



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Tratamiento por electrólisis de NaCl en la remoción
de coliformes totales y fecales en lodos residuales del
PTAR Ayacucho**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES:

Aramburu Zevallos, Marvin Ciro (ORCID 0000-0002-6258-4617)

Trejo Alanya, Christian (ORCID 0000-0001-7205-097X)

ASESOR:

Mgr. Reyna Mandujano, Samuel Carlos (ORCID 0000-0002-0750-2877)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA — PERÚ

2021

DEDICATORIA

A nuestros padres que son fuente de inspiración, fuerza y fortaleza para seguir adelante y así desarrollarnos profesionalmente aportando al desarrollo de la sociedad.

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradecer a Dios por la vida, salud y el conocimiento, por velar y guiar nuestro camino por el sendero correcto.

A la Universidad César Vallejo por darnos la oportunidad de seguir desarrollándonos profesionalmente y obtener el título de Ingeniero Ambiental.

A la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR – Ayacucho por darnos las facilidades y apoyo para el desarrollo de la investigación.

A nuestros asesores de tesis por su dedicación, esfuerzo y constancia para que nuestro trabajo de investigación sea finalizado con éxito.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|-----|
| CARÁTULA..... | i |
| DEDICATORIA | ii |
| AGRADECIMIENTO | iii |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS | iv |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | v |
| RESUMEN | vi |
| ABSTRACT..... | vii |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. MARCO TEORICO | 5 |
| III. METODOLOGÍA | 12 |
| 3.1. Tipo y diseño de Investigación..... | 12 |
| 3.2. Variables y operacionalizacion..... | 12 |
| 3.3. Población y muestra..... | 14 |
| 3.4. Técnicas e instrumentos e instrumentos de recolección de datos | 15 |
| 3.5. Procedimiento | 16 |
| 3.6. Método de análisis de datos | 17 |
| 3.7. Aspectos éticos | 17 |
| IV. RESULTADOS | 18 |
| V. DISCUSIÓN | 22 |
| VI. CONCLUSIONES | 28 |
| VII. RECOMENDACIONES..... | 29 |
| REFERENCIAS..... | 30 |
| ANEXOS | 39 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Características físico químicas de los lodos PTAR Totorá..... | 18 |
| Tabla 2. Carga de coliformes totales en los lodos (UFC/g)..... | 18 |
| Tabla 3. Remoción porcentual de los coliformes totales en los lodos..... | 19 |
| Tabla 4. Carga de coliformes fecales en los lodos (UFC/g)..... | 20 |
| Tabla 5. Carga de coliformes fecales en los lodos (UFC/g)..... | 20 |

RESUMEN

En la ciudad de Huamanga, el problema que presenta la PTAR Ayacucho es el contenido de los coliformes fecales y totales en los residuos de los lodos que están por encima de los límites máximos permisibles, como alternativa de solución al problema se plantea el objetivo: Determinar el mejor tratamiento de electrolisis de NaCl en la remoción de coliformes totales y fecales en lodos residuales del PTAR la Totorá.

El nivel de investigación es aplicativo y el diseño es experimental donde se evaluó el efecto del tipo de electrodo de grafito y hierro y el tiempo de exposición de 30, 60 y 90 minutos sobre la carga de coliformes totales y fecales y se comparó con las normas del manejo y reúso de los lodos.

Los lodos presentaron características físico químicas, humedad de 67.50%, pH de 5.8, conductividad eléctrica 0.39 mS/cm, densidad real 1.47 g/l, cumpliendo con los límites máximos permisibles y estando aptos para realizar el compostaje para usarlo en la agricultura; así mismo, se evaluó la eficiencia del tipo de electrodo y el tiempo de exposición en el proceso electroquímico del tratamiento de lodos resultando el mejor tratamiento el T33 (electrodo de grafito en un tiempo de 90 minutos) logrando remover el 100% de la carga de coliformes totales y coliformes fecales produciendo un lodo de clase A menor a 1000 considerado de tipo excelente y puede ser destinado para el uso en áreas verdes urbanas sin riesgo a las personas que entran en contacto directo con el lodo tratado.

Palabra clave: Electrolisis, coliformes totales, coliformes fecales, lodos residuales.

ABSTRACT

In the city of Huamanga, the problem presented by the PTAR Ayacucho is the content of fecal and total coliforms in the waste sludge that are above the maximum permissible limits, as an alternative solution to the problem the objective is: To determine the best NaCl electrolysis treatment in the removal of total and fecal coliforms in waste sludge from the PTAR la Totorá.

The research level is applicative and the design is experimental where the effect of the type of graphite and iron electrode and the exposure time of 30, 60 and 90 minutes on the load of total and fecal coliforms was evaluated and compared with the sludge management and reuse standards.

The sludge presented physical-chemical characteristics, moisture of 67.50%, pH of 5.8, electrical conductivity 0.39 mS/cm, real density 1.47 g/l, complying with the maximum permissible limits and being suitable for composting for use in agriculture; Likewise, the efficiency of the type of electrode and the exposure time in the electrochemical process of the sludge treatment was evaluated. The best treatment was T33 (graphite electrode in a time of 90 minutes), achieving the removal of 100% of the total coliform and fecal coliform load, producing a sludge of class A less than 1000, considered excellent and can be used in urban green areas without risk to people who come into direct contact with the treated sludge.

Keyword: Electrolysis, total coliforms, fecal coliforms, sewage sludge.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad en todas las ciudades las poblaciones están creciendo de forma exponencial, las personas se agrupan cada vez más en las urbes generando desechos sólidos y líquidos, la ciudad de Ayacucho no es ajena a esta realidad, donde el aumento de las aguas residuales ha crecido en volumen y por ende los lodos residuales se incrementaron, provocando malos olores por la presencia de coliformes fecales afectando de manera directa a la población circundante y dañando el medio ambiente, provoca en la población enfermedades al sistema respiratorio, infecciones intestinales y afecciones a la piel (Carrión y Israel, 2016, p. 3); los malos olores se desprenden de las cribas que recogen los sólidos gruesos y son expuestas al sol para su secado (Nieto y Vilma 2018, p. 4).

La sostenibilidad de los residuos que producen los centros de tratamiento como lodos y biosólidos es un problema a solucionar en la actualidad por que representa el 60 % de los costos de operación del PTAR, la producción total puede llegar a muchas toneladas anuales dependiendo de la población que descarga sus desechos en el PTAR; a esto se suma, la necesidad de evaluar alternativas sostenibles del uso posterior elaborando compost de los biosólidos (Lozada et al. 2015, p. 55).

En la mayoría de los PTAR el tratamiento de los lodos residuales es muy costoso; debido a que, se requiere reactores estabilizadores o sistemas de deshidratación, por este motivo, muchas veces son depositados de manera ineficiente en vertederos, son incinerados sin medir las consecuencias de polución ambiental; cabe señalar, que los lodos pueden ser utilizados por que contienen propiedades benéficas como materia orgánica y minerales que pueden servir para la fertilización de las plantas y mejoramiento de los terrenos agrícolas (Sánchez et al. 2020, p. 24).

El PTAR de la ciudad de Ayacucho lleva el nombre de Totorá y está localizada en la ciudad de Ayacucho, empezó a operar en enero del 2004, sometiendo a tratamiento a 360 L/s de aguas residuales en promedio; el cual luego de su tratamiento tiene un potencial de generación de lodos de 14.02 m³ al año,

los cuales son reservados para su uso como abono en jardinería y agricultura (EPSASA 2015, p. 56), las concentraciones permitidas en los biosólidos es de 2.0×10^6 NMP/g, pero resultan ser peligrosos si superan concentraciones de coliformes fecales en 1.5×10^3 NMP/g y presencia de microorganismos fecales de 5.6×10^2 NMP/g (SEMARNAT 2015, p. 45).

Los biosólidos que se obtienen se encuentran en estado líquido, semisólido y sólido que contienen en su composición metales pesados, diferentes patógenos como bacterias, virus, termatodos, cestodos, nematodos que afectan de manera directa a la salud de los pobladores y animales domésticos y silvestres produciendo en ellos diferentes y graves enfermedades; así mismo, contiene componentes orgánicos como pesticidas, colorantes, detergentes que poseen un bajo poder de disolución en el agua, esto permite que se precipiten y formen parte activa de los biosólidos produciendo daños directos e indirectos al medio ambiente porque no se degradan y por su poder de bioacumulación reingresan a la cadena trófica doméstica y silvestre a través del agua y el suelo (Bolívar, Betancur y Valencia 2015, p. 2); por otra parte, se contaminan aguas continentales de influencia del PTAR por los vertimientos con deficiente tratamiento, ocasionan impactos negativos río abajo en las poblaciones humanas, animales y plantas, por esta razón es necesario que elaborar un buen diseño de las plantas de tratamiento de agua residual (PTAR) (Ospina y Lorena 2020, p. 8)

En base al análisis se plantea el siguiente problema de investigación ¿Cuál es el mejor tratamiento de electrolisis de NaCl en la remoción de coliformes totales y fecales en lodos residuales del PTAR Ayacucho?

Se ha identificado tres problemas específicos ¿Cuáles son las características físico químicas del lodo residual generados en la PTAR Totorá?, ¿Cuál es el mejor tratamiento de electrolisis de NaCl en la remoción de coliformes totales en lodos residuales del PTAR Ayacucho? y ¿Cuál es el mejor tratamiento de electrolisis de NaCl en la remoción de coliformes fecales en lodos residuales del PTAR Ayacucho?

El desarrollo de la investigación se justifica porque va a brindar un conjunto de conceptos y teorías que expresan experiencias y conocimientos diversos sobre

las aguas residuales de la ciudad de Ayacucho que produce en promedio 360 l/s; así mismo, tiene un uso práctico porque servirá de insumo de consulta para futuras investigaciones afines al tema en estudio respecto al tratamiento por electrolisis de NaCl para controlar los coliformes totales y fecales, de igual manera, tiene un aporte metodológico porque se estudia la variable haciendo uso del estudio experimental evaluando el efecto del tipo y el tiempo de exposición de los electrodos sobre la carga de coliformes totales y fecales y su comparación con los límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos que establecen las normas del manejo y reúso de los lodos.

El PTAR la Totorá genera malos olores, ocasiona malestar y molestias a los pobladores de la ciudad de Huamanga; como consecuencia, la población está expuesta a fenómenos de sensibilización y desensibilización, por lo que, un grupo de pobladores perciben los malos olores y se quejan, por otra parte, la desensibilización ocurre en pobladores que ya no perciben el mal olor, la producción de sulfuro de hidrógeno es el que causa la reacción hedionda a los pobladores de la ciudad de Huamanga, la fermentación anaeróbica de la materia orgánica que proviene de los sistemas de alcantarillado se emite a la atmósfera y va mermando la salud de la población circundante por la contaminación del aire, esta contaminación se debe a la generación de sedimentos orgánicos y artificiales, por el deficiente manejo de las aguas residuales y poca degradación de la acumulación de elementos orgánicos, por ello, la capacidad de la planta de tratamiento del PTAR ha sido superada por los desechos de aguas servidas que producen las viviendas de los pobladores huamanguinos.

El objetivo general de la presente investigación es; determinar el mejor tratamiento de electrolisis de NaCl en la remoción de coliformes totales y fecales en lodos residuales del PTAR Ayacucho.

Se propone tres objetivos específicos; caracterizar fisicoquímicamente el lodo residual generado en la PTAR Ayacucho; determinar el mejor tratamiento de electrolisis de NaCl en la remoción de coliformes totales en lodos residuales del PTAR Ayacucho y determinar el mejor tratamiento de electrolisis de NaCl en la remoción de coliformes fecales en lodos residuales del PTAR Ayacucho.

La hipótesis general es: La electrolisis de NaCl evaluando el tipo de electrodo y tiempo de electrólisis tiene efecto en la remoción de coliformes totales y fecales en lodos residuales del PTAR Totorá – Ayacucho.

Se proponen tres hipótesis específicas: Es posible caracterizar fisicoquímicamente el lodo residual generado en la PTAR Totorá; es posible determinar el mejor tratamiento de electrolisis de NaCl en la remoción de coliformes totales en lodos residuales del PTAR Ayacucho y es posible determinar el mejor tratamiento de electrolisis de NaCl en la remoción de coliformes fecales en lodos residuales del PTAR Ayacucho.

II. MARCO TEORICO

Para Perez (2016, p. 5) el trabajo de investigación realizado en Ecuador, tuvo como objetivo tratar los biosolidos usando métodos electroquímicos para disminuir la aglutinación de plomo, los parámetros de evaluación fueron la conductividad eléctrica y humedad con la adición de NaCl como electrolito, las variables de estudio fueron el tipo de electrodo, distancia entre electrodos y tiempo de tratamiento electroquímico, estableciéndose dos niveles en cada variable; electrodo grafito grafito y hierro hierro con una distancia de electrodos de 6 a 5 centímetros y un tiempo de tratamiento de 90 a 120 minutos, obteniendo como resultado la remoción del 70 % del plomo en lodo no deshidratado con 98 % de humedad y una remoción del 13 % en lodo deshidratado con una humedad del 70%.

Para García (2016, p. 6) en el trabajo realizado en el PTAR de Ucubamba, Cuenca tuvo como objetivo estudiar la desinfección del lodo residual usando eficientemente los procesos electroquímicos; en la metodología usó tres celdas electrolíticas con humedad homogénea, factores como pH y conductividad eléctrica con distancias de 5, 5.5 y 6 cm entre electrodos y expuesto por un rango de tiempo de 10 a 90 minutos; los resultados muestran del cien por ciento de los coliformes totales y fecales con el electrodo grafito en un tiempo de 60 minutos manifestando mayor eficiencia en comparación a los electrodos de hierro.

Según González (2018, p. 19) en el trabajo realizado en Bogotá, tuvo como objetivo determinar la eficacia del control de coliformes fecales en aguas residuales y lodos precipitados; en la metodología se consideró un diseño de experimentos factoriales, considerando como factores al agente oxidante y el tiempo de contacto, seguidamente se aplicó el método de electrolisis logrando obtener una aglutinación de 3.87 g/l de NaCl. Los resultados mostraron la presencia del agente oxidante, la interrelación de los factores y el tiempo de contacto sobre la capacidad de inhibición del agente clorado.

Para Araujo (2017, p. 5) la investigación que realizó en el PTAR de Puente Piedra, el objetivo a implementar fueron tratamientos que midan la eficiencia de la reacción electroquímica que permitan remover los coliformes totales y fecales; por

lo que, se identificó los biosólidos, la metodología que se usó fue experimental, se usaron 6 celdas de vidrio, NaCl, fuente de energía, lodos y electrodo de grafito; los resultados demostraron una reducción del 100 % de la concentración de patógenos microbiológicos en los residuos de los lodos, la influencia de la reacción electroquímica es significativa y permite la remoción de los factores de estudio; al contrario, el cloruro de sodio no presenta influencia significativa; así mismo, el biosólido se usa como aportante de materia orgánica que contiene minerales expresados en macro elementos y micro elementos que son útiles para la nutrición de las plantas.

Según Ybañez (2018, p. 5) en la investigación desarrollada en el PTAR de Ventanilla Lima se planteó como objetivo calcular el nivel de extracción de Pb y Cd mediante la técnica electrocinética; en la metodología para analizar los lodos de la laguna primaria se extrajo 300 kilos de lodos y como muestra se obtuvo 15 kg, para el análisis se usaron tres celdas electrolíticas donde se agregó el biosólido y se colocaron las barras de carboncillo en una solución de NaCl, ejecutadas en 5 tratamientos por un tiempo de 20 horas cada una, como resultado se obtuvo que el tratamiento 03 reduce la concentración del plomo a 52 mg/kg, cadmio 1100 mg/kg.

Según Roque (2016, p. 15) en la investigación desarrollada en el PTAR Chilpina en Arequipa planteó como objetivo construir una celda con electroreactor para desinfectar las aguas residuales y biosólidos, en la metodología se identificó géneros bacterianos, *Escherichia coli* y coliformes fecales, como resultado hubo una reducción significativa de los parámetros de óxido reducción, sólidos totales disueltos, turbidez, DBO5 y DQO, lográndose disminuir la turbidez de 58,08 a 0.84 NTU con excelentes resultados organolépticos.

Los centros de procesamiento conocidas como PTAR, representan diversos sistemas y un conjunto de operaciones interrelacionadas de origen físico, biológico y químico que interactúan con el objetivo de minimizar la contaminación y los factores indeseables de las aguas servidas de origen natural o antrópico proveniente de zonas de abastecimiento, proceso o residual, por lo que, se implementa tecnología especializada que garantice estos procesos, está constituido por los ETAP (plantas potabilizadoras), cuyo fin es garantizar que el

agua tratada sea potable para el consumo de animales y el hombre, este proceso se logra de aguas residuales que provienen de diferentes actividades industriales, agrícolas y domésticas (Diseprosa 2015, p. 3). Se garantiza el reúso de las aguas tratadas por que se ha logrado retirar los contaminantes para que luego sean vertidas en los ríos, lagos y mares; porque, no representan un peligro a la salud y al medio ambiente, su uso es permitido en todas las actividades a excepción del consumo humano, no es posible que se beba o se use para el aseo personal (Ferrer, et al. 2018, p. 2).

Las plantas de aguas residuales tienen un tratamiento primario, consiste en reducir la concentración de aceites, grasas, sólidos y arena, al ser procesos específicos y de mucha precisión se utilizan maquinarias especializadas (Araujo 2017, p. 25). El tratamiento primario o pre tratamiento implica actividades físicas que buscan generar las condiciones óptimas del agua para los procesos posteriores, por lo que, se considera colocar rejillas para eliminar elementos de gran tamaño que pueden obstruir y causar daños físicos; así mismo, se considera colocar rejillas finas y tamices que sirven de barrera para capturar la suspensión de sólidos de tamaño pequeño, seguidamente; la dilaceración permite moler los sólidos gruesos sin separarlos del flujo consiguiendo partículas uniformes y estables que serán eliminados posteriormente; de igual forma, se considera la construcción de un desarenador, desengrasado, sedimentación primaria, flotación por aire (Figuerola 2015, p. 3)

El segundo procesamiento de los desechos líquidos domiciliarios radica en la degradación de las fuentes de carbono orgánico con participación activa de los seres microscópicos que viven en los residuos líquidos, el producto de esta degradación son los biosólidos activados (Araujo 2017, p. 28). El tratamiento secundario considera el desarrollo biológico, a su vez, puede ser sustituido por una vía físico química lo que permite una mejor solidificación de los biosólidos; esto, permite mayor fijación de los fosfatos que provienen de la actividad agrícola, en este proceso, la participación del oxígeno es fundamental que participa reduciendo las sustancias grasas, así mismo, se observa la precipitación secundaria que da origen a biosólidos secundario (Farias 2018, p. 5)

El uso de electricidad para el tratamiento de aguas residuales se origina en Inglaterra en el año 1889, los procesos electrolíticos se usaron para recuperar metales pesados y fue el invento de Elmor en 1904 y pasado 5 años se desarrolló el proceso de electrocoagulación con aluminio y hierro, estos métodos se iniciaron a ejecutar en países como la Ex Unión Soviética y los EE.UU de América debido al alto consumo de energía eléctrica, en la actualidad la demanda por el cuidado del medio ambiente en especial de los afluentes naturales a puesto en boga la técnica del suministro de sistemas electroquímicos que se usan para diferentes procesos como el manejo de las aguas negras de origen natural provenientes de textilerías, curtiembres, papelería, aguas con metales pesados y aceite (Tavares 2020, p. 8). El desarrollo del proceso se usa como electrolito de soporte y medio de lixiviación al NH_4Cl con sustento en la capacidad de extracción de los metales en un sistema lotizado, por lo que, los estudios sistémicos demostraron que existe relación entre el comportamiento de los metales y el funcionamiento del reactor; por lo tanto, la base del proceso de separación de metales es fundamental en el tratamiento de lodos industriales de importancia económica disminuyendo su concentración en las aguas residuales y biosólidos (Cruz et al. 2018, p. 10).

El cieno proviene del tratamiento y procesamiento de los desechos residuales que se encuentran en estado líquido o semilíquido con 12 a 25 por ciento de sólidos, está compuesto por elementos tóxicos, materia orgánica y una proporción mucho menor de materia sólida (Moscoso 2015, p. 178). La composición de los lodos está influenciada por los factores de tipo de instalación y tipo de agua residual de acuerdo a esto varía su composición (Limón 2015, p. 22).

Los lodos contienen una amplia población microbiana conformada por bacterias, virus, protozoarios y otros parásitos que se encuentran concentrados en el lodo, estas poblaciones desaparecen a medida que las aguas residuales son tratadas, obteniéndose como producto final aguas libres de patógenos (García, Cardenas Maria Isabel 2016, p. 32).

Los microorganismos patógenos causan daños directos e indirectos a las poblaciones humanas y animales por que poseen alta incidencia de parásitos en las poblaciones mundiales, así mismo, poseen un alto nivel de supervivencia de los

huevos de los patógenos; la medición de los parámetros microbiológicos se encuentran tipificados dentro de los seres vivos microscópicos cuyo último aceptor de electrones es el oxígeno (Mamani 2015, p. 20).

Los microorganismos mesófilos crecen en temperaturas entre 15 a 35 grados centígrados; entre tanto, los microorganismos psicrófilos prefieren temperaturas frías; a su vez los microorganismos termófilos crecen en altas temperaturas; así mismo, la bacteria de la salmonella produce sulfuro de hidrogeno consta de bacilus Gram negativos, aerobios facultativos y posee flagelos peritricos; por su parte, los coliformes totales producen gas por que fermentan la lactosa pueden ser aerobias o anaerobias facultativas pueden pertenecer a los géneros *Escherichia*, *Klebsiella* y *Enterobacter*, los coliformes fecales son termo sensibles pueden morir a temperaturas de cocción de alimentos, su temperatura óptima es de 37 grados centígrados, la especie *Escherichia coli* es la más importante (Centeno et al., p. 45)

La revisión de los tratamientos de aguas residuales se identifican organismos indicadores como Coliformes totales, *Escherichia coli*, coliformes termo tolerantes; en su control se usan los mohos que son heterótrofos, forman parte de los hongos, toleran ambientes ácidos o básicos que superan el rango de las bacterias, teniendo como promedio de 5.6 el pH para su crecimiento, su temperatura optima es de 25 a 30 grados centígrados, se multiplican por esporas, soportan ambientes secos; por otra parte, las levaduras se reproducen por gemación, prefieren zonas húmedas con abundante agua con pH ácidos entre 4 a 4.5 son de respiración aerobia (Paredes 2017, p. 56).

El tratamiento de aguas residuales produce diferentes biosolidos o lodos residuales; entre estos encontramos, los lodos crudos llamados lodos sin digerir, son aquellos que no han recibido ningún proceso de tratamiento ni estabilización y son extraídos de manera directa de los sedimentadores; por su parte, los lodos residuales provienen de las estaciones depuradoras, poseen abundante materia orgánica requieren un manejo adecuado para su posterior uso; los lodos primarios se encuentran en un estado no disuelto, contienen abundantes restos orgánicos con una descomposición inicial, su apariencia es densa con 92 a 96 por ciento de agua, los fangos que se producen en esta etapa provienen de la decantación

primaria la cantidad que se obtiene depende de la concentración de los sólidos suspendidos y la eficiencia de decantación (Araujo 2017, p. 32),

Los lodos biológicos son ricos en lodos activos que se producen en los reactores biológicos son ricos en microorganismos y sustrato posteriormente son trasladados mediante tolvas para su almacenamiento, tratamiento y disposición final, es una gran fuente de materia orgánica rica en energía que puede ser aprovechada si recibe el adecuado manejo (Limón 2015, p. 33)

Los lodos mixtos provienen de la mezcla de lodos primarios y secundarios posee 38.7 por ciento de materia orgánica, compuestos nitrogenados totales de 24.2 por ciento y otros elementos minerales, a su vez, los lodos químicos o terciarios se originan como producto de la adición de sales de hierro o aluminio y cal que son aplicados para su estabilización, su manejo se da en procesos posteriores y se adicionan floculantes para su mejor manejo (Araujo 2017, p. 42).

La electrolisis provoca en el líquido un cambio a nivel químico por la participación directa de la electricidad que es provista por dos electrodos que están en contacto con el líquido que debe contener y ser conductor de sustancias que reaccionen mediante la oxidación y la reducción, provocando un paso neto de electrones provocando la oxidación de las especies vinculadas en la superficie de ánodo y la reducción de otros en el cátodo (Maldonado 2014, p. 52).

La electroquímica tiene como principio estudiar las relaciones entre las reacciones químicas y la electricidad, de esta manera, se aprovecha las reacciones Redox; aplicando el potencial eléctrico externo con el objetivo de que los electrones pasen de un lado a otro mediante las reacciones de óxido reducción, las reacciones se realizan en celdas electrolíticas que están formadas por tres unidades con funciones únicas; los electrodos conducen la corriente eléctrica y participan en la reacción oxido-reducción, se clasifican de acuerdo a donde se realiza la oxidación (ánodo) y la reducción (cátodo); de esta manera, se presenta la relación ánodo – cátodo por el movimiento de electrones; a su vez, es necesario la presencia de un electrolito con iones diluidos que participan en la obtención de la materia prima y los resultados que se obtienen en todo el proceso, la fuente de energía permite que

los electrones pasen de la zona positiva a la zona negativa. (Hernández y Tafur 2018, p. 45).

La ionización ocurre en casi todos los compuestos orgánicos e inorgánicos; así mismo, se produce este proceso cuando se disuelven en líquidos iguales o similares al agua, las moléculas se disocian en sustancias químicas con cargas positivas y negativas con propiedades de ser conductores de electricidad, el principio se basa en el movimiento de los iones positivos hacia la barra negativa y los negativos se mueven al lado positivo; en los electrodos existe la posibilidad de sumar y restar electrones y convertirse en moléculas y átomos nulos, influye el potencial que recibe en los electrodos (García, Cardenas Maria Isabel 2016, p. 86).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de Investigación

Tipo de Investigación

Es aplicada del nivel experimental, se manipuló la variable independiente no comprobada en condiciones controladas por el investigador, permitiendo introducir variables que se pueden manipular controlando el incremento o disminución de la variable permitiendo medir el efecto en la conducta observada (Alfaro 2012, p. 29)

Diseño de investigación

Se usó el diseño DCA (Diseño completamente al azar), esta prueba estadística estudia el análisis de varianza que se descompone en varianza de tratamientos, varianza del error y la diferencia significativa entre los tratamientos y su comparación en base a la distribución F.

Se empleó el siguiente modelo estadístico lineal:

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

Dónde:

Y_{ij} : Es la observación en la j-ésimo unidad experimental, sujeta al i-ésimo tratamiento (Carga microbiana).

μ : Es el efecto de la media experimental.

τ_i : Es el efecto de los i-ésimo tratamiento (Tipo de electrodo, Tiempo de tratamiento).

ε_{ij} : Es el efecto del j-ésimo unidad experimental, sujeta al i-ésimo tratamiento (Error experimental).

3.2. Variables y operacionalización

Variable Independiente: Electrólisis del NaCl

La electrólisis del NaCl se fundamenta en el movimiento y la conductividad de los iones en las soluciones de electrolitos considera atracciones inter iónicas,

solvatación de iones y viscosidad del solvente, la energía cinética de los iones soluto se incrementa a mayores temperaturas y la resistencia la transmisión electrolítica disminuye a mayores temperaturas (Araujo 2017, p. 4)

Definición operacional

Es necesario identificar las características físico químicas del lodo residual con el fin de conocer las condiciones iniciales; por lo que, se tomó una muestra 20 g y se calculó la conductividad eléctrica mediante el análisis de suelos y biosólidos usando el conductímetro LAQATWIN EC11, el parámetro de la humedad se determinó con el equipo analizador de humedad Mettler Toledo; el acondicionamiento del lodo se realizó previa instalación de la cubeta de electrólisis, fuentes de energía, electrodos, pinzas electrolíticas; luego, el pH debe ser cercano a la neutralidad, la conductividad eléctrica se incrementa adicionando una solución salina al 12.5 % a los lodos residuales, de igual manera, se adicionan electrolitos de cloruro de sodio para aumentar la conductividad del agua residual, para ello, el rango de la conductividad debe estar entre 10 – 13 miliSiemens (ms/cm); entre tanto, la humedad de los lodos es de 70 % más o menos 2 %, siendo el factor a considerar humedad del 70 % por que puede ser usado de manera directa en la producción de vegetales cultivados. Para el cálculo del proceso electrónico se preparó 3 cubas de vidrio cuadrados de 12 cm de base, altura y profundidad con una capacidad de 500 cm³, sobre ellas se pusieron arbotantes revestidos de plástico de 3.5 milímetros de espesor, largo de 11 centímetros y de ancho 3 centímetros.

Indicadores

Se considera el grafito con intervalos de 30, 60, 90 minutos y los tres últimos fierros con intervalos de 30, 60, 90 minutos.

Variable dependiente: Remoción microbiana

La remoción microbiana consiste en eliminar o disminuir la población de diversos tipos de bacterias unas más nocivas que otras que están presentes en aguas negras, el método de desinfección electroquímica permite quitar una gran

población de microorganismos patógenos que dañan a varones, mujeres, niños y animales, su aplicación es posible por el bajo costo y tecnología de fácil implementación y aplicación (Gamero 2011, p. 19)

Definición operacional

Para determinar los microorganismos de coliformes totales (NMP) se incubo a $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 48 horas usando medios artificiales con sales biliares para determinar la fase potencial y la fase real; por lo que, la fase potencial se usó el caldo lauril de sulfato de sodio para recuperar lo microorganismos dañados que se encuentran en la muestra; a su vez, en la fase real se usó el medio artificial de caldo lactosa bilis verde brillante por su propiedad selectiva. Para determinar la *Escherichia coli* se implementaron el caldo EC y se logró generar el agotamiento usando medios artificiales selectivos y con diferenciación y luego se realizó el análisis de laboratorio en las diferentes unidades formadoras de colonias UFC de las aguas negras.

Indicadores

Se considera como indicador el NMP (número más probable) de bacterias coliformes totales y el NMP (número más probable) de coliformes fecales.

3.3. Población y muestra

Población

La población está constituida por el lodo residual que se obtuvo del PTAR “La Totorá” que representa un volumen de lodos de 14.016 m^3 al año y se utilizó bajo condiciones controladas dentro del laboratorio, estos lodos residuales fueron muestreados y transportados en recipientes estériles para determinar sus cargas microbiana inicial y final después de haber sido sometido a los tratamientos en estudio

Muestra

Para el proceso de electrolisis se consideró una muestra de 1 kg de lodo residual y para la determinación microbiológica se tomó 20 g de lodos residuales,

para todas estas pruebas se realizó en tres repeticiones; estas muestras se tomaron del universo que se encuentra en la PTAR “La Totorá”.

Muestreo

Para realizar el muestreo se identificó y pesó en un balde de 18 litros la cantidad de 25 kilos de sedimento del silo del PTAR la Totorá, el recojo fue manual con la ayuda de una pala recta, la muestra recolectada se almacenó a 4 grados centígrados en un laboratorio de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga con el objetivo de garantizar la concentración de los patógenos, este procedimiento se realizó en base a la Norma Oficial Mexicana (NOM-004-SEMA-2002)

3.4. Técnicas e instrumentos e instrumentos de recolección de datos

Técnicas de recolección de datos

Se inició con la observación en lugares preestablecidos dentro de la planta de tratamiento de PTAR, los datos que se obtuvieron ha servido para la obtención de resultados y discusiones. La segunda técnica fue el análisis físico químico; se usó para caracterizar los lodos residuales originarios y calcular la humedad, el pH y la CE; a su vez esta técnica a servido para acondicionar los lodos previo a la implementación de la electrolisis. La tercera técnica es el análisis microbiológico mediante la cual se ha identificado de manera selectiva los microorganismos; por lo que, se aplicaron compuestos que inhiben el crecimiento de microorganismos ajenos al estudio de investigación

Instrumentos

Los instrumentos que se usaron son:

1. Balanza electrónica de 10 kg, marca Henzell.
2. Balanza digital OHAUS de 200 g con 2 dígitos de aproximación.
3. Balanza digital OHAUS de 50 g con 4 dígitos de aproximación.
4. Equipo de electrolisis.

5. Bombillas de aplicación.
6. Placas Petri.
7. Tubos de ensayo.
8. Pipetas de 1,5 y 10 ml
9. Mechero de Bunsen.
10. Baño maría.
11. Estufa
12. Gradillas para tubos de ensayos.
13. Cuenta colonias CL-1110 Acequilab.
14. Cámara fotográfica
15. Cuchillas cutters para apertura de bolsas
16. Mascarillas para polvos, guantes de neopreno y quirúrgicos, botas.
17. Bolsas plásticas PE
18. Cuadernillo de registro de pesas.
19. Lapiceros
20. Plumón indeleble

3.5. Procedimiento

Los datos obtenidos en la investigación fueron sometidos a diferentes procedimientos por triplicado con el fin de determinar la prueba de confiabilidad mediante el grado de dispersión y los estadísticos descriptivos, seguidamente se determinó la cantidad de coliformes totales usando el método de McCrady hallando el número más probable; así mismo, los coliformes fecales fueron hallados usando los postulados de Mackenzie; finalmente, la prueba confirmativa se halló después de 24 horas luego de haber sembrado la muestra en medio artificial MacConkey.

3.6. Método de análisis de datos

Se hallaron métodos estadísticos descriptivos, desviación estándar, varianza y rangos, se validó la hipótesis mediante el ANOVA (análisis de varianza, para los cálculos de usó el paquete estadístico SPSS Vers. 22, con los datos muestreados se graficaron el efecto del electrodo en la remoción de la carga microbiana en función al tiempo de aplicación; para comprobar la hipótesis se empleó la prueba de comparación de media de la muestra, así como se empleara el análisis de varianza (ANVA) y la prueba de significancia de Tuckey.

3.7. Aspectos éticos

La metodología es apropiada y segura y responde exclusivamente a las interrogantes que buscan satisfacer las preguntas del problema a solucionar, las conclusiones concuerdan con los resultados estadísticos en base a las muestras obtenidas en campo; para el logro de estos considerandos, se tomó en cuenta el consentimiento informado por que se respetó la participación de los diferentes colaboradores en las diferentes actividades del trabajo de investigación.

IV. RESULTADOS

4.1. Caracterización fisicoquímica de los lodos

Tabla 1. Características físico químicas de los lodos PTAR Totorá.

| Variable | Unidades | Repeticiones | | | Promedio |
|-------------------------|-------------------|--------------|------|------|----------|
| | | 1 | 2 | 3 | |
| Humedad | % | 66.6 | 67.5 | 68.3 | 67.5 |
| pH | | 5.8 | 5.8 | 5.7 | 5.8 |
| Alcalinidad | meq/L | 35.5 | 38.4 | 37.2 | 37.0 |
| Conductividad eléctrica | mS/cm | 0.39 | 0.40 | 0.38 | 0.39 |
| Acidez | meq/L | 1.8 | 1.7 | 1.8 | 1.7 |
| Densidad real | g/cm ³ | 1.49 | 1.45 | 1.47 | 1.47 |

Nota: Elaboración propia

En la tabla 1 se observa que el pH presenta un valor de 5.8 en promedio, la alcalinidad es de 37 meq/L, la conductividad eléctrica reporta un valor promedio de 0.39 mS/cm; así mismo, reporta una acidez de 1.7 meq/L; finalmente una densidad real de 1.47 g/cm³.

4.2. Estudio de la electrolisis del NaCl sobre los coliformes totales

Tabla 2. Carga de coliformes totales en los lodos (UFC/g)

| Tratamientos | Repeticiones | | |
|-----------------|--------------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 |
| T1 (G, 30 min) | 3700 | 3500 | 3800 |
| T2 (G, 60 min) | 400 | 450 | 450 |
| T3 (G, 90 min) | 0 | 0 | 23 |
| T4 (Fe, 30 min) | 2500 | 3000 | 2800 |
| T2 (Fe, 60 min) | 1500 | 1600 | 1600 |
| T3 (Fe, 90 min) | 1000 | 1100 | 1000 |

Nota: Elaboración propia

En la tabla 2, se observa una relación inversa entre el tiempo de tratamiento con electrolisis y la carga microbiana; a medida que se eleva el tiempo de tratamiento la carga microbiana se reduce; es así que, influye el mayor efecto según el tipo de electrodo; por lo tanto, se observa que la mayor incidencia sobre los lodos

fue el electrodo de grafito (G) que cuenta con el cátodo de grafito y ánodo de carbón.

En la tabla 3, el porcentaje de remoción está en relación al tipo de electrodo y al tiempo de tratamiento en la electrolisis, por lo que, se observa que el electrodo influye en la remoción de los coliformes totales; es por ello que, el electrodo de grafito muestra mayor efecto en la reducción logrando una efectividad del 100 % de remoción en un periodo de tiempo de 90 minutos; por otra parte, el electrodo de hierro (Fe) tiene una efectividad de remoción del 79 % de coliformes totales.

Tabla 3. Remoción porcentual de los coliformes totales en los lodos

| Tratamientos | Carga | | % | |
|--------------|---------|-------------|----------|----------|
| | inicial | Carga final | remoción | promedio |
| T11 | 5000 | 3700 | 26% | 27% |
| T12 | 4995 | 3500 | 30% | |
| T13 | 4998 | 3800 | 24% | |
| T21 | 4996 | 400 | 92% | 91% |
| T22 | 5001 | 450 | 91% | |
| T23 | 4997 | 450 | 91% | |
| T31 | 5000 | 0 | 100% | 100% |
| T32 | 4897 | 0 | 100% | |
| T33 | 5005 | 23 | 100% | |
| T41 | 4996 | 2500 | 50% | 45% |
| T42 | 5001 | 3000 | 40% | |
| T43 | 4997 | 2800 | 44% | |
| T51 | 5002 | 1500 | 70% | 69% |
| T52 | 4998 | 1600 | 68% | |
| T53 | 4997 | 1600 | 68% | |
| T61 | 5004 | 1000 | 80% | 79% |
| T62 | 5000 | 1100 | 78% | |
| T63 | 4998 | 1000 | 80% | |

Nota: Elaboración propia

4.3. Estudio de la electrolisis del NaCl sobre los coliformes fecales

Tabla 4. Carga de coliformes fecales en los lodos (UFC/g)

| Tratamientos | Repeticiones | | |
|-----------------|--------------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 |
| T1 (G, 30 min) | 3600 | 3500 | 3600 |
| T2 (G, 60 min) | 23 | 35 | 23 |
| T3 (G, 90 min) | 0 | 0 | 0 |
| T4 (Fe, 30 min) | 4500 | 4800 | 4800 |
| T2 (Fe, 60 min) | 3500 | 3600 | 3600 |
| T3 (Fe, 90 min) | 1000 | 1100 | 1200 |

Nota: Elaboración propia

En la tabla 4, se observa la reducción de la carga de coliformes fecales debido al incremento del tiempo del tratamiento con la electrolisis; esto se ve influenciado por, por el ánodo del electrodo de grafito; los resultados no fueron significativos los primeros 30 minutos; pero; a los 60 minutos se observó el efecto bactericida y a los 90 minutos mostro su letalidad, esto debido, a la producción de cloro en forma de gas; por otro lado, el efecto bactericida es menor en el cátodo de hierro porque se forma el NaOH en la solución electrolítica.

Tabla 5. Carga de coliformes fecales en los lodos (UFC/g)

| Tratamientos | Carga inicial | Carga final | % remoción | promedio |
|--------------|---------------|-------------|------------|----------|
| T11 | 5000 | 3600 | 28% | |
| T12 | 4995 | 3500 | 30% | 29% |
| T13 | 4998 | 3600 | 28% | |
| T21 | 4996 | 23 | 100% | |
| T22 | 5001 | 35 | 99% | 99% |
| T23 | 4997 | 23 | 100% | |
| T31 | 5000 | 0 | 100% | |
| T32 | 4897 | 0 | 100% | 100% |
| T33 | 5005 | 0 | 100% | |
| T41 | 4996 | 4500 | 10% | |
| T42 | 5001 | 4800 | 4% | 6% |
| T43 | 4997 | 4800 | 4% | |
| T51 | 5002 | 3500 | 30% | |
| T52 | 4998 | 3600 | 28% | 29% |
| T53 | 4997 | 3600 | 28% | |

| | | | | |
|-----|------|------|-----|-----|
| T61 | 5004 | 1000 | 80% | |
| T62 | 5000 | 1100 | 78% | 78% |
| T63 | 4998 | 1200 | 76% | |

Nota: Elaboración propia

En la tabla 5, se observa que el tipo de electrodo y el tiempo de tratamiento de la electrolisis influyen en el porcentaje de remoción; por lo que, el electrodo participa activamente en la remoción de coliformes fecales; por tal motivo, el ánodo electrodo de grafito influye en reducir los coliformes fecales en 99 % de remoción en un periodo de 60 minutos, logrando llegar al 100 % a los 90 minutos cuando se comparó con el electrodo con cátodo de hierro (Fe) logrando reducir los coliformes fecales en 6 % a los 30 minutos y 78 % de remoción de coliformes fecales en un tiempo de 90 minutos.

V. DISCUSIÓN

5.1. Determinación de los parámetros fisicoquímicos de lodos residuales

En el trabajo de investigación se observa que el pH presenta un valor de 5.8 en promedio, la alcalinidad es de 37 meq/L, la conductividad eléctrica reporta un valor promedio de 0.39 mS/cm; así mismo, reporta una acidez de 1.7 meq/; finalmente una densidad real de 1.47 g/cm³.

Resultado similar reporta Cordova (2016) donde el pH tiene un valor de 7.48, conductividad eléctrica 3.23, temperatura 23 °C, humedad del lodo 27.86%, contenido de materia orgánica 29.5%, y contenido de ceniza 70.5%.

Entre tanto, Betancourt y Torres (2020) reporta un pH de 6.65 ±0.74, el porcentaje de humedad es de 59.33±2.52, composición de materia orgánica 17.41±4.14, contenido de carbono orgánico total 10.1±2.43, nitrógeno total 0.28±0.0100.

Por otra parte, Cupe y Juscamaita (2018), reporta un valor de pH de 8.74, conductividad eléctrica del lodo de 6.94 dS.m⁻¹, se observa un contenido de materia orgánica de 51.51%, porcentaje de humedad 95.92%, contenido de nitrógeno de 32400 ppm, P₂O₅ con 62800 ppm, K₂O con 5600 ppm, CaO con 46300 ppm, MgO con 7200 ppm, Na con 27100 ppm y micronutrientes como el Fe con 6113 ppm, Cu con 265 ppm, Zn con 804 ppm, Mn con 341 con ppm, B con 68 ppm; así mismo, Cruz (2019) reporta un pH de 7.30 a 7.59, humedad del lodo residual en un rango de 68.946 a 76.359, entre los macronutrientes el nitrógeno total presenta valores entre 1.55 a 2.90 %, contenido de fósforo total en un rango de 1.049 a 1.990 %, contenido de potasio total en un rango de 3740 a 3903; así mismo, Pulgarin et al. (2019) reporta un pH de 7.5, humedad del lodo de 29.9, 57.3 y 62.3, carbono nitrógeno de 10.2.

Así mismo, Broche et al. (2020) reporta como resultado en el lodo residual el nitrógeno en una concentración de 44 mg/kg, fósforo con una concentración de 2.20 mg/kg, potasio con un valor de concentración de 1.90 mg/kg, el pH reporta un valor de 6.55, conductividad eléctrica tiene un valor de 0.0687 dS/cm, la humedad con un valor de 11.94%, el valor de la materia orgánica con 98%, con un valor de

carbono orgánico total de 54.44%, el porcentaje de nitrógeno total es de 15.38% y la relación carbono nitrógeno (C/N) reporta 3.53.

Así como, Bahamón (2019) reporta como parámetro fisicoquímico la humedad con un valor de 78.63 %, densidad aparente con un valor de 1.20 g/cm³, carbono orgánico con un valor de 6.08 %, materia orgánica con un valor de 13.19%, ceniza con 38.30 %, pH de 7.40, relación carbono nitrógeno 12.36, conductividad eléctrica 4.20 dS/m, nitrógeno total con un valor de 0.49 %, fósforo 0.9 kg/Ton, potasio 0.4 kg/Ton, calcio 11.1 kg/Ton, magnesio con un valor de 0.3 kg/Ton y sodio,

De igual forma, Mamani (2020) reporta los siguientes parámetros fisicoquímicos; los rangos de humedad están entre 48% al 46 %, los rangos del pH son 5.09 y 8 unidades con una alcalinidad de 35 meq/l y una acidez de 1.6 meq/l, contenido de ceniza 0.15%, conductividad eléctrica de 1076 y 1273 uS/cm, contenido de nitrógeno es de 1.61%, fósforo 2.45%, potasio 2.59 %, el contenido de materia orgánica es de 65%, presenta la humedad de 7.63 %.

5.2. Estudio de la electrolisis del NaCl sobre los coliformes totales.

En la investigación se observó que la eficiencia de los tratamientos mejoran cuando se eleva el tiempo de electrolisis, usando el ánodo de grafito se obtuvo una remoción del 100 % de coliformes totales; en comparación del ánodo al hierro se obtuvo una remoción del 79 %; entre tanto, la remoción con secado solar obtuvo una remoción del coliformes totales de 42 %, entre tanto Araujo (2017), reporta una reducción del 100 % de la concentración de coliformes totales mediante el uso del tratamiento electroquímico, los coliformes totales son removidos por la influencia del tiempo de reacción electroquímica, a su vez, se observó que los coliformes no se ven influenciados de manera significativa por el cloruro de sodio.

Así mismo, Cárdenas (2016) demostró que el tipo de electrodo es una variable que influye directamente en la remoción, comprobó que el electrodo de grafito es el más eficiente para mover los patógenos, la variable tiempo es un factor que también influye para la remoción de coliformes totales se requiere 60 minutos;

Por otra parte Aljure y León (2016) reportan un control del 100% de coliformes totales en 25 minutos de electrolisis con el electrodo DDB y 30 minutos con el electrodo de grafito.

Por su parte, Guapisaca (2016) menciona que la electrolisis de cloruro de sodio tiene un efecto bactericida cuando el cloro se convierte en gas; a su vez, el proceso de electrolisis genera hidróxido de sodio, ácido hipocloroso e hipoclorito de sodio, estas reacciones químicas producen in efecto inhibidor bactericida en los lodos de las aguas residuales incidiendo directamente en la reducción de las poblaciones microbiológicas patogénicas de los lodos.

Resultados similares reporta García (2016), la remoción del 100% de los coliformes totales se logró usando el electrodo de grafito; entre tanto, usando el electrodo de fierro la remoción de los coliformes totales fue de 79 %.

De igual forma, Martínez-Huitle y Brillas (2021), mencionan que las diferentes investigaciones usando la desinfección electroquímica va permitir diseñar equipos portátiles generando un impacto directo en la versatilidad ambiental, la automatización y seguridad que va brindar en el control de los patógenos que se encuentran en aguas residuales.

Así mismo, Liu et al. (2019) afirma que la inactivación de coliformes totales se produce a nivel del ánodo por un proceso de adsorción, inactivación y desorción, las células del patógeno se adsorben e inactivan en el ánodo.

De otro modo, Thostenson et al. (2018), la desinfección electroquímica mejora la desinfección de las aguas residuales en un 24 % al 124 %, esto se debe a los procesos de oxidación (EAOP) y producción de superficie y grupos funcionales de carbono, el ánodo mejora la compresión del oxígeno reducción mediante los catalizadores que usan carbono funcional.

De manera similar, Li y Kim (2015), la desinfección electroquímica es un método eficiente sobre el tratamiento de agua para consumo, el cátodo y ánodo si están cubiertos con iridio generan alta concentración de cloro libre disponible, al

aumentar la oxidación se incrementa las reacciones en el proceso electroquímico y produce un incremento del cloro libre disponible.

Igualmente, Kourdali et al. (2018), la intensidad del proceso electroquímico influye en la inactivación de coliformes totales este proceso está relacionado al consumo máximo de energía, al incluir el cloruro de sodio se mejora la desinfección generando una densidad celular más alta y reaccionando de manera negativa en la inactivación celular.

5.3. Estudio de la electrolisis del NaCl sobre los coliformes fecales

Se observó el efecto de la electrolisis del cloruro de sodio (NaCl) sobre los coliformes fecales respecto al tiempo y al tipo de electrodo, se reporta que se logró remover el 100% de coliformes fecales, estos resultados se observaron por el efecto que produce el ánodo de grafito sometido al tiempo máximo, estos resultados coinciden al obtenido por Aljure y León (2016) quienes reportan un control del 100% de coliformes fecales en 25 minutos de electrolisis con el electrodo DDB y 30 minutos con el electrodo de grafito.

Así mismo, Barrios et al. (2015) menciona que se logró reducir la población de coliformes fecales por debajo del límite máximo permitido logrando removerse el 96 % de la población de este patógeno.

Así como, Cárdenas (2016) afirma que los procesos electroquímicos son ventajosos porque permiten eliminar los coliformes fecales al 100 % en un periodo corto de tiempo de 60 minutos si son comparados a otros procesos tradicionales que demoran aproximadamente 24 horas, esto se debe, a la producción de hipoclorito de sodio en el lodo residual, el uso del cloruro de sodio es universal porque es un oxidante efectivo y económico, de igual manera, Guapisaca (2016) afirma que la remoción de los patógenos sometidos a dos tipos de electrodos está determinado por el tiempo.

Entre tanto, Rahmani et al. (2019) reporta que las bacterias disminuyen su patogenicidad cuando se aplica 0.01 M de cloruro de sodio, si se aumenta la densidad de corriente (CD) de 0.16 a 0.5 mA/cm² se observa una disminución de

más 60 % en la carga bacteriana \log_{10} para todos los electrodos menos el de platino (pt); a su vez, los ánodos acero inoxidable y el plomo reportaron mayor eficiencia mostrando una inactivación completa en un tiempo de 5 minutos cuando se aplica 0.01 M de cloruro de sodio a una corriente con densidad de 0.5 mA/cm^2 cuando la carga es mayor a 15 C, pero la oxidación indirecta es más eficiente que el método electroquímico en la erradicación de coliformes fecales esto se debe a su mayor eficiencia por la producción de oxidantes fuertes como el cloro activo y el radical hidroxilo.

Por su parte, Ni et al. (2021); informa que la desinfección deficiente del cátodo influye en el sistema de electrodos con flujo continuo con suministro de corriente continua, un mayor rendimiento en la desinfección se logró usando la desinfección de electrodos de flujo continuo en comparación con el suministro de corriente continua usando un voltaje de 3 V y una velocidad de flujo de 125 mililitros por minuto; el mejor rendimiento de desinfección se logró cuando se alterna ánodos y cátodos y cuando el tiempo del ciclo del de pulso se igualo al tempo de retención hidráulica a menos de 1 Hz, la desinfección del sistema de electrodos de flujo continuo con el suministro de la corriente de pulso alternativo de baja frecuencia afectó gravemente las células de los coliformes fecales produciendo el no recrecimiento y reactivación en el almacenamiento, por lo que se puede afirmar que el desarrollo de la desinfección del sistema de electrodos de flujo continuo suministrado por la corriente de pulso alternativo de baja frecuencia permite la desinfección electroquímica logrando reducir el crecimiento de la bacteria y ahorrando energía,

Resultados similares son reportados por GilPavas et al. (2018), quien afirma que se logró eliminar el 100 % de coliformes fecales de la superficie del agua usando una reacción electroquímica de oxidación utilizando grafito en los ánodos y cloruro en el medio libre, los coliformes se eliminaron después de 20 minutos, pasado 7 días se observó que la concentración de nitrito se reduce; en cambio, la concentración de nitrato aumenta;

A su vez, Schaefer et al. (2017); menciona que durante el ciclo del tratamiento electroquímico se logró eliminar de 2 a 3 registros del total de

coliformes fecales reportando valores menores a 1 unidad de formación de colonia la concentración de cloro menor a 0.1 mg por litro.

Entre tanto, (Rahmani et al. 2021), menciona que los coliformes fecales fueron removidos en su totalidad por que existe una relación entre la desinfección electroquímica y el aumento del tiempo a su vez, se observó que el electrodo de óxido de estaño dopado con níquel proporcionó mayor desinfección logrando eliminar heterótrofos como *Streptococcus feacalis* e indicadores de pseudomonas, resultados similares reportan Hand y Cusick (2021); que la desinfección electroquímica permite el desarrollo de oxidantes químicos que se producen en el mismo lugar generando reacciones redox sobre la superficie del electrodo; así mismo, Zhao et al. (2016) manifiesta que el pH influye en la inactivación de coliformes fecales por participación directa de la reacción electroquímica y el incremento de la concentración del cloruro de sodio, así mismo, Sillanpää et al. (2015) reporta que los ánodos en base a boro (BDD) eliminan algunos contaminantes tóxicos como coliformes, ácidos húmicos y algas.

VI. CONCLUSIONES

1. Se determinó que las características físico químicas del lodo generado por la PTAR la Totorá: humedad 67,50%, pH 5,8, conductividad eléctrica 0,39 mS/cm, densidad real 1,47 g/L del lodo se encuentran cumpliendo con los límites máximos permisibles por lo que es adecuado para realizar el compostaje y su posterior uso en la agricultura.
2. Se determinó como mejor tratamiento el uso del electrodo grafito- carbón en un tiempo de 90 minutos, el cual alcanza el 100% de remoción de la carga de Coliformes totales, logrando un lodo de clase A (<1000) y del tipo excelente, pudiendo ser destinados para el uso urbano en contacto público directo durante su aplicación.
3. Se demostró como el mejor tratamiento el uso del electrodo grafito-carbón y un tiempo de 90 minutos, alcanza el 100% de eficiencia en la remoción de la carga de Coliformes fecales, alcanzando la denominación de clase A y del tipo excelente, resultando más eficientes frente a electrodos de hierro.

VII. RECOMENDACIONES

1. Probar diferentes niveles de voltajes y corrientes en el control de Coliformes fecales y totales.
2. Estudiar la influencia de diferentes porcentajes de humedad en la remoción de Coliformes totales y fecales (E. coli)
3. Analizar el desgaste de los electrodos producido durante la aplicación del tratamiento electroquímico.

REFERENCIAS

ALFARO, R.C.H., 2012. *Metodología de investigación científica aplicado a la ingeniería* [en línea]. 2012. S.I.: s.n. [Consulta: 17 julio 2021]. Disponible en: https://unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/IF_ABRIL_2012/IF_ALFARO%20RODRIGUEZ_FIEE.pdf.

ALJURE, A.I. y LEÓN, G.S., 2016. Eliminación de coliformes totales y fecales de aguas crudas mediante electro-oxidación. En: Accepted: 2018-05-18T20:31:32Z [en línea], [Consulta: 4 agosto 2021]. Disponible en: <http://repository.eafit.edu.co/handle/10784/12249>.

ARAUJO, S.S.C., 2017. Remoción de coliformes totales y fecales en lodos por procesos electroquímicos, planta de tratamiento de aguas residuales – Lima 2017. En: Accepted: 2017-11-15T13:12:44Z, *Universidad César Vallejo* [en línea], [Consulta: 4 julio 2021]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/3485>.

BAHAMÓN, D.M., 2019. Propuesta de aprovechamiento de lodos residuales provenientes de una PTAR del municipio de sopó cundinamarca para la producción de un fertilizante órgano mineral. ,

BARRIOS, J., JIMÉNEZ, B., GONZÁLEZ, O., SALGADO, G., SANABRIA, L. y ITURBE, R., 2015. Destrucción de coliformes fecales y huevos de helminto en lodos fisicoquímicos por vía ácida. ,

BETANCOURT, R.A.A. y TORRES, M.Y.S., 2020. *Evaluación del uso de lodos residuales como abono agrícola generados por la industria alimenticia* [en línea]. Thesis. S.I.: Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Químicas. [Consulta: 3 agosto 2021]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/50895>.

BOLÍVAR, N.A., BETANCUR, J.F. y VALENCIA, N.R., 2015. Estudio evaluativo del manejo de biosólidos para el caso de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) El Salitre. , pp. 10.

BROCHE, N., CEPERO, R.E. y CALVO, A., 2020. *Caracterización físico-química y microbiológica de lodos residuales y propuesta de tratamiento con CBQ-Biorrem®*. S.l.: s.n.

CARRIÓN, L. y ISRAEL, J., 2016. Consecuencias socioeconómicas en las familias asentadas en las riberas del estero El Macho por contaminación de descargas de aguas residuales. En: Accepted: 2016-12-22T15:53:55Z [en línea], [Consulta: 4 julio 2021]. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/9739>.

CENTENO, C., QUINTANA, D.A. y LÓPEZ, F.F.L., 2019. Efecto de un consorcio microbiano en la eficacia del tratamiento de aguas residuales, Trujillo, Perú. *Arnaldoa* [en línea], vol. 26, no. 1, pp. 433-446. [Consulta: 11 julio 2021]. ISSN 2413-3299. DOI 10.22497/arnaldoa.261.26123. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2413-32992019000100023&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

CORDOVA, R.J.A. y Jackeline, 2016. “Evaluación De Parámetros Físicos, Químicos Y Biológicos De Los Lodos Residuales De Las Lagunas De Oxidación (EPSEL) En La Elaboración De Compost”. En: Accepted: 2019-05-06T22:03:23Z, *Universidad Cesar Vallejo* [en línea], [Consulta: 3 agosto 2021]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/32289>.

CRUZ, R., IRIANDA, L., BRIONES, R. y RODRIGUEZ, I., 2018. Tratamiento de lodos de galvanoplastia para la recuperación de níquel y cromo utilizando un reactor electroquímico cinético. [en línea], [Consulta: 11 julio 2021]. Disponible en: https://nanopdf.com/download/tratamiento-de-lodos-de-galvanoplastia-para-la_pdf.

CRUZ, V.H.E., 2019. Evaluación de macronutrientes y metales en los lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria de “El Espinar” - Puno. En: Accepted: 2019-10-30T18:01:52Z, *Universidad Nacional del Altiplano* [en línea], [Consulta: 3 agosto 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/11926>.

CUPE, F.B.E. y JUSCAMAITA, J.G., 2018. Tratamiento de lodos residuales de una industria cervecera a través de fermentación homoláctica para la producción acelerada de abono orgánico. *Ecología Aplicada* [en línea], vol. 17, no. 1, pp. 107-118. [Consulta: 3 agosto 2021]. ISSN 1726-2216. DOI 10.21704/rea.v17i1.1179. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1726-22162018000100012&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

DISEPROSA, 2015. Plantas de tratamiento de aguas. [en línea], [Consulta: 10 julio 2021]. Disponible en: https://www.interempresas.net/feriavirtual/catalogos_y_documentos/87264/plantas_de_tratamiento_de_aguas.pdf.

EPSASA, 2015. *EPSASA Plan Maestro Optimizador 2015-2044* [en línea]. 2015. S.l.: s.n. [Consulta: 4 julio 2021]. Disponible en: <https://www.sedaayacucho.pe/archivos/262-plan-maestro-optimizado-pmo-2015-2044.pdf>.

FARIAS, D.M.B., 2018. Conocimientos básicos sobre Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. [en línea]. [Consulta: 11 julio 2021]. Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-modulo-iii>.

FERRER, P.J., SECO, T.A. y ROBLES, M.Á., 2018. *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. Valencia: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. ISBN 978-84-9048-641-2.

FIGUEROA, M.C.R., 2015. Tratamiento de aguas residuales urbanas. [en línea]. [Consulta: 10 julio 2021]. Disponible en: <http://www.gobiernodecanarias.org/medioambiente/sostenibilidad/apps/revista/1998/10/33/index.html>.

GARCÍA, Cardenas Isabel María, 2016. Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de la concentración de coliformes fecales y

totales. En: Accepted: 2016-04-26T15:10:47Z [en línea], [Consulta: 4 agosto 2021]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12044>.

GARCÍA, Cardenas Maria Isabel, 2016. Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de la concentración de coliformes fecales y totales. En: Accepted: 2016-04-26T15:10:47Z [en línea], [Consulta: 10 julio 2021]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12044>.

GILPAVAS, E., ARBELÁEZ, P., MEDINA, J.D., DOBROSZ-GÓMEZ, I. y GÓMEZ-GARCÍA, M.Á., 2018. The electrochemical elimination of coliforms from water using BBD/Ti or graphite anodes: A comparative study. *Water Science and Technology: Water Supply*, vol. 18, no. 2, pp. 408-417. DOI 10.2166/ws.2017.147. Scopus

GONZÁLEZ, L.A.V., 2018. EVALUACIÓN DE LA INHIBICIÓN DE ESCHERICHIA COLI SP A PARTIR DEL DESINFECTANTE OBTENIDO POR ELECTRÓLISIS DE CLORURO DE SODIO. , pp. 84.

GUAPISACA, L.N.N.M., 2016. Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de la concentración de huevos helmintos. En: Accepted: 2016-04-26T21:15:49Z [en línea], [Consulta: 4 agosto 2021]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12048>.

HAND, S. y CUSICK, R.D., 2021. Electrochemical Disinfection in Water and Wastewater Treatment: Identifying Impacts of Water Quality and Operating Conditions on Performance. *Environmental Science and Technology*, vol. 55, no. 6, pp. 3470-3482. DOI 10.1021/acs.est.0c06254. Scopus

HERNÁNDEZ, A.C. y TAFUR, J.S.L. eira, 2018. Obtención de una agente desinfectante a partir de la electrólisis de cloruro de sodio para el tratamiento de agua potable. En: Accepted: 2018-08-27T21:40:42Z [en línea], [Consulta: 17 julio 2021]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6717>.

KOURDALI, S., BADIS, A., BOUCHERIT, A., BOUDJEMA, K. y SAIBA, A., 2018. Electrochemical disinfection of bacterial contamination: Effectiveness and modeling study of E. coli inactivation by electro-Fenton, electro-peroxi-coagulation and electrocoagulation. *Journal of Environmental Management*, vol. 226, pp. 106-119. DOI 10.1016/j.jenvman.2018.08.038. Scopus

LI, L. y KIM, D., 2015. Efficient generation of mixed oxidant disinfectants: Parametric study on electrode materials and operating conditions. *Water Science and Technology: Water Supply*, vol. 15, no. 6, pp. 1179-1186. DOI 10.2166/ws.2015.076. Scopus

LIMÓN, M.J.G., 2015. Los lodos de la plantas de tratamiento de aguas residuales ¿Problemas o recursos? *Ingeniería Química*, pp. 45.

LIU, H., NI, X.-Y., HUO, Z.-Y., PENG, L., LI, G.-Q., WANG, C., WU, Y.-H. y HU, H.-Y., 2019. Carbon Fiber-Based Flow-Through Electrode System (FES) for Water Disinfection via Direct Oxidation Mechanism with a Sequential Reduction-Oxidation Process. *Environmental Science and Technology*, vol. 53, no. 6, pp. 3238-3249. DOI 10.1021/acs.est.8b07297. Scopus

LOZADA, P.T., ESCOBAR, J.C., VIDAL, A.P., SÁNCHEZ, G., SÁNCHEZ, M. y BERMÚDEZ, A., 2015. Influencia del material de enmienda en el compostaje de lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales - PTAR. , pp. 9.

MALDONADO, E.J., 2014. Estudio de factibilidad para la construcción de aguas residuales del distrito de Characato, método IMHOFF. [en línea]. [Consulta: 11 julio 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3991/IQmaesj041.pdf?isAllowed=y&sequence=1>.

MAMANI, C.G.C., 2020. Producción De Compost Empleando Pilas Aireadas Con Lodos Residuales Provenientes De La Ptar. Distrito De Sandía – 2018. En: Accepted: 2020-12-01T17:58:01Z, *Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez* [en línea], [Consulta: 3 agosto 2021]. Disponible en: <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/4773>.

MAMANI, M.L.V., 2015. *Presencia de protozoarios y helmintos en agua de consumo humano de la region de Moquegua* [en línea]. S.l.: s.n. [Consulta: 11 julio 2021]. Disponible en:

http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/1940/104_2012_mamani_mamani_lv_faci_biologia_microbiologia.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

MARTÍNEZ-HUITLE, C.A. y BRILLAS, E., 2021. A critical review over the electrochemical disinfection of bacteria in synthetic and real wastewaters using a boron-doped diamond anode. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, vol. 25, no. 4. DOI 10.1016/j.cossms.2021.100926. Scopus

MOSCOSO, V., 2015. *Tratamiento de lodos* [en línea]. S.l.: s.n. [Consulta: 11 julio 2021]. Disponible en:

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/capitulo8.pdf.

NI, X.-Y., WU, Y.-H., LIU, H., ZHANG, X.-J., XU, Z.-B., PENG, L., WANG, W.-L., WANG, H.-B., CHEN, Z. y HU, H.-Y., 2021. Enhancing disinfection performance of the carbon fiber-based flow-through electrode system (FES) by alternating pulse current (APC) with low-frequency square wave. *Chemical Engineering Journal*, vol. 410. DOI 10.1016/j.cej.2020.128399. Scopus

NIETO, G.F. de y VILMA, B., 2018. Análisis de los efectos ambientales y sociales generados por el funcionamiento de la planta de tratamiento de agua residual de Chilpina en Arequipa 2015. En: Accepted: 2018-11-26T14:24:07Z, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa* [en línea], [Consulta: 4 julio 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7060>.

OSPINA, M. y LORENA, A., 2020. Análisis del arranque, estabilización y operación de una PTAR, evaluando el diseño de los múltiples de distribución del agua residual. En: Accepted: 2020-10-01T23:15:37Z [en línea], [Consulta: 4 julio 2021]. Disponible en: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/16739>.

PAREDES, P.L.P., 2017. Evaluación de microorganismos eficientes para la remoción de ácido sulfhídrico sobre lodos activados en aguas residuales de la

industria procesadora de alimentos La Ibérica. En: Accepted: 2017-08-17T13:42:20Z [en línea], [Consulta: 11 julio 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7018>.

PEREZ, Z.M.E., 2016. Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de metales pesados (Pb). En: Accepted: 2016-04-26T16:01:37Z [en línea], [Consulta: 4 julio 2021]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12045>.

PULGARIN, M.C.E., AMPARO, B. y BETANCUR, W., 2019. Estabilización de lodos biológicos provenientes de una planta de tratamiento de agua residual mediante pacas biodigestoras. [en línea], [Consulta: 3 agosto 2021]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552019000100033.

RAHMANI, A.R., NEMATOLLAHI, D., POORMOHAMMADI, A., AZARIAN, G. y ZAMANI, F., 2021. Electrodisinfection of bacteria-laden in surface water using modified Ti electrode by antimony-and nickel-doped tin oxide composite. *Chemosphere*, vol. 263. DOI 10.1016/j.chemosphere.2020.127761. Scopus

RAHMANI, A.R., SAMARGHANDI, M.R., NEMATOLLAHI, D. y ZAMANI, F., 2019. A comprehensive study of electrochemical disinfection of water using direct and indirect oxidation processes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 7, no. 1. DOI 10.1016/j.jece.2018.11.030. Scopus

ROQUE, R.J.F., 2016. Desinfección y depuración bioelectroquímica de aguas residuales domesticas asistida por energía fotovoltaica a miniescala caso: Ptar Chilpina-Arequipa. En: Accepted: 2018-02-02T13:30:31Z, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa* [en línea], [Consulta: 10 julio 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5362>.

SÁNCHEZ, J.G.C., SALTOS, L.D.B., OBANDO, M.B.V. y RIZO, H.A.Z., 2020. Alternativas en la estabilización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y*

Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721 [en línea], vol. 5, no. 1, pp. 23-27. [Consulta: 4 julio 2021]. ISSN 2588-0721. DOI 10.33936/riemat.v5i1.2499. Disponible en: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/view/2499>.

SCHAEFER, C.E., LAVORGNA, G.M., WEBSTER, T.S., DESHUSSES, M.A., ANDAYA, C. y URTIAGA, A., 2017. Pilot-scale electrochemical disinfection of surface water: Assessing disinfection by-product and free chlorine formation. *Water Science and Technology: Water Supply*, vol. 17, no. 2, pp. 526-536. DOI 10.2166/ws.2016.165. Scopus

SEMARNAT, 2015. *Norma Oficial Mexicana Protección ambiental Lodos y biosólidos Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final*. [en línea]. 2015. S.l.: s.n. [Consulta: 4 julio 2021]. Disponible en: <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgiraDocs/documentos/mex/resolutivos/2015/15EM2015UD016.pdf>.

SILLANPÄÄ, M., SÄRKKÄ, H. y VEPSÄLÄINEN, M., 2015. NOM Removal by Electrochemical Methods. *Natural Organic Matter in Water: Characterization and Treatment Methods*, pp. 81-111. DOI 10.1016/B978-0-12-801503-2.00004-5. Scopus

TAVARES, R., 2020. Nothing found for Blogs Remtavares. [en línea]. [Consulta: 11 julio 2021]. Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2010/09/17/%20131491>.

THOSTENSON, J.O., MOUROUVIN, R., HAWKINS, B.T., NGABOYAMAHINA, E., SELLGREN, K.L., PARKER, C.B., DESHUSSES, M.A., STONER, B.R. y GLASS, J.T., 2018. Improved blackwater disinfection using potentiodynamic methods with oxidized boron-doped diamond electrodes. *Water Research*, vol. 140, pp. 191-199. DOI 10.1016/j.watres.2018.04.022. Scopus

YBAÑEZ, A.R.M., 2018. Remoción de Plomo y Cadmio en Lodos Residuales del PTAR Ventanilla mediante Remediación Electrocinética, Lima-2018. En: Accepted:

2019-01-17T16:37:10Z, *Universidad César Vallejo* [en línea], [Consulta: 10 julio 2021]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/24886>.

ZHAO, S., PANG, Y., XI, J. y HU, H., 2016. Inactivation of antibiotic-sensitive and antibiotic-resistant *E. coli* in water by electrochemical disinfection. *Huanjing Kexue Xuebao/Acta Scientiae Circumstantiae*, vol. 36, no. 2, pp. 544-549. DOI 10.13671/j.hjkxxb.2015.0508. Scopus

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

| PROBLEMA | OBJETIVO | VARIABLES E INDICADORES | METODOLOGÍA |
|--|--|---|--|
| <p>Planteamiento del Problema Principal.</p> <p>¿Cuál es el mejor tratamiento de electrolisis de NaCl en la remoción de coliformes totales y fecales en lodos residuales del PTAR Ayacucho?</p> <p>Problemas específicos:</p> <p>1. ¿Cuáles son las características físico químicas del lodo residual generados en la PTAR Titora?</p> <p>2. ¿Cuál es el mejor tratamiento de electrolisis de NaCl en la remoción de coliformes totales en lodos residuales del PTAR Ayacucho?</p> <p>3. ¿Cuál es el mejor tratamiento de electrolisis de NaCl en la remoción de coliformes fecales en lodos residuales del PTAR Ayacucho?</p> | <p>Objetivo general:</p> <p>Determinar el mejor tratamiento de electrolisis de NaCl en la remoción de coliformes totales y fecales en lodos residuales del PTAR Ayacucho.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <p>1. Caracterizar fisicoquímicamente el lodo residual generado en la PTAR Ayacucho.</p> <p>2. Determinar el mejor tratamiento de electrolisis de NaCl en la remoción de coliformes totales en lodos residuales del PTAR Ayacucho.</p> <p>3. Determinar el mejor tratamiento de electrolisis de NaCl en la remoción de coliformes fecales en lodos residuales del PTAR Ayacucho.</p> | <p>1. Variable independiente</p> <p>Tratamiento de electrolisis del NaCl.</p> <p>Indicadores</p> <p>T1 = Grafito, 30 minutos. T2 = Grafito, 60 minutos. T3 = Grafito, 90 minutos. T4 = Fierro, 30 minutos. T5 = Fierro, 60 minutos. T6 = Fierro, 90 minutos.</p> <p>b. Variable dependiente</p> <p>Remoción microbiana</p> <p>Indicadores</p> <p>Y1 = Numero más probable NMP coliformes Totales Y2 = Numero más probable NMP coliformes fecales.</p> | <p>1. Enfoque de Investigación: Cuantitativo.</p> <p>2. Tipo de Investigación: Investigación Aplicada.</p> <p>3. Diseño de Investigación: Diseño experimental</p> <p>4. Nivel de Investigación: Nivel de investigación experimental</p> <p>5. Corte: Corte Transversal.</p> <p>6. Población: Lodo residual del PTAR la Titora – Ayacucho</p> <p>7. Muestra: 1 kilo lodo residual para la muestra de electrolisis. 20 gramos para análisis microbiológico</p> <p>8. Técnicas: Observación, análisis físico químico y análisis microbiológico</p> <p>9. Instrumentos: Balanza electrónica, balanza digital, equipo de electrolisis, placas petri, tubos de ensayo, pipetas,</p> |

Anexo 2. Matriz de Operacionalizacion

| 1.VARIABLE | 2.DEFINICIÓN CONCEPTUAL | 3.DEFINICIÓN OPERACIONAL | 4.DIMENSIONES | 5.INDICADORES | 6.ESCALA DE MEDICIÓN |
|---|---|--|-----------------------------|--|----------------------|
| X:Variable Independiente Tratamiento de electrolisis del NaCl | La energía eléctrica y energía química participan en la transformación de los procesos electroquímicos | Se colocaron electrodos conectados a una fuente de energía externa dentro de recipientes de vidrio | X1= Tratamiento con Grafito | X1.1. Tiempo 30 minutos X1.2.: Tiempo 60 minutos X1.3: Tiempo 90 minutos | Intervalo (numérico) |
| | | | X2 = Tratamiento con Fierro | X2.1. Tiempo 30 minutos X2.2.: Tiempo 60 minutos X2.3: Tiempo 90 minutos | |
| Y: Variable dependiente Remoción microbiana | La carga microbiana varía de acuerdo al origen del agua residual, para su remoción es necesario tratamientos primarios, secundarios y terciarios. | Análisis y prueba en laboratorio para calcular la cantidad y concentración de coliformes fecales y totales | Y1= Coliformes totales | Y1.1 = Número más probable (NMP) | Intervalo (numérico) |
| | | | Y2=Coliformes fecales | Y1.2 = Número más probable (NMP) | |

Anexo 3. Concentraciones características de los lodos urbanos- ECAS

| Parámetro | Tipo de lodo según la etapa de tratamiento | | |
|-----------------------------------|--|-------------|-----------|
| | Primarios | Secundarios | Químicos |
| Sólidos suspendidos | 30 – 36 | 18 – 29 | 31 – 40 |
| Contenido de Agua (%) | 92 – 96 | 97,5 – 98 | 94 – 97 |
| Sólidos suspendidos Volátiles | 70 – 80 | 80 – 90 | 55 – 65 |
| Grasas (% S. S) | 12 – 16 | 3 – 5 | 4 – 12 |
| Proteínas (% S. S) | 4 – 14 | 20 – 30 | 10 – 20 |
| Carbohidratos (% S. S) | 8 – 10 | 6 – 8 | 5 – 8 |
| pH | 5,5 – 6,5 | 6,5 – 7,5 | 6,8 – 7,6 |
| Fósforo (% S. S) | 0,5 – 1,5 | 1,5 – 2,5 | 1,5 – 2,5 |
| Nitrógeno (% S. S) | 2 – 5 | 1 – 6 | 3 – 7 |
| Bacterias patógenas (NMPx100mL) | 103–105 | 100 – 1000 | 10 – 100 |
| Organismos parásitos (NMPx100 mL) | 8–12 | 1 – 30 | 1 – 3 |
| Metales pesados (% S. S) | 0,2– 2 | 0,2 – 2 | 0,2 – 2 |
| Cantidad de fango (l/hab) | 0,70 | 1,70 | 0,90 |

Anexo 4. Análisis físico químico de los lodos



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-040



INFORME DE ENSAYO N°0034-2019

Solicitante: **Ciro ARAMBURU ZEVALLOS**
Dirección: *Av. Gral Garzon N°456 Jesus Maria - Lima*
Solicitud de Ensayo N°: *0027-2019/A*
Nombre del Producto: *Lodos residuales*
Cantidad recibida: *1000 g*
Presentación: *Envasado en 06 bolsas de polipropileno transparente sellada.*
Fecha de recepción: *05 de enero del 2019*
Fecha de ejecución de ensayos: *Del 05 al 10 de enero del 2019*

ENSAYOS FISICOQUIMICOS

| N° | Ensayo | R | R | R | Resultado | Unidades |
|----|-------------------------|-------|-------|-------|-----------|-------------------|
| 01 | Humedad (*) | 66,60 | 67,50 | 68,30 | 67,50 | g/100g |
| 02 | pH | 5,80 | 5,80 | 5,70 | 5,85 | |
| 03 | Alcalinidad | 35,50 | 38,40 | 37,20 | 37,00 | meq/L |
| 04 | Conductividad eléctrica | 0,39 | 0,40 | 0,38 | 0,39 | mS/cm |
| 05 | Acidez | 1,80 | 1,70 | 1,80 | 1,70 | meq/L |
| 06 | Densidad real | 1,49 | 1,45 | 1,47 | 1,47 | g/cm ³ |

ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS

| N° | Ensayo | Resultado | Unidades |
|----|----------|-----------|----------|
| 04 | N. Mohos | <10 | UFC/g |

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

Métodos de ensayo utilizados:

01. NTP 205 002: 1979 (Revisada el 2016) Determinación del contenido de humedad. Método usual.
02. NTP 205 029: 1982 (Revisada el 2016) CE: Análisis físicos.
03. IT-ENS-43 Análisis físico
04. AOAC 997.02, Cap. 17.2.09, 20th Ed.: 2016

- Los resultados del presente Informe de Ensayo se relaciona únicamente a las muestras analizadas. No es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad de quien produce la muestra.
- El muestreo, las condiciones de muestreo y transporte de la muestra hasta su ingreso a CERTILAB es responsabilidad del solicitante.
- Al término del periodo de custodia o en caso no se cuente con muestra dirimente, el cliente o usuario del informe no podrá solicitar repetir los ensayos del presente informe.
- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin la autorización de CERTILAB.
- El presente Informe tiene una vigencia de 01 año después de la fecha de emisión.

San Miguel, 11 de enero de 2018



Biol. Sara León Marín
Biol. Sara León Marín
Laboratorio de Microbiología
C.B.P. 8889

Q.F. Lisly Sedano Inga
Q.F. Lisly Sedano Inga
Laboratorio de Físico Química
CQFP: 11894 LIMA

Informe de Ensayo N° 0034-2018

Pág. 1 de 1

CERTIFICADORA Y LABORATORIOS ALAS PERUANAS S.A.C.

Av. La Paz 1598, San Miguel, Lima - PERÚ

Teléfono: (511) 578 4098, 578 4070, 578 5082. Telefax: 578 4542. E-mail: certilab@certilabperu.com

Anexo 5. Análisis microbiológico de coliformes totales



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-040



INFORME DE ENSAYO N°0035-2019

Solicitante: *Ciro ARAMBURU ZEVALLOS*
Dirección: *Av. Gral Garzon N°456 Jesus Maria - Lima*
Solicitud de Ensayo N°: *0028-2019/A*
Nombre del Producto: *Lodos residuales*
Cantidad recibida: *1000 g*
Presentación: *Envasado en 06 bolsas de polipropileno transparente sellada.*
Fecha de recepción: *05 de enero del 2019*
Fecha de ejecución de ensayos: *Del 05 al 10 de enero del 2019*

ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS - Coliformes totales

| Tratamientos | Ensayo | Repeticiones | | | Resultado promedio | Unidades |
|-------------------|------------------------|--------------|------|------|--------------------|----------|
| | | 1 | 2 | 3 | | |
| T1 (G-C, 30 min) | NMP Coliformes totales | 3700 | 3500 | 3800 | 3667 | UFC/g |
| T2 (G-C, 60 min) | NMP Coliformes totales | 400 | 450 | 450 | 433 | UFC/g |
| T3 (G-C, 90 min) | NMP Coliformes totales | 0 | 0 | 23 | 7 | UFC/g |
| T4 (Fe-C, 30 min) | NMP Coliformes totales | 2500 | 3000 | 2800 | 2766 | UFC/g |
| T2 (Fe-C, 60 min) | NMP Coliformes totales | 1500 | 1600 | 1600 | 1566 | UFC/g |
| T3 (Fe-C, 90 min) | NMP Coliformes totales | 1000 | 1100 | 1000 | 1033 | UFC/g |

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

Métodos de ensayo utilizados:

01. NTP 205.002.1979 (Revisada el 2016) Determinación del contenido de humedad. Método usual.
02. NTP 205.029.1982 (Revisada el 2016) CE. Análisis físicos.
03. IT-ENS-43 Análisis físico
04. AOAC 997.02, Cap. 17.2.09, 20Th Ed.: 2016

- Los resultados del presente Informe de Ensayo se relaciona únicamente a las muestras analizadas. No es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad de quien produce la muestra.
- El muestreo, las condiciones de muestreo y transporte de la muestra hasta su ingreso a CERTILAB es responsabilidad del solicitante.
- Al término del periodo de custodia o en caso no se cuente con muestra dirimente, el cliente o usuario del informe no podrá solicitar repetir los ensayos del presente informe.
- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin la autorización de CERTILAB.
- El presente Informe tiene una vigencia de 01 año después de la fecha de emisión.

San Miguel, 11 de enero de 2018



Biol. Sara León Marín
Laboratorio de Microbiología
C.B.P. 8889

Q.F. Lisly Sedano Inga
Laboratorio de Físico Química
CQFP: 11894 LIMA

Informe de Ensayo N° 0034-2018

Pág. 1 de 1

CERTIFICADORA Y LABORATORIOS ALAS PERUANAS S.A.C.

Av. La Paz 1598, San Miguel, Lima - PERÚ

Teléfono: 011 444 4388 4389 4390 4391 4392 4393 4394 4395 4396 4397 4398 4399 4400 4401 4402 4403 4404 4405 4406 4407 4408 4409 4410 4411 4412 4413 4414 4415 4416 4417 4418 4419 4420 4421 4422 4423 4424 4425 4426 4427 4428 4429 4430 4431 4432 4433 4434 4435 4436 4437 4438 4439 4440 4441 4442 4443 4444 4445 4446 4447 4448 4449 4450 4451 4452 4453 4454 4455 4456 4457 4458 4459 4460 4461 4462 4463 4464 4465 4466 4467 4468 4469 4470 4471 4472 4473 4474 4475 4476 4477 4478 4479 4480 4481 4482 4483 4484 4485 4486 4487 4488 4489 4490 4491 4492 4493 4494 4495 4496 4497 4498 4499 4500 4501 4502 4503 4504 4505 4506 4507 4508 4509 4510 4511 4512 4513 4514 4515 4516 4517 4518 4519 4520 4521 4522 4523 4524 4525 4526 4527 4528 4529 4530 4531 4532 4533 4534 4535 4536 4537 4538 4539 4540 4541 4542 4543 4544 4545 4546 4547 4548 4549 4550 4551 4552 4553 4554 4555 4556 4557 4558 4559 4560 4561 4562 4563 4564 4565 4566 4567 4568 4569 4570 4571 4572 4573 4574 4575 4576 4577 4578 4579 4580 4581 4582 4583 4584 4585 4586 4587 4588 4589 4590 4591 4592 4593 4594 4595 4596 4597 4598 4599 4600 4601 4602 4603 4604 4605 4606 4607 4608 4609 4610 4611 4612 4613 4614 4615 4616 4617 4618 4619 4620 4621 4622 4623 4624 4625 4626 4627 4628 4629 4630 4631 4632 4633 4634 4635 4636 4637 4638 4639 4640 4641 4642 4643 4644 4645 4646 4647 4648 4649 4650 4651 4652 4653 4654 4655 4656 4657 4658 4659 4660 4661 4662 4663 4664 4665 4666 4667 4668 4669 4670 4671 4672 4673 4674 4675 4676 4677 4678 4679 4680 4681 4682 4683 4684 4685 4686 4687 4688 4689 4690 4691 4692 4693 4694 4695 4696 4697 4698 4699 4700 4701 4702 4703 4704 4705 4706 4707 4708 4709 4710 4711 4712 4713 4714 4715 4716 4717 4718 4719 4720 4721 4722 4723 4724 4725 4726 4727 4728 4729 4730 4731 4732 4733 4734 4735 4736 4737 4738 4739 4740 4741 4742 4743 4744 4745 4746 4747 4748 4749 4750 4751 4752 4753 4754 4755 4756 4757 4758 4759 4760 4761 4762 4763 4764 4765 4766 4767 4768 4769 4770 4771 4772 4773 4774 4775 4776 4777 4778 4779 4780 4781 4782 4783 4784 4785 4786 4787 4788 4789 4790 4791 4792 4793 4794 4795 4796 4797 4798 4799 4800 4801 4802 4803 4804 4805 4806 4807 4808 4809 4810 4811 4812 4813 4814 4815 4816 4817 4818 4819 4820 4821 4822 4823 4824 4825 4826 4827 4828 4829 4830 4831 4832 4833 4834 4835 4836 4837 4838 4839 4840 4841 4842 4843 4844 4845 4846 4847 4848 4849 4850 4851 4852 4853 4854 4855 4856 4857 4858 4859 4860 4861 4862 4863 4864 4865 4866 4867 4868 4869 4870 4871 4872 4873 4874 4875 4876 4877 4878 4879 4880 4881 4882 4883 4884 4885 4886 4887 4888 4889 4890 4891 4892 4893 4894 4895 4896 4897 4898 4899 4900 4901 4902 4903 4904 4905 4906 4907 4908 4909 4910 4911 4912 4913 4914 4915 4916 4917 4918 4919 4920 4921 4922 4923 4924 4925 4926 4927 4928 4929 4930 4931 4932 4933 4934 4935 4936 4937 4938 4939 4940 4941 4942 4943 4944 4945 4946 4947 4948 4949 4950 4951 4952 4953 4954 4955 4956 4957 4958 4959 4960 4961 4962 4963 4964 4965 4966 4967 4968 4969 4970 4971 4972 4973 4974 4975 4976 4977 4978 4979 4980 4981 4982 4983 4984 4985 4986 4987 4988 4989 4990 4991 4992 4993 4994 4995 4996 4997 4998 4999 5000

Anexo 6. Procedimiento para medir el pH



Anexo 7. Lodos residuales

