

En la tabla 8 se aprecian los valores de Sólidos Suspendidos Totales de los años 2017 y 2018, teniendo el efluente del año 2018 un promedio de sólidos más alto al otro año respectivamente con una tendencia en aumento.

Diagrama de Ishikawa – Causa y Efecto

La figura 11 da a conocer todas las causas o aspectos que conlleva a la ocurrencia del problema como es la acumulación de lodos residuales.

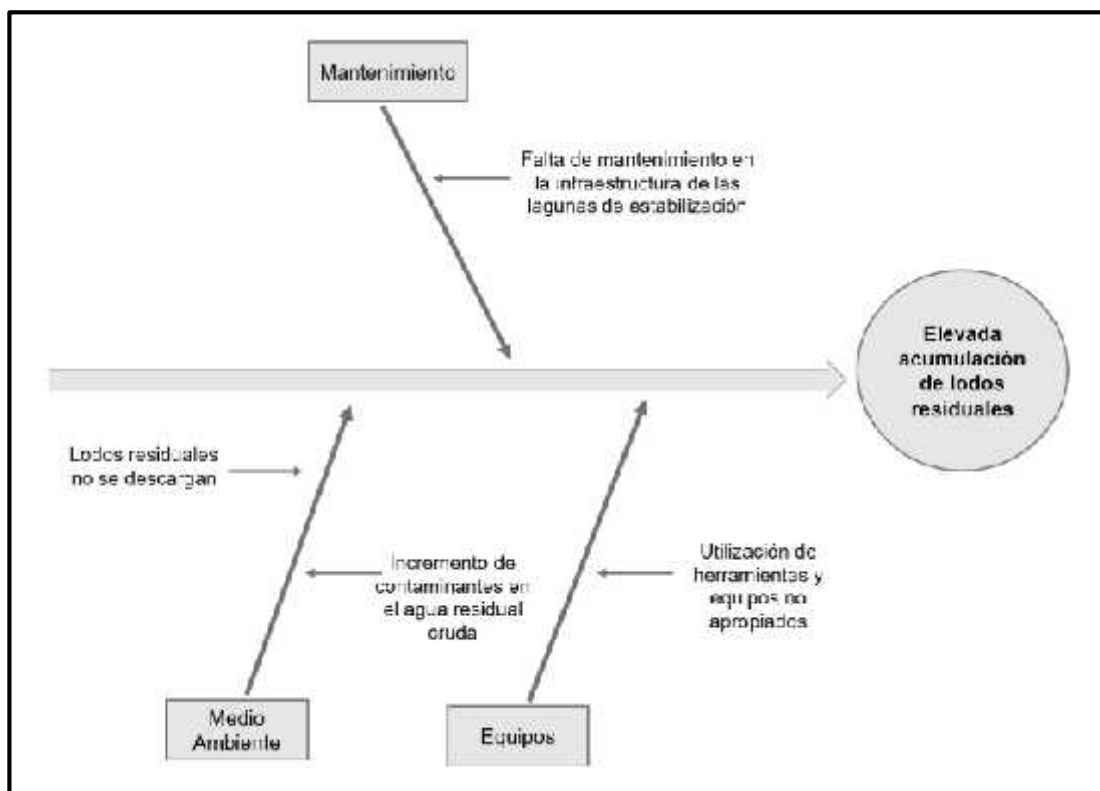


Figura 11. Diagrama de Ishikawa

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Mantenimiento**

Falta de Mantenimiento en la infraestructura de las lagunas de estabilización

Según el Diario La República, Los funcionarios de Epsel, entre ellos el presidente del directorio de Epsel, Víctor Hugo Bravo Monje, inspeccionaron las plantas de tratamiento, confirmando que requieren ser descolmatadas, en razón que desde hace diecisiete años no se limpian. (República, 2015)

Cabe indicar que la estructura de los emisores Norte-Norte y Sur es crítico, debido a que el cemento y el fierro han sido corroídos por la presencia de compuestos químicos como el ácido sulfúrico. "Ello significa que su funcionamiento es deficiente", advirtió Salinas. (República, 2015)



Figura 12. Laguna anaeróbica primaria

Fuente. Elaboración propia.



Figura 13. Estructura de salida del efluente de lagunas primarias

Fuente. Elaboración propia.



Figura 14. Cámara de rejas

Fuente. Elaboración propia.



Figura 15. Estructura de entrada del afluente a lagunas secundarias

Fuente. Elaboración propia.

➤ Medio Ambiente

Lodos residuales no se descargan

Los lodos residuales se han ido acumulando con el transcurso de los años, ya que éstos no son descargados y además como se mencionó anteriormente las lagunas de estabilización de San José no han recibido mantenimiento alguno hace más de 17 años, causando una gran acumulación de lodos como lo muestran las tablas 6, 7 y 8 en las cuales podemos observar los valores de sólidos suspendidos totales entre los años 2013 – 2018 así como los porcentajes de acumulación de sólidos como lo muestra la tabla 5, confirmando que existe un aumento de sólidos con el paso de los años.

Según los Indicadores actuales de acumulación de lodos residuales la acumulación anual es de 1 978,25 m³/año y con un volumen actual de 1,86 m/año cuyo resultado se obtuvo de la proyección realizada a 19 años.

Incremento de contaminantes en el agua residual cruda

Desde el año 2008 la remoción de Demanda Biológica de Oxígeno en dichas lagunas de estabilización del distrito de San José ha ido disminuyendo debido al incremento de contaminantes y a la ineficiencia de la planta de tratamiento teniendo hasta el año 2018 una remoción del 56,93% estando por debajo del Límite máximo permisible como lo indica la tabla 3 y se ve graficado en la figura 16. De la misma forma sucede con el % de remoción de Coliformes el cual no cumple con los LMP desde el año 2008 como lo muestra la tabla 4 viéndose graficada en la figura 17.

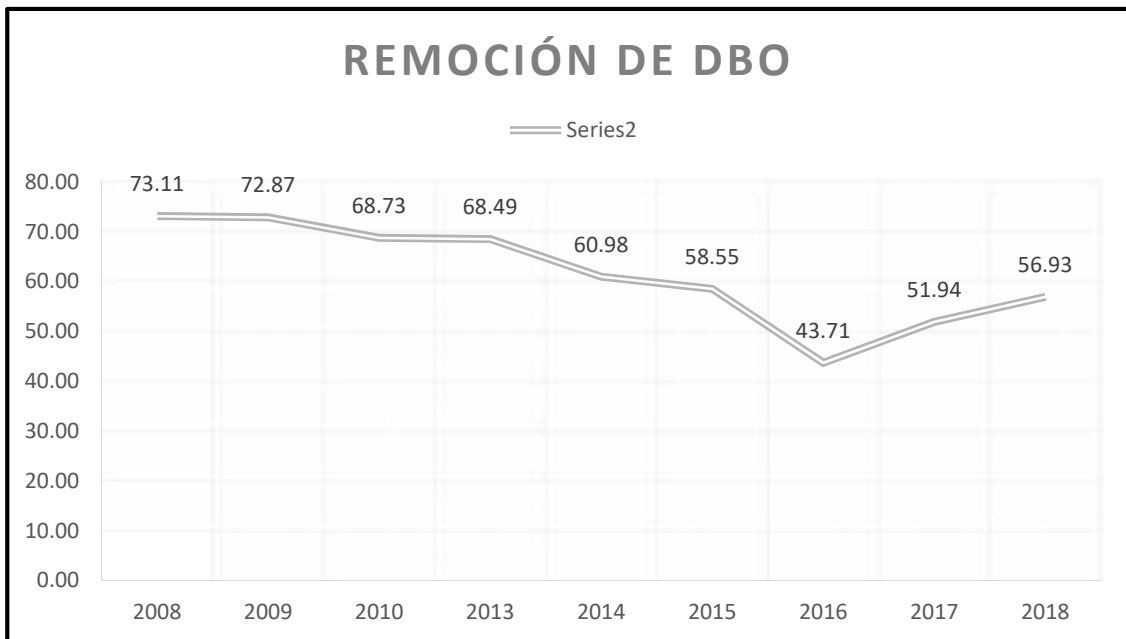


Figura 16. Porcentaje de Remoción de DBO - Demanda Biológica de Oxígeno (2008-2018)

Fuente. Elaboración propia.

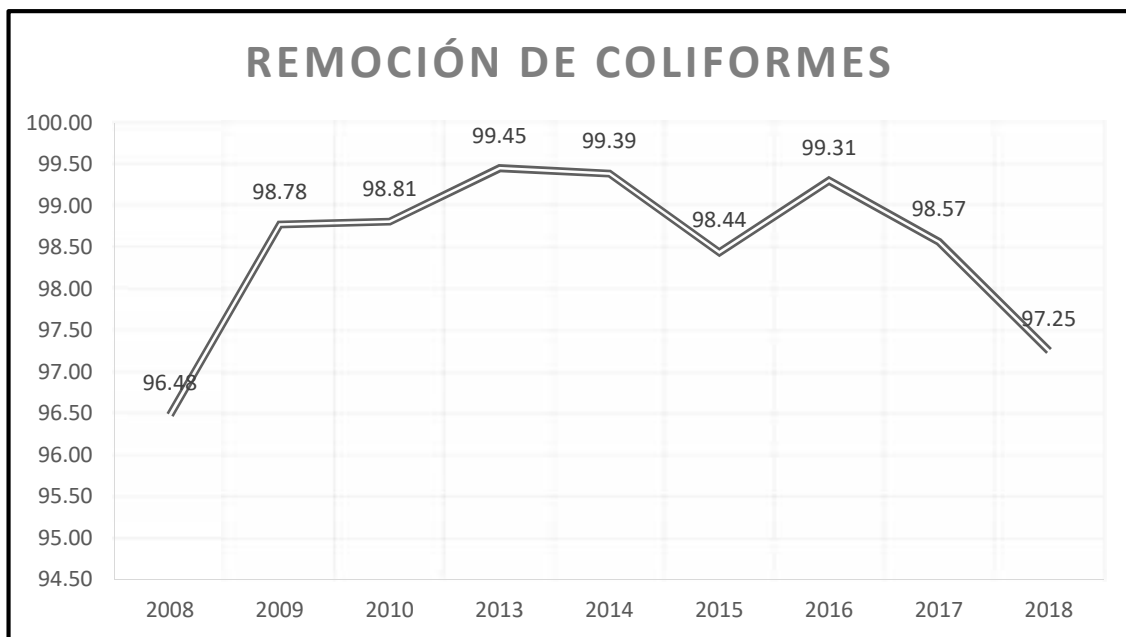


Figura 17. Porcentaje de Remoción de Coliformes (2008-2018)

Fuente. Elaboración propia.

➤ **Equipos**

Utilización de herramientas y equipos no apropiados

Existen distintas actividades en el sistema de tratamiento de aguas residuales en San José realizadas por distintos operarios los cuales disponen de equipos y herramientas en mal estado presentando un alto grado de oxidación y muchas de ellas no son adecuadas para las tareas asignadas.

Esta situación se ve reflejada en las siguientes figuras:



Figura 19. Escurreidor

Fuente. Elaboración propia.



Figura 18. Cámara de rejas

Fuente. Elaboración propia.

Impacto Ambiental

Tabla 9

Matriz de Leopold

Acciones		ETAPAS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES					Suma Mag	Suma Imp	
		Ingreso de agua cruda	Estabilización en lagunas anaeróbicas	Oxigenación en lagunas facultativas	Descarga de efluente a riego agrícola	Descarga de efluente al mar			Disposición de lodos
Factores									
Biológico	Posible riesgo biológico durante mantenimiento de lagunas		-7	-8				-15	
	Posible riesgo biológico durante la descarga de lodos		8	7			-4	-4	15
Agua	Baja calidad del efluente tratado				-10	-10		-20	
	Baja calidad del agua en la zona de descarga al mar				7	7		-9	14
	El efluente no es apto para el consumo humano				-10	-10		-20	
					7	7			14
Aire	Posible descarga de sustancias tóxicas y no biodegradables		-9		-8	-8		-25	
	Emisión de gases efecto invernadero	-9	-8					-17	
	Presencia de olores nauseabundos	9	7					-6	16
Suelo	Contaminación de suelos agrícolas	-6	6		-10			-6	6

En la tabla 9 se puede apreciar que el resultado de la importancia con respecto al potencial del impacto es mayor con 199 puntos a comparación de la magnitud con -162 puntos que generan las acciones del tratamiento de aguas residuales. Varios de estos factores ambientales propuestos cuentan con mayor puntaje debido a las alteraciones que se generan en estos como es el caso del agua con un impacto negativo de (-49) puntos, debido a que existe una baja calidad de agua la cual no es apta para el uso humano, dado que esto genera efectos negativos como consecuencia de exceso de cloro, conductividad eléctrica, dureza y presencia de sales disueltas, así como el exceso de temperatura alterando distintos parámetros. (Primo, 2014). Otro de los factores con más puntaje es el aire con (-48) puntos, ya que se descargan sustancias tóxicas y generan olores desagradables los cuales son dañinos para la salud, debido a que el agua para ser considerada potable no siempre está libre de impurezas nocivas, los órganos sensoriales como sabor, color y olor percibidos hieren susceptibilidades psíquicas y no sanitarias. (Primo, 2014)

Por otro lado, existen dos factores que presentan un mayor puntaje con respecto a la importancia que tienen estos frente a las alteraciones como es el lado social que presenta (57) puntos dado a que es un factor muy importante porque ayuda a estimular la conciencia ambiental como ciudadanos, el generar también un interés tanto científico como educativo y esto se ve reflejado en todas las investigaciones que se han realizado hasta el día de hoy para combatir este problema y ayudar a contribuir con el medio ambiente; el aire es el otro factor que cuenta con (45) puntos de importancia dado a que se presentan olores nauseabundos dañinos para la salud.

Objetivo 2: Caracterizar las propiedades fisicoquímicas de los lodos residuales.

Muestreo del lodo residual

El objetivo del muestreo realizado fue tomar una muestra representativa de lodo residual de una de las lagunas anaeróbica primaria de la PTAR, para analizar las características fisicoquímicas de los lodos. Al llegar al punto de monitoreo, se realizaron las acciones que se describen a continuación.

a) Toma de muestra de lodo residual

Se ubicó el punto ideal para alcanzar sin peligro alguno para la persona que saca la muestra donde se tomó una muestra de 2 Kg siendo puesta en un recipiente plástico.



Figura 20. Toma de muestra de lodo residual

Fuente: Elaboración propia

b) Preservación y traslado de muestras

Se utilizó un recipiente plástico para colocar la muestra de lodo para luego ser puesto en una caja térmica para su conservación y traslado. La muestra de lodo fue puesta a secar al aire libre durante 24 horas para disminuir el exceso de humedad.

En la figura 20 se aprecia el secado al aire libre del lodo residual, el cual fue puesto en una malla para la filtración de agua durante un periodo de 24 horas.



Figura 21. Lodo residual secado al aire libre

Fuente: Elaboración propia

c) Rotulado y llenado de muestras de lodo

Los tubos de ensayo fueron rotulados para luego agruparlos por codificación, además en cada uno de ellos se les dividió en distintas medidas (1,5, 3,0, 4,5 y 6,0 cm) para generar 4 muestras por cada tubo de ensayo.

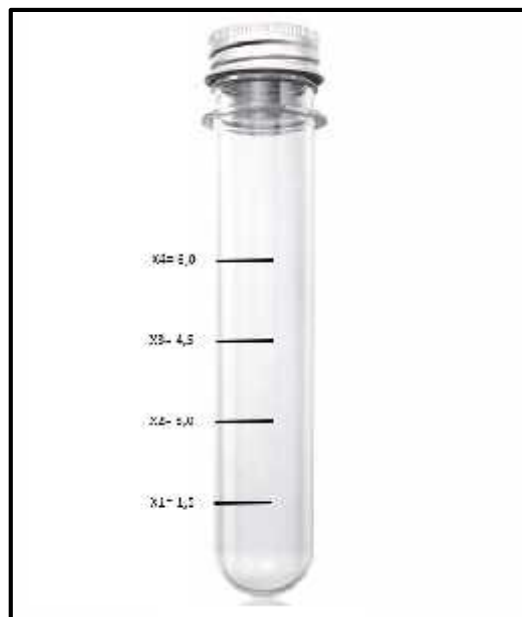


Figura 22. Tubo de ensayo rotulado

Fuente: Elaboración propia



Figura 23. Llenado de muestras

Fuente. Elaboración propia

d) Secado de muestras y control de humedad

Los 3 grupos fueron puestos en una estufa de incubación a 50°C por un tiempo de 24 horas. Durante un periodo de 6 días los tubos de ensayo fueron pesados sacándose 4 muestras por cada uno de ellos poniéndolos en un horno de secado a 105°C para determinar la disminución de humedad.



Figura 24. Secado de muestras

Fuente. Elaboración propia

Análisis experimental de contenido de humedad

El contenido de humedad de los lodos residuales crudos es muy variable, es por esto que si la humedad inicial de los residuos crudos es superior a un 50 % se debe buscar necesariamente la forma de que el lodo pierda humedad llegando a un 15 a 35%. Si la humedad de este residuo se encuentra en valores menores al 10% la actividad biológica desciende y el proceso se vuelve lento.

Para este análisis se prepararon 18 muestras de lodo obtenido de las lagunas de estabilización ubicadas en el distrito de San José – Chiclayo en tubos de ensayo de plástico con una profundidad de 6,0 cm. Después de eso, las 18 muestras se introdujeron en una estufa de incubación para el proceso de secado a 50° C durante 24 horas. Con esas muestras se formaron 3 grupos de 6 tubos cada uno para obtener resultados más precisos. Para el proceso de secado se tomó 3 tubos por día es decir uno por grupo, los cuales fueron cortados en 4 piezas con una profundidad de 1,5 cm extrayéndose 4 pequeñas muestras por tubo de ensayo. Éstas fueron colocadas en pirotines de aluminio siendo pesadas y puestas a secar durante 24 horas a 105°C. Pasado el periodo de secado cada una de las muestras se volvieron a pesar para conocer el contenido de humedad. Todo este proceso se dio a lo largo de 6 días.

En las siguientes figuras se observó la tendencia de disminución del contenido de humedad del lodo del día 1 al día 6 en el que se realizó el análisis experimental, evidenciando que la primera capa de lodo (x4) es la que pierde mayor cantidad de agua a diferencia de la última (x1).

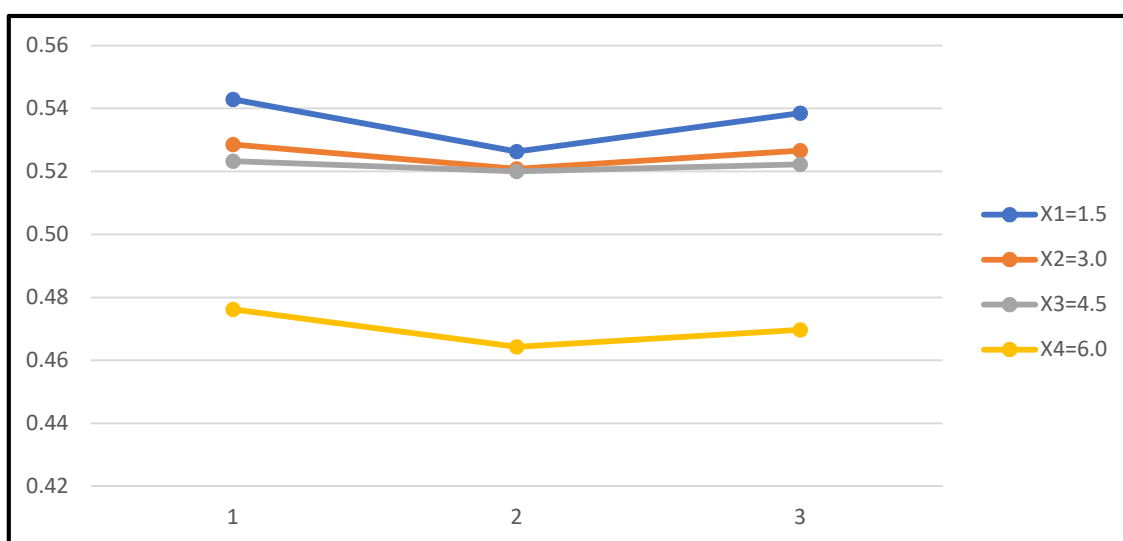


Figura 25. Contenido promedio de humedad (Día 1)

Fuente: Elaboración propia

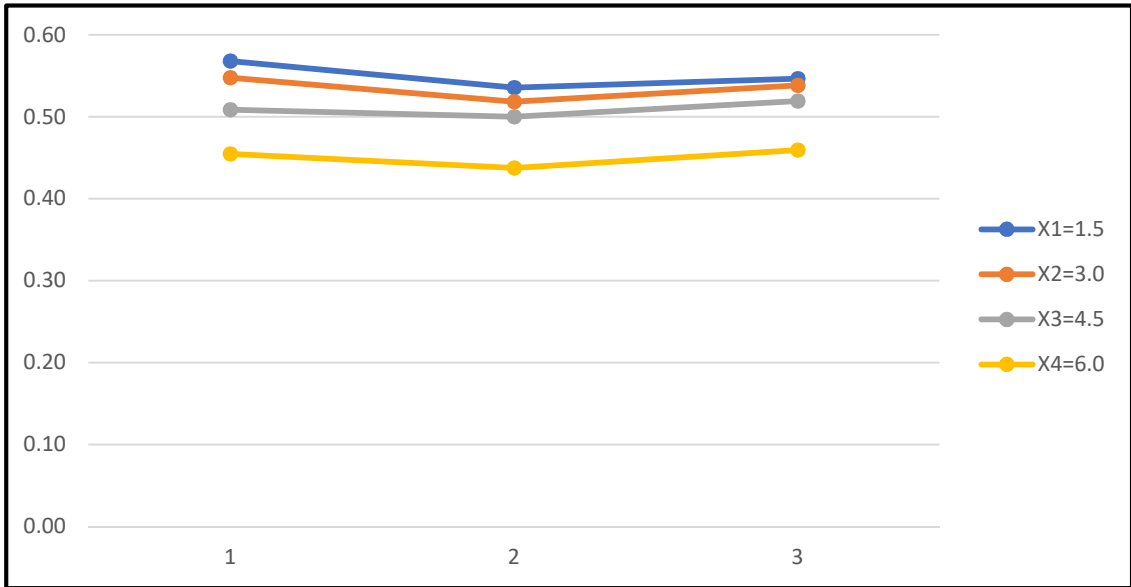


Figura 26. Contenido promedio de humedad (Día 2)

Fuente: Elaboración propia

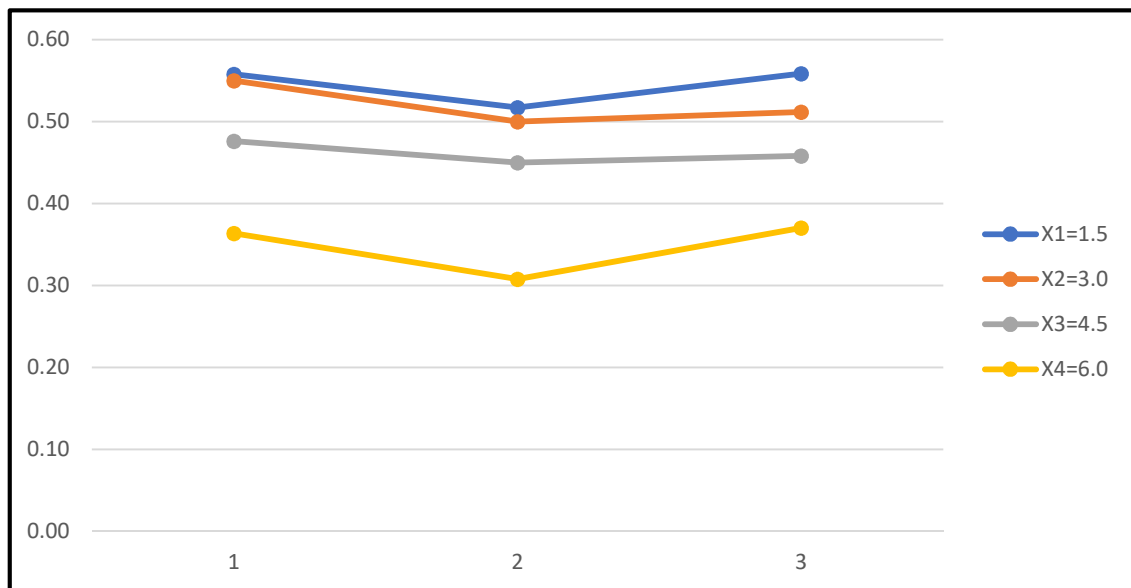


Figura 27. Contenido promedio de humedad (Día 3)

Fuente: Elaboración propia

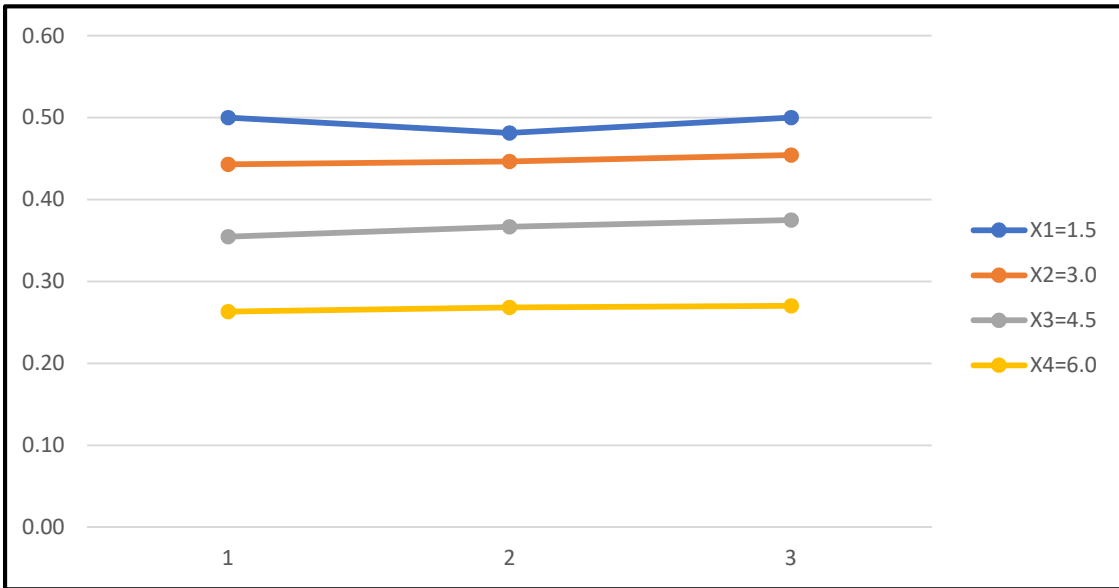


Figura 28. Contenido promedio de humedad (Día 4)

Fuente: Elaboración propia

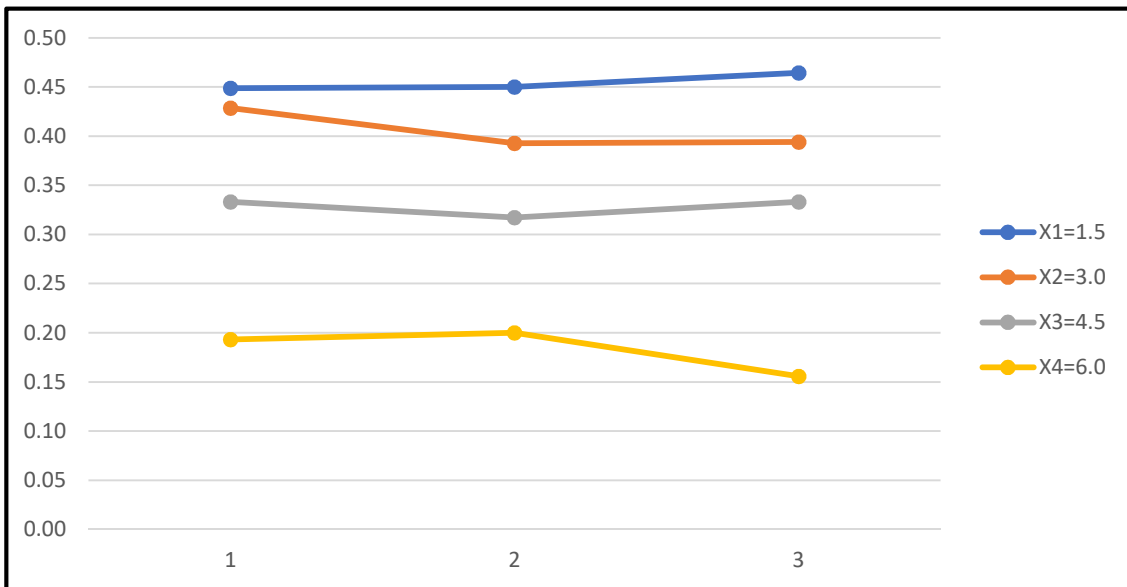


Figura 29. Contenido promedio de humedad (Día 5)

Fuente: Elaboración propia

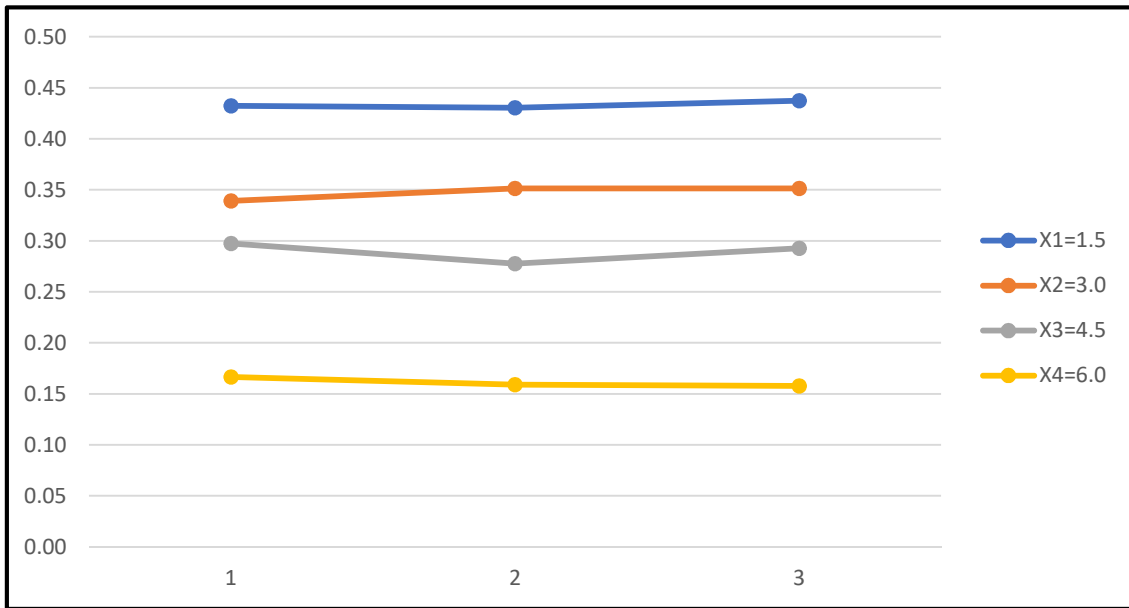


Figura 30. Contenido promedio de humedad (Día 6)

Fuente: Elaboración propia

La figura 31 representa la disminución del contenido de humedad en el que se realizó a una temperatura de 105° C y con un 61% de humedad, demostrándose que a mayor tiempo de secado del lodo residual el porcentaje de agua se reduce en cada uno de los días en el que duró el proceso.

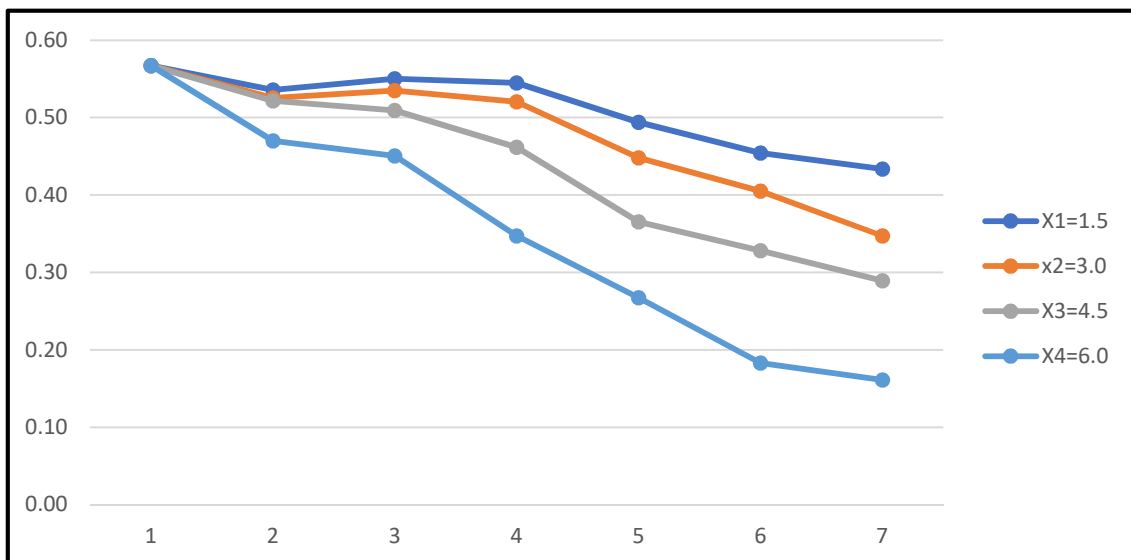


Figura 31. Contenido promedio de humedad

Fuente: Elaboración propia

Luego de haber realizado el análisis fisicoquímico, en la Tabla 10 se evaluó el porcentaje de contenido de humedad y los datos del lodo primario para poder ser aprovechados evaluando distintas alternativas como lo indica el Decreto Supremo N.º 015-2017-VIVIENDA.

Tabla 10

Valores del lodo primario de la laguna anaeróbica según norma EPA 40 CFR – 503

Parámetros		Clase A	Clase B	Lodo primario de EPSEL S. A
Fisicoquímicos	Contenido de humedad (%)	≤ 35	≤ 70	61 %

Fuente: Norma EPA 40 CFR – 503

Dentro del análisis elemental existen distintos parámetros como el carbono y nitrógeno los cuales son requeridos para la descomposición microbiana. El carbono brinda fuente de energía constituyendo un 50% aproximadamente de la masa de células microbiana, mientras que el nitrógeno es un importante componente de proteínas, enzimas, aminoácidos y ácidos nucleicos necesarios para la funcionalidad y crecimiento de las células, sirviendo como indicador de tiempo y velocidad de descomposición y compostaje. [Avendaño, 2003].

Por otro lado, el rango tolerado de pH por las bacterias es amplio, sin embargo, un pH cercano al neutro permite que se dé favorablemente el desarrollo de grupos fisiológicos caso contrario sucede con un pH inferior a un 5,5 o superiores a 8 (Sztern Daniel, 2013).

En la tabla 11 se aprecian los parámetros que debe tener el lodo estabilizado para que no afecte a los suelos y al crecimiento de las plantas.

Tabla 11

Parámetros para lodo estabilizado

Parámetros	Lodo estabilizado
pH	6,70 ± 0,01
C.E. (mmhos/cm)	2,32 ± 0,01
Materia Orgánica (% m/m)	45,96 ± 2,46
Nitrógeno Total (% m/m)	1,90 ± 0,30
Fósforo Total (% m/m)	5,46 ± 1,21
Potasio (% m/m)	0,044 ± 0,001

Fuente: Blanco, 2005.

Objetivo 3: Identificar posibles alternativas de aprovechamiento

Para identificar las posibles alternativas de aprovechamiento de lodo primario, tomándose en cuenta las alternativas descritas según las clases A y B establecidas por el Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA el cual aprueba el Reaprovechamiento de los lodos generados en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales.

Clase A:

- Espacios verdes tales como campos de golf, cementerios, lotes vacíos
- Como producto de áreas destinadas tales como jardines, parques, antejardines, plantas ornamentales.
- Para subsanar suelos contaminados y lechos biológicos para el tratamiento de emisiones y vertimientos.
- Para la agricultura como fertilizante o abono orgánico de suelos en cultivos.

Clase B:

- En la restauración de suelos degradados.
 - Insumos para la elaboración del fertilizante, abono y productos mejoradores de suelos.
 - Para las plantaciones forestales.
 - Fabricación de materiales para construcción.
 - Rellenos sanitarios.
- Aplicación de aprovechamiento energético.

Una vez realizado el análisis de humedad y determinar que el lodo primario de Epsel contiene un 61% de humedad se obtuvo que este pertenece a la clase B, es por esto que para seleccionar las alternativas, en la Tabla 12 se realizó una matriz de comparación cuantitativa, teniendo en cuenta las diferentes variables que se plantearon con el fin de que se puedan implementar cada una de ellas en el uso y aprovechamiento de lodo primario perteneciente a la planta de tratamiento de Epsel.

Variables de comparación:

- Aplicación: Nivel de complejidad de aplicación como alternativa de aprovechamiento en un rango del 1 al 5, definiendo el valor máximo a una mayor complejidad.

- Impacto Ambiental: Se refiere al cambio negativo o positivo que genera la implementación de la alternativa en el medio ambiente con un rango del 1 al 5, representando el valor máximo un impacto positivo.
- Social: Se refiere al cambio negativo o positivo que genera la implementación de la alternativa en la población con un rango del 1 al 5, representando el valor máximo un impacto positivo.
- Económico: Se hace referencia al costo beneficio que genera cada alternativa teniendo un rango del 1 al 5 representando el valor máximo a la ganancia.
- Proyección en el tiempo: Durabilidad de cada alternativa en el transcurso del tiempo con un rango del 1 al 5, representando el valor máximo un mayor periodo.
- Viabilidad: Dificultad de desarrollar las alternativas con un rango del 1 al 5, representando el valor máximo la facilidad de desarrollo.

Tabla 12*Matriz de comparación de alternativas de la clase B*

	Alternativas	Aplicación	Impacto				Proyección en el tiempo	Puntaje
			Ambiental	Social	Económico	Viabilidad		
Clase B	En la restauración de suelos degradados.	3	4	4	3	2	3	19
	Insumos para elaboración del fertilizante, abono y productos mejoradores de suelos.	4	5	4	5	4	3	25
	Para las plantaciones forestales.	5	5	4	3	3	3	23
	Para la fabricación de materiales de construcción.	4	2	2	4	3	2	17
	En rellenos sanitarios.	5	4	4	3	5	2	23

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizada la matriz de comparación, se seleccionó las alternativas con mayor puntuación y así poder aprovechar el lodo de la Ptar de EPSEL S.A

Las dos alternativas son:

- Insumos para la elaboración del fertilizante, abono o productos mejoradores de suelos.

Análisis y discusión de resultados

El lodo es el residuo que representa un gran volumen y el cual es eliminado en los tratamientos de agua residuales. La disposición final de lodos en distintos países se hace en los alrededores de las plantas de tratamiento o en vertederos, generando una gran contaminación y aumento de costos de mantenimiento. Es por esto que hace más de 17 años las lagunas de estabilización de San José pertenecientes a la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento de Lambayeque no son limpiadas acumulando más de 240 mil metros cúbicos de lodo residual superando el 50% del tirante de la laguna anaeróbica primaria, provocando que el tratamiento no sea eficiente y no exista una correcta reducción de agentes contaminantes en las aguas residuales.

En esta investigación se realizó un análisis experimental determinando el contenido de humedad del lodo producido en la ptar en el cual se obtuvo un 61% de humedad estando dentro del rango establecido por la norma EPA 40 CFR – 503 y perteneciendo a la clase B de lodos residuales.

Luego de haber obtenido este resultado se evaluaron las posibles alternativas de aprovechamiento establecidas en el Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA siendo seleccionadas la de mayor puntaje indicando que los lodos serían viables para su utilización como insumos para la elaboración de fertilizante, abono y productos mejoradores de suelos al igual como en la investigación realizada en Colombia la cual realizó un aprovechamiento de lodos del municipio de Funza para poder ser utilizados como insumo de cultivo y mejoramiento de los suelos realizando pruebas experimentales en cultivos de zanahoria y lechuga dando como resultado que la utilización de esta alternativa si es viable (Vásquez & Vargas, 2018), así como también es viable la producción de abono orgánico en Perú utilizando como metodología el proceso de compostaje por pilas de volteo generando así un producto orgánico para los suelos agrícolas de la región (Burga, 2014).

Conclusiones

- Existe una disposición actual nula de lodos en lagunas de estabilización de San José ocasionando impactos negativos a la sociedad, medio ambiente y al tratamiento mismo. Sin embargo, luego del estudio realizado se demuestra que el lodo producido tiene características fisicoquímicas aptas para su futuro aprovechamiento.
- La falta de aprovechamiento de los lodos producidos en la PTAR trae consigo consecuencias negativas debido a su acumulación por más de 20 años, y más aún sin contar con mantenimiento alguno ocasionando la reducción en la eficiencia de remoción de contaminantes en las lagunas anaeróbicas en tratamiento de aguas residuales.
- La caracterización fisicoquímica demuestra que el lodo con un contenido de humedad del 61% se encuentra dentro del parámetro establecido por la norma EPA 40 CFR – 503 para su posible aprovechamiento.
- El análisis experimental desarrollado en esta investigación arroja resultados positivos para la utilización de los lodos producidos en la laguna anaeróbica primaria como insumos para la elaboración de fertilizante, abono y productos mejoradores de suelos.

Recomendaciones

- Los resultados de la investigación pueden ser aprovechados para la aplicación en otras PTAR que tengan una problemática similar realizando un nuevo análisis adaptándolo al contexto de la empresa.
- Realizar un análisis experimental evaluando otros tipos de parámetros como los microbiológicos para la obtención de resultados más precisos y de nuevas alternativas para el aprovechamiento del lodo residual.

Anexos



Figura 32. Entrada principal de Lagunas de Estabilización San José - Chiclayo

Fuente: Elaboración propia



Figura 33. Llenado y pesado de muestras

Fuente: Elaboración propia



Figura 34. Secado de muestras a 105°C

Fuente: Elaboración propia



Figura 35. Toma de muestra

Fuente: Elaboración propia

Bibliografía

Aldana, A. & Pérez, R. (2017). *Propuesta para el aprovechamiento y tratamiento de lodos en una PTAR convencional. Caso de estudio: planta de tratamiento de agua potable de El Espinal-Tolima*. (Tesis de grado de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de la Salle, Bogotá). Recuperada de http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/22405/41112712_2017.pdf?se

Beltrán, T. & Campos, C. (2016). *Influencia de microorganismos eficaces en la calidad de agua y lodo residual en planta de tratamiento de Jauja*. (Tesis para el grado de Ingeniero Forestal y Ambiental, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú). Recuperada de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3461/Beltran%20Beltran-Campos%20Rivero.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Burga, A. (2014). *Valoración de lodos sedimentados producidos en las lagunas de estabilización de EPSEL como abono orgánico*. (Tesis para el grado de Ingeniero Industrial. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú). Recuperada de http://tesis.usat.edu.pe/bitstream/usat/493/1/TL_Burga_Rafael_AlbertoFernando.pdf

Calderón, M. (2018). *Análisis comparativo y propuesta de aprovechamiento de los lodos residuales de las plantas de tratamiento de aguas residuales de Sedapal*. (Tesis para el grado de Ingeniero Ambiental, Universidad Federico Villareal, Lima, Perú). Recuperada de <http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/2708/CALDERON%20DE%20LA%20CRUZ%20MARCELITA%20DEL%20CARMEN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Chuquimamani, H. (2018). *Evaluación del Proceso de Compostaje de los lodos originados del tratamiento de aguas residuales textiles*. (Tesis para el grado de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional De San Agustín, Arequipa, Perú). Recuperada de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5946/AMcharhp.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Castagnino, S. (2014). *Efectos de la aplicación de los lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales sobre el suelo*. (Tesis para el grado de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú). Recuperada de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2337/F04-G34T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Decreto Supremo 003 – 2010 MINAM, Diario El Peruano, 17 de marzo de 2010.

Gabriel, Y. (2018). *Bacterias patógenas y sus condiciones ambientales en las lagunas de estabilización del distrito de San José*. (Tesis para el grado de Ingeniero Ambiental, Universidad de Lambayeque, Chiclayo, Perú). Recuperada de <http://repositorio.udl.edu.pe/bitstream/UDL/128/1/TESIS%20NELVI%20GABRIEL%20PEREZ%20ING.%20AMB..pdf>

Gómez L. & Merchán A. (2016). *Caracterización fisicoquímica de lodos originarios en una planta de tratamiento de agua residual industrial de una empresa cafetera del Departamento de Caldas*. (Tesis para el grado de Ingeniero Ambiental, Universidad Católica de Manizales, Colombia). Recuperada de <http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/1305/Laura%20Lizeth%20Gomez%20Molina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Huamán, A. & Palco, A (2018). *Valoración fisiológica como abono orgánico de lodos activados en lagunas de estabilización de Jaén*. (Tesis para el grado de Ingeniero Ambiental, Universidad de Lambayeque, Chiclayo, Perú). Recuperada de <http://repositorio.udl.edu.pe/bitstream/UDL/199/1/Huam%C3%A1n%20Tineo%20y%20Palco%20Cusquisiban.pdf>

Kanti, A., Rahman, O., Das, S. & Hossain, S. (2015). *Resources and Environment*. Recuperada de <http://article.sapub.org/10.5923.j.re.20150502.01.html>

Martínez, A., Castillo, J. & Orgaz, F. (2016). *Propuesta metodológica para aprovechamiento de biosólidos producidos en plantas de tratamiento de aguas residuales - agricultura*. (Estudio de caso en República Dominicana). Recuperada de <http://www.eumed.net/rev/delos/26/biosolidos.html>

Norma OS090, Diario El Peruano, Perú, 08 de junio de 2006.

Pérez, M. (2016). *Tratamiento de lodos residuales originarios en plantas de tratamiento de aguas residuales mediante distintos procesos electroquímicos para la disminución de metales pesados (Pb)*. (Tesis de grado de Ingeniería Ambiental, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador). Recuperada de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12045>

Pomalaza, C. & Ramos, J. (2016). *Vermiestabilización de lodos activados para la obtención de compost y su efecto de calidad de las plántulas de P. RADIATA – San Pedro de Saño*. (Tesis para el grado de Ingeniero Forestal y Ambiental, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú). Recuperada de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3479/Pomalza%20Salinas-Ramos%20Paucar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ramdani, N., Hamou, A., Lousdad, A. & Al-Douri, Y. (2014). *Physicochemical characterization of sewage sludge and green waste for agricultural utilization*. Recuperada de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09593330.2014.998716>

Vásquez, J. & Vargas, G. (2018). *Aprovechamiento de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Funza, como insumo de cultivo y mejoramiento de suelo*. (Tesis de grado de Ingeniería Civil, Universidad Católica de Colombia, Colombia) Recuperada de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16425/1/Trabajo%20de%20Grado%20-%20%20Lodos%20Funza.pdf>