



Universidad César Vallejo

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Revisión Sistemática: Análisis de Tratamientos de
Desinfección de Lodos Residuales**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniera Ambiental

AUTORA:

Mendoza Sanchez, Shirley Yassira (orcid.org/0000-0003-2291-0825)

ASESOR:

Mg. Ugarte Alvan, Carlos Alfredo (orcid.org/0000-0001-6017-1192)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA - PERÚ

2022

Dedicatoria

Dedicado a aquellas personas que han compartido esta etapa de mi vida, gracias a todos ustedes por apoyarme incondicionalmente.

A mis padres con afecto y reconocimiento por su apoyo absoluto y firme en el logro de mis objetivos profesionales.

Agradecimiento

Agradecer a Dios por brindarme salud, sabiduría, paciencia, y permitirme culminar con éxito este proyecto.

A mis padres David y Alicia, un reconocimiento especial, siendo mi apoyo absoluto y ejemplo de trabajo y dedicación. Mi hermana por darme siempre animo en todos los momentos.

A la Universidad César Vallejo por brindarme esta oportunidad para formar la profesional que hoy escribe estas palabras. Gracias.

Índice de Contenidos

| | |
|--|------|
| Carátula | i |
| Dedicatoria..... | ii |
| Agradecimiento | iii |
| Índice de Contenidos | iv |
| Índice de tablas | v |
| Índice de gráficos y figuras..... | vi |
| Índice de abreviaturas | vii |
| Resumen | viii |
| Abstract..... | ix |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. MARCO TEÓRICO | 4 |
| III. METODOLOGÍA..... | 19 |
| 3.1 Tipo y diseño de investigación | 19 |
| 3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización. | 19 |
| 3.3 Escenario de estudio..... | 22 |
| 3.4 Participantes. | 22 |
| 3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos. | 22 |
| 3.6 Procedimiento. | 22 |
| 3.7 Rigor científico. | 22 |
| 3.8 Método de análisis de datos..... | 23 |
| 3.9 Aspectos éticos. | 24 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 25 |
| V. CONCLUSIONES | 57 |
| VI. RECOMENDACIONES | 58 |
| REFERENCIAS | 59 |
| ANEXOS..... | 65 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Resumen de antecedentes | 5 |
| Tabla 2. Matriz de Categorización | 20 |
| Tabla 3. Procesos de desinfección empleados en lodos residuales..... | 26 |
| Tabla 4. Grado de efectividad en la reducción de indicadores patógenos..... | 33 |
| Tabla 5. Patógenos que fueron removidos según proceso de desinfección..... | 43 |
| Tabla 6. Características de lodos residuales post tratamiento de desinfección.... | 49 |

Índice de gráficos y figuras

Figura 1. Análisis de datos.23

Índice de abreviaturas

ADSBC. Biochar derived from ADS
AGS. Aerobic granular sludge
ASS. Anaerobic sewage sludge
CA. Corriente alterna
CAS. Conventional activated sludge
CT. Coliformes totales
CVT. Recuentos viables totales
DC. Corriente continua
DGGE. Denaturing Gradient Gel Electrophoresis
ECP. Electrochemical peroxidation
EDAR. Estación depuradora de aguas residuales
EPA. Environmental protection agency
EPT. Electrochemical pretreatment
HRT. Hydraulic retention times
MFC. Microbial fuel cell
MPN. Most probable number
PAA. Peracetic acid
PDS. Peroxydisulfate
PPCP. Pharmaceutical and personal care products
PTAR. Planta de tratamiento de aguas residuales
RFE. Resistencia específica de filtración
SBR. Sequencing batch reactor
SRF. Specific resistance to filtration
SS. Sewage sludge
SSBM. Sewage sludge biodrying material
TCC. Triclocarban
TSC. Tiempo de succión capilar
UE. Unión Europea
UFC. Unidad formadora de colonias
WAS. Waste activated sludge

Resumen

El presente trabajo presenta un análisis sistemático de los procesos de desinfección aplicado en los lodos residuales, para lo cual se ha realizado una recopilación de bibliografías considerando los métodos como propuestas potenciales para la desinfección de patógenos en los lodos.

En relación al contenido del diseño de investigación del trabajo, se realizó de forma aplicada, de esta manera se emplea el análisis de artículos de investigación seleccionados a través de un filtro de búsqueda (base de datos, palabras clave, año de publicación, factor de impacto, criterios de inclusión y exclusión), siendo este el análisis de datos que dará inicio al desarrollo de los objetivos planteados en el presente trabajo.

El análisis de la efectividad de los procesos de desinfección en lodos residuales, en relación a la incidencia de la concentración de indicadores patógenos, mediante los procesos de desinfección que tienen mayor eficacia en la reducción de indicadores patógenos demostrarán cuales son los organismos patógenos presentes en los lodos residuales de estudio por cada autor que fueron removidos según el proceso de desinfección, así finalmente se podrá considerar las características de estos posterior a la aplicación de los procesos de desinfección para su aplicación en agricultura o aprovechamiento.

Al término de responder los objetivos propuestos se observa que los procesos electroquímicos responden con eficacia a los resultados obtenidos en desinfección de patógenos presentes en lodos residuales entre un 96 a 100% de reducción y eliminación, todos estos coincidiendo en indicadores fecales.

Finalmente, de acuerdo a los resultados obtenidos por los análisis respectivos en concentración de organismos patógenos se demostrará si el lodo residual puede ser apto para su aplicación en suelos, que demuestra que en su mayoría los autores mencionados no consideran en conjunto todos estos aspectos físicos, químicos y biológicos.

Palabras Clave: Revisión sistemática, lodos residuales, organismos patógenos, desinfección, remoción.

Abstract

This work includes a systematic analysis of the disinfection processes applied to sewage sludge, for which a compilation of bibliographies has been carried out considering the methods as potential proposals for the disinfection of pathogens in sludge.

In relation to the content of the research design of the work, it was carried out in an applied manner, thus using the analysis of selected research articles through a search filter (database, key words, year of publication, impact factor, inclusion and exclusion criteria), this being the data analysis that will initiate the development of the objectives set out in this work.

The analysis of the effectiveness of the disinfection processes in sewage sludge, in relation to the incidence of the concentration of pathogenic indicators, by means of the disinfection processes that have greater effectiveness in the reduction of pathogenic indicators will demonstrate which are the pathogenic organisms present in the sewage sludge of study by each author that were removed according to the disinfection process, so finally it will be possible to consider the characteristics of these after the application of the disinfection processes for their application in agriculture or utilization.

At the end of answering the proposed objectives, it is observed that the electrochemical processes respond effectively to the results obtained in disinfection of pathogens present in sewage sludge between 96 to 100% reduction and elimination, all of these coinciding in fecal indicators.

Finally, according to the results obtained by the respective analyses in concentration of pathogenic organisms, it will be demonstrated if the sewage sludge can be suitable for application in soils, which shows that most of the mentioned authors do not consider all these physical, chemical and biological aspects together.

Keywords: Systematic review, sewage sludge, pathogenic organisms, disinfection, removal.

I. INTRODUCCIÓN

La problemática planteada surge a partir de la generación de aguas residuales a nivel mundial que son vertidas sin tratar alrededor del 80% en las vías fluviales (Opec, 2018). Este problema se ha vuelto existente globalmente, debido al incremento poblacional, produciendo niveles elevados de contaminación y su incidencia en el entorno natural debido a la producción de aguas residuales de origen doméstico e industrial, al mismo tiempo que provocan afecciones en la salud de la población, por otro lado, también se puede considerar como un derroche de recursos. De ahí que, los lodos de depuradora se reconocen como una fuente de energía renovable y de recuperación de materiales (Christodoulou & Stamatelatou, 2015).

Para analizar esta problemática es necesario mencionar que los lodos residuales son residuos biodegradables producidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en Latinoamérica o estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) de todo el mundo. Su estructura no uniforme reduce la posibilidad de un tratamiento seguro, en especial cuando existe una legislación relativa a la conservación de la naturaleza. Este material residual está compuesto por materia orgánica y nutrientes, sin embargo, también contienen una amplia variedad de contaminantes domésticos e industriales presentes, como metales pesados, residuos de medicamentos, contaminantes orgánicos, hormonas, patógenos o micro plásticos (Smith, 2009).

En la Unión Europea (UE), existen diferentes enfoques para la eliminación o reutilización de los lodos de depuradora: vertido, uso agrícola, compostaje y otras aplicaciones, e incineración (Eurostat, 2022). De acuerdo con la legislación actual de la UE, cabe esperar que el vertido de lodos de depuradora disminuya gradualmente debido a la reducción de la cantidad de residuos biodegradables depositados en vertederos, a las pérdidas de material y a la mayor protección del medio ambiente (European Parliament and of the Council, 2008).

En Estados Unidos, la EPA Environmental Protection Agency, en la Norma US-EPA CFR40, part 503 (The Rule or Regulation), Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge. La normativa mencionada es la que se encarga de regular el manejo, tratamiento y disposición de lodos residuales, adicionalmente establece los

requisitos y procedimientos para cada uno de los diversos tipos de tratamiento (EPA, 2018).

En el Perú, con objetivo de controlar la contaminación al ambiente y el riesgo a la salud pública por un manejo inadecuado de estos residuos, en el 2017 se publica mediante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, su Reglamento, aprobado con el Decreto Supremo que aprueba el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales por DS-015-2017 VIVIENDA, que regula el manejo y disposición final de los lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, estableciendo las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final (Vivienda, 2017).

El presente proyecto de investigación propone la revisión sistemática actualizada de investigaciones en temas de procesos de desinfección de lodos residuales, que tiene como objetivo la protección del ambiente. Se analiza de forma descriptiva algunos de los varios métodos y tecnologías de tratamiento utilizados, orientado a responder las preguntas de investigación.

Se plantea como problema general:

¿De qué manera los procesos de desinfección en lodos residuales inciden en la concentración de indicadores patógenos?

De igual manera se plantea los siguientes problemas específicos:

¿Cuáles son los procesos de desinfección con mayor eficacia en la reducción de indicadores patógenos?

¿Cuáles son tipos de patógenos presentes en lodos residuales que afectan su aprovechamiento?

¿Cuáles son las características de lodos residuales posterior a la aplicación de los procesos de desinfección para su aplicación en agricultura?

Acorde a la descripción de la problemática presentada, plantea como objetivo general:

Analizar la efectividad de los procesos de desinfección en lodos residuales, en relación a la incidencia de la concentración de indicadores patógenos

Mientras que los objetivos específicos son los siguientes:

Investigar a cerca de los procesos de desinfección que tienen mayor eficacia en la reducción de indicadores patógenos.

Indicar los tipos de patógenos presentes en lodos residuales que fueron removidos según el proceso de desinfección

Evaluar las características de los lodos residuales posterior a la aplicación de procesos de desinfección para su aplicación en agricultura o aprovechamiento.

II. MARCO TEÓRICO

Para la elaboración del presente proyecto de investigación se recopilará información específica de artículos científicos correspondientes a estudios en Procesos de desinfección aplicados en lodos residuales. A continuación, se muestra en la **Tabla 1**, el resumen de investigaciones que se aplicaran en el presente proyecto, considerando el proceso de aplicación y los microorganismos patógenos.

Tabla 1. Resumen de antecedentes

| Nº | Autor - Año | Descripción de la metodología | Resultados |
|----|--------------------------|---|---|
| 1 | S. Ozdemir et al. – 2020 | <p>El tratamiento realizado por el autor, consta en dos muestras, una sin tratamiento solar (muestra de control) que se realizó a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) en condiciones de laboratorio, y otra con tratamiento de solarización este se lleva a cabo en presencia de radiación ultravioleta condicionando la calefacción directa por el sol.</p> <p>Considerando la muestra del compost de lodo en fuentes de 5 cm de profundidad, con hasta una temperatura de 65 °C</p> <p>Las tasas de inactivación de los microorganismos indicadores expuestos al tratamiento de solarización fueron significativamente más altas que los del tratamiento no solarizado.</p> | <p>Como indicadores microbianos para el estudio se consideró, <i>E. coli</i> que resultó ser el microorganismo más susceptible el cual tuvo una reducción de 4 log UFC g⁻¹ a niveles indetectables al paso de 6 días del proceso.</p> <p>Por otro lado, la muestra del grupo sin tratamiento solar, determinó que la tasa de reducción de este indicador era inferior a 1 log en 15 días de todo el ciclo experimental.</p> <p>Mientras que para el compost solarizado, la presencia de <i>Enterococos</i> osciló entre 2,31 log UFC g⁻¹ y 1,80 log UFC g⁻¹ en 6 días, demostrando su reducción por debajo del límite de detección después de 12 días de aplicación solar directa.</p> |
| 2 | S. Zhou et al. - 2018 | <p>El autor aplica el Sistema Fenton (renombrado como celda electrolítica microbiana-Fenton), para ello emplea un reactor de doble cámara con 100 mL de volumen total y 80 mL de volumen de trabajo para cada cámara, en presencia de un ánodo y cátodo de material de carbón (5,9 cm de diámetro, 6,9 cm de longitud), el cual contuvo la muestra de lodos que en todo momento se evitó su precipitación durante la reacción, el mismo que fue enriquecido con una solución microbiana durante aproximadamente un mes utilizando aguas residuales domésticas. Una de las muestras es</p> | <p>Finalmente, como muestran los resultados se obtuvo una reducción de 4 logs de <i>Escherichia coli</i> (de 10^7 a cientos de UFC/mL) con valores de voltaje externo de 0,2 V, 0,3 mM de Fe²⁺ y un pH catódico de 3,0. Mientras tanto se observó una inactivación en los experimentos de control sin voltaje externo ni dosis de Fe₂⁺. El proceso de desinfección se vi en aumento cuando el flujo de aire del cátodo se incrementó de 7 a 41 mL/min. proporcional al aumento de la concentración de Fe₂⁺ de 0,15 a 0,45 mmol/mL. Se identificó que la destrucción de la</p> |

| N° | Autor - Año | Descripción de la metodología | Resultados |
|----|----------------------------|--|---|
| | | <p>enriquecida con una solución de FeSO₄ de 0,3 mM, la recirculación de la solución fue controlada a través de un electrodo de referencia de Ag/AgCl (+0,197 V) que fue insertado en la cámara catódica, cerca de la placa de carbón.</p> | <p>membrana celular por el %OH es un mecanismo potencial de desinfección que actúa sobre los indicadores de microbianos.</p> |
| 3 | T. Luukkonen et al. - 2020 | <p>El estudio propone la aplicación de ácido peracético - PAA como acondicionador de la muestra de lodo para casos en que se disponga un espacio limitado para su tratamiento y requiera rapidez en su procesamiento de estabilización.</p> <p>Las muestras recolectadas han sido homogenizadas con la solución de PAA con proporciones de 0, 1/2000, 1/1000, 1/500 y 1/250 por kg de solución de PAA/kg de lodo, respectivamente. Posterior a la adición de PAA, las muestras son llevadas a centrifuga para simular el espesamiento y deshidratación de la muestra, con ello se realizan los análisis en nutrientes, materia seca, pH, CE, nitrógeno, fosforo y potasio.</p> | <p>El PAA ha demostrado que no existe olores al momento del tratamiento, evitando la formación de H₂S y NH₃ (a una dosis de 25 mg/L) también obteniendo como resultado la higienización (a la dosis de 480 mg/L). Las cantidades máximas de lodos acondicionados con PAA que podían mezclarse con el suelo eran de 3 y 1 vol% en términos de fitotoxicidad y producción de CO₂.</p> <p>Mientras que la presencia de macronutrientes (N, P, Ca, K, Mg, S) presentes en el suelo no se vieron afectadas negativamente por el PAA. El coste del tratamiento con PAA fue de 74-81 €/t de sólidos secos, demostrando que el tratamiento con PAA puede ser competencia frente otras opciones de tratamiento.</p> |
| 4 | Z. Yin et al. - 2018 | <p>Para el tratamiento que propone el autor, las muestras incluyeron concentraciones de NaCl y NH₄Cl como electrolitos para mejorar la conductividad eléctrica. Las muestras fueron sometidas a tensión de entrada (18 V), los lodos con corriente continua (DC) evidenciaron un aumento más lento de temperatura a diferencia del uso de corriente</p> | <p>Con la aplicación del tratamiento, se demostró la eliminación de <i>E. coli</i> superior a 6 log₁₀ en un tiempo de 2 horas utilizando 0,15M de NaCl como electrolito en función de la corriente alterna o continua. La producción de calor en la muestra se modeló utilizando la teoría de Maxwell-Eucken, basada en la conductividad eléctrica efectiva en medio bifásico (líquidos y sólidos).</p> |

| N° | Autor - Año | Descripción de la metodología | Resultados |
|----|------------------------|---|--|
| | | <p>alterna (CA). Sin embargo, la corriente continua mostró mejor rendimiento para la inactivación de <i>E. coli</i>.</p> | |
| 5 | G. Zheng et al. - 2021 | <p>Las muestras de lodos deshidratadas de aproximadamente 3000 g. fueron adicionadas con ácido nítrico y almacenadas en un refrigerador a 4 °C y 20 °C.</p> <p>Las muestras enriquecidas con triclocarbán (TCC) de aguas residuales, fueron llevadas a compostar en un espacio de 340 L (D = 0,6 m, H = 1,2 m). Las camas de compostaje fueron acondicionadas con serrín y paja que incluyeron un sistema de control y seguimiento automático. La estrategia de ventilación consistió en una aireación intermitente durante 1 minuto en un ciclo de ventilación de 23 minutos. El periodo de compostaje fue de 17 días, y las muestras se recogieron los días 0, 1, 2, 4, 7, 9, 11.</p> | <p>El TCC que enriqueció las muestras de lodos presento una biodegradación de TCC que fue del 65,7% y del 82,8% tras 17 días de tratamiento de compostaje con serrín y paja respectivamente. El compostaje puede reducir eficazmente los riesgos medioambientales del TCC y mejorar la aceptación sin desequilibrio por parte de la tierra. El serrín redujo significativamente los riesgos medioambientales (RQ = 0,058) durante el compostaje de lodos de depuradora a diferencia de la paja (RQ = 0,111).</p> |
| 6 | A. Lopez et al. - 2020 | <p>El estudio pretendió evaluar la presencia de indicadores microbiológicos para la determinación calidad microbiológica en los lodos residuales que son tratados en las EDAR, para ello se han considerado tres estaciones de aguas residuales a escala piloto, dos de ellas aplican la digestión anaeróbica en su proceso de tratamiento y una planta de digestión aeróbica.</p> | <p>El tratamiento anaeróbico presento las mejores condiciones en reducción de <i>Enterococcus sp.</i> mientras que el tratamiento termofílico aerobio fue el que mejor redujo la <i>E. coli</i>, siendo no significativa la influencia de del tiempo de resistencia hidráulico (HRT) a la reducción microbiana.</p> <p>Ambos tratamientos de digestión demostraron diferentes eficiencias relacionadas a las condiciones de operalización.</p> |

| Nº | Autor - Año | Descripción de la metodología | Resultados |
|----|-----------------------------|--|--|
| 7 | C. Mays et al. - 2021 | Para el estudio el autor considero sembrar semillas de zanahoria germinadas en un invernadero con un suelo acondicionado en presencia de biosólidos y riego con aguas residuales. Durante el desarrollo de la planta de zanahoria, todas sus etapas fueron controladas, a un inicio se cuantificaron indicadores bacterianos fecales totales y resistentes a los antibióticos (<i>Escherichia coli</i> y <i>enterococos</i>) el control semanal en el suelo y el total de <i>E. coli</i> en la cosecha (día 77). | <p>Los resultados revelaron que la aplicación de enmienda de biosólidos en el suelo contribuye a un incremento significativo de <i>E. coli</i> y <i>enterococos</i> totales y resistentes a los antibióticos esto en la aplicación; sin embargo, estos niveles se han visto reducidos con el transcurrir del tiempo de manera natural.</p> <p>El total de <i>E. coli</i> y <i>enterococos</i> permaneció intacto en el suelo hasta la cosecha (77 días de temporada de crecimiento de las zanahorias), de igual manera la <i>E. coli</i> estaba presente en las zanahorias en la cosecha.</p> |
| 8 | B.J. Thwaites et al. - 2018 | En este estudio el autor hace una comparación en lodos granulares con lodos activados, para ello se instaló una planta piloto con dos reactores para cada uno de los lodos en una EDAR. Los reactores piloto con volúmenes operativos de 61,5 y 63,5 L y recibían aguas residuales municipales no tratadas y tamizadas. El tratamiento empleado para los lodos fue de digestión anaerobia y aerobia para lodos granulares y lodos activados convencionales correspondientemente. | <p>Los resultados demostraron que los lodos granulares aerobios (AGS) son capaces de alcanzar o superar los objetivos de eliminación de patógenos a comparación de los lodos activados convencionales (CAS). Independientemente del tratamiento en ausencia o presencia de oxígeno.</p> <p>Demostrando así la incidencia de microorganismos como <i>Escherichia coli</i>, <i>Giardia</i> y <i>Cryptosporidium</i> no han sido reportados, demostrando que AGS se desempeñó tan bien como CAS para el rendimiento de eliminación de log₁₀ de agentes microbianos, con excepción de las esporas que se eliminaron con eficiencia por AGS.</p> |
| 9 | Y.-d. Chen, et al. - 2020 | El autor aplica el proceso de oxidación avanzada basado en peroxidisulfato, para ello se emplea lodos de digestión anaerobia. Para la determinación del catalizador con | Los resultados han demostrado que el sistema de oxidación basado en el biocarbón es factible para la inactivación de <i>Escherichia coli</i> y diversas bacterias. Por |

| N° | Autor - Año | Descripción de la metodología | Resultados |
|----|----------------------|--|---|
| | | <p>mecanismo del sistema de peroxidisulfato (PDS) que fue discutido críticamente a través de pruebas de detección selectiva de radicales, intercambio de agentes disolventes (H₂O a D₂O), la selectividad de contaminantes y análisis electroquímico.</p> | <p>ello el autor considera que no sólo los lodos residuales pueden ser reutilizados para la elaboración de catalizadores de biocarbón grafitico como activadores de peroxidisulfato (PDS) para la descontaminación de microcontaminantes emergentes, sino que también amplía la aplicación práctica de la carbocatálisis avanzada para inactivación de bacterias por oxidación no radical.</p> |
| 10 | L. Cai et al. - 2017 | <p>Para el estudio de biosecado se empleó un reactor de biocalor, la experimentación consta de apilar los lodos residuales para que sean procesados en la cámara de aire dentro del reactor, la descomposición de materia orgánica presente en los lodos residuales se descompone, liberando energía térmica, incrementado la descomposición por presencia de calor.</p> <p>El tratamiento puede emplearse como pre pretratamiento del compost, junto con un periodo de maduración o curado.</p> | <p>Finalmente, los resultados obtenidos lograron comprobar durante la fase termófila inicial degradación de microorganismo filos Firmicutes, Actinobacteria y Proteobacteria mientras tanto también se observaron degradaciones eficientes de triptófano y tirosina.</p> <p>Los descubrimientos en el estudio resaltan los microorganismos potencialmente importantes y la mejora de la deshidratabilidad durante la biodegradación de los lodos.</p> |
| 11 | S. Hu et al. - 2020 | <p>Para la aplicación del tratamiento de electro oxidación propuesto por el autor, la muestra de lodo fue acondicionada con diferentes concentraciones de sulfato ferroso (Fe(II): 20.5, 41.0 y 82,0 mg/g) a 500 ml de muestra de lodo, controlando el tiempo de tratamiento en 1,5, 3, 4,5 o 6 h para examinar el efecto de electro oxidación, que intervienen para la reducción de metales pesados presentes en lodos de</p> | <p>Los resultados demostraron reducción con el proceso de acondicionamiento híbrido, con altas eficiencias de eliminación de 72,95% y 78,49% para el Cu, 66,29% y 84,26% para el Zn, y 36,52% y 36,99% para el Pb de muestras de lodos de depuradora y lodos industriales, respectivamente.</p> <p>La estabilización de los lodos con la inactivación de patógenos también se logró mediante la generación de</p> |

| Nº | Autor - Año | Descripción de la metodología | Resultados |
|----|---------------------------------|--|---|
| | | <p>depuradora e industriales, acompañada de deshidratación y estabilización microbiana.</p> <p>Para esta experimentación dentro del reactor se empleó electrodos de material grafito ubicados con intervalos de 3 cm, con voltaje de 20 V.</p> | <p>radicales hidroxilo, un pH extremadamente ácido y una temperatura del sistema.</p> |
| 12 | G. Llorens-Blanch et al. - 2018 | <p>El autor pretende evaluar el uso de Trametes versicolor a escala laboratorio, para ello las muestras se inocularon con T. versicolor, luego de los 22 días de tratamiento mejoraba los rendimientos de eliminación. Se comprobó que 2 de los 15 productos farmacéuticos detectados inicialmente se degradaban totalmente después de 22 días, y las biopilas nuevamente inoculadas con hongos alcanzaban mayores tasas de eliminación que las no re-inoculadas.</p> | <p>Finalizando la experimentación en el día 42, el T. versicolor no era el hongo predominante en las biopilas, aunque la eliminación de productos farmacéuticos y de cuidado personal (PPCP) mejoró.</p> <p>Extrañamente, las comunidades bacterianas no se vieron afectadas por la inoculación de hongos. Sin embargo, hay que tener en cuenta parámetros de diseño que podrían afectar la dinámica de las poblaciones microbianas de las poblaciones microbianas.</p> |
| 13 | S. Hu et al.- 2020 | <p>Las muestras para estudio de lodo crudo, fueron almacenadas en envases de polipropileno a 4°C, tamizado a través de un filtro de 1,0mm. La adición de hipoclorito de calcio fue al 65%.</p> <p>El acondicionamiento de electrodos de Fe tuvo forma circular con un diámetro de 80mm y altura, con espesor de 1mm, espaciados a 2 cm de distancia. Para la experimentación la solución se mezcló a 400rpm, el reactor conto con una fuente de energía que proporciono 20V.</p> | <p>La aplicación de la experimentación demostró una estabilización de los lodos con colonias de <i>E. coli</i> inferiores a 1000 MPN/g TS. Teniendo como resultado la eliminación a un 99% de fósforo del filtrado y se fijó con éxito en el lodo y en la superficie del electrodo.</p> |

| Nº | Autor - Año | Descripción de la metodología | Resultados |
|----|--------------------------------------|--|--|
| 14 | I.S. Pereira et al.- 2020 | <p>La experimentación tuvo lugar en un invernadero utilizando siete tasas de adición de lodos de depuradoras anaeróbicos (0.0, 0.25, 0.5, 1, 2, 4 y 8 g kg⁻¹ en base seca), las cuales fueron tratadas con un tratamiento adicional para desinfección mediante solarización, y aplicados para el cultivo con lechuga.</p> <p>La evaluación conto en la verificación de la composición química del suelo y hojas de la lechuga, también se consideró el índice de clorofila. El lodo residual aumentó los indicadores de fertilidad en el suelo y la materia seca de las plantas, redujo significativamente el pH del suelo, por lo que fue necesario un ensayo adicional para corregir el pH.</p> | <p>Los resultados muestran que este proceso reduce el volumen de lodos residuales que quieren ser reciclados al mismo tiempo que conserven sus características agronómicas. De este modo, este paso adicional para el tratamiento de lodos residuales anaeróbicos también se evidencia su reducción en los niveles de contaminantes patógenos, con reducción en coliformes termotolerantes y huevos de helmintos viables. Considerando que este estudio considero al lodo residual como acondicionador del suelo/fertilizante orgánico.</p> |
| 15 | P. Alfonso-Muniozguren et al. - 2018 | <p>Las muestras para estudio, provenientes de matadero con contenido de sangre y restos animales, aguas residuales y productos de limpieza y fertilizantes. Como control demuestra se empleó una muestra con adición de cloruro férrico. Las muestras fueron monitoreadas una vez por semana y almacenado a 4°C. Para su aplicación se empleó un tiempo de retención hidráulica de 24 horas y un tiempo de retención de sólidos de 13 días para el proceso de lodos activados, seguido de una filtración de 4-7 µm y aplicación de ozono como tratamiento adicional.</p> | <p>La aplicación de este proceso combinado, demostró la inactivación completa de los coliformes totales (CT) tras 17 minutos de ozonización. Para los recuentos viables totales (CVT), se observó una gran reducción (6 log de inactivación) a una dosis de ozono inyectada de 71 mg/L</p> <p>Adicional a ello se ha identificado hasta 6log de inactivación bacteriana de coliformes fecales, CT y <i>E. coli</i> tras la ozonización evidenciado en los lodos filtrados.</p> <p>El proceso combinado demostró cumplir los requisitos de vertido sin tratamiento adicional para los parámetros medidos (DQO, DBO, SST, P, CT y TVC) antes de separación de lodos.</p> |

| N° | Autor - Año | Descripción de la metodología | Resultados |
|----|--------------------------|--|---|
| 16 | P. Svarnas et al. - 2020 | <p>Las muestras de lodos de depuradora se trataron mediante plasma frío, esto implica un control en potencia eléctrica media en el rango de decenas de vatios, tiempo de tratamiento y temperatura in situ a máxima de 400 K.</p> <p>Para su aplicación se realizó una simulación del flujo térmico en el interior de la cámara del proceso, empleando una dinámica de fluidos computacional.</p> | <p>Las muestras lograron la estabilización en inactivación bacteriana. El biosólido se mostró como un electrodo de potencial mientras su contenido de humedad determinó la evolución de la descarga. Evidenciando la eliminación de diferentes serotipos de <i>Salmonella</i> y otras bacterias Gramnegativas, después de su aplicación de 10 minutos, en condiciones de temperatura y potencia eléctrica moderadas.</p> <p>Para finalizar el autor menciona que es preciso indagar en estudios relacionados con la caracterización del plasma y el análisis fisicoquímico del biosólido con la finalidad de determinar las reacciones específicas que conducen a la estabilización.</p> |
| 17 | L. Zhang et al. - 2020 | <p>Las muestras en estudio fueron recolectadas semanalmente de la sedimentación secundaria y almacenados a 4°C, estas muestras fueron ajustadas a 2% de disolución con agua destilada. Posterior a ello para su aplicación en el proceso las muestras usaron NaClO y NaNO₂ con la adición de FeCl₃ para ser comparadas.</p> <p>Se emplearon seis muestras a partir de la adición anterior a 2% de agua destilada, para la primera muestra se tuvo 4 ml de 84,0 g/L solución de NaClO (8% de cloro disponible) en muestra 2, después del tratamiento con NaClO durante 40 min, 10 % de H₂SO₄ y 10 g/L de FeCl₃ a la muestra 3.</p> | <p>Finalizando el proceso se evidencio por medio de la solubilización de los metales pesados una favorable mejora, al igual que en la deshidratación y la eliminación de patógenos se lograron simultáneamente.</p> <p>Demostrando valores de MPN de coliformes fecales los mismos que se vieron reducidos en $6,9 \pm 0,2$ log MPN/g TS a $6,0 \pm 0,2$ log MPN/g TS posterior a la incubación de 30°C durante 24 h. Mientras que el tratamiento con NaClO mostro un valor de MPN de coliformes fecales de NaClO aumentó de $0,8 \pm 0,1$ a $1,7 \pm 0,1$ log MPN/g TS después de la adición de ácido/FeCl₃, debido a la liberación de Cl₂ a pH bajo, y la muestra tratada con ácido nitroso libre (FNA) mostro el valor de MPN de</p> |

| N° | Autor - Año | Descripción de la metodología | Resultados |
|----|--|---|--|
| | | <p>Para mejora del sistema se adiciono NaNO₂, 150mL (2% de contenido de sólidos) el cual se incubó a 30 °C y se agitó a 150 rpm durante 24 h como control, y luego se agregaron 10% de H₂SO₄ y 10 g/L de FeCl₃ en la muestra 5 para preparar la concentración de nitrito de 20 mg NO₂eN/L, y 10% de H₂SO₄, 19,2 mg/L NaNO₂ (24 h) y 10 g/L FeCl₃ (24 h) posterior a ello, en la muestra 6 se añadieron paso a paso. Después del tratamiento, estas muestras fueron centrifugadas durante 30 min.</p> | <p>coliformes fecales en dos muestras fue de aproximadamente $1,8 \pm 0,1$ log MPN/g TS, demostrando que la adición de nitrito no tuvo efecto evidente en la desinfección de Coliformes fecales a pH inferior a 2,0.</p> <p>El autor también considera, que falta condiciones para que el lodo sea optimizado sin pérdida de fosforo y recomienda que los estudios puedan ser continuados.</p> |
| 18 | N. Asses, W. Farhat, M. Hamdi, et al. - 2019 | <p>Con las muestras se realizó compostaje a gran escala de 300 m³ durante 90 días, en este proceso se mezclaron residuos de matadero avícola (59,65%) con lodos de depuradora (4,83%), residuos agrícolas, cartón (4,83%) y serrín (19,35%) y compost activado (11,29%).</p> <p>Este proceso fue controlado durante su desarrollo con el análisis de parámetros físico-químicos y los indicadores biológicos para la evaluación del producto final tratado.</p> | <p>Los resultados de los análisis para parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el proceso de compostaje mostraron un compost maduro y estable después del periodo de 120 días.</p> <p>La <i>Escherichia coli</i> no se eliminó, pero se redujo considerablemente alcanzando valores inferiores a los recomendados por la normativa internacional. Los niveles de madurez y estabilidad quedaron demostrados por los ensayos de fitotoxicidad, al igual que el 91% demostró el índice de germinación, como resultado final de su aplicación en suelo agrícola mejoró los parámetros de rendimiento de la planta de maíz en un 60%.</p> |
| 19 | D.E.C. Mazzeo et al. - 2020 | <p>Las muestras para el estudio se consideraron lodos de fuentes aeróbico o anaeróbico con tierra, tierra y bagazo, y tierra y posos de café.</p> | <p>Como resultado de los acondicionadores se demostró que el bagazo de caña de azúcar y posos de café como agentes bioestimulantes indujo un aumento de la respiración microbiana que incremento la</p> |

| Nº | Autor - Año | Descripción de la metodología | Resultados |
|----|--|--|--|
| | | <p>Estas muestras fueron proporcionales en volumen, para ello se seleccionaron tres tipos de muestras con mezclas diferentes en las que intervino el lodo residual (SS) para cada una de ellas: SS y tierra (3:3 – v/v); SS, tierra y bagazo (3:3:1 – v/v/v); SS, suelo y café (3:3:1 – v/v/v). Estas proporciones se plantearon a raíz de un estudio previo por el autor con la finalidad de una desintoxicación eficaz.</p> <p>Cabe considerar que estas muestras fueron controladas mediante pruebas respirométricas mostraron que los agentes estimulantes aumentaban la producción de CO₂.</p> | <p>biodegradabilidad de los lodos anaeróbicos, esto no fue lo mismo para los lodos aeróbicos.</p> <p>El proceso de biodegradación realizado en el presente estudio promovió la eliminación de las Enterobacterias de los dos SS estudiados al final del proceso.</p> <p>Todas las muestras a un inicio demostraron desde ya efectos positivos en desinfección, sin embargo, tras la biodegradación, la toxicidad fue menor para las mezclas que contenían sólo tierra y lodo.</p> |
| 20 | X. Hu, T. Zhang, G. Tian et al. - 2021 | <p>La aplicación de los lodos para su experimentación fue dada en un reactor de lombrices de especie Eisenia fétida, para el vermicompostaje y reutiliza el vermicompostaje maduro para acondicionar los lodos nuevos, el cual ha demostrado tener mayor estabilidad y madurez.</p> <p>El reactor de lombriz consta de un marco apilado de cajas multicapa que dispone un tubo colector de percolado esta tubería está conectada a un tanque de almacenamiento de líquido de centralización.</p> <p>Las pruebas apiladas presentaron un espesor de: 3, 4, 5, 6, 7 y 8 cm estas muestras fueron regadas con agua para el control de humedad con pruebas de humedad al: 60%, 65%, 70%, 75%, 80% y 85%.</p> <p>Para este acondicionamiento, en condiciones óptimas la proporción de excrementos de lombriz fue en 15%; el</p> | <p>Los resultados a nivel de phylum, se evidenciaron por la comunidad fúngica del lodo, que consistió en Rozellomycota (4.02–66.05%), Ascomycota (23,26–52,84 %), Basidiomycota (1,83–31,06 %) y Mortierellomycota (0,68–4,78%). Dentro de los filos dominantes se consideraron a Ascomycota y Rozellomycota es un filo de hongos recién descrito en presencia de parásitos no cultivados que habitan en ambientes acuáticos y ambientes terrestres.</p> <p>La aplicación de esta tecnología desmostro ser eficaz en manejeo del recurso de los lodos residuales, para concluir el autor menciona que después del vermicompostaje, la abundancia y la diversidad de bacterias en el SS disminuyeron, mientras que la diversidad de hongos aumentó.</p> |

| Nº | Autor - Año | Descripción de la metodología | Resultados |
|----|-----------------------------|---|--|
| | | <p>espesor de los lodos a 6 cm; controlando los parámetros de la muestra inicial como: contenido de humedad de la mezcla inicial de lodos: 75%, el tiempo necesario para el vermicompostaje (20,25 horas), una superficie reducida (5 m²/t-d) y un bajo coste.</p> | |
| 21 | K.R. Schwarz et al. - 2019 | <p>El experimento se realizó durante tres meses en una EDAR, en la cual se adecuaron tres tanques en combinación de lagunas facultativas y de maduración, esto en serie con una capacidad de caudal de 110 m³ y un volumen de almacenamiento con 24 mL.</p> <p>El tanque principal tuvo una profundidad de 2.10m con una profundidad media de lodo de 0.40m. para el estudio se consideraron indicadores con cinco microorganismos de estudio <i>Escherichia coli</i>, <i>Enterococcus spp.</i>, bacteriófago, colifago somático y adenovirus (HAdV)</p> | <p>La experimentación se evidencio con la descomposición que estuvo sostenida por índices fisicoquímicos y índices ambientales como la temperatura del estanque, la conductividad, el pH, la estación del año y las precipitaciones.</p> <p>Se comprobó que las bacterias se descomponen más rápido que los virus, y la supervivencia de éstos aumenta según la profundidad de la fracción de la muestra de lodo.</p> <p>Las condiciones de lodos en las lagunas pueden ser favorable o no dependiendo de los contaminantes presentes inicialmente en las muestras. A esto el autor propone que es necesario un tratamiento adicional de los lodos para evitar riesgos en la salud por patógenos entéricos en la reutilización de los lodos.</p> |
| 22 | J. Diak, B. Ormechi. - 2018 | <p>Las muestras para este estudio tuvieron un agente acondicionador considerando al ferrato de potasio (VI) en cantidades de relación de 0,5 y 5,0 g/L como procesamiento antes del sistema de congelación-descongelación. Enseuida del acondicionamiento de las muestras, estas fueron</p> | <p>El proceso aplicado ha demostrado que el ferrato de potasio (VI) acompañado del sistema de congelación y descongelación favoreció al ajuste de la dosis del agente acondicionador.</p> |

| N° | Autor - Año | Descripción de la metodología | Resultados |
|----|--------------------------------|---|--|
| | | <p>congeladas a -10, -20 y -30 °C, manteniéndose así durante 1, 8 y 15 días.</p> <p>Después del tiempo transcurrido, las pruebas fueron descongeladas a temperatura ambiente, esto permitió no condicionar la muestra y separar cuidadosamente el agua de la misma. El agua obtenida por el descongelamiento se caracterizó por coliformes fecales, demanda química de oxígeno, proteínas solubles, carbohidratos solubles, pH y turbidez. Mientras que la prueba de lodo estuvo en identificada por coliformes fecales, sólidos totales y sólidos volátiles.</p> | <p>El proceso de congelación y descongelación redujo el volumen de lodos hasta un 79%. Esto considerando que la prueba fue congelada solo por un día, aquí es donde se evidencia que las concentraciones de coliformes fecales en muchas de las pruebas empleadas de lodo primario se vieron reducidas en <1000 MPN/g de sólidos secos, esto represento para el autor una inactivación de >3 logs.</p> |
| 23 | H. Olvera-Vargas et al. - 2019 | <p>Las muestras extraídas de una granja avícola, fueron lodos anaerobios las cuales fueron almacenadas en contenedores de propileno a una temperatura de 4°C. a estas muestras se les adiciono K2SO4 (0,1 M) como electrolito de apoyo esto hizo que el pH ajustara su valor utilizando H2SO4.</p> <p>Las muestras fueron acondicionadas, se aplicó la peroxidación electroquímica con la electrocoagulación asistida por H₂O₂ con electrodos de Fe, esto como método de acondicionamiento y estabilización.</p> <p>En la experimentación de conductividad eléctrica EC y peroxidación electroquímica ECP, intervinieron electrodos de placa de acero (5 x 6,5 x 0,5 cm) electrodos de Fe que fueron colocados en el medio de la celda uno frente a otro con una distancia de 4 cm.</p> | <p>Se ha demostrado que la presencia de coliformes totales se eliminaron por completo en la primera hora de tratamiento.</p> <p>Como resultado del proceso combinado de coagulación y oxidación de Fenton durante la peroxidación electroquímica ECP, mostro que la eficacia del tratamiento depende de las propiedades de la muestra de lodo.</p> |

| N° | Autor - Año | Descripción de la metodología | Resultados |
|----|------------------------|--|---|
| 24 | Q. Zeng et al. - 2019 | <p>El pretratamiento electroquímico (EPT) para las muestras se realizaron de 0 a 15V para mejorar la deshidratación, en intervalos de 0,1, 3, 5, 8, 10, 12 y 15 V durante 1 h. en presencia de 2s encendido y 8s apagado para reducir el consumo de energía.</p> <p>El experimento se llevó a cabo en una cámara de un solo compartimento de 100 ml, con un par cepillos de fibra de grafito con electrodos de titanio.</p> <p>Posterior a la experimentación se consideraron aspectos como: tamaño de partícula, potencial zeta, hidrofobicidad y sustancias poliméricas extracelulares) y las características biológicas y distribución de células vivas y muertas de la muestra con diferentes voltajes de deajo el tratamiento electroquímico.</p> | <p>El estudio demostró la viabilidad del pretratamiento electroquímico EPT para la mejora de la deshidratación de los lodos residuales, la inactivación de patógenos y la mitigación del H₂S, como estabilización de los lodos. Es así que se demuestra las concentraciones de <i>E. coli</i> y patógenos indicadores como fueron la <i>Salmonella spp.</i> y <i>Streptococcus faecalis</i> redujeron su presencia en 5 log₁₀ llegando a las perspectivas de la normativa estadounidense.</p> |
| 25 | E. Carré et al. - 2018 | <p>Se empleó un reactor UV de 50L, cilíndrico de acero inoxidable que incluyo una lámpara UV de baja presión de 6W con balasto electrónico, sensor de intensidad UV, para monitorear la lámpara, agitador aéreo con un impulsor de paletas que se fijó hasta 400 rpm.</p> <p>El reactor estuvo temporizado cuando se encendió la lámpara UV. En presencia de haz colimado, este experimento tuvo una repetición de cuatro veces.</p> <p>Para su control se consideraron tres grupos de microorganismos: coliformes, <i>Escherichia coli</i> y</p> | <p>Se ha demostrado que la frecuencia de las mediciones es un punto clave para la reactividad de la cadena de tratamiento. Por ello, el uso de sensores en línea para estimar el SST, la turbidez y la UVT se recomienda. Este estudio se centra en los coliformes, <i>E. coli</i> y <i>enterococos</i>, que son los principales indicadores.</p> <p>Se confirmó que <i>E. coli</i> es sensible a la radiación ultravioleta, por la inactivación que presento.</p> |

| N° | Autor - Año | Descripción de la metodología | Resultados |
|----|-------------|---|--|
| | | <i>enterococos</i> . Para probar efluentes de lodos activados de distintas características. | Para finalizar el autor propone mayor investigación para estudiar el comportamiento de otros microorganismos patógenos como los virus. |

Fuente: Elaboración propia, 2022

III. METODOLOGÍA.

3.1 Tipo y diseño de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, porque se realiza sobre la base de una investigación básica (Nieto, 2018). De esta manera se empleará el análisis de artículos de investigación orientado a la mejora de futuras investigaciones.

Del tipo de diseño no experimental, de revisión sistemática; por que se realiza a partir de investigación primaria sobre la pregunta de investigación, identificando, seleccionando, sintetizando y evaluando las pruebas disponibles a la pregunta de investigación (Sutton, Clowes, Preston, & Booth, 2019).

3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización.

A continuación, se puntualiza los objetivos y problemas de la presente investigación relacionados a las categorías y subcategorías orientadas a la búsqueda de información científica, organizada en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Matriz de Categorización

| Objetivo general | Problema general | Categoría | Subcategoría |
|---|--|--|--|
| <p>Analizar la efectividad de los procesos de desinfección en lodos residuales, en relación a la incidencia de la concentración de indicadores patógenos</p> | <p>¿De qué manera los procesos de desinfección en lodos residuales inciden en la concentración de indicadores patógenos?</p> | <p>Técnicas de tratamiento de desinfección</p> | <p>Desinfección Remoción Eliminación Adición de agentes Combinación de técnicas Estabilización Higienización Modificación microbiana</p> |
| Objetivos específicos | Problemas específicos | Categoría | Subcategoría |
| <p>Investigar a cerca de los procesos de desinfección que tienen mayor eficacia en la reducción de indicadores patógenos.</p> | <p>¿Cuáles son los procesos de desinfección con mayor eficacia en la reducción de indicadores patógenos?</p> | <p>Técnicas de tratamiento de desinfección</p> | <p>Desinfección Remoción Eliminación Adición de agentes Combinación de técnicas Estabilización Higienización Modificación microbiana</p> |

| | | | |
|--|---|---------------------------------------|--|
| <p>Indicar los tipos de patógenos presentes en lodos residuales que fueron removidos según el proceso de desinfección</p> | <p>¿Cuáles son tipos de patógenos presentes en lodos residuales que afectan su aprovechamiento?</p> | <p>Comunidad microbiana</p> | <p>Microbios Bacterias Virus</p> |
| <p>Evaluar las características de los lodos residuales posterior a la aplicación de procesos de desinfección para su aplicación en agricultura o aprovechamiento.</p> | <p>¿Cuáles son las características de lodos residuales posterior a la aplicación de los procesos de desinfección para su aplicación en agricultura o aprovechamiento?</p> | <p>Características fisicoquímicas</p> | <p>Condiciones finales Condiciones fisicoquímicas Relación N, P, K Marco Legislativo de aplicación</p> |

Nota. Fuente: Elaboración propia. Diseño extraído de la Guía de elaboración de Productos de investigación de fin de programa, 2022

3.3 Escenario de estudio.

En la presente investigación se muestran diversos escenarios de estudio, proporcionado por los artículos científicos recopilados previamente.

3.4 Participantes.

Para la presente investigación se ha revisado sistemáticamente información de las siguientes fuentes de datos: ScienceDirect, Scielo, Scopus, Willey online library y repositorios institucionales de las cuales se tomaron artículos de investigación, revistas, publicaciones que fueron seleccionadas dentro de un rango de tiempo, definida por años entre 2016 a 2022.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

En la presente se empleará como técnica la recopilación documental o bibliográfica, que consiste en consultar información bibliográfica a partir de otros conocimientos de modo que pueda ser valioso para los propósitos del estudio. Esta modalidad de recolección de información parte de las fuentes secundarias de datos (Yuni & Urbano).

Por consiguiente, la información recopilada en el presente estudio será obtenida indirectamente a través de los artículos de investigación filtrados por años.

3.6 Procedimiento.

El procedimiento que se empleara para el desarrollo del presente proyecto se encuentra secuenciado por la búsqueda de información de artículos científicos recopilados de ScienceDirect empleando como filtro de búsqueda el año de publicación durante el 2017 al 2021.

3.7 Rigor científico.

El rigor científico considera tener en cuenta las siguientes cuestiones relacionadas con: Autenticidad del documento, Credibilidad del documento, Representatividad del documento e Interpretación del significado del documento (Yuni & Urbano).

De lo mencionado con anterioridad, los artículos científicos propuestos para la presente investigación cumplen con las condiciones solicitadas.

3.8 Método de análisis de datos.

Para el análisis de datos, se realizará una búsqueda inicial considerando las palabras claves, el periodo de publicación y factor de impacto Q1 en nuestra base de datos empleada como es ScienceDirect, como se demuestra en la **Figura 1**.
Análisis de datos.**Figura 1**.

Figura 1. Análisis de datos.



3.9 Aspectos éticos.

La presente investigación está acorde a lo mencionado en el Artículo 9 de la Política anti plagio, mencionada en la Resolución de Consejo Universitario N° 0262-2020/UCV emitida el 28 de agosto de 2020, que promueva la originalidad de las investigaciones.

Puesto que el diseño de investigación como la recopilación de datos es extraída de diferentes fuentes de información, la presente investigación citara correctamente las fuentes de consulta ciñéndose a los estándares de publicación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efectividad de los procesos de desinfección en lodos residuales, en relación a la incidencia de la concentración de indicadores patógenos.

Posterior a la revisión de los artículos de investigación, se han considerado aquellos procesos de desinfección relacionados a la incidencia de concentración de indicadores patógenos, como se muestra en la **Tabla 3** a detalle, relacionados al resultado obtenido en desinfección, remoción, reducción y/o eliminación de patógenos presentes en el cuerpo de estudio.

Los procesos de desinfección se han agrupado por los métodos empleados para garantizar la inactivación de organismos patógenos y generar el reaprovechamiento de lodos residuales.

Tabla 3. Procesos de desinfección empleados en lodos residuales.

| | Proceso de desinfección | Cuerpo de estudio (contaminante) | Incidencia del proceso de desinfección | Autor - año |
|-------------------------------|--------------------------------|---|---|--|
| Procesos tradicionales | Compostaje | Lodo residual de depuradora | La degradación microbiana se dio eficazmente, sólo hubo pequeñas diferencias en los distintos procesos de tratamiento de las aguas residuales de donde se obtuvieron los lodos residuales con distintas características. | G. Zheng et al. - 2021 |
| | Compostaje | Lodos de matadero | Los análisis microbiológicos demostraron la eliminación parcial de algunos organismos patógenos, pero se redujo notablemente y alcanzó valores inferiores a los recomendados por las directrices internacionales. | N. Asses, W. Farhat, M. Hamdi, et al. - 2019 |
| | Vermicompost | Lodo residual de depuradora | La tecnología ha demostrado ser un medio eficaz para el manejo de lodos residuales y la gestión de recursos. Después del Vermicompost, la abundancia y la diversidad de bacterias en el lodo residual disminuyeron, mientras que la diversidad de hongos aumentó. | X. Hu, T. Zhang, G. Tian et al. - 2021 |
| | Biosecado | Lodo residual | Los resultados indicaron que se observaron degradaciones eficientes de triptófano y tirosina durante la fase termófila inicial; los microorganismos implicados en la degradación se aproximan a un 32% de degradación. | L. Cai et al. - 2017 |
| | Solarización | Lodo residual de depuradora | Los resultados de este estudio revelan que la enmienda de biosólidos en el suelo contribuye a un aumento significativo de microorganismo en el momento de la aplicación; sin embargo, estos niveles disminuyen de forma natural con el tiempo. | C. Mays et al. - 2021 |

| | Proceso de desinfección | Cuerpo de estudio (contaminante) | Incidencia del proceso de desinfección | Autor - año |
|------------------------------|---|---|---|-----------------------------|
| | Solarización | Lodo residual de depuradora | La adopción de una tecnología sencilla y barata como la solarización reduce eficazmente el volumen de lodos y contribuir también a reducir los niveles de contaminantes patógenos. | I.S. Pereira et al.- 2020 |
| Procesos Facultativos | Digestión anaeróbica | Lodo residual de depuradora | Considerando parámetros microbiológicos, el tratamiento anaeróbico tuvo las mejores condiciones para reducir las concentraciones de microorganismos patógenos, siendo no significativa la influencia de HRT a la reducción microbiana. | A. Lopez et al. - 2020 |
| | Digestión aeróbica | Lodo residual Lodo granular aeróbico (AGS) Lodos activados convencionales (CAS) | Los resultados mostraron que el AGS funcionó tan bien como el CAS para la eliminación log10 de todos los sustitutos microbianos, excepto las esporas, que fueron eliminadas con mayor eficacia por el AGS, probablemente debido a la mayor adherencia de las esporas a la biomasa del AGS en comparación con el licor mixto CAS. | B.J. Thwaites et al. - 2018 |
| | Procesos de oxidación avanzada basados en peroxidisulfato | Lodo residual | Este sistema basado en el biocarbón puede aprovecharse para la inactivación de diversas bacterias tanto en aguas residuales simuladas como reales. Por lo tanto, este trabajo no sólo proporciona un enfoque para reutilizar los residuos de lodos sino también para preparar catalizadores de biocarbón gráfico como activadores de PDS para la descontaminación de microcontaminantes emergentes. | Y.-d. Chen, et al. - 2020 |

| | Proceso de desinfección | Cuerpo de estudio (contaminante) | Incidencia del proceso de desinfección | Autor - año |
|---------------------------------|---|---|---|---------------------------------|
| Procesos electroquímicos | Reacciones de Bio-electro-Fenton | Lodo residual | Este estudio demostró con éxito la viabilidad del proceso bio-electro-Fenton para la inactivación de patógenos en lodos residuales, lo que ofrece una visión para el futuro desarrollo de una tecnología de tratamiento biológico del agua sostenible, eficiente y rentable. | S. Zhou et al. - 2018 |
| | Electro oxidación asistida por Fe(II) | Lodo deshidratado | La estabilización de los lodos con la inactivación de patógenos también se logró mediante la generación de radicales hidroxilos, un pH extremadamente ácido y una temperatura del sistema. | S. Hu et al. - 2020 |
| | Tratamiento térmico eléctrico: Modelo Maxwell-Eucken. | Lodo residual de depuradora | Este estudio investigó sistemáticamente la EEC, la eficiencia energética y la eliminación de patógenos mediante el tratamiento térmico eléctrico para la desinfección de lodos. El modelo ME-1 y EMT demostraron ser precisos para la predicción de la EEC. Con los parámetros de funcionamiento adecuados, la temperatura de los lodos alcanzó los 70 °C en 2 horas, en las que no se detectó el patógeno de estudio después del tratamiento. | Z. Yin et al. - 2018 |
| | Biorremediación por biopilas | Lodo residual de depuradora | Como se esperaba, la inoculación de los lodos con <i>T. versicolor</i> cambió las poblaciones de hongos en comparación con los controles no inoculados, como se refleja en el estudio. | G. Llorens-Blanch et al. - 2018 |
| | Proceso electroquímico | Lodo deshidratado | Se logró una estabilización de los lodos con lo que se mejoró el proceso de electrocoagulación para deshidratación de lodos y fijación de fósforo. | S. Hu et al. - 2020 |

| Proceso de desinfección | Cuerpo de estudio (contaminante) | Incidencia del proceso de desinfección | Autor - año |
|--|----------------------------------|---|--------------------------------|
| híbrido con adición de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ | | | |
| Lixiviación química | Lodos activados | <p>Los resultados mostraron que la solubilización de los metales pesados, la mejora de la deshidratación y la eliminación de patógenos se lograron simultáneamente.</p> <p>Sin embargo, las condiciones específicas de tratamiento aún deben ser optimizadas en futuros estudios, especialmente para los factores que influyen en la pérdida de fósforo en los lodos.</p> | L. Zhang et al. - 2020 |
| Estrés oxidativo | Lodo residual | El proceso de biodegradación realizado en el presente estudio promovió la eliminación de las Enterobacterias de los dos lodos residuales estudiados al final del proceso, dando lugar a una alternancia en los grupos microbianos. Estos datos ponen de relieve que las estrategias empleadas en los procesos de biodegradación deben tener en cuenta el origen de cada SS, así como sus características intrínsecas. | D.E.C. Mazzeo et al. - 2020 |
| Combinación de coagulación y oxidación Fenton durante la peroxidación electroquímica (ECP) | Lodo anaeróbico | Los organismos contaminantes presentes se eliminaron completamente en la primera hora de tratamiento. Estos efectos combinados de la coagulación y la oxidación de Fenton durante el ECP revelaron que la eficacia del tratamiento depende en gran medida de las propiedades de la muestra de lodo. | H. Olvera-Vargas et al. - 2019 |
| Pretratamiento electroquímico | Lodo | Este estudio demuestra la viabilidad del EPT para la mejora simultánea de la deshidratación de los WAS, la inactivación de patógenos y la | Q. Zeng et al. - 2019 |

| | Proceso de desinfección | Cuerpo de estudio (contaminante) | Incidencia del proceso de desinfección | Autor - año |
|-------------------------|---|----------------------------------|--|--------------------------------------|
| | | | mitigación del H ₂ S, proporcionando una alternativa de un solo paso para la estabilización de los lodos. | |
| Combinación de procesos | Compostaje de lodos de depuradora y solarización | Lodos de depuradora | Los resultados de este estudio corroboraron claramente que el perfil de temperatura generado por el proceso de solarización era adecuado para la eliminación y/o inactivación de varios patógenos microbianos para alcanzar los estándares deseados en dos semanas. | S. Ozdemir et al. - 2020 |
| | Proceso de oxidación avanzada y ozonización | Lodos activados | En este estudio, se logró una inactivación completa de los CT (4 log) después de dosificar las muestras de filtrado con ozono. Se han encontrado hasta 6log de inactivación bacteriana tras la ozonización de aguas residuales industriales o municipales. | P. Alfonso-Muniozguren et al. - 2018 |
| | FE-DBD: Descarga de barrera dieléctrica de electrodos flotantes y plasma frío | Lodos de depuradora | Se logró la estabilización en términos de inactivación bacteriana. El biosólido se comportó como un electrodo de potencial. Diferentes bacterias Gramnegativas fueron eliminadas eficazmente tras un tratamiento de 10 minutos, en condiciones de temperatura y potencia eléctrica moderadas. | P. Svarnas et al. - 2020 |
| | Estabilización mediante deshidratación, congelación y descongelación | Lodo residual | La adición de ferrato de potasio(VI) demostró la inactivación de más de 5 logs de coliformes fecales en las pruebas de lodos primarios crudos que resulto efectiva tan solo a los 15 minutos de aplicación. El procesamiento con ferrato de potasio (VI), seguido de la descongelación con 3 días de congelación, también demostró la reducción de la concentración de coliformes fecales que fueron evidenciadas por su | J. Diak, B. Ormeçi. - 2018 |

| | Proceso de desinfección | Cuerpo de estudio (contaminante) | Incidencia del proceso de desinfección | Autor - año |
|----------------|--------------------------------------|----------------------------------|---|----------------------------|
| | | | falta de presencia, encontrados por debajo del límite de detección en el agua de deshielo y en la prueba de lodo. | |
| Otros procesos | Adición de ácido peracético | Lodos de aguas residuales | El PAA evitó la formación de H ₂ S y NH ₃ y fue capaz de proporcionar higienización dentro de la composición de lodos residuales. Adicionalmente cantidades máximas de lodos acondicionados con PAA pueden prevenir eficazmente la formación de olores. | T. Luukkonen et al. - 2020 |
| | Laguna de estabilización de residuos | Lodo | Las bacterias se descomponen más rápidamente que los virus, y la supervivencia de éstos se prolongada con la profundidad de la fracción de lodo. Las condiciones de los lodos de las lagunas de tratamiento pueden ser favorables a la supervivencia e incluso a la repoblación de algunos contaminantes patógenos. | K.R. Schwarz et al. - 2019 |
| | Desinfección UV | Lodos activados | En este estudio se determinaron los indicadores de presencia de partículas en suspensión y la constante de inactivación susceptible a la radiación UV de los microorganismos estudiados. | E. Carré et al. - 2018 |

Fuente: Elaboración propia, 2022

Considerando los artículos de investigación agrupados en la **Tabla 3**, se ha demostrado la degradación controlada de patógenos contenidas en las muestras de lodos residuales posterior a la aplicación propuesta por cada autor. Este análisis será el punto de partida para continuar con la presente investigación .

Procesos de desinfección que tienen mayor efectividad en la reducción de indicadores patógenos.

En seguida a la revisión anteriormente mencionada a la incidencia de la concentración de indicadores patógenos, se considera en la **Tabla 4** los procesos de desinfección que demuestren mayor efectividad en la reducción de indicadores patógenos, agrupando los resultados en categorías de efectividad (eficaz, moderada y baja), considerando las conclusiones mencionadas por los autores de las investigaciones mencionadas.

Tabla 4. Grado de efectividad en la reducción de indicadores patógenos.

| | Proceso de desinfección | Resultado de efectividad | Categoría de efectividad | Autor - año |
|------------------------|-------------------------|--|--------------------------|--|
| Procesos tradicionales | Compostaje | Como resultado se evidencio la degradación microbiana, en las tres muestras extraídas de las Estaciones de Nansanhuan, Xinzheng, Wulongkou, Chenyu, sin embargo, estos resultados no son demostrables en números. | Eficaz | G. Zheng et al. - 2021 |
| | Compostaje | <p>Se demostró en la primera semana de compostaje, que el número de bacterias mesófilas y hongos era de 10^9 y 10^7 UFC /g, respectivamente. Desde el día 14 hasta el 28, cuando la temperatura aumenta, se detectó un descenso en los muestreos. La disminución fue significativa a $p < 0,05$ y alcanzó 10^4 y 10^3UFC/g para las bacterias mesófilas y los hongos.</p> <p>Los coliformes totales y fecales era de unos 10^7 y 10^6 UFC/g, al inicio del compostaje. Lo que produjo su reducción de 10^3 y 10^2 UFC/g durante el periodo termófilo.</p> <p>El número de <i>estreptococos</i> fecales disminuyó 1.110^7 UFC/g) a $p < 0,05$ lo se representa al final de la fase de maduración.</p> <p>Un descenso importante en la concentración de células de <i>E. coli</i> se redujo significativamente de 2.310^4 a 75.</p> <p>La <i>Salmonella</i> fue eliminada completamente después de 30 días de compostaje de 1.510^2 a 0 en 5-34 días de compostaje.</p> | Eficaz | N. Asses, W. Farhat, M. Hamdi, et al. - 2019 |
| | Vermicompost | Los resultados a nivel de filo, se consideraron en el lodo residual <i>Chloroflexi</i> y <i>Acidobacterias</i> que aumentaron de 18,33% y 6,30% a 22,52% y 12,07% tras la adición del Vermicompost maduro y disminuyeron a 10,21% y 7,35% tras el vermicompostaje, respectivamente. | Moderada | X. Hu, T. Zhang, G. Tian et al. - 2021 |

| | Proceso de desinfección | Resultado de efectividad | Categoría de efectividad | Autor - año |
|----------|-------------------------|---|--------------------------|---------------------------|
| | | Los Bacteroidetes en el SS disminuyeron de 14,70% a 10,27% después de agregar MV y aumentó a 19,05% tras el vermicompostaje. | | |
| | Biosecado | Durante la fase termófila inicial, los filos dominantes fueron Firmicutes (37,9%), Actinobacterias (35,4%), Proteobacterias (23,5%) y Euryarchaeota (0,1%); en conjunto, representaron el 96,9% de degradación. | Moderado | L. Cai et al. - 2017 |
| | Solarización | Los resultados demostraron que los biosólidos en suelo contribuyen a un aumento significativo de <i>E. coli</i> y <i>enterococos</i> totales y resistentes a los antibióticos, sin embargo, estos niveles disminuyen de forma natural con el tiempo. El total de <i>E. coli</i> y <i>enterococos</i> persistió en el suelo durante 77 días del crecimiento de las zanahorias, y <i>E. coli</i> se encontró presente en las zanahorias durante la cosecha. <i>E. coli</i> y <i>enterococos</i> resistentes a los antibióticos se descompusieron rápidamente que las bacterias totales y alcanzaron el límite de detección antes del final del estudio. La prevalencia de <i>E. coli</i> MDR disminuyó significativamente con el tiempo, mientras que persistieron los bajos niveles de <i>enterococos</i> MDR. | Baja | C. Mays et al. - 2021 |
| | Solarización | Se demostró su efectividad moderada relacionada a Coliformes termotolerantes (NMP/g de sólidos totales) 45.00. Huevos viables de helmintos (huevos/g de sólidos totales) <0.25. Salmonella (NMP/10g de sólido total) Ausente. Virus entéricos (UFP/g de sólidos totales) Ausente. | Moderada | I.S. Pereira et al.- 2020 |
| Procesos | Digestión anaeróbica | En términos de eficiencia del tratamiento de digestión anaerobia, se muestra la eliminación de bacterias para condiciones mesófilas y termófilas. En condiciones mesófilas, la mayor reducción se observó sobre los coliformes totales, <i>E. coli</i> y | Moderada | A. Lopez et al. - 2020 |

| | Proceso de desinfección | Resultado de efectividad | Categoría de efectividad | Autor - año |
|----------|---|---|--------------------------|-----------------------------|
| | | <p>Pseudomonas sp., con reducciones en el rango de 2 y 3 unidades log, mientras que la eliminación de <i>S. aureus</i> fue inferior a 1 log.</p> <p>En condiciones de funcionamiento termófilo, la acción de eliminación de bacterias se incrementa con respecto a las condiciones mesófilas, presentando mayor eliminación en <i>Enterococcus sp.</i> con valores superiores a 3,5 unidades log después de 15, 10 y 7 días, aunque no se observa ninguna reducción después de 5 días.</p> | | |
| | Digestión aeróbica | <p>Los resultado para la experimentación piloto CAS y el AGS se logró con éxito, obteniendo valores de eliminación Mediana LRVs para <i>E.coli</i> y TC fueron sólo ligeramente superiores para AGS (2,6 y 2,4 log¹⁰ respectivamente) en comparación con el CAS (2,4 y 2,0 log¹⁰ respectivamente). Los resultados del control de los indicadores microbianos han demostrado que AGS ofrece una mayor capacidad para eliminar y/o retener esporas, <i>E. coli</i> y coliformes totales.</p> | Moderada | B.J. Thwaites et al. - 2018 |
| | Procesos de oxidación avanzada basados en peroxidisulfato | <p>La presencia de <i>E. coli</i> quedo nula en el sistema ADSBC 1000/PDS, lo que da a entender que puese ser inactivada por oxidación no radical catalizada por el carbono.</p> <p>Cuando se añadieron ADSBC 1000 y PDS al mismo tiempo, la célula de <i>E. coli</i> demostró fisuras y daño en su estructura, dando a conocer que fueron destruidas. La esterilización de <i>E. coli</i> se confirmó además contando las colonias bacterianas. Como resultado, la oxidación no radical se evidencio efectos adversos en las membranas del resto de células bacterianas.</p> | Moderada | Y.-d. Chen, et al. - 2020 |
| Procesos | Reacciones de Bio-electro-Fenton | <p>La concentración de <i>E. coli</i> disminuyó de 10⁷ UFC/mL a menos de 1000 UFC/mL después de 1 hora de funcionamiento sin ninguna fase de retraso, lo que significa</p> | Moderado | S. Zhou et al. - 2018 |

| Proceso de desinfección | Resultado de efectividad | Categoría de efectividad | Autor - año |
|---|--|--------------------------|----------------------|
| | <p>una reducción de 4 logs de <i>E. coli</i>. La pérdida de viabilidad de <i>E. coli</i> exhibió se evidencio en los primeros 20 minutos siendo más lenta su eliminación.</p> <p>El estado de inactivación se demostró por %OH generado por el Fe₂⁺ y el H₂O₂, mientras que la reducción del Fe₃⁺ a Fe₂⁺ favoreció al proceso de inactivación luego de los 40 minutos.</p> <p>La desinfección de <i>E. coli</i> no sería perceptible sin presencia de aire en el proceso, de manera que se observó un ligero aumento de la concentración de <i>E. coli</i>, esto supone para el autor el crecimiento de la bacteria después del inóculo.</p> | | |
| Electro oxidación asistida por Fe(II) | Los resultados han demostrado que el indicador de coliformes totales de los lodos acondicionados por electro oxidación en lodos de depuradora y lodos industriales disminuyeron de 64.622 a 17.944 NMP/g TS y de 45.166 a 13.267 MPN/g TS, respectivamente | Moderado | S. Hu et al. - 2020 |
| Tratamiento térmico eléctrico: Modelo Maxwell-Eucken. | <p>La presencia de <i>E. coli</i> estuvo intacta en las primeras horas en la mezcla con 0,15 MNH₄Cl o 0,15 MNaCl. A diferencia de la mezcla de lodos con NH₄Cl, la temperatura aumentó en 10 °C de 1 h a 1,5 h, mientras que la eliminación media de <i>E. coli</i> aumentó de 1,3 a 5,5 log₁₀.</p> <p>Posterior a ello la <i>E. coli</i> disminuyó por debajo del límite de detección (0,3 log₁₀) después de 1,75 h, cuando la temperatura alcanzó los 70 °C. Por el contrario, la inactivación de <i>E. coli</i> fue aproximadamente la mitad de log₁₀ menor en la mezcla de lodos con NaCl durante el mismo periodo de tiempo. La eliminación fue de 2,7, 4,4 y 6,0 log₁₀ a las 1,25, 1,5 y 1,75 horas, la cual no se detectó después de 2 horas.</p> | Eficaz | Z. Yin et al. - 2018 |

| Proceso de desinfección | Resultado de efectividad | Categoría de efectividad | Autor - año |
|--|--|--------------------------|---------------------------------|
| Biorremediación por biopilas | <p>Se ha demostrado que <i>Clostridium sp.</i> e <i>Intestinibacter bartlettii</i>, que son anaerobios grampositivos sean resistentes al calor; el autor menciona que se esperó su desaparición al agregar el sustrato ligninolítico en los cultivos de control, provocando la entrada de O₂. Mientras que anaerobios facultativos podían sobrevivir, como <i>Clostridium spp.</i> e <i>Intestinibacter bartlettii</i> se mantuvieron mínimamente a menos del 1% de la población. La comunidad bacteriana no se vio afectada por la inoculación de <i>T. versicolor</i>; sin embargo, al agregar el sustrato lignocelulósico condujo a una aireación del lodo anaeróbico original.</p> <p>El autor ha considerado que se deben realizar más investigaciones para: evaluar la tasa de degradación de cada compuesto y bacterias.</p> | Bajo | G. Llorens-Blanch et al. - 2018 |
| Proceso electroquímico híbrido con adición de Ca(ClO) ₂ | <p>Los coliformes totales en los lodos se han visto afectados de 11.091 (RS) a 5.959 MPN/g TS (EO) con una ratio de reducción del 46%. Quedando inactivados por la transferencia de carga directa y el -OH generado electroquímicamente en el electrodo. Considerando que después del pretratamiento con Ca(ClO)₂ y EO + Ca(ClO)₂, se obtuvieron ratios de reducción de los coliformes totales mucho más elevados (97%). Coliformes totales (97% para el Ca(ClO)₂ frente al 96% para el EO + Ca (ClO)₂), esto da por demostrado que el ácido hipocloroso podría desempeñar un papel más importante en la inactivación de patógenos que la electro oxidación.</p> | Eficaz | S. Hu et al. - 2020 |
| Lixiviación química | <p>Se evidencio que el valor NMP de Coliformes Fecales disminuyó de 6.9 ± 0.2 log MPN/g TS a 6.0 ± 0.2 log MPN/g TS después de la incubación a 30 °C en 24 h.</p> <p>Mientras que para la muestra con NaClO demostró un valor de NMP de coliformes fecales en aumentó de 0,8 ± 0,1 a 1,7 ± 0,1 log MPN/g TS después de la adición de ácido/FeCl₃, debido a la liberación de Cl₂</p> | Eficaz | L. Zhang et al. - 2020 |

| Proceso de desinfección | Resultado de efectividad | Categoría de efectividad | Autor - año |
|--|---|--------------------------|--------------------------------|
| | La otra muestra Acid + nitrite + FeCl ₃ , con valor de NMP de coliformes fecales presentes en las dos muestras fue de aproximadamente $1,8 \pm 0,1$ log MPN/g TS, a esta evidencia el autor que sugiere que la adición de nitrito no tuvo un efecto relevante en la desinfección de Coliformes fecales a un pH inferior a 2,0. | | |
| Estrés oxidativo | Durante los 70 días de experimentación, la biodegradación del SS contribuyo a la eliminación total de Enterobacterias de los tratamientos que contenían tanto el lodo aeróbico como el anaeróbico. Sin embargo, este grupo de bacterias fue sustituido por bacilos no fermentadores y grampositivos, lo que confirma la madurez del compuesto. | Moderado | D.E.C. Mazzeo et al. - 2020 |
| Combinación de coagulación y oxidación Fenton durante la peroxidación electroquímica (ECP) | Como el resultado del análisis de coliformes totales se obtuvo que el proceso integrado ECP-EF es eficaz para la desinfección. Los coliformes se eliminaron totalmente tras la primera hora de ECP posterior a ello no se detectaron coliformes durante las siguientes fases de tratamiento. Lo mismo sucedió para la muestra sólida obtenida tras el ECP tampoco mostró colonias de coliformes. | Eficaz | H. Olvera-Vargas et al. - 2019 |
| Pretratamiento electroquímico | Los resultados demostraron que la concentración de <i>E. coli</i> y patógenos indicadores como <i>Salmonella spp.</i> y <i>Streptococcus faecalis</i> los cuales disminuyeron en casi 5 log ₁₀ hasta alcanzar los niveles de higienización de la normativa estadounidense. | Eficaz | Q. Zeng et al. - 2019 |
| Compostaje de lodos de | Se mostraron indicadores microbianos como, <i>E. coli</i> que resultó ser el microorganismo más susceptible demostrando su reducción de 4 log UFC g ⁻¹ a niveles indetectables después de 6 días de proceso de solarización. Mientras que la viabilidad de Enterococos estuvo entre 2,31 log UFC g ⁻¹ y 1,80 log UFC g ⁻¹ en | Eficaz | S. Ozdemir et al. - 2020 |

| | Proceso de desinfección | Resultado de efectividad | Categoría de efectividad | Autor - año |
|-------------------------|--|---|--------------------------|--------------------------------------|
| Combinación de procesos | depuradora y solarización | 6 días y se redujo por debajo del límite de detección, tras 12 días de aplicación solar. Las tasas de reducción de los coliformes termotolerantes y Enterococos fueron lentas $k_{max} = 3,22$ y $3,27$ día ⁻¹ , sin embargo estas también se redujeron por debajo del límite de detección de 12-15 días. | | |
| | Proceso de oxidación avanzada y ozonización | Las muestras presentaron valores de CT y TVC en el filtrado eran de 1.4×10^4 UFC/100 mL y 4.6×10^9 UFC/100 mL antes de la etapa de ozonización. Posteriormente se logró una inactivación completa de los CT (4 log) después de dosificar las muestras de filtrado con ozono a 71 ± 17 mg O ₃ /L durante 10 minutos presentando una inactivación completa del CT con y sin filtración a 12 h como para 24 h de HRT de ASP después de su aplicación. El aumento del tiempo de contacto con el ozono a 1 h no inactivó aún más la TVC. | Moderado | P. Alfonso-Muniozguren et al. - 2018 |
| | FE-DBD: Descarga de barrera dieléctrica de electrodos flotantes y plasma frío | Los resultados para diferentes tipos de <i>Salmonella</i> y otras bacterias Gramnegativas fueron eliminadas favorablemente, posterior a 10 min. Del tratamiento, en condiciones de temperatura y potencia eléctrica moderadas para <i>E. coli</i> y coliformes: <i>E. coli</i> (4.0 to 14) $\times 10^4$ CFUs g ⁻¹ a <40 CFUs g ⁻¹ Coliformes (4.8 to 90) $\times 10^4$ CFUs g ⁻¹ <40 CFUs g ⁻¹ | Eficaz | P. Svarnas et al. - 2020 |

| | Proceso de desinfección | Resultado de efectividad | Categoría de efectividad | Autor - año |
|----------------|--|--|--------------------------|----------------------------|
| | Estabilización – deshidratación y congelación – descongelación | Las muestras fueron congeladas durante 1, 8 y 15 días, la prueba de un día posterior a su descongelamiento evidencio que las concentraciones de coliformes fecales en las pruebas se redujeron a <1000 MPN/g de sólidos secos, lo que representa una inactivación de >3 – log, mientras que la inactivación de más de 5 logs de coliformes fecales en lodos crudos puede lograrse en 15 minutos utilizando 15 g/L de ferrato de potasio (VI), dando como concentración final de coliformes fecales fue de 1023 MPN/g. | Eficaz | J. Diak, B. Ormeci. - 2018 |
| Otros procesos | Adición de ácido peracético | Los resultados finales para <i>E. coli</i> y <i>Salmonella</i> en las muestras de lodo para la dosis de PAA de 480 mg/L, fueron de <10 UFC/g. al mismo tiempo no detectables por 25 g para <i>Salmonella</i> . | Moderado | T. Luukkonen et al. - 2020 |
| | Laguna de estabilización de residuos | Se evidencio una reducción en la cantidad de enterococos con >5 log ₁₀ en el interior de las cámaras. Esto demostró que las bacterias tuvieron tiempos de descomposición (T= 90) más cortos que los virus, variando de 13 a 54 días, en comparación con 41 y 122 días para los colifagos y >180 días para el HAdV. Los tiempos de descomposición del MS2 osciló entre 69 y 122 días y el de los colifagos somáticos entre 41 y 42 días. Aunque se observó un ligero crecimiento de <i>E. coli</i> después de 70 días al interior de las cámaras. | Moderado | K.R. Schwarz et al. - 2019 |
| | Desinfección UV | <i>E. coli</i> es sensible a la irradiación UV, la constante de inactivación se determinó para fluencias UV inferiores o iguales a 15 mJ/cm ² Coliformes totales log ₁₀ MPN/100 mL 4.8–5.5 <i>E. coli</i> log ₁₀ MPN/100 mL 3.9–4.8 | Moderado | E. Carré et al. - 2018 |

| Proceso de desinfección | Resultado de efectividad | Categoría de efectividad | Autor - año |
|-------------------------|---|--------------------------|-------------|
| | <i>Enterococci</i> log ₁₀ MPN/100 mL 2.9–4.5 | | |

Fuente: Elaboración propia, 2022

Considerando los estudios que demostraron eficacia durante el proceso de desinfección, se nombran diez estudios de investigación, los cuales se encuentran la mayoría dentro de la categoría de procesos de desinfección electroquímica.

S. Hu et al., 2020 Considera la tecnología electroquímica no solo por la desinfección de microorganismos sino también que este proceso ayuda a la deshidratación profunda y es considerado uno de los procesos de mayor eficacia, sencillez y compatibilidad ambiental. S. Garcia-Segura et al., 2017 menciona los procesos de electro oxidación y los procesos de oxidación avanzada (AOP) como propuestas tentadoras para la eliminación de productos farmacéuticos y metales pesados además de los organismos patógenos presentes en aguas y lodos residuales por medio de la generación de especies reactivas por electricidad y sin necesidad de algún producto químico adicional.

Tipos de patógenos presentes en lodos residuales que fueron removidos según el proceso de desinfección.

A continuación en la tabla **Tabla 5**, se mencionan los organismos patógenos de estudio en las investigaciones propuestas por cada autor al mismo tiempo se consideran aquellas que fueron desinfectadas en su totalidad.

Tabla 5. Patógenos que fueron removidos según proceso de desinfección.

| | Proceso de desinfección | Organismos patógenos presentes | Organismos patógenos desinfectados | Autor - año |
|-------------------------------|-------------------------|--|--|--|
| Procesos tradicionales | Compostaje | Microorganismos patógenos | Microorganismos patógenos | G. Zheng et al. - 2021 |
| | Compostaje | <i>Escherichia coli</i> , Fecal coliforms, <i>Salmonella</i> , <i>Streptococci</i> | Coliformes totales y fecales, <i>streptococos</i> , <i>E. coli</i> disminuyeron. Salmonella fue eliminada | N. Asses, W. Farhat, M. Hamdi, et al. - 2019 |
| | Vermicompost | Comunidad microbiana | <i>Chloroflexi</i> y Acidobacterias aumentaron. Bacteroidetes disminuyeron. | X. Hu, T. Zhang, G. Tian et al. - 2021 |
| | Biosecado | Microorganismos, Firmicutes, Actinobacteria and Proteobacteria | Firmicutes, Actinobacterias, Proteobacterias y Euryarchaeota disminuyeron. | L. Cai et al. - 2017 |
| | Solarización | <i>Escherichia coli</i> , <i>Enterococci</i> | <i>Escherichia coli</i> y <i>Enterococci</i> disminuyeron. | C. Mays et al. - 2021 |
| | Solarización | Pathogenic contaminants, Thermotolerant coliforms, Viable eggs of helminths | Coliformes termotolerantes y Huevos viables de helmintos disminuyeron. <i>Salmonella</i> y Virus entéricos fueron eliminados. | I.S. Pereira et al.- 2020 |
| Procesos | Digestión anaeróbica | <i>Staphylococcus aureus</i> and total mesophilic bacteria, <i>Escherichia</i> | <i>E. coli</i> y <i>Pseudomonas sp.</i> , <i>S. aureus</i> reducidos. | A. Lopez et al. - 2020 |

| | Proceso de desinfección | Organismos patógenos presentes | Organismos patógenos desinfectados | Autor - año |
|--------------------------|---|---|---|---------------------------------|
| | | <i>coli</i> , Total coliforms, <i>Enterococcus sp.</i> , <i>Pseudomonas sp.</i> | <i>Enterococcus sp.</i> eliminado. | |
| | Digestión aeróbica | <i>Escherichia coli</i> , Coliformes totales, <i>Giardia</i> y <i>Cryptosporidium</i> | <i>E. coli</i> y coliformes totales eliminados. | B.J. Thwaites et al. - 2018 |
| Procesos electroquímicos | Procesos de oxidación avanzada basados en peroxidisulfato | <i>Escherichia coli</i> | <i>Escherichia coli</i> reducida. | Y.-d. Chen, et al. - 2020 |
| | Reacciones de Bio-electro-Fenton | <i>Escherichia coli</i> | <i>E. coli</i> disminuyó. Inactivación del colifago. | S. Zhou et al. - 2018 |
| | Electro oxidación asistida por Fe(II) | <i>E. coli</i> and total coliforms | <i>E. coli</i> y coliformes totales disminuyeron. | S. Hu et al. - 2020 |
| | Tratamiento térmico eléctrico: Modelo Maxwell-Eucken. | <i>E. coli</i> | <i>E. coli</i> disminuyó por debajo del límite de detección | Z. Yin et al. - 2018 |
| | Biorremediación por biopilas | Bacterial and fungal communities <i>Clostridium sp</i> <i>E Intestinibacter bartlettii</i> | <i>Clostridium sp.</i> e <i>Intestinibacter bartlettii</i> sobrevivieron. | G. Llorens-Blanch et al. - 2018 |

| | Proceso de desinfección | Organismos patógenos presentes | Organismos patógenos desinfectados | Autor - año |
|-----------------------|---|---|--|--------------------------------|
| | Proceso electroquímico híbrido con adición de Ca(ClO) ₂ | <i>E. coli</i> | <i>E. coli</i> disminuyó. | S. Hu et al. - 2020 |
| | Lixiviación química | Fecal Coliform, | Coliformes Fecales disminuyó. | L. Zhang et al. - 2020 |
| | Estrés oxidativo | Enterobacteria, Gram negative bacill, Gram positive bacilli | Enterobacteria eliminados. Gram negative bacill, Gram positive bacilli reducidos. | D.E.C. Mazzeo et al. - 2020 |
| | Combinados de coagulación y oxidación Fenton durante la peroxidación electroquímica (ECP) | Total coliforms (TC) | Coliformes totales eliminados. | H. Olvera-Vargas et al. - 2019 |
| | Pretratamiento electroquímico | <i>Salmonella spp. E. coli, Streptococcus faecalis</i> | <i>Salmonella spp.</i> y <i>Streptococcus faecalis</i> disminuyeron por debajo de los límites permitidos. | Q. Zeng et al. - 2019 |
| Combinación de | Compostaje de lodos de depuradora y solarización | <i>E. coli, Thermotolerant coliform, Clostridium, Enterococci</i> | <i>Enterococos</i> y coliformes termotolerantes se redujeron por debajo del límite de detección. <i>E. coli</i> indetectable. | S. Ozdemir et al. - 2020 |

| | Proceso de desinfección | Organismos patógenos presentes | Organismos patógenos desinfectados | Autor - año |
|----------------|---|--|---|--------------------------------------|
| | Proceso de oxidación avanzada y ozonización | Total coliforms (TC) | Inactivación completa de los CT. | P. Alfonso-Muniozguren et al. - 2018 |
| | FE-DBD: Descarga de barrera dieléctrica de electrodos flotantes y plasma frío | <i>E. coli</i> , Coliforms, <i>Salmonella</i> spp. <i>S. Paratyphi B.</i> , <i>S. Livingstone</i> , <i>S. Mbandaka</i> and <i>S. Typhimurium</i> | <i>E. coli</i> , Coliforms, <i>Salmonella</i> spp. <i>S. Paratyphi B.</i> , <i>S. Livingstone</i> , <i>S. Mbandaka</i> and <i>S. Typhimurium</i> fueron eliminadas eficazmente tras el tratamiento. | P. Svarnas et al. - 2020 |
| | Estabilización mediante deshidratación, congelación y descongelación | Fecal coliforms | Inactivación de los coliformes fecales. | J. Diak, B. Ormeçi. - 2018 |
| Otros procesos | Adición de ácido peracético | <i>E. coli</i> , <i>Salmonella</i> | Reducción de <i>E.coli</i> . No detectable para <i>Salmonella</i> . | T. Luukkonen et al. - 2020 |
| | Laguna de estabilización de residuos | Adenovirus, Bacteriophage, <i>Enterococos</i> , Colifagos y <i>E. coli</i> | <i>Enterococos</i> mostró un descenso constante. Reducción de colifagos. Rebote de <i>E.coli</i> . | K.R. Schwarz et al. - 2019 |
| | Desinfección UV | <i>Escherichia coli</i> , Coliformes, <i>Enterococci</i> | <i>Escherichia coli</i> , Coliformes y <i>Enterococci</i> presentaron reducción. | E. Carré et al. - 2018 |

Fuente: Elaboración propia, 2022

Los lodos residuales se encuentran formados por una gran variedad de estos microorganismos siendo los más comunes las bacterias, virus y parásitos. Las investigaciones mencionadas en la **Tabla 5** hacen referencia a la desinfección de microorganismos patógenos, comunidad microbiana como *Escherichia coli*, coliformes termotolerantes, *Clostridium* y *Enterococos*, *Salmonella Clostridium*, *S. Paratyphi B.*, *S. Livingstone*, *S. Mbandaka* y *S. Typhimurium* , coliformes totales, huevos viables de helmintos , Firmicutes, Actinobacteria, Proteobacteria, *Pseudomonas sp.*, Giardia y Cryptosporidium, Enterobacteria, Gram negative bacill, Gram positive y *Streptococcus faecalis*.

Gran parte de las investigaciones consideradas la *E. coli*, fue seleccionada como bacteria patógena típica por la mayoría de autores, porque se considera responsable de enfermedades intestinales o incluso algunas peores además de ser empleado como patógeno modelo más utilizado para indicar riesgos biológicos del agua potable y de la reutilización del agua según varias normas oficiales de calidad del agua (Rodríguez-Chueca, Mediano, Ormad, Mosteo, & Ovelleiro, 2014).

Las bacterias coliformes termotolerantes o mejor conocidas como coliformes fecales , son los organismos más empleados para el control de eliminación de patógenos de las PTAR Y EDAR adicionalmente también se consideran indicadores de contaminación fecal como *Salmonella* y huevos de helmintos porque se comportan de manera similar durante el tratamiento, son abundantes y fáciles de determinar. (Ratna, 2019)

Características de lodos residuales posterior a la aplicación de procesos de desinfección, para su aplicación en agricultura o aprovechamiento.

Finalmente, de acuerdo a su naturaleza los lodos residuales cuentan con diversas características las cuales determinan si estos pueden ser reutilizable. Sin embargo, estos lodos por las características que presentaran después de un proceso de desinfección pueden ser susceptibles de aprovechamiento, siempre y cuando cumplan los límites máximos permisibles de carga contaminante, ya que este es un material de alto potencial biológico por la presencia de nutrientes como nitrógeno, fosforo, potasio, entre otros en grandes cantidades, por esto es considerado como abono y fertilizante eficiente. A continuación en la **Tabla 6**, se consideran las características físicas y químicas que en conjunto con el análisis de patógenos que fueron removidos presentes en la **Tabla 5** determinaran si el residuo es apto para su aprovechamiento.

Tabla 6. Características de lodos residuales post tratamiento de desinfección.

| | Proceso de desinfección | Características físicas | Características químicas | | | | Autor - año |
|-------------------------------|-------------------------|---------------------------|---|-------------------------------------|------|---|--|
| | | Contenido de humedad (H%) | Metales pesados | Nutrientes (N, P, K) | pH | C/N | |
| Procesos tradicionales | Compostaje | - | - | - | - | - | G. Zheng et al. - 2021 |
| | Compostaje | - | Pb (mg.Kg ⁻¹) 0.017 Ni (mg.Kg ⁻¹) 0.02 Co (mg.Kg ⁻¹) 0.035 | N (%) 1.9 P (%) 1.2 K (%) 0.9 | 7.7 | (%) 13.92 | N. Asses, W. Farhat, M. Hamdi, et al. - 2019 |
| | Vermicompost | - | As (ug/kg) 18.99 ± 0.7 Cr (ug/kg) 24.22 ± 0.7 Cu (ug/kg) 26.98 ± 0.7 Mn (ug/kg) 41.83 ± 0.9 Ni (ug/kg) 13.34 ± 1.4 Zn (ug/kg) 153.04 ± 3.9 | - | 6.60 | (%) 14.96 | X. Hu, T. Zhang, G. Tian et al. - 2021 |
| | Biosecado | 0,5% | - | - | - | - | L. Cai et al. - 2017 |
| | Solarización | - | - | - | 6.88 | 0,21% de carbono, 0,02% de nitrógeno | C. Mays et al. - 2021 |

| | Proceso de desinfección | Características físicas | Características químicas | | | | Autor - año |
|------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---|--|------|--|-----------------------------|
| | | Contenido de humedad (H%) | Metales pesados | Nutrientes (N, P, K) | pH | C/N | |
| | Solarización | - | As (mg kg ⁻¹) <0.50 Ba (mg kg ⁻¹) 48.00 Cd (mg kg ⁻¹) <0.03 Pb (mg kg ⁻¹) 3.80 Cu (mg kg ⁻¹) 6.20 Cr (mg kg ⁻¹) 1.10 Hg (mg kg ⁻¹) <0.02 Ni (mg kg ⁻¹) <1.00 Se (mg kg ⁻¹) <0.20 Zn (mg kg ⁻¹) 76.00 | N (%) 3.00 P (%) 0.60 K (%) 0.06 | 3.80 | 25.00 % de carbono, 3.00 % de nitrógeno | I.S. Pereira et al.- 2020 |
| Procesos Facultativos | Digestión anaeróbica | - | - | - | 6.1 | - | A. Lopez et al. - 2020 |
| | Digestión aeróbica | - | - | - | - | - | B.J. Thwaites et al. - 2018 |
| | Procesos de oxidación avanzada | - | Cd (mg/L ⁻¹) no detectado Total Cr (mg/L ⁻¹) 0.005 | - | - | 0.01% de carbono, | Y.-d. Chen, et al. - 2020 |

| | Proceso de desinfección | Características físicas | Características químicas | | | | Autor - año |
|--------------------------|--------------------------------------|---------------------------|--|----------------------|-----------|--------------------|-----------------------|
| | | Contenido de humedad (H%) | Metales pesados | Nutrientes (N, P, K) | pH | C/N | |
| | basados en peroxidisulfato | | Cu (mg/L ⁻¹) 0.035 Ni (mg/L ⁻¹) 0.008 Pb (mg/L ⁻¹) 0.003 Zn (mg/L ⁻¹) 0.200 | | | 0,07% de nitrógeno | |
| Procesos electroquímicos | Reacciones de Bio-electro-Fenton | - | - | - | 3.0 | - | S. Zhou et al. - 2018 |
| | Electrooxidación asistida por Fe(II) | - | Lodos de depuradora disminuyeron: 121,43 a 48,81 mg/g de SD (Cu) 413,42 a 137,03 mg/g de SD (Zn), 47,53 a 33,86 mg/g de SD (Pb) Pastel de lodo industrial disminuyeron: 391,65 a 114,03 mg/g de SD (Cu) | - | 2.33-2.98 | - | S. Hu et al. - 2020 |

| Proceso de desinfección | Características físicas | Características químicas | | | | Autor - año |
|--|---------------------------|---|----------------------|-----|-----|---------------------------------|
| | Contenido de humedad (H%) | Metales pesados | Nutrientes (N, P, K) | pH | C/N | |
| | | 1147,02 a 208,96 mg/g de SD (Zn) 82,80 a 58,19 mg/g de SD (Pb) | | | | |
| Tratamiento térmico eléctrico: Modelo Maxwell-Eucken. | - | - | - | - | - | Z. Yin et al. - 2018 |
| Biorremediación por biopilas | - | - | - | - | - | G. Llorens-Blanch et al. - 2018 |
| Proceso electroquímico híbrido con adición de Ca(ClO) ₂ | - | Antes y después de tratamiento Cd (mg/kg) 2.44±0.05 Pb (mg/kg) 33.80±0.85 Cr (mg/kg) 68.90±0.58 As (mg/kg) 24.16±4.40 Ni (mg/kg) 29.11±1.37 Zn (mg/kg) 285.38±3.71 Cu (mg/kg) 105.9±2.20 | - | 6-9 | - | S. Hu et al. - 2020 |

| | Proceso de desinfección | Características físicas | Características químicas | | | | Autor - año |
|-----------|---|---------------------------|--|----------------------|------|-----|--------------------------------|
| | | Contenido de humedad (H%) | Metales pesados | Nutrientes (N, P, K) | pH | C/N | |
| | Lixiviación química | - | - | - | 9.6 | - | L. Zhang et al. - 2020 |
| | Estrés oxidativo | - | - | - | - | - | D.E.C. Mazzeo et al. - 2020 |
| | Combinados de coagulación y oxidación Fenton durante la peroxidación electroquímica (ECP) | - | Ni mg kg ⁻¹ 13.25±2.47 Zn mg kg ⁻¹ 246.00±13.28 As mg kg ⁻¹ 4.50±0.71 Pb mg kg ⁻¹ 13.00±2.83 Cd mg kg ⁻¹ 0.55±0.07 Co mg kg ⁻¹ 7.50±0.71 Cu mg kg ⁻¹ 34.50±0.71 Cr mg kg ⁻¹ 100.50±4.95 Mn mg kg ⁻¹ 512.25±8.13 | - | 3.00 | - | H. Olvera-Vargas et al. - 2019 |
| | Pretratamiento electroquímico | - | - | - | 7.34 | - | Q. Zeng et al. - 2019 |
| Co mbi | Compostaje de lodos de | - | - | - | - | - | S. Ozdemir et al. - 2020 |

| | Proceso de desinfección | Características físicas | Características químicas | | | | Autor - año |
|----------------|---|---------------------------|--|---|-------------|-----|--------------------------------------|
| | | Contenido de humedad (H%) | Metales pesados | Nutrientes (N, P, K) | pH | C/N | |
| | depuradora y solarización | | | | | | |
| | Proceso de oxidación avanzada y ozonización | - | - | - | - | - | P. Alfonso-Muniozguren et al. - 2018 |
| | FE-DBD: Descarga de barrera dieléctrica de electrodos flotantes y plasma frío | - | - | - | - | - | P. Svarnas et al. - 2020 |
| | Estabilización mediante deshidratación, congelación y descongelación | - | - | - | - | - | J. Diak, B. Ormeçi. - 2018 |
| Otros procesos | Adición de ácido peracético | - | As (mg/kg) < 3 Ba (mg/kg) 35+-5 Cd (mg/kg) < 0.3 Co (mg/kg) 1.9+- 0.3 | P (mg/L) 16-35 K (mg/L) 300 NO3-(mg/L) 3-6 | 6.2– 6.3 | - | T. Luukkonen et al. - 2020 |

| Proceso de desinfección | Características físicas | Características químicas | | | | Autor - año |
|--------------------------------------|---------------------------|---|-----------------------------|------|-----|----------------------------|
| | Contenido de humedad (H%) | Metales pesados | Nutrientes (N, P, K) | pH | C/N | |
| | | Cr (mg/kg) 8+- 2 Cu (mg/kg) 5.1+- 0.8 Mo (mg/kg) < 1 Ni (mg/kg) 5.5 +- 0.3 Pb (mg/kg) < 3 Hg (mg/kg) 0.10 Sb (mg/kg) < 3 V (mg/kg) 12 +-2 Zn (mg/kg) 16 +-2 | NH4+ (mg/L) 10-80 | | | |
| Laguna de estabilización de residuos | - | - | N (mg/L) 75 P (mg/L) 9.5 | 7.42 | - | K.R. Schwarz et al. - 2019 |
| Desinfección UV | - | - | - | - | - | E. Carré et al. - 2018 |

Fuente: Elaboración propia, 2022

Las características fisicoquímicas presentes en los lodos residuales que han sido sometidos al proceso de desinfección mencionados durante el análisis de la presente investigación serán necesarias si estos quieren ser aplicados posteriormente como enmienda agrícola o su uso directo en suelo, pues su aplicación es controversial por la presencia de metales pesados o que cumplan suficientemente las normas para su aplicación (Geng, y otros, 2020). Adicionalmente se tiene que considerar los nutrientes valiosos para el suelo como el N, P y K que tienen un valor de sustitución de los fertilizantes minerales (Ashekuzzaman, Forrestal, Richards, & Fenton, 2019).

De los procesos seleccionados en la **Tabla 6** solo se han evidenciado que el estudio realizado por N. Asses, W. Farhat, M. Hamdi, et al. – 2019, I.S. Pereira et al.- 2020 y T. Luukkonen et al. - 2020 cuentan con resultados de ensayos agronómicos a diferencia de los otros estudios sin considerar el valor de los nutrientes presentes en los lodos residuales, esto con la finalidad que puedan ser reaprovechados posteriormente.

V. CONCLUSIONES

Durante la realización del presente trabajo de investigación, se logró identificar los procesos de desinfección que actúan eficazmente sobre los patógenos contaminantes de lodos residuales provenientes de fuentes diversas (EDAR (lodos de depuradora), PTAR (lodos residuales), lodos de mataderos, lodos deshidratados, lodos industriales, lodo granular aeróbico y lodos activados convencionales) los cuales han sido organizados según a los métodos empleados.

Se ha podido evidenciar respecto a las bibliografías de los autores mencionados, que los procesos electroquímicos han obtenido mayor eficiencia en desinfección de los patógenos contaminantes presentes lo que hace a este proceso una opción amigable con el ambiente, pues no precisa de adición de sustancias o productos químicos.

De igual manera se ha evidenciado, a partir de los resultados propuestos por los autores, cuáles de los tratamientos cumplieron con la eliminación de indicadores patógenos, para dar una alternativa de empleo a estos residuos sólidos y aprovechando las propiedades en cuestión como es la presencia de materia orgánica y nutrientes para ser empleados como fertilizante de suelos.

Finalmente, las características físicas, químicas y biológicas son esenciales para un aprovechamiento benéfico de estos lodos, siempre y cuando cumplan con las normativas propuestas en el lugar de aplicación, ya sea en agricultura, silvicultura, recuperación de suelos degradados, adecuación de áreas verdes, elaboración de abonos y/o enmiendas ecológicas.

VI. RECOMENDACIONES

Para la aplicación del proceso de desinfección se recomienda, desarrollar tecnologías más eficaces para su rápida aplicación a gran escala y bajo costo en eliminación de organismos patógenos que pueden presentar riesgo inmediato para la salud.

Se recomienda hacer un control y análisis de los parámetros físicos, químicos y biológicos en conjunto para poder evaluar el comportamiento de las muestras y consideraciones futuras, adicionalmente deben de realizarse investigaciones continuas a cerca de virus presentes en lodos que no han sido mencionados.

Se recomienda considerar para futuras investigaciones realizar una evaluación de los lodos post tratamiento como fertilizantes y ciclos de nutrientes para su aplicación en la agricultura.

REFERENCIAS

- Alfonso-Muniozguren, P., Lee, J., Bussemaker, M., Chadeesingh, R., Jones, C., Oakley, D., & Saroj, D. (October de 2018). A combined activated sludge-filtration-ozonation process for abattoir wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering*, Volume 25, 157-163. doi:10.1016/j.jwpe.2018.07.009
- An, Y., Zhou, Z., Yao, J., Niu, T., Qiu, Z., Ruan, D., & Wei, H. (December de 2017). Sludge reduction and microbial community structure in an anaerobic/anoxic/oxic process coupled with potassium ferrate disintegration. *Bioresource Technology*, Volume 245, 954-961. doi:10.1016/j.biortech.2017.09.023
- Ashekuzzaman, S., Forrestal, P., Richards, K., & Fenton, O. (September de 2019). Dairy industry derived wastewater treatment sludge: Generation, type and characterization of nutrients and metals for agricultural reuse. *Journal of Cleaner Production*, Pages 1266-1275. doi:10.1016/j.jclepro.2019.05.025
- Asses, N., Farhat, W., Hamdi, M., & Bouallagui, H. (April de 2019). Large scale composting of poultry slaughterhouse processing waste: Microbial removal and agricultural biofertilizer application. *Process Safety and Environmental Protection*, Volume 124, 128-136. doi:10.1016/j.psep.2019.02.004
- Cai, L., Krafft, T., Chen, T.-B., Lv, W.-Z., Gao, D., & Zhang, H.-Y. (November de 2017). New insights into biodrying mechanism associated with tryptophan and tyrosine degradations during sewage sludge biodrying. *Bioresource Technology*, Volume 244(1), 132-141. doi:10.1016/j.biortech.2017.07.118
- Carre, E., Perot, J., Jauzein, V., & Lopez-Ferber, M. (April de 2018). Impact of suspended particles on UV disinfection of activated-sludge effluent with the aim of reclamation. *Journal of Water Process Engineering*, Volume 22, 87-93. doi:10.1016/j.jwpe.2018.01.016
- Chen, Y.-d., Duan, X., Zhang, C., Wang, S., Ren, N.-q., & Hoa, S.-H. (15 de March de 2020). Graphitic biochar catalysts from anaerobic digestion sludge for nonradical degradation of micropollutants and disinfection. *Chemical Engineering Journal*, Volume 384. doi:10.1016/j.cej.2019.123244

- Christodoulou, A., & Stamatelatou, K. (13 de Octubre de 2015). Overview of legislation on sewage sludge management in developed countries worldwide. *Water Science & Technology*, 423-462. doi:<https://doi.org/10.2166/wst.2015.521>
- Diak, J., & Ormecı, B. (15 de June de 2018). Stabilisation and dewatering of primary sludge using ferrate(VI) pre-treatment followed by freeze- thaw in simulated drainage beds. *Journal of Environmental Management, Volume 216*, 406-420. doi:10.1016/j.jenvman.2017.10.065
- EPA, U. S. (2018). *EPA United States Environmental Protection Agency*. Obtenido de <https://www.epa.gov/biosolids/biosolids-laws-and-regulations>
- European Parliament and of the Council, D. 2. (2008). *Legislation.gov.uk*. Obtenido de Directives originating from the EU: <https://www.legislation.gov.uk/eudr/2008/98/contents>
- Eurostat. (12 de Enero de 2022). *Sewage Sludge Production and Disposal*. Obtenido de Eurostat: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ten00030/default/line?lang=en>
- Garcia-Segura, S., Ocon, J., & Chong, M. (September de 2017). Electrochemical oxidation remediation of realwastewater effluents. *Process Safety and Environmental Protection*, 48-67. doi:10.1016/j.psep.2017.09.014
- Geng, H., Xu, Y., Zheng, L., Gong, H., Dai, L., & Dai, X. (2020). An overview of removing heavy metals from sewage sludge: Achievements and perspectives. *Environmental Pollution*. doi:10.1016/j.envpol.2020.115375
- Hu, S., Hu, J., Sun, Y., Zhu, Q., Wu, L., Liu, B., . . . Hou, H. (5 de March de 2020). Simultaneous heavy metal removal and sludge deep dewatering with Fe(II) assisted electrooxidation technology. *Journal of Hazardous Materials, Volume 405*. doi:10.1016/j.jhazmat.2020.124072
- Hu, S., Zhao, W., Hu, J., Liu, B., Wang, D., Zhu, Q., . . . Hou, H. (August de 2020). Integration of electrochemical and calcium hypochlorite oxidation for simultaneous sludge deep dewatering, stabilization and phosphorus fixation.

Science of the Total Environment, Volume 750.
doi:10.1016/j.scitotenv.2020.141408

Hu, S., Zhao, W., Hu, J., Liu, B., Wang, D., Zhua, Q., . . . Hou, H. (1 de January de 2021). Integration of electrochemical and calcium hypochlorite oxidation for simultaneous sludge deep dewatering, stabilization and phosphorus fixation. *Science of the Total Environment*, Volume 750. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.141408

Hu, X., Zhang, T., Tian, G., Zhang, L., & Bian, B. (1 de May de 2021). Pilot-scale vermicomposting of sewage sludge mixed with mature vermicompost using earthworm reactor of frame composite structure. *Science of The Total Environment*, Volume 767. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.144217

Llorens-Blanch, G., Parladé, E., Martínez-Alonso, M., Gaju, N., Caminal, G., & Blánquez, P. (February de 2018). A comparison between biostimulation and bioaugmentation in a solid treatment of anaerobic sludge: Drug content and microbial evaluation. *Waste Management*, Volume 72, 206-217. doi:10.1016/j.wasman.2017.10.048

Lopez, A., Rodríguez-Chueca, J., Mosteo, R., Gomez, J., & Ormand, M. (20 de May de 2020). Microbiological quality of sewage sludge after digestion treatment: A pilot scale case of study. *Journal of Cleaner Production*, Volume 254. doi:10.1016/j.jclepro.2020.120101

Luukkonen, T., Prokkola, H., & Pehkonen, S. O. (1 de February de 2020). Peracetic acid for conditioning of municipal wastewater sludge: Hygienization, odor control, and fertilizing properties. *Waste Management*, Volume 102, 371-379. doi:10.1016/j.wasman.2019.11.004

Mays, C., Garza, G. L., Waite-Cusic, J., Radniecki, T. S., & Navab-Daneshmand, T. (1 de December de 2021). Impact of biosolids amendment and wastewater effluent irrigation on enteric antibiotic-resistant bacteria – a greenhouse study. *Water Research X*, Volume 13. doi:10.1016/j.wroa.2021.100119

Mazzeo, D. E., Misovic, A., Oliveira, F. A., Levy, C. E., Oehlmann, J., & Marchi, M. R. (December de 2020). Effects of biostimulation by sugarcane bagasse and coffee grounds on sewage sludges, focusing agricultural use: Microbial

- characterization, respirometric assessment and toxicity reduction. *Waste Management, Volume 118*, 110-121. doi:10.1016/j.wasman.2020.08.033
- Nieto, N. T. (25 de Junio de 2018). *Universidad Santo Domingo de Guzmán*. Obtenido de UNISDG-Institucional: <http://repositorio.usdg.edu.pe/bitstream/USDG/34/1/Tipos-de-Investigacion.pdf>
- Olvera-Vargas, H., Zheng, X., Garcia-Rodriguez, O., & Lefebvre, O. (1 de May de 2019). Sequential “electrochemical peroxidation – Electro-Fenton” process for anaerobic sludge treatment. *Water Research, Volume 154*, 277-286. doi:10.1016/j.watres.2019.01.063
- Opec, F. (2018). *Wastewater Report 2018: The Reuse Opportunity*. International Water Association: IWA.
- Ozdemir, S., Yetilmezsoy, K., Dede, G. D., & Sazak, M. (January de 2020). Application of solarization for sanitization of sewage sludge compost. *Journal of King Saud University - Science, Volume 32*, 443-449. doi:10.1016/j.jksus.2018.07.004
- Pereira, I. d., Bamberg, A. L., Sousa, R. O., Monteiro, A. B., Martinazzo, R., Silveira, C. A., & Silveira, A. d. (1 de December de 2020). Agricultural use and pH correction of anaerobic sewage sludge with acid pH. *Journal of Environmental Management, Volume 275*. doi:10.1016/j.jenvman.2020.111203
- Ratna, R. (2019). *Encyclopedia of Environmental Health (Second Edition)*. India: Livelihoods and Natural Resource Management Institute. doi:10.1016/B978-0-12-409548-9.10939-X
- Rodríguez-Chueca, J., Mediano, A., Ormad, M., Mosteo, R., & Ovelleiro, J. (September de 2014). Disinfection of wastewater effluents with the Fenton-like process induced by electromagnetic fields. *Water Research, Volume 60*, 250-258. doi:10.1016/j.watres.2014.04.040
- Schwarz, K., Sidhu, J., Toze, S., Li, Y., Lee, E., Gruchlik, Y., & Pritchard, D. (1 de May de 2019). Decay rates of *Escherichia coli*, *Enterococcus* spp., F-specific bacteriophage MS2, somatic coliphage and human adenovirus in facultative

pond sludge. *Water Research*, Volume 154, 62-71.
doi:10.1016/j.watres.2019.01.027

Smith, S. R. (13 de Octubre de 2009). Organic contaminants in sewage sludge (biosolids) and their significance for agricultural recycling. *Philosophical Transactions of the Royal Society a Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, Volume 367, Issue 1904, 4005-4041.
doi:<https://doi.org/10.1098/rsta.2009.0154>

Sutton, A., Clowes, M., Preston, L., & Booth, A. (2019). Meeting the review family: exploring review types. *Health Information & Libraries Journal*, Volume 36, Issue 3, 202-222. doi:<https://doi.org/10.1111/hir.12276>

Svarnas, P., Giannakopoulos, E., Kalavrouziotis, I., Krontiras, C., Georga, S., Pasolari, R., . . . Chrysochoou, D. (25 de February de 2020). Sanitary effect of FE-DBD cold plasma in ambient air on sewage biosolids. *Science of The Total Environment*, Volume 705. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.135940

Thwaites, B. J., Short, M. D., Stuetz, R. M., & Reeve, P. J. (15 de November de 2018). Comparing the performance of aerobic granular sludge versus conventional activated sludge for microbial log removal and effluent quality: Implications for water reuse. *Water Research*, Volume 145, 442-452.
doi:10.1016/j.watres.2018.08.038

UCV. (5 de Abril de 2022). Universidad Cesar Vallejo, Guía de elaboración de productos de investigación de fin de programa. *Resolución de vicerectorado de investigación N°110-2022-VI-UCV*. Trujillo.

Vivienda, C. y. (2017). *MINAM Ministerio del ambiente*. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-015-2017-VIVIENDA.pdf>

Yin, Z., Hoffmann, M., & Jiang, S. (15 de February de 2018). Sludge disinfection using electrical thermal treatment: The role of ohmic heating. *Science of The Total Environment*, 262-271. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.09.175

Yuni, J., & Urbano, C. (s.f.). *Técnicas para Investigar: Recursos metodológicos para la preparación de proyectos de investigación* (Vol. II). Editorial Brujas. Obtenido de

https://books.google.com.pe/books?id=XWlkBfrJ9SoC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

- Zeng, Q., Zan, F., Hao, T., Biswal, B. K., Lin, S., Loosdrecht, M. C., & Chen, G. (1 de December de 2019). Electrochemical pretreatment for stabilization of waste activated sludge: Simultaneously enhancing dewaterability, inactivating pathogens and mitigating hydrogen sulfide. *Water Research, Volume 166*. doi:10.1016/j.watres.2019.115035
- Zhang, L., Chen, Y., Ma, C., Liu, L., Pan, J., Li, B., . . . Wang, Q. (20 de October de 2020). Improving heavy metals removal, dewaterability and pathogen removal of waste activated sludge using enhanced chemical leaching. *Journal of Cleaner Production, Volume 271*. doi:10.1016/j.jclepro.2020.122512
- Zheng, G., Yu, B., Wang, Y., Ma, C., & Chen, T. (30 de January de 2021). Fate and biodegradation characteristics of triclocarban in wastewater treatment plants and sewage sludge composting processes and risk assessment after entering the ecological environment. *Journal of Hazardous Materials, Volume 412*. doi:10.1016/j.jhazmat.2021.125270
- Zhou, S., Huang, S., Li, X., Angelidakis, I., & Zhang, Y. (15 de June de 2018). Microbial electrolytic disinfection process for highly efficient Escherichia coli inactivation. *Chemical Engineering Journal, Volume 342*, 220-227. doi:10.1016/j.cej.2018.02.090

ANEXOS

Anexo 1: Instrumento de recolección de datos

| Nº | Autor (es) | Año | Problemática planteada | Diseño metodológico | Justificación | Resultados | Conclusiones |
|-----------|-------------------|------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------|-------------------|---------------------|
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | |



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, UGARTE ALVAN CARLOS ALFREDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CALLAO, asesor de Tesis titulada: "Revisión Sistemática: Análisis de Tratamientos de Desinfección de Lodos Residuales", cuyo autor es MENDOZA SANCHEZ SHIRLEY YASSIRA, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 8.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 07 de Diciembre del 2022

| Apellidos y Nombres del Asesor: | Firma |
|--|--|
| UGARTE ALVAN CARLOS ALFREDO DNI: 10473562 ORCID: 0000-0001-6017-1192 | Firmado electrónicamente por: CUGARTEA el 26-12- 2022 12:39:03 |

Código documento Trilce: TRI - 0478980