



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

**Sistemas de Tratamientos de Lixiviado de Vertederos para
Eliminar Contaminantes Físicoquímicos. Revisión Sistemática
2021**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERA AMBIENTAL**

AUTORA:

Quispe Percca, Carolina (ORCID: 0000-0002-5085-5870)

ASESORA:

Mg. Cabello Torres, Rita Jaqueline (ORCID: 0000-0002-9965-9678)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamientos y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

Con todo mi corazón para mis queridos padres Geronimo Quispe Apaza y Remigia Percca Mamani por la dedicación como padres, esfuerzo sobre valorado por el apoyo emocional que me han brindado durante esta etapa profesional de mi vida.

Dedicado a mi querida hija Adhara Gabriela Farfan Quispe por ser el motivo de la realización de este propósito.

Agradecimiento

Agradezco a Dios de todo corazón por dejarme ver la luz del día y sobre todo por darme la voluntad para lograr uno de mis sueños y permitir compartirla con mi familia durante estos tiempos difíciles de pandemia.

A mis padres por el apoyo emocional, consejos, valores y virtudes que me inculcaron para lograr ser una mejor persona cada día de mi vida, a mi pareja por el apoyo emocional y profesional a mi querida hija.

A la Mg. Rita Jaqueline Cabello Torres por ser mi guía profesional en este proceso de titulación.

Índice de contenido

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenido	iv
Índice de tablas	v
Índice de gráficos	vi
Índice de figuras.....	vii
Índice de abreviaturas	viii
Resumen	ix
Abstract.....	x
I. INTRODUCCION	1
II. MARCO TEORICO	8
III.METODOLOGIA	30
3.1 Tipo y diseño de investigación	30
3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística	30
3.3 Escenario de estudio	33
3.4 Participantes	33
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	33
3.6 Procedimientos	33
3.7 Rigor científico	34
3.8 Método de análisis de información	35
3.9 Aspectos éticos.....	35
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	36
V. CONCLUSIONES	61
VI. RECOMENDACIONES.....	64
REFERENCIAS	65
ANEXOS.....	76

Índice de tablas

Tabla 1: Fases de descomposición	17
Tabla 2: Composición fisicoquímica del lixiviado de vertederos	20
Tabla 3: Métodos y procesos de tratamientos del lixiviado de vertederos	28
Tabla 4: Matriz de categorización apriorística	31
Tabla 5: Eficiencia de eliminación de contaminantes fisicoquímicos, métodos de tratamientos y condiciones operativas del lixiviado de vertederos.....	37
Tabla 6: Tipos de contaminantes fisicoquímicos del lixiviado de vertederos	51
Tabla 7: Clasificación de los vertederos	57

Índice de gráficos

Gráfico 1: Eliminación de los contaminantes orgánicos fisicoquímicos	48
Gráfico 2: Eliminación los contaminantes inorgánicos fisicoquímicos.....	48
Gráfico 3: Cantidad de artículos científicos analizados de métodos y contaminantes del lixiviado de vertederos.....	50
Gráfico 4: Contaminantes orgánicos fisicoquímicos (DQO y DBO) del lixiviado de vertederos.....	56
Gráfico 5: Contaminantes inorgánicos fisicoquímicos (nitrógeno de amonio y Pb) del lixiviado de vertederos.....	57
Gráfico 6: Características fisicoquímicas de los vertederos de lixiviados según la edad.....	60

Índice de figuras

Figura 1: Esquema del biorreactor de lecho empacado	9
Figura 2: Escamas de pescado (a) antes y (b) después del proceso de activación; (c) y (d) microscopía electrónica de partículas.	10
Figura 3: Configuración experimental para el proceso electro-fentón.....	12
Figura 4: Diagrama esquemático del tratamiento magnéticos a escala de banco del lixiviado	13
Figura 5: Configuración de PBR de columna de burbujas para la fitorremediación del lixiviados de vertederos	14
Figura 6: Vista esquemática del sistema de tratamiento del fotobiorreactor	15
Figura 7: Lixiviado	19
Figura 8: Parámetros del lixiviado	19
Figura 9: Diagrama esquemático de SBR aeróbico.....	22
Figura 10: Eliminación de contaminantes de los lixiviados durante la coagulación	24
Figura 11: Diagrama esquemático de la configuración experimental de nanofiltración.....	27
Figura 12: Mapa Mundial de artículos científicos revisados sobre los métodos de tratamientos y contaminantes fisicoquímicos del lixiviado de vertederos.....	49

Índice de abreviaturas

DBO	:	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DBO	:	Demanda Química de Oxígeno
TN	:	Nitrógeno Total
SRT	:	Tiempo de Retención de Lodos
HRT	:	Tiempo de Retención Hidráulica
MBR	:	Reactor Biológico de Membrana
SBR	:	Reactor de Secuencia por Lotes
DOC	:	Carbono orgánico Disuelto
TSS	:	Sólidos en Suspensión Totales
VSS	:	Sólidos en Suspensión Volátiles
OD	:	Oxígeno Disuelto
TS	:	Sólidos Totales
SS	:	Sólidos en Suspensión
TDS	:	Sólidos Disueltos Totales
TOC	:	Carbono Orgánico Total
POAs	:	Procesos de Oxidación Avanzada
EC	:	Electrocoagulación

Resumen

Uno de los problemas de la contaminación ambiental es ocasionado por el vertido del lixiviado. El objetivo de la investigación fue evaluar los sistemas de tratamientos de lixiviado de vertederos, se analizó la eficiente en la eliminación de contaminantes fisicoquímicos, se trabajó con la metodología de análisis documental y se recopiló 58 artículos científicos. Los resultados lograron tratar al contaminante orgánico mediante el tratamiento biológico, fisicoquímico y la combinación de ambos resultado la remoción del 95%, 98.3% y 98% de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) respectivamente, mediante la aplicación de reactores (reactor manto de lodo anaerobio de flujo ascendente (UASB), un reactor anóxico/aeróbico (A/O) y el UASB desnitrificante (DUASB)), (proceso de peróxido de hidrogeno sonolítico (US-H₂O₂) y persulfato sonolítico (US-PS)) y (reactor granular de biofiltro por lotes de secuenciación (SBBGR) y el reactor electroquímico) respectivamente, con una temperatura que oscilo a 29.5°C con tiempo de retención hidráulica (HRT) de 10.5 días, pH 5.25. Para el contaminante inorgánico se logró remover un 99.92%, 97.5% y 95% del nitrógeno de amonio respectivamente, se aplicó los procesos (sistema biológico compuesto de bajo oxígeno disuelto (OD)), (coagulación, carbón activado granular (GAC) e intercambio iónico) y (coagulación y fotobiorreactor de columna (PBR)) respectivamente, la temperatura oscilo a 25.25°C con pH 7.25, agitación de 100 rpm. El lixiviado joven se caracterizó por tener mayores compuestos orgánicos (DQO y DBO) mientras que los medianos y viejos tienen mayores compuestos inorgánicos (NH₃-N, NH₄⁺-N y metales pesados). Los métodos biológicos y fisicoquímicos son utilizados para eliminar compuestos biodegradables y refractarios respectivamente.

Palabras claves: lixiviados, vertederos, tratamientos biológicos y fisicoquímicos.

Abstract

One of the problems of environmental pollution is caused by the discharge of leachate. The objective of the research was to evaluate the landfill leachate treatment systems, the efficiency in eliminating physicochemical pollutants was analyzed, the methodology of documentary analysis was used and 58 scientific articles were collected. The results managed to treat the organic pollutant through biological, physicochemical treatment and the combination of both resulted in the removal of 95%, 98.3% and 98% of the Chemical Oxygen Demand (COD) respectively, through the application of reactors (reactor mantle of upstream anaerobic sludge (UASB), an anoxic / aerobic reactor (A / O) and the denitrifying UASB (DUASB)), (sonolytic hydrogen peroxide (US-H₂O₂) and sonolytic persulfate (US-PS) process) and (Sequencing batch biofilter granular reactor (SBBGR) and electrochemical reactor) respectively, with a temperature ranging at 29.5 ° C with hydraulic retention time (HRT) of 10.5 days, pH 5.25. For the inorganic pollutant, 99.92%, 97.5% and 95% of the ammonium nitrogen were removed respectively, the processes (biological system composed of low dissolved oxygen (DO)), (coagulation, granular activated carbon (GAC) and exchange ionic) and (coagulation and column photobioreactor (PBR)) respectively, the temperature ranged to 25.25 ° C with pH 7.25, stirring at 100 rpm. The young leachate was characterized by having higher organic compounds (COD and BOD) while the medium and old leachates have higher inorganic compounds (NH₃-N, NH₄⁺ -N and heavy metals). Biological and physicochemical methods are used to eliminate biodegradable and refractory compounds respectively.

Keywords: leachate, landfill, biological and physicochemical treatments.

I. INTRODUCCIÓN

El lixiviado es un líquido de color oscuro generado por el proceso de degradación de materia orgánica **(Farias, et al., 2019, pág. 1)** siendo un problema constante debido a la alta concentración de compuestos orgánicos e inorgánicos **(Nair, Senthilnathan y Nagendra, 2019, pág. 322)** **(Yong, Bashir, Ng, Sethupathi y Lim, 2018, pág. 244)**, por otro parte, se mencionó la clasificación según la edad del lixiviado de vertederos se clasifico en tres edades siendo jóvenes, medianos o intermedios y viejos o estabilizados según **(Sruthia, Gandhimathi, Ramesh y Nidheesh, 2018, pag. 40)** determino el método de tratamiento que debe seguir o aplicar siendo un gran desafío para científicos y profesionales encargados del estudio del medio ambiente **(Nair, Senthilnathan y Nagendra, 2019, pág. 322)** por lo que se pueden aplicar varias tecnologías en el tratamiento tales son los tratamientos biológicos, fisicoquímicos y la combinación de ambos tratamientos **(Farias, et al., 2019, pág. 1)** **(Al-Wasify, Ali y Hamed, 2018, pag.3)** **(Kumari, Ghosh y Thakur, 2016, pág.45)**, se tuvo en cuenta la contaminación que genera los lixiviados de vertederos se planteó el siguiente problema general ¿Qué sistemas de tratamiento del lixiviado de vertederos es más eficiente en la eliminación de contaminantes fisicoquímicos? y como objetivo general es evaluar los sistemas de tratamiento de lixiviado de vertederos es más eficiente en la eliminación de contaminantes fisicoquímicos.

El desarrollo mundial genera un crecimiento poblacional acompañado de una producción de residuos sólidos **(Kumari, Ghosh y Thakur, 2016, pág.44)** **(Yong, Bashir, Ng, Sethupathi y Lim, 2018, pág. 244)** que son depositados en los vertederos o rellenos sanitarios siendo una de las formas más comunes y utilizadas que si no llegan a ser monitoreadas o gestionadas llegan a causar problemas a la salud y al medio ambiente **(Oumar, Patrick, Gerardo, Rino y Ishen, 2016, pág. 477)****(Faria, et al., 2019, pág. 1)** **(Kumari, Ghosh y Thakur, 2016, pág.44)** uno de los problemas ambientales causado son la descarga de lixiviados que es un líquido de color oscuro generado por el proceso de degradación de materia orgánica **(Farias, et al., 2019, pág. 1)** **(Nair, Senthilnathan y Nagendra, 2019, pág. 322)**

siendo un problema constate debido a la alta concentración de compuestos orgánicos e inorgánicos **(Nair, Senthilnathan y Nagendra, 2019, pág. 322)****(Yong, Bashir, Ng, Sethupathi y Lim, 2018, pág. 244)** que por su toxicidad causan la contaminación de los recursos de suelo y agua **(Samadder, Prabhaka, Khan, Kishan y Chauhan, 2016, pág. 596)**, en la presente investigación se obtuvo compuestos orgánicos siendo biodegradables (DQO, DBO, fósforo total, nitrógeno total, carbono total) según los siguientes autores **(Silva, et al., 2017, pag. 102)** **(Al-Wasify, Ali y Hamed, 2018, pag. 1436120)** **(Oloibiri, De Coninck, Chys, Demesstere y Van Hulle, 2017, pág. 876)** **(Kumari, Ghosh y Thakur, 2016, pág.44)** **(Oumar, Patrick, Gerardo, Rino y Ishen, 2016, pág. 479)** **(Yong, Bashir, Ng, Sethupathi y Lim, 2018, pág. 248)** **(Del moro, et al., 2016, pag. 639)****(De Almeida, et al., 2020, pag. 4)** **(Farias, et al., 2020, pág.5)** **(keen, 2016, pág. 2)** **(Moddy y Townsend, 2017, pág. 268)** de igual manera están los compuestos recalcitrantes (sustancias húmicas, ácidos fúlvicos) **(Ding, et al., 2018, pag. 04017082)** **(Poblete, Cortes, Bakit y Luna-Galiana, 2020, pág. 1556)** **(De Almeida, et al., 2020, pág. 5)** y por último los hidrocarburos (compuestos hidrófilos) **(Dia, Drogui, Buelna, Dubé y Ihsen, 2017, pág. 1136)**, de igual manera, se obtuvieron compuestos inorgánicos siendo amoníaco, nitrógeno amoniacal, amonio, nitrógeno de amonio, nitrógeno de nitrito, nitrógeno de nitrato, nitrito, nitrato, , aniones (sulfato, cloruro, fluoruro, fosfato) **(Quan, et al., 2019, pág. 119183)** **(De Almeida, et al., 2020, pág. 5)** **(Moddy y Townsend, 2017, pág. 268)** así como los metales pesados (cadmio, hierro, manganeso, zinc, níquel, arsénico, plomo, mercurio, plata, aluminio, cobalto, bario, cromo, cobre) también se obtuvieron otros elementos químicos como por ejemplo: potasio, calcio, magnesio, sodio, boro, antimonio, fósforo, estroncio, selenio según los siguientes autores **(Oloibiri, De Coninck, Chys, Demesstere y Van Hulle, 2017, pág. 876)** **(Kumari, Ghosh y Thakur, 2016, pág.44)** **(Nair, Senthilnathan y Nagendra, 2019, pág. 322)** **(Poblete, Cortes, Bakit y Luna-Galiana, 2020, pág. 1556)** y finalizando se obtuvieron las características de la composición de los lixiviados de vertederos: total de sólidos suspendidos (TSS), sólidos suspendidos volátiles (VSS), oxígeno disuelto (OD). dióxido de carbono disuelto, sólidos totales (TS), sólidos volátiles totales (TVS), sólidos suspendidos (SS), carbono orgánico disuelto (DOC), turbiedad y/o Turbiedad, total de sólidos disueltos (TDS), total de acidez (TA), salinidad, carbono orgánico total

(TOC), entre otros según **(Del moro, et al., 2016, pag. 639)** **(Kumari, Ghosh y Thakur, 2016, pág.44)** **(Moddy y Townsend, 2017, pág. 268)** **(Silva, et al., 2017, pag. 102)** **(Al-Wasify, Ali y Hamed, 2018, pag. 1436120)**, son indicadores y contaminantes que por su toxicidad causan la contaminación de los recursos de suelo y agua, llegando a ser el recurso hídrico no apto para el consumo humano ya que no cumplen con los estándares de calidad de agua **(Samadder, Prabhaka, Khan, Kishan y Chauhan, 2016, pág. 596)**.

Por otro lado, se mencionó la clasificación según la edad del lixiviado de vertederos estos podrían ser jóvenes, medianos o intermedios y viejos o estabilizados según **(Sruthia, Gandhimathi, Ramesh y Nidheesh, 2018, pag. 40)** por otra parte están los jóvenes (menos de 5 años), medianos o intermedios (5-10 años) y viejos, estabilizados o maduros (más de 10 años) seguido de las siguientes características pH, temperatura, DQO, DBO, DBO/ DQO, nitrógeno de amonio, nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitrito, nitrógeno de nitrato, TN, conductividad eléctrica, SS, TSS, color, turbiedad, salinidad, entre otros, **(Zegzouti, et al., 2020, pág. 109823)** **(Yong, Bashir, Ng, Sethupathi y Lim, 2018, pág. 246)** **(Chen, Wang, Yang, Mirino y Yuan de Yanlei, 2016, pag. 581)** entre otras características que indicaran el tipo de tratamiento que debe tener el lixiviado de vertedero.

La remediación de la contaminación por lixiviados es un desafío para científicos y profesionales encargados del estudio del medio ambiente **(Nair, Senthilnathan y Nagendra, 2019, pág. 322)** por lo que se pueden aplicar varias tecnologías en el tratamiento tales son los tratamientos biológicos, fisicoquímicos y la combinación de ambos tratamientos **(Farias, et al., 2019, pág. 1)** **(Al-Wasify, Ali y Hamed, 2018, pag.3)** **(Kumari, Ghosh y Thakur, 2016, pág.45)**, siendo en el presente estudio como desafío desarrollar una revisión sistemática para proponer que tipo de tratamiento es el más eficiente para la eliminación de los contaminantes del lixiviado de vertedero. El tratamiento biológico en su mayoría se prefiere por la fiabilidad, simplicidad y sobre todo por el bajo costo referidos en cuanto a los compuestos biodegradables **(Kumari, Ghosh y Thakur, 2016)**, siguiendo con los tratamientos biológicos se mencionó: tratamiento de lixiviados de vertederos mediante co-cultivo de bacto-algas **(Kumari, Ghosh y Thakur, 2016)**, SBR de lodo

activado aeróbico y biorreactor fúngico **(Islam, Xu y Yuan, 2020)**, nitrificación parcial y desnitrificación mediante un proceso de lodos activados continuos **(Chen, Wang, Yang, Mirino y Yuan de Yanlei, 2016)**, adsorción por carbón activado obtenido de las escamas del pescado **(Poblete, Cortes, Bakit y Luna-Galiana, 2020)**, biorremediación mediante *Aspergillus flavus* en cultivo sumergido **(Zegzouti, et al., 2020)**, adsorción en columna de lecho fijo por carbón activado producido por la ceniza de cascarilla de arroz (RHA) **(Farias, et al., 2020)**, proceso anaeróbico / aeróbico: lodo suspendido activado por crecimiento versus lodo granular aeróbico **(Ren, Ferroz y Yuan, 2017)**, tratamiento mediante un sistema biológico compuesto en condiciones de bajo oxígeno disuelto **(Song, et al., 2020)**, sistema consta de una capa de lodo anaeróbico de flujo ascendente (UASB), un reactor anóxico/aeróbico (A/O) y el UASB desnitrificante (DUASB) **(Wu, et al., 2016)**, sistema de biorreactor de membrana combinado anóxico/óxico de dos etapas para este tratamiento se redactó tres artículos con diferente objetivo **(Liu, et al., 2017)** **(Liu, et al., 2018 a)** **(Liu, et al., 2018 b)**, oxidación por contacto biológico multietapa (MBCO) **(Yuan, et al., 2017)** y el efecto de la adición de biocarbón en biofiltro de desechos envejecidos semiaeróbicos (SAARB) **(Pan, Chen, Wang y Li, 2020)**, de igual manera se mencionó a los tratamientos fisicoquímicos como los procesos de oxidación avanzada (POAs) destacando los procesos fentón entre ellos tenemos los procesos heterogéneos de fentón y electro-fentón **(Sruthia, Gandhimathi, Ramesh y Nidheesh, 2018)**, electrocoagulación junto al proceso electro-fentón **(Ding, et al., 2021)**, tratamiento electro-fentón **(Rouidi, Mauricio, Boukhissa, Ait-Amar y Balamane, 2019)**, microelectrolisis de hierro y carbono-proceso de fentón **(Wang, et al., 2016)**, de igual manera se analizó otros tratamientos como la sorción magnética **(Augusto, et al., 2019)**, reactor electroquímico de lecho fijo de tres etapas (FBER) **(Hui, et al., 2019)**, electrocoagulación **(Dia, Drogui, Buelna, Dubé y Ihsen, 2017)**, aplicación de diferentes intensidades magnéticas **(Al-Wasify, Ali y Hamed, 2018)**, sistema de ácido de aluminio de valencia cero **(Antony, Niveditha, Gandhimathi, Ramesh y Nidheesh, 2020)**, adsorción de carbón activado e intercambio iónico **(Oloibiri, De Coninck, Chys, Demesstere y Van Hulle, 2017)**, tratamiento de nanofiltración (NF) **(De Almeida, et al., 2020)** y tratamiento mediante peróxido de hidrogeno sonolítico (US-H₂O₂) y persulfato sonolítico (US-PS) **(Tripathy, Ramesh, Debnathy y Kumar, 2019)**, por último se tuvo la combinación

de tratamiento biológico y fisicoquímico siendo los siguientes tratamientos un reactor biológico granular de biofiltro por lotes de secuenciación (SBBGR) y reactor electroquímico **(Del moro, et al., 2016)**, también los procesos de ozonización y biorremediación con microalgas **(Quan, et al., 2020)**, pre-oxidación biológica aeróbica de lodos activados (ASBO), coagulación y foto-oxidación de una reacción foto-fentón **(Silva, et al., 2017)**, coagulación y fitorremediación **(Nair, Senthilnathan y Nagendra, 2019)**, foto biodegradación y adsorción por microalgas y carbón activado en polvo (PAC) **(Ganjian, Peyravi, Qoreyshi, Jahanshahi y Rad, 2017)** procesos de biofiltración (BF) y electrocoagulación (CE) **(Oumar, Patrick, Gerardo, Rino y Ishen, 2016)**, reactor biológico de secuenciación (SBR) y coagulación **(Yong, Bashir, Ng, Sethupathi y Lim, 2018)**, biorreactor de membrana de alto rendimiento (MBR) y proceso de electrooxigenación (EOP) **(Zolfaghari, et al., 2016)** y electro-fentón heterogéneo combinado y proceso biológico **(Baiju, Gandhimathi, Ramesh y Nidheesh, 2018)**.

Mediante los métodos de tratamientos mencionados se obtuvo la eficiencia de eliminación de los contaminantes fisicoquímicos del lixiviado, los compuestos orgánicos lograron una DQO 98.30% **(Tripathy, Ramesh, Debnathy y Kumar, 2019, pág. 210)**, DBO 98% **(De Almeida, et al., 2020, pag. 5)**, nitrógeno total 98% **(Wu, et al., 2016, pág. 306)**, fósforo total 10.40% solo se encontró un resultado **(Hui, et al., 2019, pag. 121031)**, ácidos húmicos 100%, ácidos fúlvicos de 50-60% y compuestos hidrófilos 37.46% por **(Dia, Drogui, Buelna, Dubé y Ihsen, 2017, pag. 1136)**, de igual manera se logró eliminar los compuestos inorgánicos obteniendo un amoníaco 82% **(Del moro, et al. ,2016, pag. 89)**, nitrógeno amoniacal 95% **(Wu, et al., 2016, pág. 306)**, amonio 100% **(Islam, Xu y Yuan, 2020, pag. 285)**, nitrógeno de amonio 99.92% **(Song, et al., 2020, pág. 122344)** nitrato 98.71% **(Augusto, et al., 2019, pag. 642)**, nitrito 90% **(Chen, Wang, Yang, Mirino y Yuan de Yanlei, 2016, pag. 587)**, fosfato 96% **(Nair, Senthilnathan y Nagendra, 2019, pág. 325)**, sulfato 46.11% y cloruro 49.10% solo un resultado **(Augusto, et al., 2019, pag. 642)** también están los metales pesados como mercurio > 99%, cromo 96.50%, cadmio > 99% y arsénico >99%, **(Hui, et al., 2019, pag. 121031)**, níquel 97.70% **(Oloibiri, De Coninck, Chys, Demesstere y Van Hulle, 2017, pág. 873)**, plomo 95% y bario 87.20% **(Yong, Bashir, Ng, Sethupathi**

y Lim, 2018, pág. 244), zinc 92% (Kumari, Ghosh y Thakur, 2016, pág.47), hierro 97%, manganeso 97%, plata 50%, cobre 95.30% y cobalto 92% (Nair, Senthilnathan y Nagendra, 2019, pág. 325), también la eliminación de otros elementos químicos como selenio 100%, (Nair, Senthilnathan y Nagendra, 2019, pág. 325), fosforo 100% (Quan, et al., 2019, pág. 119189) y nitrógeno 87.7% (Ganjian, Peyravi, Qoreyshi, Jahanshahi y Rad, 2017, pág. 774) por último, se logró remover las características de los lixiviados de vertederos siendo los SS 35% y coliformes fecales 100% como único resultado (Hui, et al., 2019, pag. 121031), TOC 99% y color 90% (De Almeida, et al., 2020, pag. 5), UV254 93.30% (Oloibiri, De Coninck, Chys, Demesstere y Van Hulle, 2017, pág. 873), TDS 51.80% (Kumari, Ghosh y Thakur, 2016, pág.47), alcalinidad 100% (Silva, et al., 2017, pág. 102), DOC 91% (Nair, Senthilnathan y Nagendra, 2019, pág. 325), TSS 91.82% (Yong, Bashir, Ng, Sethupathi y Lim, 2018, pág. 244), entre otros, mediante estos resultados se puede realizar el descargo al medio ambiente según los estándares de calidad de cada país, la mayoría de los artículos revisados sistemáticamente no presentaron la comparación del tratamiento y eficiencia de eliminación con otros trabajos similares para determinar cuál de estos tratamientos o tecnologías es más eficiente para la eliminación de contaminantes del lixiviado de vertederos.

Se tuvo en cuenta la contaminación que genera los lixiviados de vertederos se planteó el siguiente problema general ¿Qué sistemas de tratamiento de lixiviado de vertederos es más eficiente en la eliminación de contaminantes fisicoquímicos? y como objetivo general es evaluar los sistemas de tratamiento de lixiviado de vertederos es más eficiente en la eliminación de contaminantes fisicoquímicos, así como se tiene problemas específicos:

PE1: ¿Qué tipos de contaminantes fisicoquímicos están presentes en los lixiviados de vertederos?

PE2: ¿Cuáles son las características fisicoquímicas de los lixiviados de vertederos según su edad?

PE3: ¿Qué métodos se aplican para el tratamiento de lixiviados de vertederos?

PE4: ¿Cuáles son las condiciones operativas de los tratamientos de biológico y fisicoquímico?

Como objetivos específicos se tiene a los siguientes:

OE1: Identificar los contaminantes fisicoquímicos del lixiviado de vertederos.

OE2: Analizar las características fisicoquímicas de los lixiviados de vertederos según su edad.

OE3: Analizar los métodos que se aplican en el tratamiento de lixiviados de vertederos.

OE4: Analizar las condiciones operativas de los tratamientos biológicos y fisicoquímicos.

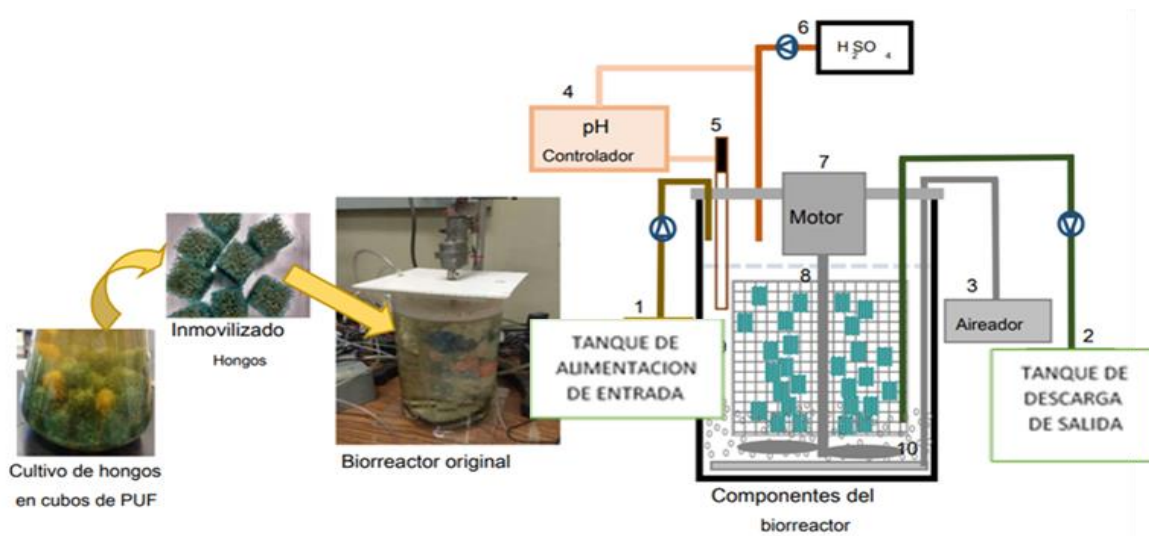
Por otra parte los sistemas de tratamientos de lixiviados de vertederos son de interés para todo el mundo ya que países desarrollados y subdesarrollados optan por eliminar sus desechos mediante el vertedero tradicional causando la contaminación del medio ambiente que como persona y profesional es de mi interés, siendo el principal desafío abarcar los problemas y objetivos presentado en la investigación se logró realizar un revisión sistemática de artículos científicos buscando en ellos los siguientes puntos: metodología, condiciones operativas, características de los lixiviados, contaminantes de lixiviados, eficiencia de eliminación, métodos/tratamientos/procesos de lixiviados de vertederos, entre otros puntos de interés para la presente investigación. Por lo tanto, el gran desafío es desarrollar una revisión sistemática eficaz para el tratamiento del lixiviado de vertederos.

II. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se analizó los artículos mediante la metodología de revisión sistemática recopilando contenidos con teorías y conceptos basados en el presente estudio para una adecuada comprensión dando una descripción detalla.

La remediación de la contaminación por lixiviados es un desafío para científicos y profesionales encargados del estudio del medio ambiente **(Nair, Senthilnathan y Nagendra, 2019, pág. 322)** por lo que se pueden aplicar varias tecnologías en el tratamiento tales son los tratamientos biológicos, fisicoquímicos y la combinación de ambos tratamientos **(Farias, et al., 2019, pág. 1) (Al-Wasify, Ali y Hamed, 2018, pag.3) (Kumari, Ghosh y Thakur, 2016, pág.45)**, como resultado del estudio de revisión sistemática se analizó los tratamiento biológicos según **(Islam, Xu y Yuan, 2020, pág. 287)** investigo el SBR de lodos activados aeróbicos y el reactor fúngico para la eliminación eficiente de contaminantes que obtuvo una eliminación de DQO, DQO soluble (DQOs), carbono total (TC), carbono orgánico total (TOC) y eficiencias de eliminación de color a través de Lac, LiP y MnP actividades enzimáticas para iniciar el tratamiento **(Islam, Xu y Yuan, 2020, pág. 287)** se pretrato aeróbicamente el lixiviado para reducir las concentraciones de nitrógeno de amonio en el SBR de lodo activado se alimentó con 80% de lixiviado maduro operando a 8 h por ciclo con aireación de 7,5 h a una tasa de flujo de aire de 2 L/min con pH 5 ajustado, se almacenado a 4 °C para luego ser utilizado en el tratamiento fúngico se observó el modelo utilizado en la **figura 1**, también **(Islam, Xu y Yuan, 2020, pág. 288)** utilizo un biorreactor de lecho a escala de banco donde se cultiva el hongo *Penicillium spp.* que trabajo a pH 5 ajustado con aireación continua 2 L/min se alimentó de lixiviado maduro pretratado cada ciclo funciona a 6 h con temperatura de 25°C y el tiempo de operación fue de 264 h **(Islam, Xu y Yuan, 2020, pág. 295)** obteniendo un HRT a 120 h, la DQO total de eliminación fue 64% así como, TC 60%, TOC 58% y la eliminación del color 75% con 149, 27 y 16 U/L de actividades enzimáticas Lac, LiP y MnP **(Islam, Xu y Yuan, 2020, pág. 294)** sugiere que la HRT a 96 h podría considerarse como tiempo óptimo de contacto entre lixiviado maduro y hongos en el biorreactor.

Figura 1: Esquema del biorreactor de lecho empacado



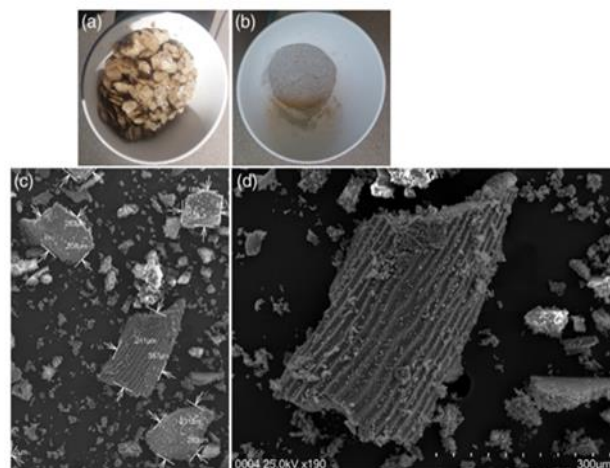
Nota: 1. Tanque de alimentación de entrada, 2. Tanque de descarga de salida, 3. Aireador, 4. Controlador de pH, 5. Sonda de pH, 6. Recipiente de solución ácida, 7. Motor mezclador, 8. Eje del motor, 9. Jaula con hongos inmovilizados en PUF cubos, 10. Difusor de aire

Fuente: (Islam, Xu y Yuan, 2020, pág. 288)

De igual manera (**Chen, Wang, Yang, Mirino y Yuan, 2016, pág. 581**) investigo los mecanismos de eliminación de nitrógeno mediante la nitrificación y desnitrificación por un proceso de lodos activados que realizó en un reactor piloto con volumen total de trabajo de 720 L que se dividió en 4 cámaras iguales denominadas zona anóxica 1 (A1) se utilizó para la desnitrificación de nitrito/nitrato a 32°C, zona óxica 1 (O1) y zona óxica 2 (O2) para la nitrificación a 27°C, zona anóxica 2 (A2) para una mayor desnitrificación si se necesita a 27°C, como primer paso se tomó lodos de semillas del MBR para realizar la operación de aclimatación de lodos y nitrificación estable el proceso AOOA funciono con una alimentación seguida por 188 días que se dividieron a cinco fases en la fase I que duro 1 a 58 días se acumuló la nitrificación a concentración baja de amonio con OD de 0.1-0.3 mg/L que se detuvo en la fase II en los 59 a 69 días para reiniciarse en la fase III los 70 a 80 días para recuperar la nitrificación en la fase IV los 81 a 132 días a una concentración de amonio creciente con OD de 0.1– 0.3 mg/L y en la fase V de los 133 a 188 días con) estaba con una tasa de flujo de entrada creciente (60, 72, 84,

90, 100, 110,120 L/d) con OD de 0.3 a 0.5 mg / L para saber la eliminación de contaminantes, se tuvo una SRT en los 15 y 25 días, la relación de C/N fue 2, **(Chen, Wang, Yang, Mirino y Yuan, 2016, pág. 588)** obtuvo una eficiencia de eliminación de DQOcr de 67.4%, amonio superior a 95% y TN de 66.4% con un OD 0.1–0.5 mg/L que demostró que el proceso es AOOA es factible, también **(Kumari, Ghosh y Thakur, 2016, pág.45-46)** investigo el tratamiento de lixiviados mediante bacterias y algas, las algas fueron tratadas durante 10 días (A10), bacterias tratadas durante 10 días (B10) y bacterias con algas tratadas durante 10 días (AB10) realizando su respectivo cultivo donde la bacteria utilizada fue *Paenibacillus sp.* y con la alga *Scenedesmus sp.* con temperatura de 30°C, concentración de lixiviado al 20% (v/v) y una absorbancia de 600 nm para bacterias y 680 nm para algas obteniendo una mayor eliminación en la combinación de bacterias con algas **(Kumari, Ghosh y Thakur, 2016, pág.49)** con una de DQO 52.20%, Cr 91.10%, Ni 69.20%, Pb 74.90%, Zn 92%, Fe 83.60% y una TDS 51.80%, **(Poblete, Cortes, Bakit y Luna-Galiana, 2020, pág. 1551-1552)** investigo el proceso de adsorción utilizando carbón activado producido por las escamas de pescado que se observa en la **figura 3** el antes y después de ser trituradas, el

Figura 2: Escamas de pescado (a) antes y (b) después del proceso de activación; (c) y (d) microscopía electrónica de partículas.



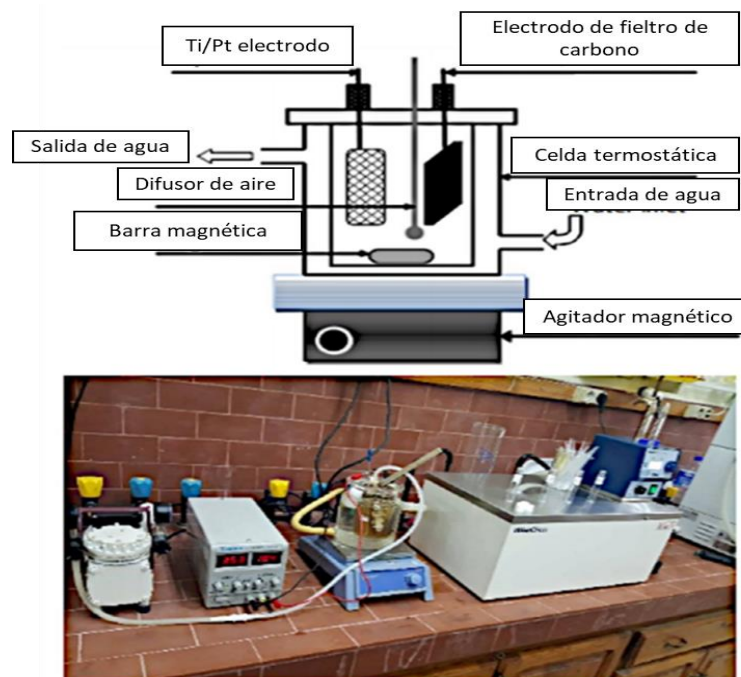
Fuente: Poblete, Cortes, Bakit y Luna-Galiana, 2020, pág. 1552

pescado utilizado fue *Sardinella maderensis* se realizó el lavado de las escamas con agua destilada, secadas en el horno a 105°C, se activaron térmicamente a 700 °C durante 5 h y por último se trituraron para obtener partículas con tamaño 0,5 entre 0,9 mm, para luego ser utilizadas en el proceso de adsorción las cuales se trabajaron a una temperatura 19°C, pH 6.71, 10 y 3 ajustados con HCL o NaOH siendo 6.71 el pH óptimo, tiempo de operación de 3h, carga de CA 3 g/L y agitándose a 150 rpm durante 180 min por agitadores magnéticos (**Poblete, Cortes, Bakit y Luna-Galiana, 2020, pág. 1556**) obteniendo una eliminación de DQO 37.30% y color 60.10%, (**Zegzouti, et al., 2020, pág. 109822-109823**) investigo la biorremediación de lixiviados mediante el cultivo de hongos utilizando *Aspergillus flavus*, se recolecto las esporas de hongos de la placa obteniendo esporas con concentración 10% (v / v) se realizó un cultivo sumergido en un matraz Erlenmeyer de 250 ml que contenían 200 ml de medio de desarrollo de inóculo en medio de glucosa 30 g; NaNO 3,3 g; K2HP04 1 g; MgS04.7H2O 0.5 g; KCl 0.5 g; 1 mL de solución de oligoelementos luego se preparó tres inóculos de hongos por separado para la biorremediación utilizando 2ml de muestras de lixiviado crudo joven, mediano y viejo con una incubación a 28°C durante 3 días con agitación a 150 rpm / min y una concentración de esporas de 1x10⁷ esporas / mL este primer paso se trabajó en medio líquido para la germinación ahora se pone en práctica, se trabajó con doce tratamientos realizados en una matraz Erlenmeyer de 250 ml que contenían 150 ml de medio de cultivo con concentraciones, 100%, 50% y 25% de lixiviado algunos con una incubación a 28°C durante 3 días con agitación de 150 rpm/min (**Zegzouti, et al., 2020, pág. 109830**) obteniendo una eliminación de DBO 47.9-81.63% y DQO 12.91-48.50% fue en lixiviado joven y amonio 70,84-98,81% en lixiviado viejo.

De igual manera se mencionó a los tratamientos fisicoquímicos como los procesos de oxidación avanzada (POAs) destacando los procesos fentón entre ellos se analizó según (**Sruthia, Gendhimathi, Ramesh y Nidheesh, 2018, pág. 43**) estudio el proceso de heterogéneo de fentón y electro-fentón (**Sruthia, Gendhimathi, Ramesh y Nidheesh, 2018, pág. 44**) realizó el proceso un reactor discontinuo se trabajó con 200 ml de muestra a la cual se añadió H₂O₂ y 400 ml a ambos añadió el catalizador se mezclaron a 100 a 200 rpm a temperatura ambiente

(**Sruthia, Gendhimathi, Ramesh y Nidheesh, 2018, pág. 54**) con las siguientes condiciones para el proceso fentón heterogéneo se utilizó 700 mg/L catalizador, 0.033 MH_2O_2 y pH 3 así como el proceso heterogéneo de electro-fentón trabajo con 25 mg/L catalizador, pH 3, voltaje 4 V obteniendo una eliminación de DQO 88.6% para el proceso fentón y proceso EF para una DQO 87.5%, según (**Ding, et al., 2021, pág. 117669**) investigo el tratamiento por electrocoagulación junto al proceso electro-fentón que estudio los mecanismos de eliminación de contaminantes en un reactor electroquímico con hierro y DSA como ánodos duales la cual se realizó en paralelo para el proceso de EC se trabajó con ánodo de hierro y el filtro de carbono como contraelectrodo y el proceso EF trabajo con un ánodo estable dimensional (DSA), cátodo de filtro de carbono y iones de hierro de 1 mM el proceso se llevó a cabo de una densidad de corriente de 30 mA/cm^2 y un voltaje de 7 V, 7Ah/L y consumo de energía de 67,8 kWh/kg DQO (**Ding, et al., 2021, pag. 117673**) se eliminó un 57% de DQO y 60% de amoniaco y también (**Rouidi, Mauricio, Boukhissa, Ait-Amar y Balamane, 2019, pág. 125-126**) investigo el proceso electro-fentón para tratamiento de lixiviados trabajó en un reactor electroquímico que se observó en la **figura 4** el reactor utilizado.

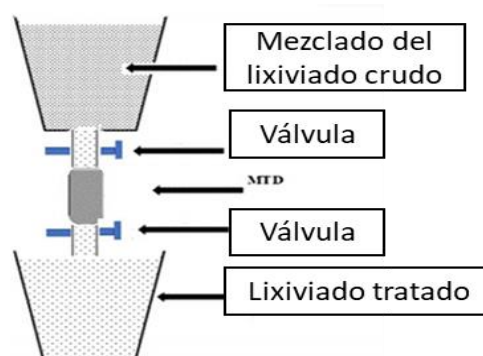
Figura 3: Configuración experimental para el proceso electro-fentón



Fuente: Rouidi, Mauricio, Boukhissa, Ait-Amar y Balamane, 2019, pág. 126

Se inicio con la electrolisis que se burbujeó para permitir la electrogeneración de H_2O_2 con un pH 3 acidificado luego se mezcló a una velocidad de agitación de 1000 rpm, la distancia entre electrodos a 2,5 cm permitió un mejor contacto con el contaminante y los radicales libres con un tiempo de operación de 285 min con 3 A de intensidad de corriente y temperatura de 20°C (Rouidi, Mauricio, Boukhissa, Ait-Amar y Balamane, 2019, pág. 135) se tuvo una eliminación de DQO del 91,1%, biodegradabilidad de 0.42, por otra parte se mencionó las tecnologías de membranas según (De Almeida, et al., 2020, pág. 2-3) investigo el método de nanofiltración evaluó la eficiencia del proceso que trabajo con dos membranas comerciales poliméricas (SR100 con superficie hidrófila y NP030 con superficie hidrófoba) para ver el desempeño en el módulo de filtración a escala banco las membranas según (De Almeida, et al., 2020, pág. 6) se compacto durante 2 horas con agua destilada a 2 bares, el tiempo de operación fue de 250 min, a presión transmembrana de 8 bares a 120 L/h tasa de flujo cruzado como resultado (De Almeida, et al., 2020, pág.9) las membranas SR100 demostraron un menor ensuciamiento que las membranas NP030 también se demostró que las sustancias húmicas se redujeron de 821 mg/L a 84 mg/L representando un 90% de eliminación se recomienda trabajar con la membrana SR100 aunque el ensuciamiento de la membrana es inevitable para el proceso de NF y por último se mencionó al autor (Al-Wasify, Ali y Hamed, 2018, pag. 2) que evaluó la eficiencia de las fuerzas magnética utilizando tres intensidades diferentes se trabajó a escala banco el modelo utilizado en este proceso se muestra en la figura 6 también

Figura 4: Diagrama esquemático del tratamiento magnéticos a escala de banco del lixiviado

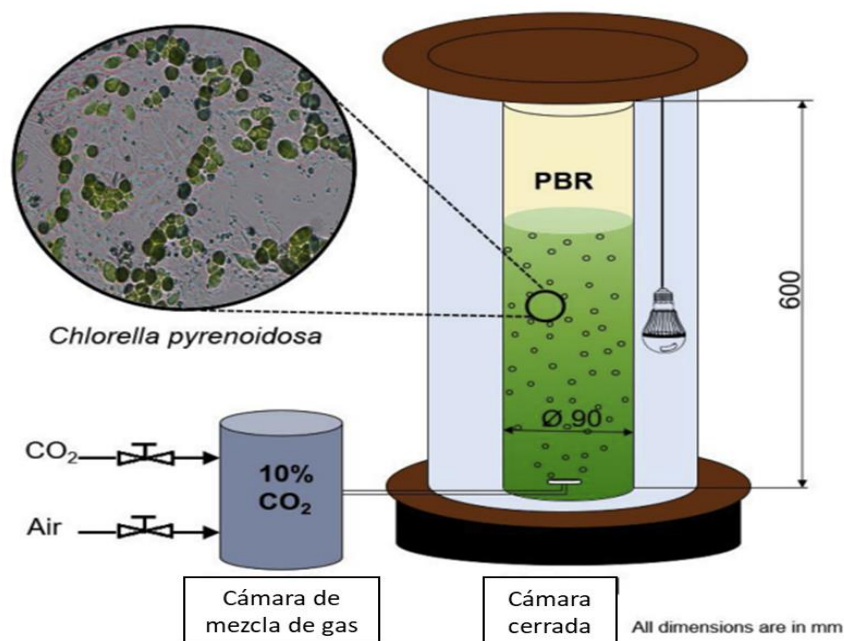


Fuente: Al-Wasify, Ali y Hamed, 2018, pag. 4.

(Al-Wasify, Ali y Hamed, 2018, pág. 4) utilizó un dispositivo de tratamiento magnético (MTD) que estudio el tiempo de exposición con el lixiviado las cuales fueron a intensidad magnética de 120, 240 y 360 μT con los tiempos de 1, 1,5 y 2 h (Al-Wasify, Ali y Hamed, 2018, pag.6-7) deduciendo que al aumentar la intensidad magnética aumentaba la eliminación de contaminantes en este caso la mayor intensidad magnética es 360 μT con un porcentaje de eliminación de 16% para la conductividad eléctrica, TSS 16%, DBO 38.2%, DQO 30,5%, pH 7.1 y nitrógeno amoniacal 32.7%.

Por otra parte, se mencionó a la combinación del tratamiento biológico y fisicoquímico según (Nair, Senthilnathan y Nagendra, 2019, pág. 323) investigo el proceso de coagulación seguido de la fitorremediación utilizando las microalgas *Chlorella pyrenoidosa* se observa el PBR utilizado en la **figura 5**, las microalgas

Figura 5: Configuración de PBR de columna de burbujas para la fitorremediación de lixiviados de vertederos

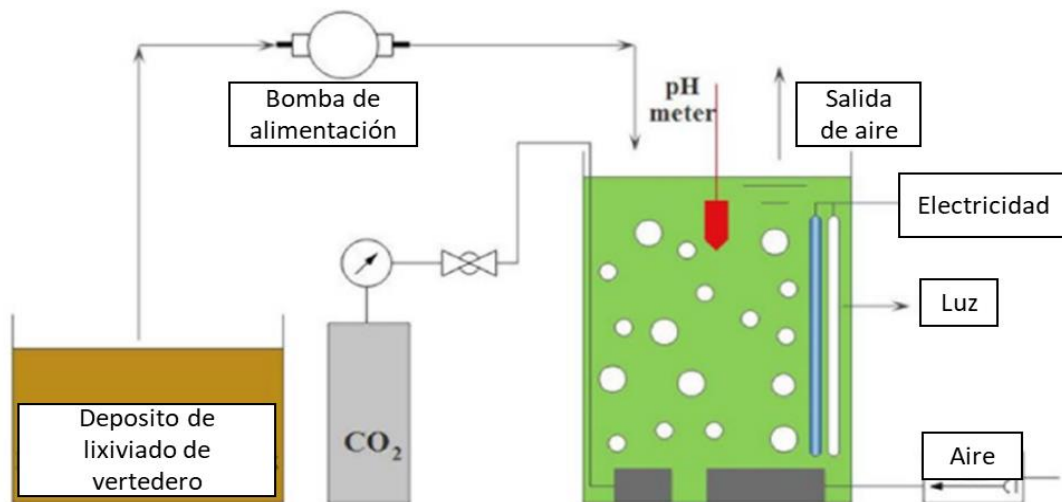


Fuente: Nair, Senthilnathan y Nagendra, 2019, pág. 324

fueron cultivadas a 26°C , se mantuvo a pH de 7-8, 120 ml de Medio Basal Bold (BBM), intensidad de luz de 8000 lux a 20 días y una agitación orbital de 100 rpm

para luego ser incubadas como siguiente paso (**Nair, Senthilnathan y Nagendra, 2019, pág. 323**) se realizó el proceso de coagulación a 25°C, 500ml de lixiviado, velocidad de agitación a 30 rpm durante 20 min y 4 mg/L de alumbre para luego realizar la fitorremediación en una columna de PBR a 26.2°C con 3 L de lixiviado pretratado de vertidos en el reactor, se aireo al 10% de CO₂ y se inoculó el 2.9 g/L de cultivo de microalgas preparados se obtuvo según (**Nair, Senthilnathan y Nagendra, 2019, pág. 327**) como resultado final una DQO 74%, TN 76%, fosfato 96%, nitrógeno de amonio 95% y DOC 91% son los resultados de la eliminación, también (**Ganjian, Peyravi, Qoreyshi, Jahanshahi y Rad, 2017, pág. 767**) evaluó la eficiencia del carbón activado en polvo (PAC) sobre el PBR como un nuevo sistema operativo denominado fotobiorreactor de adsorción (APBR) el modelo utilizado se representó en la **figura 6** para una mejor eficiencia se trabajó con la

Figura 6: Vista esquemática del sistema de tratamiento del fotobiorreactor



Fuente: Ganjian, Peyravi, Qoreyshi, Jahanshahi y Rad, 2017, pág. 768

metodología de superficie de respuesta (MSR) se realizó el cultivo de microalgas *Chlorella vulgaris* la cual se mantuvo en BBM a 25°C y una intensidad de luz de 12000 lux aproximadamente para luego trabajar en el APBR, los experimentos se realizaron por lotes a 23–27 °C, 1000 ml de microalgas y 1000 ml de lixiviado en una proporción de 50% (v/v), HRT 2,5 días, concentración de DQO 600 mg/l y como absorbente PAC 0,5 g/L se obtuvo una eliminación según (**Ganjian, Peyravi, Qoreyshi, Jahanshahi y Rad, 2017, pág. 774**) de DQO 47.9%, nitrógeno 87.7%,

fosfato 75.2% y UV254 34.30%, de igual manera según **(Oumar, Patrick, Gerardo, Rino y Ishen, 2016, pág. 478-479)** investigo la viabilidad de acoplar un proceso biológico (biofiltración) con un proceso electroquímico (electrocoagulación) se inició con el proceso BF que trabajo a 22°C, se añadió calcita para amortiguar el pH y como fuente de carbono mineral para los microorganismos, tasa de flujo 5.3 L/d y se aireo a un caudal de 5 l/min para luego seguir con el proceso EC con una densidad de corriente 10 mA /cm² durante 30 min de tratamiento se obtuvo según **(Oumar, Patrick, Gerardo, Rino y Ishen, 2016, pág. 483)** una eliminación de DQO 94%, nitrógeno de amonio 94% y turbiedad 95% para EC y para BF una DBO 98%, fósforo 53% y color 85%, de igual manera según **(Yong, Bashir, Ng, Sethupathi y Lim, 2018, pág. 245)** estudio la eficiencia del tratamiento mediante un SBR seguido del proceso de coagulación se obtuvo la muestra de lodo de una planta de tratamiento para luego ser cultivado durante 10 días seguidamente el SBR trabajo a 23 y 26 °C con una SRT de 30 días a un volumen 1,5 L para cada reactor llenados con 80 ml de lixiviado y 720 ml de lodo fresco, HRT 10 días, reacción y aireación fueron de 22 h con una tasa de aireación de 3.0 L/min y una decantación de 90 minutos seguido del proceso coagulación con un pH 7, 1,0 g/L sulfato de aluminio (Alumbre) se obtuvo según **(Yong, Bashir, Ng, Sethupathi y Lim, 2018, pág. 251)** una eliminación de DQO 84.89%, nitrógeno amoniacal 94,25%, cadmio 95.00%, arsénico 34.80%, níquel 41.30%, plomo 95%, zinc 41.20%, hierro 62.90%, manganeso 22.90%, bario 87.20%, cobre 95.30%, selenio 100%, plata 50%, color 85,81% y TSS 91,82% y por último se tuvo a **(Baiju, Gandhimathi, Ramesh y Nidheesh, 2018, pág. 329-330)** que investigo la combinación del proceso electro-fentón con el proceso biológico se trabajó con el proceso EF a un pH 3 ajustado con 50 mg/L de nanopartículas molibdofosfato de hierro (FeMoPO) como catalizador, voltaje 5 V y un espacio de electrodo 3 cm y área de electrodo 25 cm² seguidamente se realizó el proceso biológico utilizando el cultivo bacteriano se añadió 1 ml de cultivo mixto a 100 ml de lixiviado crudo y pretratado siendo incubado a 37°C a 110 rpm durante 5 días se obtuvo según **(Baiju, Gandhimathi, Ramesh y Nidheesh, 2018, pág. 336)** una eliminación de DQO 97%.

El vertedero es un terreno diseñado para la disposición final de los residuos sólidos que consiste básicamente en enterrar los residuos sólidos en la parte inferior para

luego ser enterrada con varias capas de tierra superior determinada (**Kamaruddin, Aziz, Alrozi y Jaafar, 2017, pág. 158**) (**Zhang y Surampalli, 2016, pag.1**), en la mayoría de los países los vertederos se encuentran bastante alejados de las actividades humanas para evitar los inconvenientes de la población humana y ambiental según (**Kamaruddin, Aziz, Alrozi y Jaafar, 2017, pág. 158**) por otra parte tenemos los tipos de vertederos: los vertederos de residuos sólidos urbanos (MSWLF), vertederos de desechos industriales (IWLF), vertederos de escombros de construcción y demolición (CDDL) y vertederos de residuos peligrosos esta clasificación la realizo (**Zhang y Surampalli, 2016, pag.2**), de igual manera se mencionó la clasificación de los rellenos sanitarios según su infraestructura primero está el relleno sanitario manual cuyo proceso se realizó mediante el uso de herramientas simples y la capacidad de operación no sobrepasa las 20 toneladas de residuos, segundo el relleno sanitario semi-mecanizado tiene una capacidad de operación que no sobrepase las 50 toneladas de residuos el trabajo se realizó mediante un equipo mecánico completando con la herramientas manuales y tercero el relleno sanitario mecanizado la capacidad de operación es superior a 50 toneladas de residuos trabajado mediante equipos mecánicos según la (**Ley N° 27314 General de residuos sólidos**), por otra parte se tuvo las fases de descomposición de los residuos que va de una fase I a fase V describiendo los procesos que ocurren durante la deposición de los residuos sólidos se pueden observar en la **tabla 1** (**Kamaruddin, Aziz, Alrozi y Jaafar, 2017, pág. 167**).

Tabla 1: Fases de descomposición

Fase	Características
Fase I Ajuste inicial	Los residuos sólidos son depositados en el vertedero para luego ser enterrados y con el pasar de días se inicia la descomposición microbiana en condiciones aeróbicas por el oxígeno que presenta en los residuos sólidos, ocurre el proceso de hidrólisis pase a ser un proceso de gasificación, reducción de la DQO y aumento del pH resultando compuestos de nitrato, CO ₂ , iones sulfato y calor.
Fase II Transición	Se presencia el cambio de condiciones aeróbicas transformándose en anaeróbicas por la disminución de oxígeno así mismo se incrementa el CO ₂ , generando reacciones biológicas donde sulfato, nitrato y materia orgánica se conviertan a sulfuro de hidrogeno, nitrógeno gaseoso y ácidos

	orgánicos como resultado al obtener CO ₂ y ácidos orgánicos volátiles (VOA) también se incrementó la DQO y pH.
Fase III Formación de ácido	Llamada acetogenica por las bacterias acidogénicas son encargadas de formar el ácido, ocurriendo tres procesos: hidrolisis encargada de generar alimentos para los microorganismos hidrolizando a los lípidos, polímeros orgánicos y proteínas que son compuestos energéticos, el proceso de acidogénesis es el encargado de convertir al ácido fúlvico y ácido acético mediante una conversión bacteriana y por último la producción de CO ₂ causado por la disolución de ácido orgánico generando un pH igual o menor a 5, el incremento de DBO, DQO y la conductividad del lixiviado.
Fase IV Metano Fermentación	Llamada también metanogenica por las bacterias de este tipo que convierten a los ácidos orgánicos en metano y CO ₂ , nitrato en amoniaco y sulfato en sulfuros, el proceso acetogenica también se hace presente generando un incremento de pH 6 a 8.8 pero la DQO, DBO y la conductividad del lixiviado se redujeron.
Fase V Maduración	El lixiviado logra estabilizarse debido a que los nutrientes y sustrato son escasos para la descomposición biológica, así como para la producción de gas quedando los ácidos húmicos y fúlvicos que son recalcitrantes.

Fuente: Kamaruddin, Aziz, Alrozi y Jaafar, 2017, pág. 167

Por otro parte como ya se hizo mención al tipo, clasificación según la infraestructura y las fases intervienen en la composición del lixiviado según la **(Ley N° 27314 General de residuos sólidos) (Sil y Kumar, 2017, pág. 391) (Kamaruddin, Aziz, Alrozi y Jaafar, 2017, pág. 170)** denominan al lixiviado como un líquido derivado de los residuos generado por los distintos procesos tales como reacciones, filtración, arrastre, percolación ,descomposición, entre otros, produciendo un líquido de color marrón oscuro y olor maloliente que a su vez contiene compuestos en su mayoría son contaminantes en la **imagen 1** se observó el efluente de lixiviado.

Figura 7: Lixiviado



Fuente: Roy, Drogui, Tyagi, Landry y Rahni, 2020

Según **(Zhang y Surampalli, 2016, pag.3)** **(Vaccari, Tudor y Vinti, 2019, pág. 418)** en la calidad del lixiviado también interviene las condiciones climatológicas (variaciones estacionales y lluvias) así como la humedad, temperatura, oxígeno disponible y la edad del vertedero, según **(Sruthia, Gandhimathi, Ramesh y Nidheesh, 2018, pag. 40)** mencionó la clasificación según la edad estos pueden ser jóvenes, medianos o intermedios y viejos o estabilizados dependiendo en la fase que se encuentren, los indicadores del lixiviado destacados se observó en la **figura 8.**

Figura 8: Parámetros del lixiviado

GRUPO DE PARÁMETROS	PARÁMETROS
Indicadores de Lixiviado	Dureza como CaCO ₃ , Alcalinidad total como CaCO ₃ , Sólidos suspendidos totales, Conductividad específica, pH, Carbón orgánico total, DOB y DQO.
Aniones y cationes comunes	Calcio, Manganeso, Sulfato, Magnesio, Amoniac, Sodio, Carbonato, Potasio, Bicarbonato, Sílice, Fierro, Mercurio, Arsénico y Plomo.

Fuente: Ley N° 27314 General de residuos sólidos

Por otra parte, se mencionó anteriormente que los lixiviados generan compuestos según **(Nair, Senthilnathan y Nagendra, 2019, pág. 322)** **(Yong, Bashir, Ng, Sethupathi y Lim, 2018, pág. 244)** pueden ser compuestos orgánicos e inorgánicos, según **(silva, et al., 2017, pág. 100)** los compuestos orgánicos presentan un alto contenido de nitrógeno y orgánicos recalcitrantes que por su toxicidad causan contaminación de los recursos suelo y agua, también los compuestos inorgánicos que incluyen los metales pesados según **(Rawat, Verma y Singh, 2019, pág. 381)** son provenientes de los desechos electrónicos, en la **tabla 2** se observó los compuestos del lixiviado.

Tabla 2: Composición fisicoquímica de lixiviado de vertedero

Composición del lixiviado	Indicadores	Fuente
Compuestos orgánicos	Compuestos biodegradables (DQO, DQOcr, DBO, fosforo, fosforo total, nitrógeno, nitrógeno total, coliformes fecales, carbono total)	(Silva, et al., 2017, pag. 102) (Al-Wasify, Ali y Hamed, 2018, pag. 1436120) (Oloibiri, De Coninck, Chys, Demesstere y Van Hulle, 2017, pág. 876) (Kumari, Ghosh y Thakur, 2016, pág.44) (Oumar, Patrick, Gerardo, Rino y Ishen, 2016, pág. 479) (Yong, Bashir, Ng, Sethupathi y Lim, 2018, pág. 248) (Del moro, et al., 2016, pag. 639) (De Almeida, et al., 2020, pag. 4) (Farias, et al., 2020, pág.5) (keen, 2016, pág. 2) (Moddy y Townsend, 2017, pág. 268)
	Compuestos recalcitrantes (sustancias húmicas, ácidos fúlvicos)	(Ding, et al., 2018, pag. 04017082) (Poblete, Cortes, Bakit y Luna-Galiana, 2020, pág. 1556) (De Almeida, et al., 2020, pág. 5)
	Hidrocarburos (compuestos hidrófilos)	(Dia, Drogui, Buelna, Dubé y Ihsen, 2017, pág. 1136)
Compuestos inorgánicos	Amoniaco, amonio, nitrógeno de amonio, nitrógeno de nitrito, nitrógeno de nitrato, nitrito, nitrato, nitrógeno amoniacal, aniones (sulfato, cloruro, fluoruro, fosfato)	(Quan, et al., 2019, pág. 119183) (De Almeida, et al., 2020, pág. 5) (Moddy y Townsend, 2017, pág. 268)

	Metales pesados (Cd, Fe, Mn, Zn, Ni, As, Pb, Hg, Ag, Al, Co, Ba, Cr y Cu) también se tiene a otros elementos químicos (K, Ca, Mg, Na, B, Sb, P, Sr y Se).	(Oloibiri, De Coninck, Chys, Demesstere y Van Hulle, 2017, pág. 876) (Kumari, Ghosh y Thakur, 2016, pág.44) (Nair, Senthilnathan y Nagendra, 2019, pág. 322) (Poblete, Cortes, Bakit y Luna-Galiana, 2020, pág. 1556)
Características de los lixiviados	TSS, VSS, OD, CO2 disuelto, TS, TVS, SS, DOC, turbiedad, TDS, TA, salinidad y TOC.	(Del moro, et al., 2016, pag. 639) (Kumari, Ghosh y Thakur, 2016, pág.44) (Moddy y Townsend, 2017, pág. 268) (Silva, et al., 2017, pag. 102) (Al-Wasify, Ali y Hamed, 2018, pag. 1436120)

Fuente: Elaboración propia

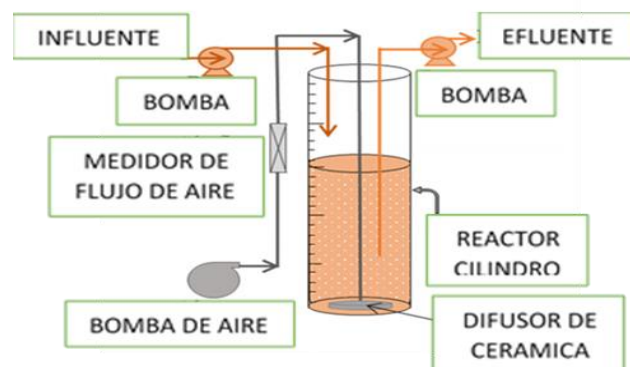
Según **(Kamaruddin, Aziz, Alrozi y Jaafar, 2017, pág. 175)** para determinar los indicadores del lixiviado se realizó la recolección o canalización del lixiviado mencionó dos métodos de canalización como primer método es por tratamiento combinado con aguas residuales domésticas que consiste básicamente que el lixiviado descargue a un alcantarillado junto con las aguas residuales para luego ser tratados y como segundo método la recirculación que consiste que el lixiviado de la base suba hasta la punta del vertedero de esta manera mejorara la calidad del lixiviado también **(Oumar, Patrick, Gerardo, Rino y Ishen, 2016, pág. 478)** **(Ganjian, Peyravi, Qoreyshi, Jahanshahi y Rad, 2017, pág. 767)** mencionó que las muestras obtenidas deben ser almacenadas a 4°C para un uso posterior adecuado.

Prosiguiendo con los compuestos de los lixiviados según **(Sil y Kumar, 2017, pág. 391)** deben ser tratados antes de ser eliminados al medio ambiente, según **(Kumari, Ghosh y Thakur, 2016, pág.45)** **(Al-Wasify, Ali y Hamed, 2018, pag.3)** se ha explorado una variedad de procesos para tratar el lixiviado de vertederos mediante los tratamientos biológicos y fisicoquímicos, según **(Ley N° 27314 General de residuos sólidos)** los tratamientos de lixiviados son los encargados de minimizar los límites del contaminante mediante filtros percoladores, lagunas de estabilización, reactores anaerobios de flujo ascendente, entre otros.

Por otra parte, **(Sil y Kumar, 2017, pág. 395)** los tratamientos biológicos son los

encargados de eliminar los compuestos biodegradables y la materia orgánica, según **(Al-Wasify, Ali y Hamed, 2018, pag.3)** clasifico en tratamientos biológicos aeróbicos y anaeróbicos a continuación se dará la descripción detallada, según la **(Ley N° 27314 General de residuos sólidos)** mencionó que el proceso aeróbico desarrolla la descomposición de residuos sólidos en presencia de oxígeno libre mientras que el proceso anaeróbico es realizado en ausencia de oxígeno. Prosiguiendo con la descripción de los tratamientos biológicos se tuvo los métodos de tratamientos biológicos aeróbicos del lixiviado son producidos mediante aireación, según **(Kamaruddin, Aziz, Alrozi y Jaafar, 2017, pág. 176)** mencionó **los procesos de lodos activados** consiste en inyectar microorganismos en un tanque con oxigeno generando flóculos biológicos, los microorganismos son alimentados por materia orgánica del lixiviado que posteriormente serán convertidos en masa microbiana obteniendo CO₂, agua y lodo en los que ocurre distintos tipos de reacciones como coloidales y suspendidos en flóculos de lodo, biodegradación de sustancias orgánicas, ingestión de bacterias por protozoos, absorción de orgánicos solubles, oxidación de amonio a nitrito y nitrato así como desnitrificación, también **(Islam, Xu y Yuan, 2020, pág. 287)** **(Kamaruddin, Aziz, Alrozi y Jaafar, 2017, pág. 176)** mencionó el **reactor biológico secuencial (SBR)** consiste en un diseño para trabajar en condiciones de estado estacionario iniciando con el llenado es cargado con lixiviado para luego ser inyectado con oxígeno para facilitar la alimentación del microorganismo por sustratos para así realizar la biodegradación y nitrificación, en la aireación se realizó la separación de solido-liquido, para obtener la sedimentación de lodo y decantación se retira el efluente tratado, en la **figura 8** se observó un diseño de SBR utilizado para tratar el lixiviado.

Figura 9: Diagrama esquemático de SBR aeróbico



Fuente: Islam, Xu Yuan,2020, pág.287

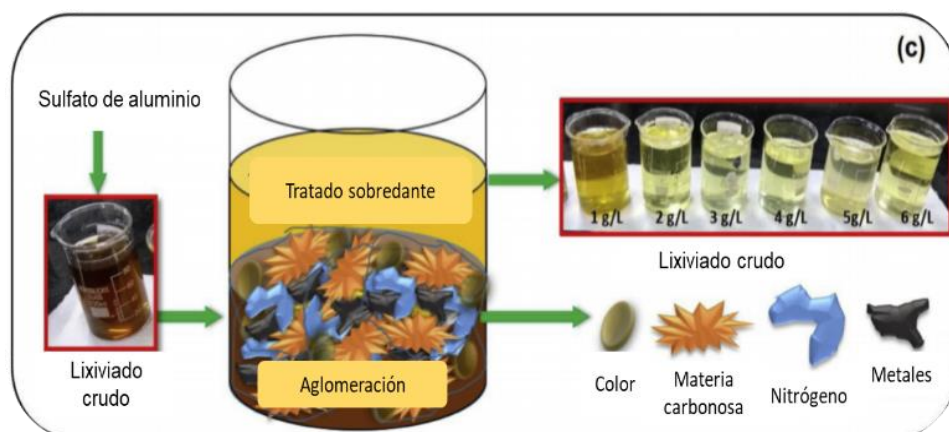
Siguiendo con la descripción según **(Kamaruddin, Aziz, Alrozi y Jaafar, 2017, pág. 176)** mencionó el método de **laguna aireada** consiste en un tanque artificial con microorganismos teniendo la presencia del oxígeno en las profundidades, así como de forma natural, también está el método **cama de juncos** su diseño está basado en un lecho de pendiente por donde ingresa el lixiviado, así como el oxígeno que tiene una barrera impermeable con un plantado de hidrofitos como los juncos principalmente posteriormente las bacterias aeróbicas que se encuentran en los rizomas de caña oxidan los orgánicos del lixiviado, seguimos con el método de **filtro goteando** llamado también filtro aireado biológico tiene un diseño circular con profundidades variables de 0,9 a 2,5 m con una media de 1,8 m compuesto por un lecho altamente permeable, un distribuidor de agua y con un sistema de drenaje, en este proceso los microorganismos son adheridos al filtro medio donde las rocas, plásticos y madera se alimenta de la materia orgánica de los lixiviados, así como la retención de los sólidos suspendidos evitando la sedimentación se obtuvo una eliminación de carbono y nitrógeno y por último está el **biorreactor de lecho móvil (MBBR)** se usa polímeros porosos suspendidos en movimiento que son portadores para fijar a los microorganismos en el tanque de aireación, este proceso sucede en el reactor donde los microorganismos son adheridos a un portador de biopelícula de plásticos en continuo movimiento a un volumen adecuado, así como los bioportadores son los encargados de llevar oxígeno y sustrato que es el alimento de los microorganismos finalizando el proceso se obtiene sedimentación, lodos y efluente.

De igual manera se realizó la descripción de los métodos de tratamientos biológicos anaeróbicos del lixiviado, según **(Kamaruddin, Aziz, Alrozi y Jaafar, 2017, pág. 176)** mencionó el método de **reactor biológico secuencial anaeróbico (ASBR)** el proceso se realizó similar al SBR, pero en condiciones anaeróbicas también está el **Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (UASB)** consiste en que los lixiviados atraviesan un lodo anaeróbico de manera ascendente en un tanque donde los microorganismos se alimentan y degradan los orgánicos del lixiviados, la presencia de biogás (metano y dióxido de carbono) mejor en contacto de microorganismos y los sustratos mejorando la biodegradación resultado gas, lodo y efluente, siguiendo con la descripción se tiene al método **filtro anaeróbico** el proceso se constituyen

poblaciones de bacterias anaeróbicas debido al medio filtrante degradando a las sustancias orgánicas de los lixiviados, también actúa como un filtro para eliminar la sedimentación obteniendo biogás y por último está el método de **filtro híbrido** tiene un diseño de un filtro anaeróbico en la parte superior y un lodo de flujo ascendente manta en la parte inferior que actuando como divisor de sólidos y gases.

Por otra parte, según **(Mojiri, et al., 2021, pág. 90)** están los tratamientos fisicoquímicos que son los encargados de eliminar los compuestos orgánicos refractarios, los metales pesados y algún otro compuesto que no se logró eliminar en los tratamientos mencionados con anterioridad, de igual manera se realizó la descripción de los métodos de tratamiento fisicoquímicos del lixiviado, según **(Kamaruddin, Aziz, Alrozi y Jaafar, 2017, pág. 177)** **(Lima, De Almeida, Quintaes, Bila y Campos, 2016, pág. 830)** mencionaron el método de coagulación-floculación, en el proceso de coagulación se trabajó con coagulantes como las sales de hierro o aluminio a un pH estabilizado para generar flóculos mientras tanto la floculación ayuda en el crecimiento, así como ayuda en la separación la solido-liquido, ambos procesos eliminan o desestabilizan las partículas coloidales.

Figura 10: Eliminación de contaminantes de los lixiviados durante la coagulación

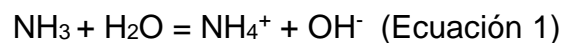


Fuente: Nair, Senthilnathan y Nagendra, 2019, pág. 324

Siguiendo con la descripción según **(Kamaruddin, Aziz, Alrozi y Jaafar, 2017, pág. 178)** mencionó el método **flotación** conocido como la flotación por aire disuelto (DAF) que aprovecha la capacidad de ciertas sustancias para flotar o con

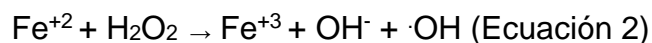
ayuda de burbujas de aire de esta manera eliminando los coloides, iones y macromoléculas, microorganismos y fibras del lixiviado además las partículas sólidas son adheridas a pequeñas burbujas de aire formando una capa de espuma (lodo) para luego ser retirado mediante raspadores mecánicos, también está el método de **precipitación química** este proceso se realizó la precipitación de los metales pesados como hidróxidos a través de los productos químicos en la mayoría se utiliza a la cal hidratada $\text{Ca}(\text{OH})_2$ por ser barata para ajustar a un pH soluble, asimismo según **(Oloibiri, De Coninck, Chys, Demesstere y Van Hulle, 2017, pág. 873) (Ganjan, Peyravi, Qoreyshi, Jahanshahi y Rad, 2017, pág. 766)**

el método de **adsorción** consiste en adherir una sustancia de fase líquida a una superficie de material sólido los materiales que se utilizaron como adsorbentes son mayormente el carbón activado en forma de polvo o granular, de igual manera **(Kamaruddin, Aziz, Alrozi y Jaafar, 2017, pág. 178)** mencionó el método **decapado con aire o Amoníaco pelar** este proceso ocurre la siguiente reacción:



se observó que el amoníaco se disuelve en agua formando el ion amonio en esta etapa el gas se libera de la solución, así como el aire posteriormente el gas es absorbido por H_2SO_4 generando la eliminación de amoníaco como gas del lixiviado por aire pelar las cuales dependerán de un pH neutro que se logró mediante la agregación de hidróxido de calcio y una temperatura normal, también **(Del moro, et al., 2016, pag. 89) (Kamaruddin, Aziz, Alrozi y Jaafar, 2017, pág. 178) (Dia, Drogui, Buelna, Dubé y Ihsen, 2017, pag. 1136) (Ding, et al., 2021, pag. 117668)** mencionó al **proceso electroquímico** para el tratamiento de lixiviados incluyen electrocoagulación / electro-floculación, los coagulantes se forman por disolución del ánodo ocasionados por una corriente eléctrica, electro-flotación en esta etapa se forman pequeñas burbujas electrooxidación, en general se trabajó con electrodos de aluminio o hierro que posteriormente son precipitados para luego ser eliminados por sedimentación o flotación además el gas hidrógeno es generado en el cátodo y oxígeno en el ánodo como la oxidación de sustancias orgánicas y nitrógeno amoniacal puede ocurrir directamente en el ánodo o indirectamente, según **(Kamaruddin, Aziz, Alrozi y Jaafar, 2017, pág. 178)** los **Procesos Avanzados de Oxidación (POAs)**, inicialmente la oxidación implica la pérdida de uno o más electrones del elemento que se oxida con el aceptor de electrones es

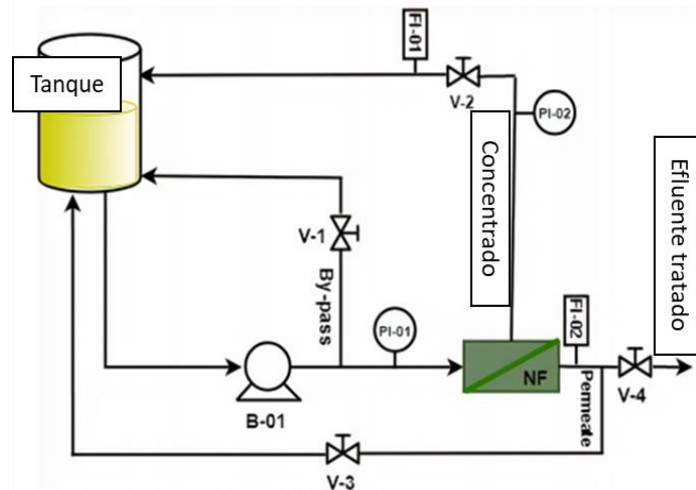
otro elemento, estos aceptores de electrones incluyen una molécula de oxígeno u otro compuesto químico que contenga oxígeno donde los aceptores reaccionan directamente y mineralizar los contaminantes, mientras los AOP mejoraron este proceso de oxidación incrementando la generación de radicales hidroxilos, así como la utilización de diferentes oxidantes como el ozono y el peróxido de hidrogeno principalmente, de igual manera **(Lima, De Almeida, Quintaes, Bila y Campos, 2016, pág. 830)** los **procesos fentón**, pertenecen a los POAs que implica la generación de radicales hidroxilos (OH) por medio de una reacción de fentón que ocurre en medio ácido básicamente se utiliza iones de Fe⁺² y Fe⁺³ como catalizadores para descomponer el peróxido de hidrogeno y producir radicales hidroxilos que son altamente reactivos que causan la degradación de los contaminantes, la siguiente reacción se muestra en la ecuación 1 por **(Lima, De Almeida, Quintaes, Bila y Campos, 2016, pág. 830)**



Prosiguiendo con descripción según **(Kamaruddin, Aziz, Alrozi y Jaafar, 2017, pág. 178)** **(Oloibiri, De Coninck, Chys, Demesstere y Van Hulle, 2017, pág. 875)** el método de **intercambio iónico** el material utilizado son resinas basados en materiales orgánicos sintéticos, polímeros inorgánicos o naturales encargados de eliminar los iones en medio acuoso de los contaminantes que básicamente intercambian cationes o aniones, también **(Kamaruddin, Aziz, Alrozi y Jaafar, 2017, pág. 179)** mencionó a las **tecnología de membranas** que consiste en la separación de dos soluciones con concentraciones diferentes donde la concentración del lixiviado viene a ser la mayor que induce presión generando la retención de contaminantes de lixiviado, las tecnologías de membranas se clasificación como **microfiltración (MF)** es un proceso de flujo cruzado de baja presión que básicamente separa las partículas coloidales y partículas en suspensión en un intermedio de 0,05 a 10 µm, el lixiviado circula por este flujo cruzado para ser obstruido, pero permite el paso de compuestos con tamaño determinado seguidamente esta la **ultrafiltración (UF)** este proceso de flujo cruzado trabaja con el tamaño membranas que se encuentra en un rango en un intermedio de 0,01-0,1 µm a una presión que llega hasta 10 bares, en este caso permite el paso de sales y algunos compuestos de bajo peso molecular, también **(Kamaruddin, Aziz, Alrozi y Jaafar, 2017, pág. 179)** **(De Almeida, et al., 2020,**

pag. 3) mencionó a la nanofiltración (NF) este proceso de flujo cruzado, solo deja pasar al agua y sustancias con peso molecular inferior a 200 Dalton ($1\text{Da} = 1,66 \text{ E-}27 \text{ kg}$), en la **figura 11** se mostró un diseño utilizado para tratar lixiviado.

Figura 11: Diagrama esquemático de la configuración experimental de nanofiltración



Notas: B-01, bomba (alimentación); PI-01, manómetro (alimentación); PI-02, manómetro (concentrado); V-01, válvula de control (by-pass); V-02, válvula de control (concentrado); V-03, válvula de control (permeado); V-04, válvula de control (permeado); FI-01, caudalímetro (concentrado); FI-02: caudalímetro (permeado)

Fuente: De Almeida, et al., 2020, pag. 3

Por último (**Kamaruddin, Aziz, Alrozi y Jaafar, 2017, pág. 179**) se tiene el proceso de **osmosis inversa (RO)** este proceso también es de flujo cruzado como se mencionó en MF, UF y NF, pero con poros más pequeños donde suelen pasar amoníaco y pequeños compuestos orgánicos, consiste básicamente en aprovechar el fenómeno natural de osmosis inversa que si dos soluciones acuosas presentan diferencia en el grado de concentración la solución más débil pasa atreves de la membrana para diluir la solución mayor hasta llegar a una misma concentración logrando eliminar soluto de un solvente. Este tratamiento de osmosis inversa tiene la capacidad de concentrar todos los sólidos disueltos y suspendidos, reteniendo más del 98% de las moléculas grandes disueltas en el lixiviado.

Tabla 3: Métodos y procesos de tratamientos de lixiviado de vertederos

Método	Proceso	Fuente	
Metodos biológicos	Biorremediación	Kumari, Ghosh y Thakur (2016) Zegzouti, et al. (2020)	
	SBR/Proceso de lodos activados	Islam, Xu y Yuan (2020) Wu, et al. (2016)	
	Proceso de lodos activados	Chen, Wang, Yang, Mirino y Yuan de Yanlei (2016) Ren, Ferroz y Yuan (2017) Song, et al. (2020)	
	Adsorción por carbon activado	Poblete, Cortes, Bakit y Luna-Galiana (2020) Farias, et al. (2020) Pan, Chen, Wang y Li (2020)	
	Biorreactor	Yuan, et al. (2017)	
	MBR		Liu, et al. (2017)
			Liu, et al. (2018 a)
		Liu, et al. (2018 b)	
Metodos fisicoquímicos	POAs/Proceso Fentón	Sruthia, Gendhimathi, Ramesh y Nidheesh (2018) Rouidi, Mauricio, Boukhissa, Ait-Amar y Balamane (2019) Wang, et al. (2016)	
	Sorción	Augusto, et al. (2019) Al-Wasify, Ali y Hamed (2018)	
	Coagulación/Proceso fentón	Ding, et al. (2021)	
	Coagulación	Hui, et al. (2019) Dia, Drogui, Buelna, Dubé y Ihsen (2017)	
	POAs	Antony, Niveditha, Gandhimathi, Ramesh y Nidheesh (2020) Tripathy, Ramesh, Debnathy y Kumar (2019)	
	Coagulación/Adsorción de carbón activado/Intercambio iónico	Oloibiri, De Coninck, Chys, Demesstere y Van Hulle (2017)	
	Tecnología de Membranas/NF	De Almeida, et al. (2020)	
Metodos biológicos-fisicoquímicos	Fitorremediación/Ozonización	Quan, et al. (2019)	
	Biorreactor/POAs	Del moro, et al. (2016)	
	POAs/Coagulación/Biorreactor	Silva, et al. (2017)	
	Coagulación/Fitorremediación	Nair, Senthilnathan y Nagendra (2019)	
	Biorreactor/Adsorción por PAC	Ganjan, Peyravi, Qoreyshi, Jahanshahi y Rad (2017)	
	Biofiltración (BF) / Electrocoagulación (CE)	Oumar, Patrick, Gerardo, Rino y Ishen (2016)	
	SBR/Coagulación	Yong, Bashir, Ng, Sethupathi y Lim (2018)	

MBR/Proceso de electrooxigenación (EOP)	Zolfaghari, et al. (2016)
Proceso fentón/Proceso biológico	Baiju, Gandhimathi, Ramesh y Nidheesh (2018)

Fuente: Elaboración Propia

III. METODOLOGIA

3.1 Tipo y diseño de investigación

Según **(Hernández y Mendoza, 2018, pág. 34)** investigo la metodología de la investigación se mencionó los tipos de investigación, en el presente estudio se trabajó en base al tipo de investigación aplicada ya que el problema son los lixiviados de vertederos que deben ser tratados según **(Farias, et al., 2019, pág. 1)** **(Al-Wasify, Ali y Hamed, 2018, pag.3)** **(Kumari, Ghosh y Thakur, 2016, pág.45)** mediante métodos de tratamientos biológicos, fisicoquímicos o en combinación de ambos para una mejor eliminación de contaminantes.

De igual manera para el tipo de diseño que se empleó en el estudio el diseño cualitativo según **(Strauss y Corbin, 2002, pag. 17)** que dijo que la investigación cualitativa consiste en la recolección y análisis de datos, así como **(Hernández, Fernández y Baptista, 2018, pág. 7)** que reafirma lo mencionado y agregando en este tipo de investigación se obtuvo una información textual.

3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística

La **tabla 4** de categorización apriorística se mencionó los objetivos específicos, problemas específicos, las siguientes categorías y subcategorías: 1. Tipo de contaminantes fisicoquímicos inorgánicos y orgánicos, 2. Características fisicoquímicas del lixiviado de vertederos según su edad se clasifico en tres edades jóvenes, medianos y viejos, 3. Métodos de tratamientos de lixiviados de vertederos método fisicoquímico y biológico por último 4. Las condiciones operativas que se obtuvo fue la temperatura, pH, tiempo de operación, SRT, HRT y la velocidad de agitación los más relevantes.

Tabla 4: Matriz de categorización apriorística

MATRIZ DE CATEGORIZACION APRIORISTICA				
Objetivos específicos	Problemas específicos	Categorías	Subcategorías	Unidad de análisis
Identificar los contaminantes fisicoquímicos del lixiviado de vertederos	¿Qué tipos de contaminantes fisicoquímicos están presentes en los lixiviados de vertederos?	Tipo de contaminantes fisicoquímicos	Inorgánicos Orgánicos	(Nair, Senthilnathan y Nagendra, 2019) (Yong, Bashir, Ng, Sethupathi y Lim, 2018) (Moddy y Townsend, 2017) (Islam, Xu y Yuan, 2020) (Silva, et al., 2017)(Al-Wasify, Ali y Hamed, 2018) (Oloibiri, De Coninck, Chys, Demesstere y Van Hulle, 2017) (Kumari, Ghosh y Thakur, 2016) (Oumar, Patrick, Gerardo, Rino y Ishen, 2016) (Del moro, et al., 2016)(De Almeida, et al., 2020) (Farias, et al., 2020) (keen, 2016) (Ding, et al., 2018) (Poblete, Cortes, Bakit y Luna-Galiana, 2020) (Dia, Drogui, Buelna, Dubé y Ihsen, 2017)
Analizar las características fisicoquímicas de los lixiviados de vertederos según su edad	¿Cuáles son las características fisicoquímicas de los lixiviados de vertederos según su edad?	Características fisicoquímicas del lixiviado de vertederos según su edad	Joven Mediano Maduro	(Zegzouti, et al., 2020) (Zegzouti, et al., 2019) (Yong, Bashir, Ng, Sethupathi y Lim, 2018) (Sruthia, Gandhimathi, Ramesh y Nidheesh, 2018)

<p>Analizar los métodos que se aplican en el tratamiento de lixiviados de vertederos</p>	<p>¿Qué métodos se aplican para el tratamiento de lixiviados de vertederos?</p>	<p>Métodos de tratamientos de lixiviados de vertederos</p>	<p>Método fisicoquímico Método biológico</p>	<p>(De Almeida, et al., 2020) (Islam, Xu y Yuan, 2020) (Farias, et al., 2019) (Al-Wasify, Ali y Hamed, 2018) (Kumari, Ghosh y Thakur, 2016)</p>
<p>Analizar las condiciones operativas de los tratamientos biológicos y fisicoquímicos</p>	<p>¿Cuáles son las condiciones operativas de los tratamientos de biológico y fisicoquímico?</p>	<p>Condiciones operativas</p>	<p>Temperatura, pH, tiempo de operación, SRT, HRT y la velocidad de agitación</p>	<p>(Sruthia, Gendhimathi, Ramesh y Nidheesh, 2018) (Dia, Drogui, Buelna, Dubé y Ihsen, 2017) (Rouidi, Mauricio, Boukhissa, Ait-Amar y Balamane, 2019) (Del moro, et al., 2016) (Kumari, Ghosh y Thakur, 2016) (Moddy y Townsend, 2017) (Silva, et al., 2017) (Al-Wasify, Ali y Hamed, 2018)</p>

Fuente: Elaboración propia

3.3 Escenario de estudio

La presente investigación de sistemas de tratamientos del lixiviado de vertederos para eliminar contaminantes fisicoquímicos se obtuvo un escenario de estudio de manera virtual se realizó una revisión sistemática de artículos científicos.

3.4 Participantes

La presente investigación trabajó en base a la revisión sistemática se recolecto y analizo libros electrónicos y revistas científicas según la relevancia del tema en interés, así como la utilización de bases de datos como: ScienceDirect, Ebsco, Scopus, SpringerLink, SciELO, Google Académico y DocTranslator (para traducir los artículos del inglés al español).

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Según **(Williamson, 2018, pág. 381)** mencionó diferentes técnicas de recolección de datos tales como los cuestionarios, entrevistas, entrevistas individuales, entrevistas grupos focales y las observaciones las cuales son utilizadas en investigaciones experimentales siendo la presente investigación una revisión sistemática por lo que muestra un escenario virtual de esta manera según **(Nicholls, 2017, pág. 117)** mencionó la técnica de análisis documental que consiste en recopilar datos, esta técnica es otro tipo de investigación cualitativa que se adapta a la presente investigación dado que busca recopilar y analizar artículos científicos en base al tema de interés.

3.6 Procedimientos

Para realizar la búsqueda de los artículos científicos se utilizó la matriz de categorización apriorística como guía se analizó las categorías y subcategorías como resultado se determinó las palabras claves para la presente investigación las cuales fueron buscadas por el idioma ingles siendo las siguientes palabras: leached, landfill leachate, organic pollutants, inorganic contaminants, landfill

leachate treatments, biological treatments, physicochemical treatments, y por otro lado están las palabras buscadas en español: lixiviados, lixiviados de vertederos, contaminantes orgánicos, contaminantes inorgánicos, tratamientos de lixiviados de vertedero, tratamientos biológicos, tratamientos fisicoquímicos los artículos se buscaron en la base de datos como ScienceDirect, SpringerLink, Ebsco ,Scopus , SciELO y Google Académico, se obtuvo 58 artículos científicos que fueron analizados en su totalidad siguiendo los criterios de inclusión se tuvo los artículos no menores a 5 años es decir desde el año 2016 hasta la actualidad (2021) y para los criterios de exclusión son aquellos artículos que no fueron indexadas, artículos de revisión, no se encontraban en el rango de no menor a 5 años y por no tener la información del tema de interés que fueron 5 libros electrónicos y 35 artículos científicos.

3.7 Rigor científico

Para la investigación se siguieron ciertos criterios que fueron adaptados al presente estudios las cuales serán mencionados detalladamente según **(Nicholls, 2017, pág. 120) (Hernández y Mendoza, 2018, pág. 34):**

- a. Para el rigor de dependencia la información y datos son provenientes de artículos científicos que son sustentados por una base de datos.
- b. Para el rigor de credibilidad la información adquirida es de una base de datos como por ejemplo en este estudio de utilización mayormente es la base de datos SCOPUS que es una base de datos que proporciona artículos científicos acreditados.
- c. Para el rigor de transferencia el presente estudio se realizó un análisis profundo de los artículos científicos obteniendo datos de relevancia para la investigación para luego ser ordenados sistemáticamente según nuestro objetivo mencionado.
- d. Para el rigor de confirmabilidad se inició con la búsqueda de las palabras claves ya mencionadas en cada artículo científico y obtener la información relevante.

3.8 Método de análisis de información

En la investigación se realizó la matriz de categorización apriorística siendo de interés las categorías y subcategorías mediante las cuales determinaron las palabras claves para iniciar la búsqueda de la investigación tales son: 1. Tipo de contaminantes fisicoquímicos inorgánicos y orgánicos, 2. Características fisicoquímicas del lixiviado de vertederos según la edad se clasifico en tres jóvenes, medianos y viejos, 3. Métodos de tratamientos de lixiviados de vertederos método fisicoquímico y método biológico por último 4. Las condiciones operativas que se obtuvo fue la temperatura, pH, tiempo de operación, SRT, HRT y la velocidad de agitación. Se realizó la búsqueda de los artículos científicos, se proseguirá a ordenar sistemáticamente la información para realizar comparaciones entre los métodos y la eficiencia de eliminación de los contaminantes de lixiviados de vertederos.

3.9 Aspectos éticos

La presente investigación trabajo con artículos científicos respaldados por diferentes bases de datos mencionados las cuales fueron citadas respetando la idea de los presentes autores, corroborando mediante la bibliografía que fue trabajada por el manual ISO 690 de la Universidad Cesar Vallejo, para responder nuestros objetivos seguimos los rigores de la investigación científica

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la **tabla 5** se presenta el objetivo general seguido de dos objetivos específicos siendo el objetivo general evaluar los sistemas de tratamiento de lixiviado de vertederos es más eficiente en la eliminación de contaminantes fisicoquímicos.

Objetivo específico:

- **OE4:** Analizar cuáles son las condiciones operativas de los tratamientos biológicos y fisicoquímicos.
- **OE3:** Analizar los métodos que se aplican en el tratamiento de lixiviados de vertederos.

Tabla 5: Eficiencia de eliminación de contaminantes fisicoquímicos, métodos de tratamientos y condiciones operativas del lixiviado de vertederos

Tipo de tratamiento	Clasificación según el proceso	Compuestos	Eficiencia de eliminación (%)	Método de tratamiento	Descripción de las condiciones operativas	Fuente
Tratamiento biológico	Biorreactor/Proceso de lodos activados	DQO	64%	SBR de lodo activado aeróbico y biorreactor fúngico	El SBR de lodo activado aeróbico se alimentó a 80% de lixiviado operando a 8h con una aireación de 7.5h por ciclo con tasa de flujo de aire de 2L/min, luego se cultivó los hongos <i>Penicillium spp</i> en el biorreactor ambos procesos trabajaron a pH 5 con temperatura 25°C un HRT de 120h y 352mg/L de nitrógeno amoniacal como alimento, 6h de duración por ciclo con un total de 264h de operación del biorreactor.	(Islam, Su y Yuan, 2020)
		TC	60%			
		TOC	58%			
		Amonio	100%			
		Color	75%			
	Nitrificación / Desnitrificación / Proceso de lodos activados	DQOcr	67.4%	Nitrificación parcial y desnitrificación mediante un proceso de lodos activados continuos	Se trabajo en un reactor que se dividido en 4 cámaras iguales con una zona anoxica de (A1) y (A2) para la desnitrificación de nitrito/nitrato y zona oxica de (O1) y (O2) para la nitrificación trabajando a una temperatura 27°C, pero en A1 fue a 32°C, SRT de 15 a 25 días, pH 7,2 a 7,5, OD de 0.3 a 0.5 mg/L y con nitrosomonas que ayudaron a la eliminación del nitrógeno de amoniaco.	(Chen, Wang, Yang, Mirino y Yuan de Yanlei, 2016)
		Nitrógeno total	66.4%			
		Amonio	>95%			
		Nitrito	90%			
	Fitorremediación	DQO	52%	Biorremediación mediante co-cultivo de bacto-algas	El lixiviado se trató con algas, bacterias y la combinación de ambas durante 10 días, obteniendo un resultado optimo con las bacto-algas con especies <i>Paenibacillus sp.</i> y <i>Scenedesmus sp.</i> respectivamente a 30°C con muestra de lixiviado de 20% (v/v) y una velocidad de agitación de 150 rpm durante 10 días.	(Kumari, Ghosh y Thakur, 2016)
		Cr	91.1%			
		Ni	69.2%			
		Pb	74.9%			
		Zn	92%			
		Fe	83.6%			
TDS		52%				

Adsorción	DQO	37.3%	Proceso de adsorción por carbón activado obtenido de las escamas de pescado	Se trabajo con la especie <i>Sardinella maderensis</i> para obtener carbón activado para realizar la adsorción a 19°C con pH 6.71 y 3h de operación con una carga de CA a 3 g L ⁻¹ .	(Poblete, Cortes, Bakit y Luna-Galiana, 2020)
	Color	60.1%			
Fitorremediación	DQO	12.91-48.5%	Biorremediación mediante <i>Aspergillus flavus</i>	Se trato el lixiviado con concentración de esporas de 1x10 ⁷ esporas/mL en un matraz Erlenmeyer de 250 ml con 150 ml de medio de cultivo con 25% de concentración del lixiviado con una incubación a 28°C durante 3 días y una agitación de 150 rpm/min.	(Zegzouti, et al., 2020)
	DBO	47.9-81.63%			
	Amonio	70.84-98.81%			
Adsorción	DQO	88.91%	Adsorción en columna de lecho fijo por carbón activado producido por ceniza de cascarilla de arroz (RHA)	La activación de RHA se realizó con 600g hidróxido de sodio para 600 g de materia prima se disolvió en 2L de agua destilada con relación 1:1 (NaOH / ceniza) durante 24 horas, se lavó con agua destilada se secó en un horno a 110°C durante 24 horas luego se llenó en una columna de lecho fijo sus alturas fueron 5cm y 20cm de adsorbente se obtuvo un mejor resultado con la altura de 20cm en un tiempo de 10 a 220 min.	(Farias, et al., 2020)
	Color	87.4%			
	Color verdadero	86.64%			
Proceso de lodos activados	DQO	14%	Proceso lodo activado por crecimiento en suspensión (ASBR)	Ambos reactores trabajaron a una temperatura de 25°C con pH 6.5 y 8, tiempo de operación 245 días con 3 ciclos por día también el caudal de aire se estabilizó en 1,5 l/min con decantación de 15 min.	(Ren, Ferroz y Yuan, 2017)
	Nitrógeno total	23%			
	DQO	31%	Proceso lodo granular aeróbico (GSBR)		
	Nitrógeno total	26%			
	TAN	97.7%			
Proceso de lodos activados	DQO	85.65%	Sistema biológico compuesto de bajo oxígeno disuelto (DO) a escala piloto (LDOCBS)	Se inocula lodo en el tanque el OD se controló a 2 mg/L a 25°C, el lodo se aclimató durante 24 h con aireación completa para luego agregar 10L de agua y lodo mezclado más 40L de lixiviado después de circular durante 24h se reemplaza con 20L de lodo aclimatado y agua mezclado más 80L de lixiviado a los tanques 1, 2, 3 y 4 respectivamente además el LDOCBS tuvo una HRT 7 días, SRT 30 días, la relación de reflujo de líquido mixto y la relación de reflujo de lodo fueron 200% y 200%, respectivamente con 88 días de operación.	(Song, et al., 2020)
	Nitrógeno total	84.06%			
	Nitrógeno de amonio	99.92%			

	Biorreactor / Proceso de lodos activados	DQO	95%	Proceso combinado general (UASB1-A/O-DUASB)	Se trabajo con los compuestos orgánicos biorrefractarios como fuente de carbono a 33 a 35°C para la HRT fueron UASB, DUASB y A / O fueron 1,7, 0,9 y 3 días respectivamente con 90 días de operación.	(Wu, et al., 2016)
		Nitrógeno total	95%			
		Nitrógeno amoniacal	98%			
	Oxidación por contacto o biológica multietapa (MBCO)	DQO	91,28%	Oxidación por contacto biológica multietapa (MBCO)	Se colocaron 20L de lodo aeróbico activado en la primera cámara, mientras que en la segunda y tercera cámara se agregaron 15L de lodo activado aeróbico y 5 litros de lodo mixto con desnitrificación a 35°C, HRT de 24h y 0.1 L/min de tasa de aireación.	(Yuan, et al., 2017)
	Adsorción	DQO	91.33%	Adición de biocarbón en biofiltro de desechos envejecidos semiaeróbicos (SAARB)	El biocarbón utilizado fue las astillas de bambú que se molió y tamizó para producir biocarbón granular además las columnas simuladas 1 # (biofiltro de control), 2 #, 3 # y 4 # con el contenido de biocarbón de 0, 0,25%, 1% y 3% con reinyección de 70 días.	(Pan, Chen, Wang y Li, 2020)
		Nitrógeno total	44.62%			
		Nitrógeno de amonio	98,86%			
		Numero de color	94.58%			
	Biorreactor	DQO	85.6%	Biorreactor de membrana combinado anóxico / óxico de dos etapas	Se inoculo 100L de lodo con una HRT de 168h con tiempo de operación de 113 días con una velocidad de 7,5 r/mim y un suministro de aire seguido a la zona aeróbica a 0,7 L/d, 2-4mg/l de OD, reflujo de lodos 100% y reflujo de liquido 150%.	(Liu, et al., 2018 b)
		Nitrógeno total	77.6%			
Nitrógeno de amonio		99.1%				
DQO		82.4%				
Nitrógeno total		75.3%				
Nitrógeno de amonio		99.1%				
DQO		80.6%				
Nitrógeno total		74.9%				
Nitrógeno de amonio	99.04%					
Coagulación/Proceso de oxidación avanzada	DQO	57%	Electrocoagulación junto al proceso electro- frentón	Se trabajo con hierro y DSA como ánodos duales con volumen de 1L a una potencia de 7V, densidad 30 mA/cm2, carga eléctrica de 7Ah/L, pH de 7 y una adición de iones de hipoclorito e iones ferrosos.	(Ding, et al., 2021)	
	Amoniaco	60%				
	TOC	68%				
Proceso de oxidación avanzada	DQO	96%	Sistema de ácido de aluminio de	El sistema con aireación combinada con peróxido de hidrógeno y persulfato se trabajó		

		TOC	83.52%	valencia cero (ZVAI)	con 200ml de lixiviado en un vaso de precipitados de vidrio borosil de 1000 ml con un pH inicial de 1.5, 10 g L-1 de ZVAI lavado con ácido, se agito a 200rpm, con un tiempo de proceso de 150h, se agregó HP y PS a 1 mM.	(Antony, Niveditha, Gandhimathi, Ramesh y Nidheesh, 2020)
		Color	63.7%			
Tecnología de membranas		DBO	98%	Nanofiltración	Se utilizo la membrana polimérica comercial NP030 a 250 minutos de operación, presión transmembrana de 8 bares, tasa de flujo cruzado 120L h-1, flujo de permeado 17,9 Lm-2 h-1 hasta 15,1Lm-2 h-1.	(De Almeida, et al., 2020)
		Ácidos húmicos	90 y 87%			
		TOC	99%			
		Color	90%			
		UV254	>75%			
Sorción		DQO	44.73%	Sorpcion en partículas magnéticas	Se trabajo con partículas de resina y partículas de magnetita siendo la más eficiente para el proceso, se añadió 12 g magnetita a un vaso de Erlenmeyer y 50 ml de lixiviado realizando una agitación no magnética.	(Augusto, et al., 2019)
		Nitrógeno total	76.85%			
		Amonio	86.59%			
		Nitrato	98.71%			
		Nitrito	43.14%			
		Fosfato	61.37%			
		Sulfato	46.11%			
	Cloruro	49.1%				
Coagulación		DQO	82%	FBER de tres etapas	Se trabajo con membranas de carbono / TiO2 primero la membrana se pretrato en acido nitrico concentrado, se limpió a neutro y secado al aire luego se sumergió en TiO2sol y se secó que vienen a ser partículas de nano-TiO2 a temperatura de 25°C, voltaje 2V, flujo de alimentación 700 µL / min a 500 µL / min, tiempo de residencia 12min, consumo de energía 4,81 kW /kg DQO	(Hui, et al., 2019)
		DBO	38.3%			
		Nitrógeno total	76.3%			
		Fosforo total	10.4%			
		Amonio	86.5%			
		Hg	>99%			
		Cr	96.5%			
		Cd	> 99%			
		As	> 99%			
		Cr6+	99%			
	Pb	34.7%				

	SS	35%			
	CF	100%			
	Croma	93.4%			
Proceso de oxidación avanzada	DQO	53.4%	Electro-Fenton	El sistema mide la electrólisis a temperatura constante de 20°C, pH 3 se acidifico con H2SO4, tiempo de operación 285min a una agitación de 1,000rpm, intensidad de corriente 3A y con una distancia de electrodo de 2,5cm.	(Rouidi, Mauricio, Boukhissa, Ait-Amar y Balamane, 2019)
	TOC	34.5%			
Sorción	DQO	30.5%	Aplicación de diferentes intensidades magnéticas	Se utilizo un (MTD) para realizar el proceso que se trabajó en tres tiempos 1, 1.5 y 2 h con tres intensidades magnéticas 120, 240 y 360 μ T, resultado el más eficiente de 360 μ T.	(Al-Wasify, Ali y Hamed, 2018)
	DBO	38.2%			
	Nitrógeno amoniacal	32.7%			
Proceso de oxidación avanzada	DQO	88.6%	Proceso Fenton	Se realizo la preparación del catalizador, ambos procesos se trabajaron a 25°C, pH 3, 700mg/L para Fenton y 25mg7L para Electro-Fenton de Zeolita cargada con óxido binario de hierro-manganeso (IMZ), se agito a 100 a 200 rpm con agitador magnético.	(Sruthia, Gandhimathi, Ramesh y Nidheesh, 2018)
	DQO	87.5%	Electro-Fenton		
Proceso de oxidación avanzada/Coagulación	DQO	65-70%	Electrocoagulación	Se realizo el fraccionamiento de la materia orgánico eliminando sólidos en suspensión, coloides y grasas por filtración, se trabajó con un pH 10 acidificado, tiempo de operación 20min, electrodos de hierro y aluminio, densidad de corriente 8,0 y 10 mA cm ² para ánodo.	(Dia, Drogui, Buelna, Dubé y Ihsen, 2017)
	Ácidos húmicos	100%			
	Ácidos fúlvicos	57-60%			
	Compuestos hidrófilos	37-46%			
	UV254	79-80%			
Color	85-89%				
Coagulación / Adsorción / Intercambio iónico	DQO	92.3%	Coagulación seguida por adsorción de carbón activado e intercambio iónico	Se trabajo con coagulante FeCl3 trabajados a 25°C con una agitación de mezcla rápida a 200 rpm por 1 min y mezcla lenta a 40 rpm por 20 min agregando 7 g/L de cloruro férrico y 30 min de sedimentación.	(Oloibiri, De Coninck, Chys, Demesstere y Van Hulle, 2017)
	UV254	93.3%			
	Nitrógeno de amonio	97.5%			
	Ni	97.9%			
Proceso de oxidación avanzada	DQO	74.59%	Microelectrolisis de Fe-C con proceso de fentón	Se trabajo a 30°C con pH 3.12, una HRT de 60min agregando Fe-C 55.72 g/L más H2O2 concentración 12.32 mL/L con muestra de lixiviado de 100ml y 30min de sedimentación.	(Wang, et al., 2016)

	Proceso de oxidación avanzada	DQO	98.3%	Peróxido de hidrogeno sonolitico (US-H2O2) y perusulfato sonolitico (US-PS)	Se realizo un (RSM) para mejorar la eliminación con PS a 4700 mg/L, H2O2 dosis a 0,7 mol/L y US a 49% con tiempo de operación de 15min 500ml de lixiviado.	(Tripathy, Ramesh, Debnathy y Kumar, 2019)
Tratamiento Biológico-Fisicoquímico	Proceso de oxidación avanzada/ Fitorremediación	DQO	64.3%	Ozonización y biorremediación de microalgas	El proceso de ozonización se realizó en un reactor de columna equipado con un generador de ozono trabajados a 25°C, se añadió una bomba mezcladora de gas-líquido, presión de 0,25 Mpa.	(Quan, et al., 2019)
		Nitrógeno	81.6%			
		Nitrato	34.5%			
		Amonio	76.5%			
	Proceso de oxidación avanzada / Coagulación / oxidación biológica	DQO	58%	Preoxidación biológica aeróbica de lodos activados (ASBO)+ coagulación+ fotooxidación de una reacción foto-fentón	La oxidación biológica trabajo con agitación de 15min inicial a 1h un OD inferior 0,5 mg de O2/L con 2-4 h de sedimentación, con coagulante de 240 mg de cloruro férrico con 14h de sedimentación ambos a pH 4.2 y fotooxidacion trabajo con pH 2.8 agregando 60 mg de sulfato de hierro más 500 mg/L de H2O2 con 15 min de agitación mecánica y 3h de sedimentación.	(Silva, et al., 2017)
		DOC	60%			
		TSS	88%			
	Coagulación / Fitorremediación	DQO	74%	Coagulación seguido de una fitorremediación	Se pretrato el lixiviado mediante la coagulación se trabajó a 25°C con una muestra de lixiviado de 500ml a una velocidad de 30 rpm durante 20 min agregando 4 mg/L alumbre posteriormente se realizó el cultivo de la microalga Chlorella pyrenoidosa para realizar el proceso de fitorremediación se realizado en una columna de PBR durante 18 días con CO2 al 10%.	(Nair, Senthilnathan y Nagendra, 2019)
		Nitrógeno total	76%			
		Fosfato	96%			
		Nitrógeno de amonio	95%			
		Cr	75%			
		Ni	88%			
Zn		32%				
Fe		97%				
Mn		97%				
Co		92%				
Ba		72%				
Color	72%					
DOC	91%					
Biorreactor/ Adsorción	DQO	47.9%	Fotobiorreactor de adsorción	La adsorción se realizó mediante PAC y se cultivó las microalgas, el APBR trabajo por lotes a una temperatura de 23-27°C agregando 1000 ml de microalgas y 1000 ml de lixiviado con HRT	(Ganjian, Peyravi, Qoreyshi, Jahanshahi y Rad, 2017)	
	Nitrógeno	87.7%				
	Fosfato	75.2%				

	UV254	34.3%		de 2,5 días y una concentración de DQO 600m/L también se agregó el adsorbente 0,5 g/L.	
Biofiltración / Coagulación	DQO	53%	Procesos de biofiltración (BF) y electrocoagulación (CE)	El proceso de BF trabajo a 22°C con una tasa de flujo 5.3 L/d y se aireo a un caudal de 5 L/min para luego seguir con la CE con una densidad de corriente 10 mA /cm 2 durante 30 min de tratamiento.	(Omar, Patrick, Gerardo, Rino y Ishen, 2016)
	DBO	94%			
	Fosforo	98%			
	Nitrógeno de amonio	94%			
	Color	85%			
	Turbiedad	95%			
Biorreactor / Coagulación	DQO	84.89%	SBR y coagulación	Se realizo el cultivo los lodos a 23°C y 26°C con SRT 30 días, cada reactor (1,5 L) se llena con 80 ml de lixiviado y 720 ml de lodo fresco con proporción de mezcla de 1:10 durante 10 días para luego realizar el proceso de coagulación con pH 7 y 1,0 g/L Alumbre.	(Yong, Bashir, Ng, Sethupathi y Lim, 2018)
	Nitrógeno amoniacal	94.25%			
	Cd	95%			
	As	34.8%			
	Ni	41.3%			
	Pb	95%			
	Zn	41.2%			
	Fe	62.9%			
	Mn	22.9%			
	Ba	87.2%			
	Cu	95.3%			
	Se	100%			
	Ag	50%			
	Color	85.81%			
TSS	91.82%				
Biorreactor / Proceso de oxidación avanzada	DQO	63%	MBR y proceso de electrooxigenación (EOP)	En el MBR se realizó el cultivo de microorganismos de lodos activados a 17.5°C con SRT 200 días, HRT de 48h y 7 mg de O2/L de oxígeno disuelto para EOP se trabajó a 120min con intensidad de 3A.	(Zolfaghari, et al., 2016)
	Fosforo	52%			
	Amonio	98%			
	TOC	35%			
Proceso de	DQO	97%	Electro-fentón		

	oxidación avanzada / Proceso biológico			heterogéneo combinado y proceso biológico	Se trabajo con pH 3 agregando 50 mg/L de nanopartículas de molibdofosfato de hierro (FeMoPO) un espacio de electrodo de 3 cm y área de electrodo 25 cm ² para el proceso biológico se realizó el cultivo de bacterias.	(Baiju, Gandhimathi, Ramesh y Nidheesh, 2018)
	Biorreactor / Proceso de oxidación avanzada	DQO	46.8%	SBBGR	Inicio con un reactor biológico SBBGR con HRT de 12 días, carga hidráulica 1,5 L/d, agrego metanol a 3 g / L al carbono externa, tiempo de operación a 240min con 8h de trabajo por ciclo, densidad de 83 mA / cm ² , luego se trabajó con un reactor electrolítico rectangular (vidrio) que contenía 600 mL de solución a 25°C con dos electrodos de DSA.	(Del moro, et al. ,2016, pag.)
		DOC	32.8%			
		TSS	55.2%			
		Nitrógeno amoniacal	99.9%			
		Nitrógeno total	83.5%			
		Color	10.1%	Electroquímica		
		DQO	98%			
		Amoniaco	82%			
		Fosforo	100%			

Fuente: Elaboración propia

Según **(Al-Wasify, Ali y Hamed, 2018, pág. 2)** los métodos de tratamiento de lixiviados de vertederos son clasificados en tratamientos biológicos, tratamientos fisicoquímicos y una combinación de tratamientos biológicos con fisicoquímicos.

Para los métodos de tratamientos biológicos se analizó 14 métodos, en la presente investigación se tuvo mayor consideración contaminantes orgánicos fisicoquímicos Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) así como para los contaminantes inorgánicos destacando el nitrógeno de amonio y por de los metales pesados níquel (Ni) siendo los más relevantes en las diferentes investigaciones.

Para los contaminantes orgánicos según **(Wu, et al., 2016)** trabajo con los reactores manto de lodo anaerobio de flujo ascendente (UASB), un reactor anóxico/aeróbico (A/O) y el UASB desnitrificante (DUASB) obtuvo una mayor remoción del 95% de DQO a diferencia de las otras investigaciones, el tratamiento utilizó compuestos orgánicos biorrefractarios como fuente de carbono con temperatura de 33 a 35°C para los tiempos de retención hidráulica (HRT) 1,7, 0,9 y 3 días para UASB, DUASB y A/O respectivamente con 90 días de operación, a diferencia del método SBR de lodo activado en suspensión (ASBR) y SBR de lodo granular aeróbico según **(Ren, Ferroz y Yuan, 2017)** que obtuvo una remoción mínima del 14% de DQO debido a que el autor tuvo como objetivo comparar el desempeño de cada reactor sin profundizar las remociones de contaminantes, el método trabajó a una temperatura de 25°C con pH 6.5 y 8, tiempo de operación 245 días con 3 ciclos por día también el caudal de aire se estabilizó en 1,5 l/min con decantación de 15 min. También se logró una remoción de la DBO con el 64.77% según **(Zegzouti, et al., 2020)** mediante la biorremediación utilizando *Aspergillus flavus* se realizó 12 tratamientos con concentración de esporas de 1×10^7 esporas/mL en un matraz Erlenmeyer de 250 ml que contenían 150 ml de medio de cultivo con 25% de concentración de lixiviado joven con una incubación a 28°C durante 3 días y una agitación de 150 rpm/min. Por otra para los contaminantes inorgánicos se logró remover el 99.92% del nitrógeno de amonio mediante el sistema biológico compuesto de bajo oxígeno disuelto (DO) a escala piloto (LDOCBS) compuesto por un contactor biológico rotatorio anóxico (RBC) según **(Song, et al., 2020)** mediante la inoculación de lodo en el tanque con OD controlado a 2 mg/L a 25°C,

el lodo se aclimató durante 24 h con aireación completa para luego agregar 10 L de agua y lodo mezclado más 40 L de lixiviado después de circular durante 24h se reemplaza con 20 L de lodo aclimatado y agua mezclado más 80 L de lixiviado a los tanques 1, 2, 3 y 4 respectivamente además el LDOCBS tuvo una HRT de 7 días, SRT30 días, la relación de refluo de líquido mixto y la relación de refluo de lodo fueron 200% y 200%, respectivamente con 88 días de operación, y para el metal pesado Ni se logró remover el 69.2% con el método de biorremediación mediante un co-cultivo de bacto-algas según **(Kumari, Ghosh y Thakur, 2016)** que trabajo con algas, bacterias y la combinación de ambas durante 10 días, obteniendo un resultado optimo con las bacto-algas con especies *Paenibacillus sp.* y *Scenedesmus sp.* respectivamente a 30°C con muestra de lixiviado de 20% (v/v) y una velocidad de agitación de 150 rpm durante 10 días lograron la eliminación.

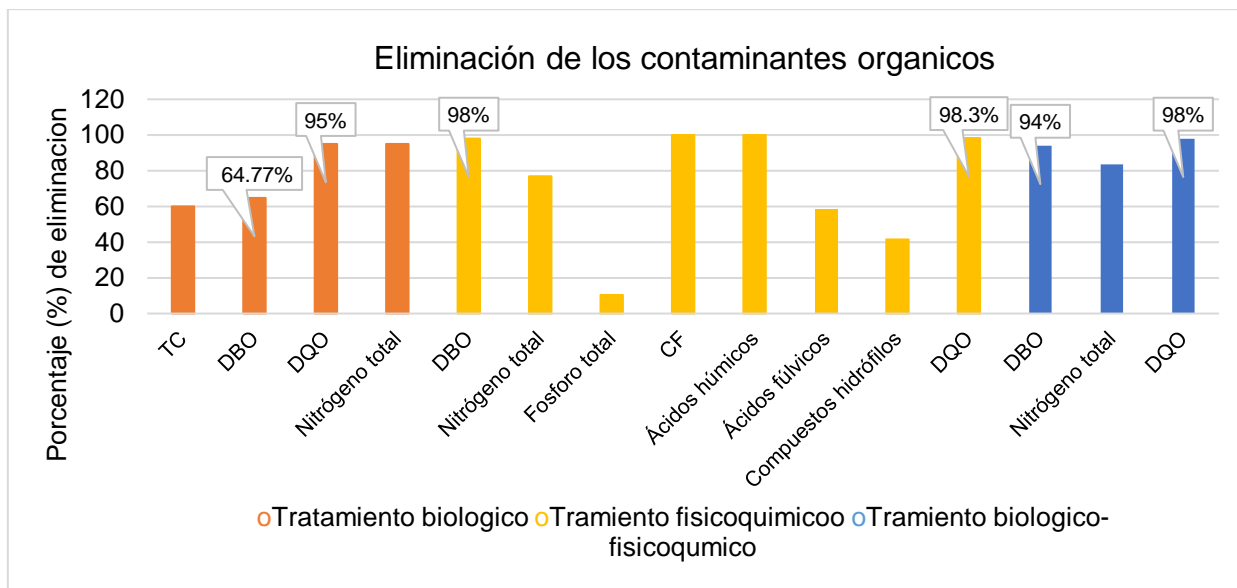
Para los tratamientos fisicoquímicos que son los encargados de eliminar los compuestos orgánicos refractarios y los metales pesados que se encuentran en el compuesto del lixiviado según **(Mojiri, et al., 2021, pág. 90)**, se logró analizar 12 métodos. Resultando una remoción del 98.3% de la DQO según **(Tripathy, Ramesh, Debnath y Kumar, 2019)** que aplico los sistemas de proceso de peróxido de hidrogeno sonolitico (US-H₂O₂) y los sistemas híbridos perusulfato sonolitico (US-PS) que trabajaron mediante un diseño una metodología de superficie de respuesta (RSM) para una mejor eliminación con PS a 4700 mg/L, H₂O₂ dosis a 0,7 mol/L y US a 49% con tiempo de operación de 15 minutos y una muestra de lixiviado de 50ml a comparación del método de aplicación de diferentes intensidades magnéticas según **(Al-Wasify, Ali y Hamed, 2018, pag. 7)** que logro remover un 30.5% de DQO debido a que solamente utilizo un dispositivo de tratamiento magnético (MTD) para realizar el proceso que se trabajó en tres tiempos 1, 1.5 y 2 h con tres intensidades magnéticas 120, 240 y 360 μ T, resultado el más eficiente de 360 μ T para la eliminación de contaminantes. Para la DBO se logró una remoción del 98% mediante la aplicación del método nanofiltración (NF) que utilizo un módulo de filtración a escala de banco con membranas poliméricas comerciales SR100 y NP030, siendo la NP030 la membrana más eficiente para el proceso, el tiempo de operación fue de 250 minutos con presión transmembrana de 8 bares, tasa de flujo cruzado 120 L h⁻¹, flujo de permeado 17,9 Lm⁻² h⁻¹ hasta

15,1Lm-2 h-1. También se logró remover 97.5% del nitrógeno de amonio así como el metal pesado Ni con el 97.95% mediante la combinación de los procesos de coagulación con FeCl₃ y PACl, adsorción por carbón activado e intercambio iónico según **(Oloibiri, De Coninck, Chys, Demesstere y Van Hulle, 2017)** se obtuvo una mejor eficiencia, se utilizó el coagulante FeCl₃ con una temperatura de 25°C y una agitación de mezcla rápida a 200 rpm por 1 min y mezcla lenta a 40 rpm por 20 min agregando 7 g/L de cloruro férrico y 30 min de sedimentación.

Por último, tenemos la clasificación de los tratamientos biológicos-fisicoquímicos combinados se analizó 9 métodos, según **(Fernandes, et al., 2017, pág.1226)** menciona que los tratamientos combinados no son capaces de lograr un tratamiento de lixiviados eficiente por lo que actualmente son reemplazadas o acopladas con tecnologías de membranas. Se logró remover el 98% de DQO mediante el reactor granular de biofiltro por lotes de secuenciación (SBBGR) seguido del reactor electroquímico según **(Del moro, et al. ,2016)**, el reactor biológico SBBGR trabajó con HRT de 12 días, carga hidráulica 1,5 L/d, agregó metanol a 3 g/L al carbono externa, tiempo de operación a 240 minutos con 8 horas de trabajo por ciclo, densidad de 83 mA/cm², luego se trabajó con un reactor electrolítico rectangular (vidrio) que contenía 600 mL de solución a 25°C con dos electrodos de DSA, mientras que el proceso de biofiltración (BF) y electrocoagulación (CE) según **(Omar, Patrick, Gerardo, Rino y Ishen, 2016)** lograron una remoción del 53% de DQO mediante el proceso de BF que trabajó a 22°C con una tasa de flujo 5.3 L/d y se aireó a un caudal de 5 L/min para luego seguir con la CE con una densidad de corriente 10 mA/cm² durante 30 min de tratamiento, la diferencia el tipo de reactor que utilizó cada investigador. También se logró una remoción del 95% y 88% para el nitrógeno de amonio y Ni mediante el proceso de coagulación seguido de la fitorremediación según **(Nair, Senthilnathan y Nagendra, 2019)** primero pretrató el lixiviado mediante la coagulación se trabajó a 25°C con una muestra de lixiviado de 500ml a una velocidad de 30 rpm durante 20 min agregando 4 mg/L alumbre posteriormente se realizó el cultivo de la microalga *Chlorella pyrenoidosa* para realizar el proceso de fitorremediación se realizó en una columna de PBR durante 18 días con CO₂ al

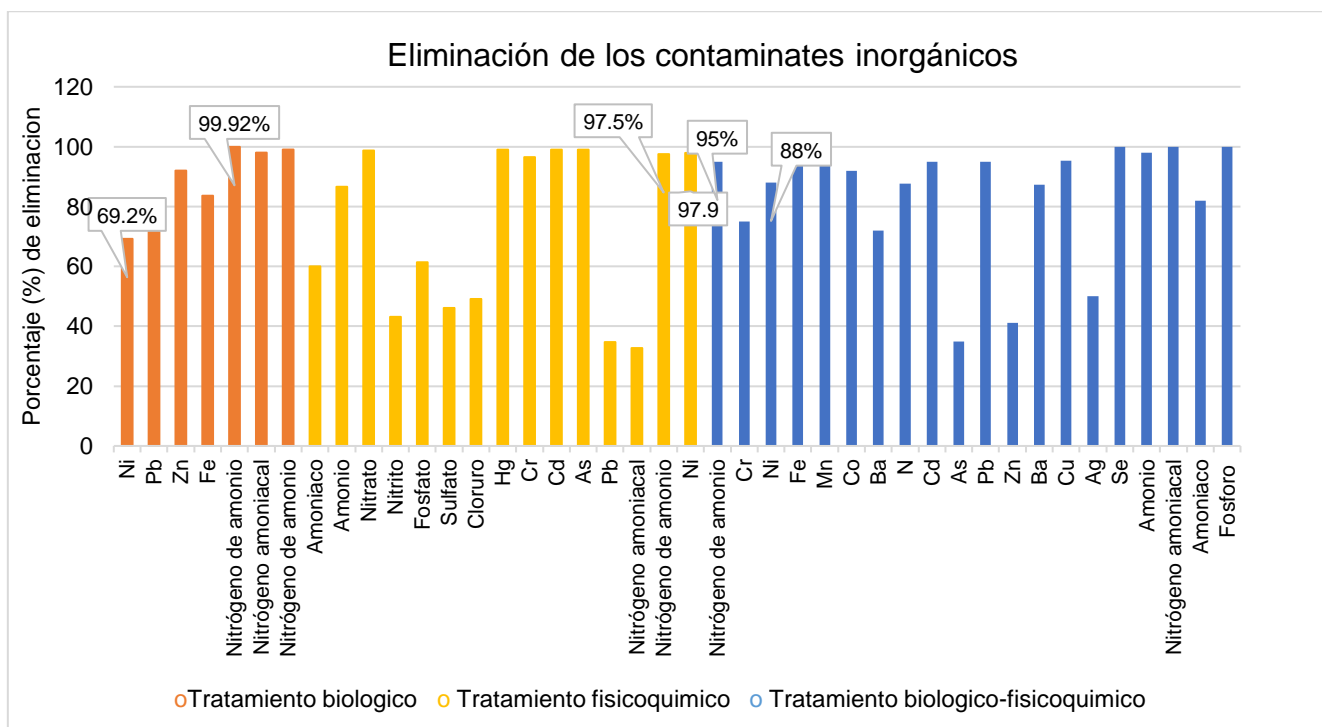
10%. En **grafico 1 y 2** se observa los contaminantes orgánicos e inorgánicos analizados en la investigación.

Gráfico 1: Eliminación de los contaminantes orgánicos fisicoquímicos



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2: Eliminación los contaminantes inorgánicos fisicoquímicos



Fuente: Elaboración propia

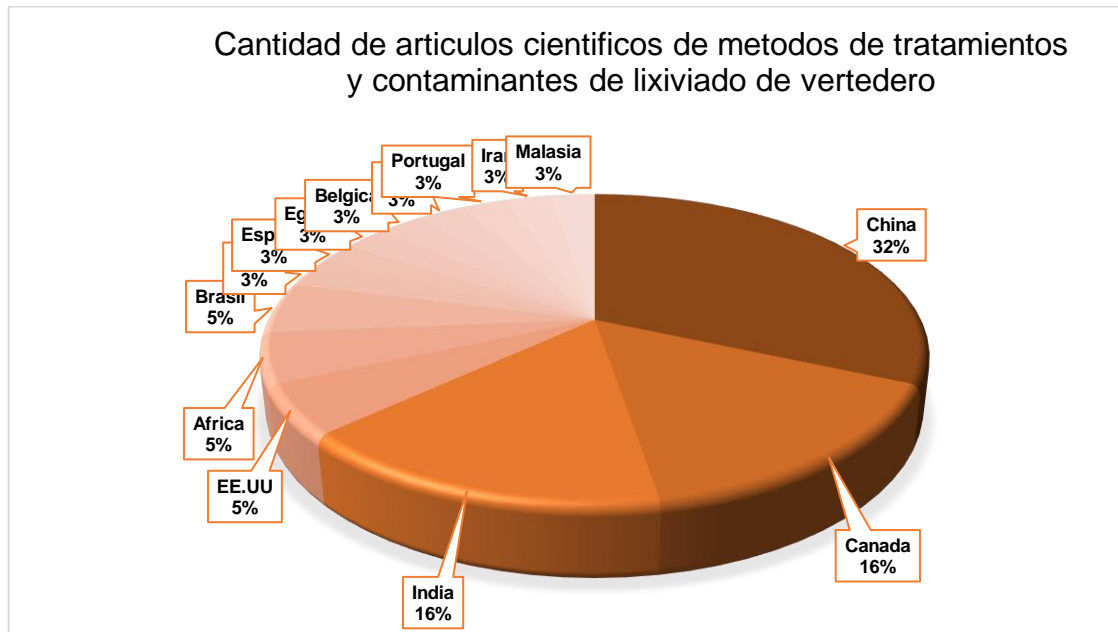
También se realizó una Mapa Mundial (ver figura 12) y una grafico (ver gráfico 2) con la búsqueda de los métodos y contaminantes que se realizaron en la presente investigación alrededor del mundo.

Figura 12: Mapa Mundial de artículos científicos revisados sobre los métodos de tratamientos y contaminantes fisicoquímicos del lixiviado de vertederos



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3: Cantidad de artículos científicos analizados de métodos y contaminantes de lixiviado de vertederos



Fuente: Elaboración propia

Así como se sistematizó los métodos de tratamientos del lixiviado de vertederos en cuanto a la eficiencia de eliminación y las condiciones operativas de igual manera se realizó con los tipos de contaminantes (**Ver tabla 6**) siendo el objetivo específico:

OE1: Identificar los contaminantes fisicoquímicos de lixiviados de vertederos.

Tabla 6: Tipos de contaminantes fisicoquímicos del lixiviado de vertederos

Fuente	Contaminante Orgánico	Cantidad (mg/L)	Contaminante Inorgánico	Cantidad (mg/L)
(Ding, et al., 2021)	DQO	1300-1600	Cloruro	4000-5000
	DBO	1.3-8.2	Amonio	150-200
(De Almeida, et al., 2020)	DQO	2258	Cloruro	585
	DBO	736		
	Sustancias húmicas	821	Nitrógeno de amonio	14.8
(Hamid, Li y Grace, 2020)			Sulfato	31.3
			Cloruro	188
			Fluoruro	1
			Amonio	84
			Fe	5.2
			Ca	93
			Mg	23.6
(Islam, Xu y Yuan, 2020)	DQO	1385	Fosfato	4.7
	DQOS	1459		
	DBO	141		
	Nitrógeno total	938	Nitrógeno de amonio	914
	Carbono total	695		
(Antony, Niveditha, Gandhimathi, Ramesh y Nidheesh, 2020)	DQO	4896		
	DBO	208		
(Quan, et al., 2019)	DQO	733.7	Cloruro	4807.5
			Fosfato	22.1
			Nitrato	292.8
			Amonio	157.8
(Augusto, et al., 2019)	DQO	22.067 mgO ₂ /L	Amoniaco	2837
			Sulfato	2403
			Cloruro	7247
	Nitrógeno total	3483	Fosfato	39.87
			Nitrito	34.1
			Nitrato	127
(Hui, et al., 2019)	DQO	389	Nitrógeno de amonio	69.6
			Cloruro	931
	DBO	47	Hg	0.236
			Cd	0.125
	Nitrógeno total	109.5	Cr	0.227

	Fosforo total	0.144	As	0.058
			Pb	0.076
(Rouidi, Mauricio, Boukhissa, Ait-Amar y Balamane, 2019)	DQO	10.1 mgO2/L	Cloruro	1212
			Fosfato	6.32
			Nitrito	177.87
			Nitrato	5607.04
			Amonio	3120
			Fe	12.4
	DBO	2.027 mg O2/L	Mn	0.03
			Zn	1.26
			Ni	0.33
			Cr	0.64
			Cu	0.09
			Ca	170.1
			P	7.34
(Sruthia, Gandhimathi, Ramesh y Nidheesh, 2018)	DQO	6160		
	DBO	185		
(Liu, et al., 2018 a)	DQOcr	4269-9826	Nitrógeno de nitrito	0.36-12.77
			Nitrógeno de nitrato	1.98-38.49
	Nitrógeno total	1616-2509	Nitrógeno de amonio	1674-2495
(Liu, et al., 2018 b)	DQO	3516-21080	Nitrógeno de nitrito	0.19-2.91
			Nitrógeno de nitrato	5.46-68.95
	Nitrógeno total	1308.57-2835.55	Nitrógeno de amonio	862.18-2828.02
(Al-Wasify, Ali y Hamed, 2018)	DQO	4200	Nitrógeno amoniacal	1429.6
	DBO	777.3		
(Dia, Drogui, Buelna, Dubé y Ihsen, 2017)	DQOtotal	596	Fosfato	0.07
	DBO	10.8	Nitrógeno de amonio	13.1
(Moddy y Townsend, 2017)	DQO	2200	Amonio	70
				680
			Fe	23.3
				3.9
			Al	1.09
		1.44		
		Ba	0.276	
			0.72	
		2900	Cr	0.09
				0.18
As	0.07			
			0.35	

			Pb	0.035
				0.1
			Mn	0.45
				0.2
			Zn	0.04
				0.1
	DBO	45	Ni	0.1
				0.16
			Cu	0.26
				0.24
			K	3710
			355	
		Na	160	
			850	
		360	Ca	4140
				170
	B		1.6	
			6.04	
	Mg		130	
		60		
	Sb	0.035		
		0.06		
	Sr	28		
		1.3		
(Liu, et al., 2017)	DQO	4000-20000	Nitrógeno de nitrito	0.5-5.8
	Nitrógeno total	1600-2300	Nitrógeno de nitrato	26-65
			Nitrógeno de amonio	1450-2100
(Del moro, et al., 2016)	DQO	3973	Cloruro	3135
	DQOs	3850	Nitrógeno de nitrito	0.6
	Fosforo total	17	Nitrógeno de nitrato	4.2
	Nitrógeno total	2062	Nitrógeno de amonio	1726.6
(keen, 2016)	DQO	63400		
	DBO	40400		
(Chen, Wang, Yang, Mirino y Yuan de Yanlei, 2016)	DQOcr	3144		
	Nitrógeno total	1512		
(Oloibiri, De Coninck, Chys, Demesstere y Van Hulle, 2017)	DQO	3152.3	Nitrógeno de amonio	1885
			Ni	3.7
(Kumari, Ghosh y Thakur, 2016)	DQO	29200	Fe	9.5
			Al	68.5
			Cr	1.5
			Pb	0.4
			Zn	2.5

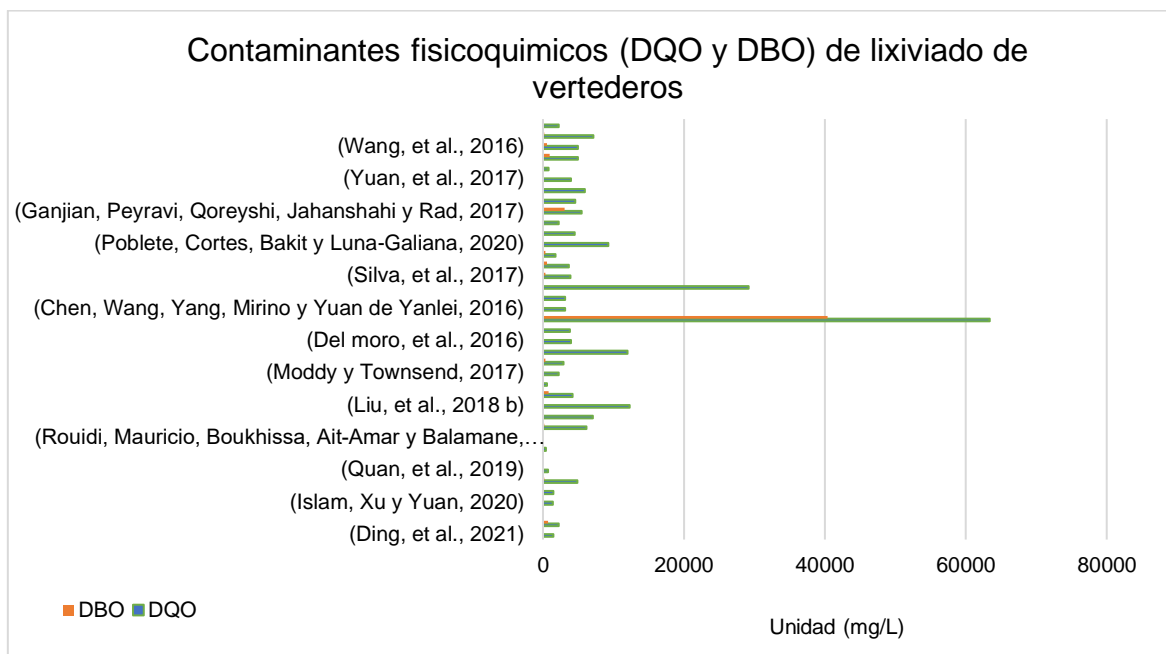
			Ni	0.63
			K	1990
			Na	4630
			Ca	60.9
			Mg	131
(Silva, et al., 2017)	DQO	3880	Cloruro	3193
	DBO	373	Sulfato	318
	Fosforo total	10.22	Nitrógeno de nitrato	6.32
(Ding, et al., 2018)	DQO	3676	Nitrógeno de amonio	1682
	DBO	570	Cd	0.052
	Fosforo total	14	As	0.05
	Nitrógeno total	1824	Pb	0.424
			Hg	0.0051
(Nair, Senthilnathan y Nagendra, 2019)	DQO	1800	Cr	0.348
			Nitrógeno de amonio	182
			Fe	45.8
			Mn	9.2
			Zn	41.1
	DBO	368	Ni	9.9
			As	11.2
			Hg	15.5
	Nitrógeno total	228	Ba	5.7
			Cr	1.4
			Co	0.7
	Fosfato	21.6	K	171
		Ca	183	
		Mg	34.1	
		Na	199.2	
(Poblete, Cortes, Bakit y Luna-Galiana, 2020)	DQO	9250	Nitrato	34.5
			Amonio	4628.5
(Farias, et al., 2020)	DQO	4538.61		
(Ren, Ferroz y Yuan, 2017)	DQO	1600–2850	Fosfato	2-6
			Nitrito	<1
			Nitrato	<1
			Amonio	700-1200
(Ganjian, Peyravi, Qoreyshi, Jahanshahi y Rad, 2017)	DQO	5500	Zn	12.01
	DBO	3100	Ni	6.18
	Fosforo total	20.08	Pb	6.86
	Nitrógeno total	461		
(Song, et al., 2020)	DQO	4583.42	Nitrógeno de nitrito	0.47
			Nitrógeno de nitrato	5.99

	Nitrógeno total	917.68			
			Nitrógeno de amonio	834.31	
(Wu, et al., 2016)	DQO	5500-6400	Nitrógeno de amonio	2100-2300	
	Fosforo total	9-15			
	Nitrógeno total	2330-2600			
(Yuan, et al., 2017)	DQO	4000			
(Oumar, Patrick, Gerardo, Rino y Ishen, 2016)	DQO	765	Fosfato	7.15	
			Nitrógeno de amonio	3.42	
	DBO	70	Fe	2.6	
			Zn	0.07	
(Yong, Bashir, Ng, Sethupathi y Lim, 2018)	DQO	4975	Nitrógeno amoniacal	1181	
			Cd	0.54	
			Fe	23.18	
			Mn	0.83	
			Zn	7.51	
	DBO	965	Ni	0.46	
			A	0.43	
			Pb	3.46	
			Ba	0.1	
			Cu	13.01	
			Ag	0.94	
			Se	0.65	
(Wang, et al., 2016)	DQO	4980	Nitrógeno de amonio	1850	
	DBO	548			
(Baiju, Gandhimathi, Ramesh y Nidheesh, 2018)	DQO	7184	Cloruro	6000	
				Fe	72.56
				Cu	0.62
	DBO	220	Ca	465	
				Mg	1190
(Tripathy, Ramesh, Debnathy y Kumar, 2019)	DQO	2240	Amoniaco	2293	
				Cloruro	4298
				Nitrito	0.14
	DBO	80	Nitrato	86.4	
				Mn	2.31
				Zn	0.2
	NT	23.8	Pb	1.548	
				Cr	0.2
			Cu	0.61	

Fuente: Elaboración propia

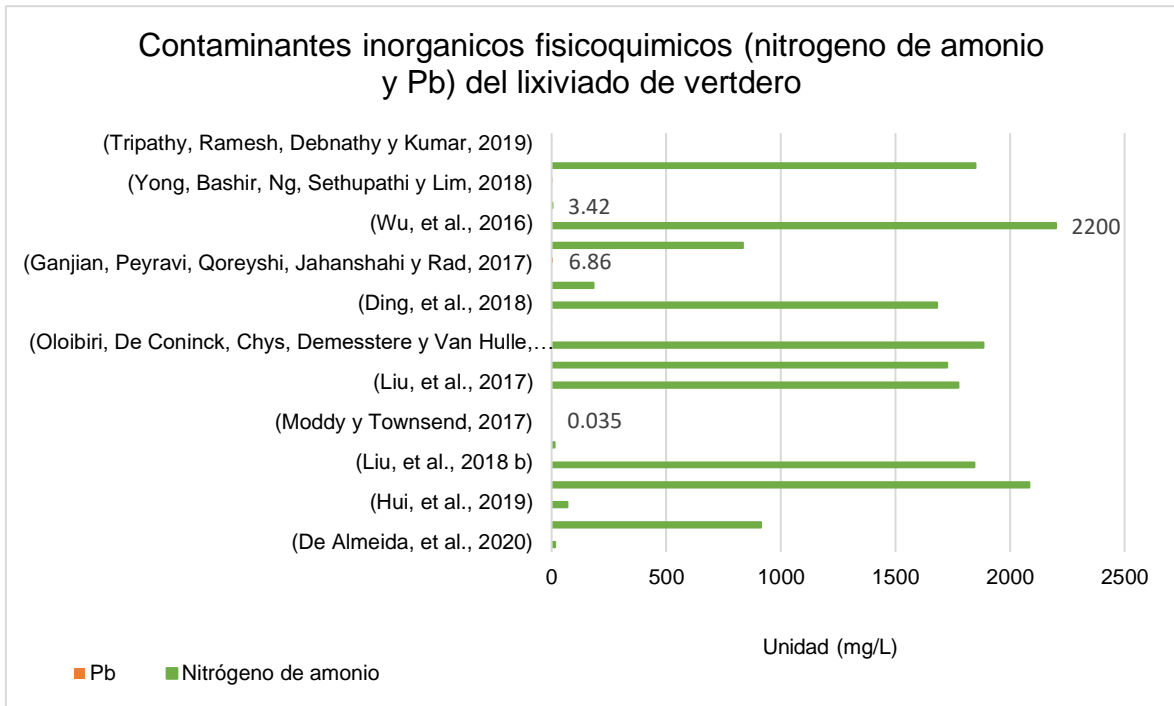
Los lixiviados se caracterizan por una alta cantidad de DQO y DBO según **(Kulikowska y Zielinska, 2017, pág. 97)**, en la investigación se analizó 7 contaminantes orgánicos por un lado se tuvo 63400 mg/L de DQO y 40400 mg/L de DBO según **(keen, 2016)** siendo las cantidades más altas debido que el vertido de lixiviado es procedente de desechos de jardín a diferencia de las otras investigaciones. También se analizó 35 contaminantes inorgánicos obteniendo 2200 mg/L de nitrógeno de amonio según **(Wu, et al., 2016)** mostraron el resultado por las características analizadas del lixiviado maduro resaltando un alto contenido de nitrógeno de amonio, y 6.86 mg/L de metal pesado plomo (Pb) según **(Ganjian, Peyravi, Qoreyshi, Jahanshahi y Rad, 2017)** fueron las cantidades más altas registradas de las diferentes investigaciones.

Gráfico 4: Contaminantes orgánicos fisicoquímicos (DQO y DBO) del lixiviado de vertederos



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 5: Contaminantes inorgánicos fisicoquímicos (nitrógeno de amonio y Pb) del lixiviado de vertederos



Fuente: Elaboración propia

Prosiguiendo con la explicación de los objetivos específicos siguientes son:

OE2: Analizar las características fisicoquímicas de los lixiviados de vertederos según su edad.

Tabla 7: Características fisicoquímicas de los vertederos de los lixiviados de vertederos según su edad

Clasificación de los vertederos														Fuente
Edad del lixiviado	pH	DQO (mg/L)	DBO5 (mg/L)	DBO5/DQO	Nitrógeno de amonio (mg/L)	Nitrógeno amoniacal (mg/L)	NO2-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)	CE (mS/cm)	Temperatura (°C)	Cloruro (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Fosfato (mg/L)	
Jóvenes (menos de 5 años)	6.8	19523	11600	0.6	5931.25			35.03	66.76	25.25				(Zegzouti, et al., 2020)
	8.1	17760	12000	0.68		2295			31.1	20	3960	21.4	3.9	(Ilhan, Guvenc, Avsar, Kurt y Gonullu, 2016)
Promedio	7.5	18642	11800	0.64	5931.25	2295		35.03	48.93	22.625	3960	21.4	3.9	
Medianos (5-10 años)	8.1	14561	5300.2	0.36	5226.13			27.47	55.43	24.89				(Zegzouti, et al., 2020)
	8.4	4975	965	0.21		1181			24.45	25.7				(Yong, Bashir, Ng, Sethupathi y Lim, 2018)
	8.1	14400	7350	0.51		2910			39.8		4010	14.7	30.3	(Ilhan, Guvenc, Avsar, Kurt y Gonullu, 2016)
Promedio	8.2	11312	4538.4	0.36	5226.13	2045.5		27.47	39.893	25.295	4010	14.7	30.3	
Viejos - Maduro (más de 10 años)	8.8	3144			1425		0.05	39.8				72.6		(Chen, Wang, Yang, Mirino y Yuan de Yanlei, 2016)
	9.1	9517.4	1756.8	0.18	3112.68			12.22	78.9	25.1				(Zegzouti, et al., 2020)
	8.4	3550	440	0.12		3865			38.7		3790	13.1	80.5	(Ilhan, Guvenc, Avsar, Kurt y Gonullu, 2016)
Promedio	8.8	5403.8	1098.4	0.15	2268.84	3865	0.05	26.01	58.8	25.1	3790	42.85	80.5	

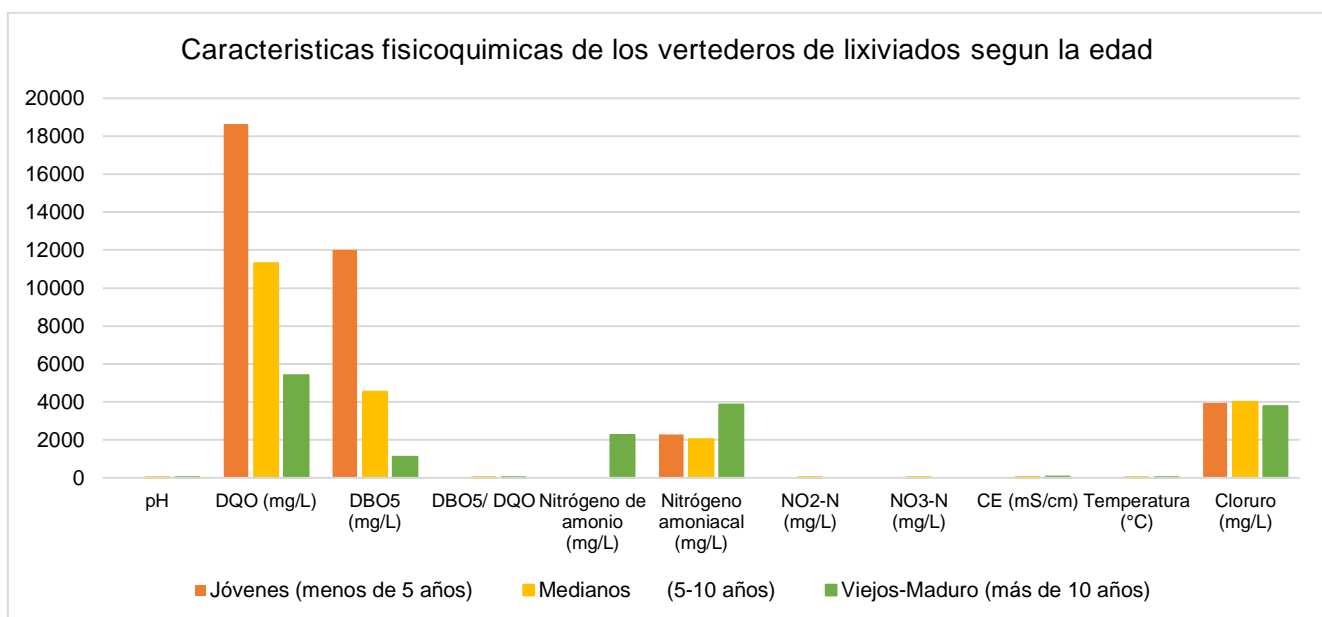
Fuente: Elaboración propia

Según **(Kulikowska y Zielinska, 2017, pág. 95)** los vertederos generan el vertido de lixiviados, así como su composición que determinara el método de tratamiento son determinados por la antigüedad del vertedero de esta manera se obtuvo la clasificación según **(Sruthia, Gandhimathi, Ramesh y Nidheesh, 2018, pag. 40)** la edad de los vertederos se clasifico en tres edades jóvenes, medianos y viejos o estabilizados, los vertederos de lixiviados menor a 1 año se clasifico como jóvenes, mientras que los medianos fueron de 1 y 5 años y estabilizados son mayores a 5 años respectivamente, también **(Kamaruddin, Aziz, Alrozi y Jaafar, 2017, pág. 172)** designa el rango de años que podrían ser menores a 2 años son jóvenes, están entre 2 a 10 años son intermedios y si son mayores a 10 años son maduros de igual manera **(Zegzouti, et al., 2020, pág. 109823)** **(Yong, Bashir, Ng, Sethupathi y Lim, 2018, pág. 246)** **(Chen, Wang, Yang, Mirino y Yuan de Yanlei, 2016, pag. 581)** se clasificó entre jóvenes (menos de 5 años) y medianos o intermedios (5-10 años) según **(Kulikowska y Zielinska, 2017, pág. 96)** son procedentes de la fase inicial de descomposición, fase de transición, fase de formación del ácido y la fase de fermentación que presentan un alto contenido de compuestos orgánicos de bajo peso molecular que logran ser tratados fácilmente en la presente investigación se obtuvo un promedio de una DQO de 18642 mg/L y DBO de 11800 mg/L para los vertederos jóvenes y los medianos una DQO de 11312 mg/L y una DBO de 4538.4 mg/L, y viejos, estabilizados o maduros (más de 10 años) son caracterizados según **(Kulikowska y Bernat, 2017, pág. 205)** por ser ricos en nitrógeno amoniacal debido a la hidrólisis de las fracciones nitrogenadas y una baja concentración de compuestos orgánicos biodegradables, en la presente investigación se obtuvo un promedio de nitrógeno amoniacal de 3865 mg/L como compuesto inorgánico y para los compuestos orgánicos fue una DQO de 5403.8 mg/L y DBO de 1098.4 mg/L estos resultados corroboran lo mencionado por el autor, según **(Kulikowska y Zielinska, 2017, pág. 97)** también mencionó la presencia de las sustancias refractarias (ácidos fúlvicos, ácidos húmicos).

También **(Kulikowska y Zielinska, 2017, pág. 97)** menciona que la mayoría de los autores utilizan DBO5 y DQO como medida de contenido orgánico para fines de diseño se representó en la siguiente comparación se observa una bajada de las concentraciones según la edad:

- DQO 18642 mg/L, DBO₅ 11800 mg/L y DQO/DBO₅ 0.64 (vertederos menores de 5 años)
- DQO 11312 mg/L, DBO₅ 4538.4 mg/L y DQO/DBO₅ 0.36 (vertederos de 5 a 10 años)
- DQO 5403.8 mg/L, DBO₅ 1098.4 mg/L y DQO/DBO₅ 0.15 (vertederos de más de 10 años)

Gráfico 6: Características fisicoquímicas de los vertederos de lixiviados según la edad



Fuente: Elaboración propia

V. CONCLUSIONES

OEG: Los resultados indican que se logró tratar al contaminante orgánico mediante el tratamiento biológico, fisicoquímico y la combinación de ambos como resultado se removió un 95%, 98.3% y 98% de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) respectivamente mediante la aplicación de reactores (reactor manto de lodo anaerobio de flujo ascendente (UASB), un reactor anóxico/aeróbico (A/O) y el UASB desnitrificante (DUASB)), (proceso de peróxido de hidrogeno sonolítico (US-H₂O₂) y perusulfato sonolítico (US-PS)) y (reactor granular de biofiltro por lotes de secuenciación (SBBGR) y el reactor electroquímico) respectivamente. Y para el contaminante inorgánico se logró remover un 99.92%, 97.5% y 95% del nitrógeno de amonio respectivamente, mediante la aplicación de procesos (sistema biológico compuesto de bajo oxígeno disuelto (OD)), (coagulación, carbón activado granular (GAC) e intercambio iónico) y (coagulación y fotobiorreactor de columna (PBR)) respectivamente.

OE1: Se identifico los tipos de contaminantes fisicoquímicos del lixiviado de vertederos siendo contaminantes orgánicos e inorgánicos, se obtuvo 41 contaminantes fisicoquímicos como resultado de la investigación de 38 artículos. Se obtuvo 7 compuestos orgánicos: DQO, DBO₅, nitrógeno total, fosforo total, nitrógeno total, compuestos recalcitrantes (ácidos fúlvicos y ácidos húmicos) y e hidrocarburos (compuestos hidrófilos) así como para los compuestos inorgánicos resultaron 12 compuestos tales son: amoniaco, nitrógeno amoniacal, amonio, nitrógeno de amonio, nitrito, nitrógeno de nitrito, nitrato, nitrógeno de nitrato, aniones (sulfato, cloruro, fluoruro, fosfato), 14 metales pesados (cadmio, hierro, manganeso, zinc, níquel, arsénico, plomo, mercurio, aluminio, bario, cromo, cobre, cobalto y plata), otros 9 elementos químicos (potasio, calcio, magnesio, sodio, boro, antimonio, fosforo, estroncio y selenio).

OE2: Se analizo las características fisicoquímicas de los lixiviados de vertederos según su edad se clasifico en tres edades jóvenes (menos de 5 años) medianos o intermedios (5-10 años) y viejos, estabilizados o maduros (más de 10 años) con las siguientes características fisicoquímicas:

- DQO 18642 mg/L, DBO₅ 11800 mg/L, DQO/DBO₅ 0.64, pH 7.5, Nitrógeno de amonio 5931.25 mg/L, Nitrógeno amoniaco 2295 mg/L, Temperatura 22.625 °C, Cloruro 3960 mg/L, Sulfato 21.4 mg/L y Fosfato 3.9 mg/L (vertederos menores de 5 años)
- DQO 11312 mg/L, DBO₅ 4538.4 mg/L, DQO/DBO₅ 0.36, pH 8.2, Nitrógeno de amonio 5226.13 mg/L, Nitrógeno amoniaco 2045.5 mg/L, Temperatura 25.295 °C, Cloruro 4010 mg/L, Sulfato 14.7 mg/L y Fosfato 30.3mg/L (vertederos de 5 a 10 años)
- DQO 5403.8 mg/L, DBO₅ 1098.4 mg/L, DQO/DBO₅ 0.15, pH 8.8, Nitrógeno de amonio 2268.84mg/L, Nitrógeno amoniaco 3865 mg/L, Temperatura 25.1°C, Cloruro 3790 mg/L, Sulfato 42.85mg/L y Fosfato 80.5mg/L (vertederos de más de 10 años)

Como se observa las concentraciones van decreciendo según la edad para los compuestos orgánicos pero los compuestos inorgánicos son los que incrementan este resultado se obtuvo realizando un promedio.

OE3: Se analizaron los métodos de tratamientos del lixiviado de vertederos como resultado se obtuvieron 33 tratamientos de una revisión sistemática de 35 artículos científicos debidamente indexadas, para los tratamientos biológicos se obtuvo 14 métodos de tratamientos de biorremediación, SBR, procesos de lodos activados, adsorción por carbón activado, biorreactor y MBR, para los tratamientos fisicoquímicos se obtuvo 13 métodos de tratamientos de POAs como los procesos fentón, ozonización, entre otros, también analizamos la nanofiltración, coagulación, sorción, intercambio iónico, entre otros, y por último para las combinaciones de tratamientos biológicos y fisicoquímicos se obtuvo 8 métodos de tratamientos de Biorreactor + POAs, POAs + coagulación + biorreactor, coagulación + fitorremediación, biorreactor + adsorción por PAC, biofiltración (BF) + electrocoagulación (CE), SBR + Coagulación, MBR + Proceso de electrooxigenación (EOP), proceso fentón + proceso biológico.

OE4: Se analizaron las condiciones operativas de los tratamientos biológicos y fisicoquímicos son esenciales para determinar la eficiencia de eliminación del contaminante del lixiviado analizando las siguientes condiciones óptimas en la que

trabajaron cada tratamiento a una temperatura de 25.7°C que es una temperatura ambiente, el pH se trabajó con un promedio general de 4.744 que quiere decir que el pH debe ser ácido, tiempo de operación varía según el tratamiento pero se sacó un promedio en minutos siendo 24656 min, 411 h y 17 días, SRT se obtuvo un promedio de 30 días, HRT con un promedio de 6 días, muestra del lixiviado para este caso se trabajó en concentración (%) y volumen (ml), velocidad de agitación con promedio de 109 rpm, coagulante en la mayoría de los métodos además cloruro polialuminio y cloruro férrico utilizaron el coagulante alumbre, bacterias de la especie *Paenibacillus sp.*, hongos de las especies *Penicillium spp* y *Aspergillus flavus*, algas de la especie *Scenedesmus sp.*, entre otros, son los más relevantes.

VI. RECOMENDACIONES

OEG: Los métodos de tratamientos biológicos y fisicoquímicos no son suficientes para lograr una eliminación de los contaminantes del lixiviado en un 100% lo que se recomienda en base a la investigación es realizar el método de tratamiento fisicoquímicos, así como la combinación de ambos métodos de tratamientos para una eliminación de mayores contaminantes.

OE1: Los contaminantes fisicoquímicos del lixiviado de vertedero se recomienda en una próxima investigación en cuanto a sistemas de tratamientos de lixiviado de vertederos se recomienda realizar una comparación del antes y después de la eliminación.

OE2: Se recomienda describir la clasificación del vertedero según la edad para determinar el tratamiento que se le corresponde.

OE2: Los vertederos de viejos son los más difíciles de tratar debido a los compuestos orgánicos refractarios se recomienda trabajar con métodos de tratamientos biológicos y fisicoquímicos en combinación para obtener un mejor resultado.

OE3: Se recomienda trabajar con los métodos de tratamientos fisicoquímicos y la combinación de los tratamientos biológicos y fisicoquímicos para obtener mejores resultados.

OE3: Se recomienda realizar investigaciones acerca de los POAs en especial de los procesos fentón ya que en la investigación se encontraron 12 tratamientos con la aplicación del proceso.

OE4: Las condiciones operativas que se analizaron en cada tratamiento no fue suficiente debido a la limitación del artículo para obtener una adecuada información.

REFERENCIAS

- (1) A pilot-scale study on the treatment of landfill leachate by a composite biological system under low dissolved oxygen conditions: Performance and microbial community por Jianyang Song [et al]. *Bioresource Technology* [en línea]. (296), 122344. Enero de 2020. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2021].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852419315743?via%3>
DOI: 10.1016/j.biortech.2019.122344
- (2) A sequential treatment of intermediate tropical landfill leachate using a sequencing batch reactor (SBR) and coagulation por Zi Jun Yong [et al]. *Journal of Environmental Management* [en línea]. (205), 244-252. 1 de enero de 2018. [Fecha de consulta: 19 de marzo de 2021].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479717309374?via%3>
DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.09.068
- (3) A three-stage fixed-bed electrochemical reactor for biologically treated landfill leachate treatment por Hongsen Hui [et al]. *Chemical Engineering Journal* [en línea]. (379), 121026. 15 de noviembre de 2019. [Fecha de consulta: 14 de marzo de 2021].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894719303444?via%3>
DOI: 10.1016/j.cej.2019.02.113
- (4) ADSORPTION photobioreactor as a co-treatment system for ammonium and phosphate removal by the response surface method por Etesam Ganjian [et al]. *Waste Management & Research* [en línea]. (35), 766-775. 5 de junio de 2017. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2021].
Disponible en:
<https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0734242X17708051>
DOI: 10.1177/0734242X17708051
- (5) ADVANCED landfill leachate treatment using iron-carbon microelectrolysis-Fenton process: Process optimization and column experiments por Liqun Wang [et al]. *Journal of Hazardous Materials* [en línea]. (318), 460-467. 15 de noviembre de 2016. [Fecha de consulta: 12 de mayo de 2021].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389416306653?via%3>
DOI: 10.1016/j.jhazmat.2016.07.033

- (6) ADVANCED nitrogen removal using bio-refractory organics as carbon source for biological treatment of landfill leachate por Lina Wu [et al]. *Separation and Purification Technology* [en línea]. (170), 306-313. 1 octubre de 2016. [Fecha de consulta: 11 de mayo de 2021].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586616307778?via%3>
DOI: 10.1016/j.seppur.2016.06.033
- (7) AL-WASIFY, Raed S., ALI Mohamed N. y HAMED Shimaa R. Application of different magnetic intensities for the treatment of landfill leachate in Egypt. *Civil & Environmental Engineering* [en línea]. (5), 1436114. 2018. [Fecha de consulta: 6 de abril de 2021].
Disponible en:
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311916.2018.1436114>
DOI: 10.1080/23311916.2018.1436114
- (8) AN innovative multistage treatment system for sanitary landfill leachate depuration: Studies at pilot-scale por Tânia F.C.V.Silva [et al]. *Science of The Total Environment* [en línea]. (576), 99-117. 15 de enero de 2017. [Fecha de consulta: 5 de mayo de 2021].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969716322240?via%3>
DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.058
- (9) ANALYSIS of the contaminants released from municipal solid waste landfill site: A case study por Sukha Renjan Samadder [et al]. *Science of The Total Environment* [en línea]. (580), 593-601. 15 de febrero de 2017. [Fecha de consulta: 22 de febrero de 2021].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969716326882?via%3>
DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.12.003
- (10) BIOREMEDIATION of landfill leachate by *Aspergillus flavus* in submerged culture: Evaluation of the process efficiency by physicochemical methods and 3D fluorescence spectroscopy por Yassine Zegzouti [et al]. *Journal of Environmental Management* [en línea]. (225), 109821. 1 de febrero de 2020. [Fecha de consulta: 7 de mayo de 2021].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719315397?via%3>
DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109821
- (11) CHARACTERIZATION and treatment of landfill leachates by electro-Fenton process: A case study in Algeria por Lina Mounia Roudi [et al]. *Water Environment Federation* [en línea]. (92), 123-137. Enero de 2020. [Fecha de consulta: 13 de marzo de 2021].

Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/wer.1223>
DOI: 10.1002/wer.1223

- (12) CHARACTERIZATION of Dissolved Organic Matter in Mature Leachate during Ammonia Stripping and Two-Stage Aged-Refuse Bioreactor Treatment por Wen-chuan Ding [et al]. *Journal of Environmental Engineering* [en línea]. (144), 04017082. 1 de enero de 2018. [Fecha de consulta: 5 de mayo de 2021].
Disponible en:
<https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29EE.1943-7870.0001291>
DOI: 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001291
- (13) CHARACTERIZATION of landfill leachate by EEM-PARAFAC-SOM during physical-chemical treatment by coagulation-flocculation, activated carbon adsorption and ion exchange por Violet Oloibiri [et al]. *Chemosphere* [en línea]. (186), 873-883. Noviembre de 2017. [Fecha de consulta: 3 de mayo de 2021].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653517312584?via%3>
DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.08.035
- (14) COMBINED heterogeneous Electro-Fenton and biological process for the treatment of stabilized landfill leachate por Archa Baiju [et al]. *Journal of Environmental Management* [en línea]. (210), 328-337. 15 de marzo de 2018. [Fecha de consulta: 12 de mayo de 2021].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479718300185?via%3>
DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.01.019
- (15) COUPLING biofiltration process and electrocoagulation using magnesium-based anode for the treatment of landfill leachate por Dia Oumar [et al]. *Journal of Environmental Management* [en línea]. (181), 477-483. 1 de octubre de 2016. [Fecha de consulta: 11 de mayo de 2021].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479716304339?via%3>
DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.06.067
- (16) DENITRIFICATION of landfill leachate under different hydraulic retention time in atwo-stage anoxic/oxic combined membrane bioreactor process: Performances and bacterial community por Jianbo Liu [et al]. *Bioresource Technology* [en línea]. (250), 110-116. Febrero de 2018. [Fecha de consulta: 30 de marzo de 2021].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096085241732000X?via%3>
DOI: 10.1016/j.biortech.2017.11.026

- (17) EFFECT of biochar addition on the removal of organic and nitrogen pollutants from leachate treated with a semi-aerobic aged refuse biofilter por Xuqin Pan [et al]. *Waste Management & Research* [en línea]. (38), 1176-1184. 1 de octubre de 2020. [Fecha de consulta: 12 de mayo de 2021].
Disponibile en:
<https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0734242X20957411>
DOI: 10.1177/0734242X20957411
- (18) ELECTRO-Fenton oxidation of reverse osmosis concentrate from sanitary landfill leachate: Evaluation of operational parameters por Annabel Fernandes [et al]. *Chemosphere* [en línea]. (184), 1223-1229. Octubre de 2017. [Fecha de consulta: 23 de abril de 2021].
Disponibile en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653517309918?via%3>
DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.06.088
- (19) ELECTROCOAGULATION of bio-filtrated landfill leachate: Fractionation of organic matter and influence of anode materials por Oumar Dia [et al]. *Chemosphere* [en línea]. (168), 1136-1141. Febrero de 2017. [Fecha de consulta: 24 de marzo de 2021].
Disponibile en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653516314849?via%3>
DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.10.092
- (20) ENHANCING microalgae growth and landfill leachate treatment through ozonization por Xuejun Quan [et al]. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. (248), 119182. 1 de marzo de 2020. [Fecha de consulta: 16 de abril de 2021].
Disponibile en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619340521?via%3>
DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119182
- (21) EVALUATION of humic substances removal from leachates originating from solid waste landfills in Rio de Janeiro State, Brazil por Letícia S.M.S Lima [et al]. *Journal of Environmental Science and Health* [en línea]. (52), 828-836. 27 de abril de 2017. [Fecha de consulta: 12 de mayo de 2021].
Disponibile en:
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10934529.2017.1312182>
DOI: 10.1080/10934529.2017.1312182
- (22) HAMID, Hanna, LI, Loretta Y. y GRACE, John R. Aerobic biotransformation of fluorotelomer compounds in landfill leachate-sediment. *Science of the Total Environment* [en línea]. (713), 136547. 15 de abril de 2020. [Fecha de consulta: 26 de marzo de 2021].
Disponibile en:

[https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720300577?
via%3](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720300577?via%3)
DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.136547

- (23) HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos, y BAPTISTA, María Del Pilar. Metodología de la investigación. 6°. ed. México: McGRAW-HILL. 2000. 634pp.
ISBN: 978-1-4562-2396-0
- (24) HERNÁNDEZ, Roberto y MENDOZA Christian Paulina. Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. México: McGRAW-HILL. 2018. 753pp.
ISBN: 978-1-4562-6096-5
- (25) INFLUENCE of reflux ratio on two-stage anoxic/oxic with MBR for leachate treatment: Performance and microbial community structure por Jianbo Liu [et al]. *Bioresource Technology* [en línea]. (256), 69-76. Mayo de 2018. [Fecha de consulta: 19 de marzo de 2021].
Disponible en:
[https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852418301688?
via%3](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852418301688?via%3)
DOI: 10.1016/j.biortech.2018.01.146
- (26) ISLAM Mofizul, XU Qian y YUAN Qiuyan. Advanced biological sequential treatment of mature landfill leachate using aerobic activated sludge SBR and fungal biorreactor. *Journal of Environmental Health Science and Engineering* [en línea]. (18), 285–295. 2020. [Fecha de consulta: 26 de marzo de 2021].
Disponible en:
<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40201-020-00466-z>
DOI: 10.1007/s40201-020-00466-z
- (27) KEEN Olya S. Characterisation of ultraviolet-absorbing recalcitrant organics in landfill leachate for treatment process optimisation. *Waste Management & Research* [en línea]. 1-4. 2016. [Fecha de consulta: 25 de marzo de 2021].
Disponible en:
<https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0734242X16678065>
DOI: 10.1177/0734242X16678065
- (28) KUMARI Moni, GHOSH Pooja y THAKUR Indu Shekhar. Landfill leachate treatment using bacto-algal co-culture: An integrated approach using chemical analyses and toxicological assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [en línea]. (128), 44-51. Junio de 2016. [Fecha de consulta: 4 de mayo de 2021].
Disponible en:
[https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651316300409?
via%3](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651316300409?via%3)
DOI: 10.1016/j.ecoenv.2016.02.009

- (29) LANDFILLS environmental impacts, assessment and management por Abdelhakim El Maguiri [et al]. En: KULIKOWSKA, Dorota y ZIELIŃSKA, Magdalena. Capítulo 4: Adsorption and membrane filtration in the treatment of leachate from stabilized landfills: laboratory studies and fullscale experiments. New York: Norma Chandler, 2017. [Fecha de consulta: 15 de abril del 2021].
Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/322053049_Landfills_Environmental_Impacts_Assessment_and_Management
ISBN: 9781536125597
- (30) LANDFILLS environmental impacts, assessment and management por Abdelhakim El Maguiri [et al]. En: KAMARUDDIN Mohamad Anuar [et al]. Capítulo 7: Exploring municipal solid waste and landfill management: a systematic approach. New York: Norma Chandler, 2017. [Fecha de consulta: 15 de abril del 2021].
Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/322053049_Landfills_Environmental_Impacts_Assessment_and_Management
ISBN: 9781536125597
- (31) LANDFILLS environmental impacts, assessment and management por Abdelhakim El Maguiri [et al]. En: KULIKOWSKA, Dorota y BERNAT, Katarzyna. Capítulo 8: Biological methods of nitrogen removal from municipal landfill leachate. New York: Norma Chandler, 2017. [Fecha de consulta: 15 de abril del 2021].
Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/322053049_Landfills_Environmental_Impacts_Assessment_and_Management
ISBN: 9781536125597
- (32) LANDFILL leachate treatment by sequential membrane bioreactor and electro-oxidation processes por Mehdi Zolfaghari [et al]. *Journal of Environmental Management* [en línea]. (184), 318-326. 15 de diciembre de 2016. [Fecha de consulta: 12 de mayo de 2021].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479716307824?via%3>
DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.10.010
- (33) LANDFILL leachate treatment by sorption in magnetic particles: preliminary study por Paulo A. Augusto [et al]. *Science of The Total Environment* [en línea]. (648), 636-668. 15 de enero de 2019. [Fecha de consulta: 13 de marzo de 2021].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718330249?via%3>
DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.056

- (34) LANDFILL leachate treatment: Comparison of standalone electrochemical degradation and combined with a novel biofilter por Guido Del Moro [et al]. *Chemical Engineering Journal* [en línea]. (288), 87-98. 15 de marzo de 2016. [Fecha de consulta: 13 de marzo de 2021].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894715016216?via%3>
DOI: 10.1016/j.cej.2015.11.069
- (35) Ley N° 27314. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 23 diciembre 2016.
- (36) MATURE landfill leachate treatment using sonolytic-persulfate/hydrogen peroxide oxidation: Optimization of process parameters por Binay Kumar Tripathy [et al]. *Ultrasonics Sonochemistry* [en línea]. (54), 210-219. Junio de 2019. [Fecha de consulta: 12 de mayo de 2021].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417718313130?via%3>
DOI: 10.1016/j.ultsonch.2019.01.036
- (37) MOODY Chris M. y TOWNSEND Timothy Glyndon. A comparison of landfill leachates based on waste composition. *Waste Management* [en línea]. (63), 267-274. Mayo de 2017. [Fecha de consulta: 24 de marzo de 2021].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X16305232?via%3>
DOI: 10.1016/j.wasman.2016.09.020
- (38) MULTISTAGE biological contact oxidation for landfill leachate treatment: Optimization and bacteria community análisis por Chunli Yuan [et al]. *International Biodeterioration & Biodegradation* [en línea]. (125), 200-207. Noviembre de 2017. [Fecha de consulta: 11 de mayo de 2021].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0964830517311538?via%3>
DOI: 10.1016/j.ibiod.2017.09.008
- (39) NAIR, Abhilash T., SENTHILNATHAN, Jaganathan y NAGENDRA, Shiva M. Application of the phycoremediation process for tertiary treatment of landfill leachate and carbon dioxide mitigation. *Journal of Environmental Engineering* [en línea]. (28), 322-330. Abril de 2019. [Fecha de consulta: 5 de mayo de 2021].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221471441830895X?via%3>
DOI: 10.1016/j.jwpe.2019.02.017

- (40) NANOFILTRATION applied to the landfill leachate treatment and preliminary cost estimation por Ronei de Almeida [et al]. *Waste Management & Research* [en línea]. 1-10. 2020. [Fecha de consulta: 23 de marzo de 2021].
Disponible en:
<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0734242X20933333>
DOI: 10.1177/0734242X20933333
- (41) NICHOLLS David. Qualitative research. Part 3: Methods. *International Journal of Therapy and Rehabilitation* [en línea]. (24) n°.3. 8 de marzo de 2017. [Fecha de consulta: 7 de abril del 2021].
Disponible en:
<https://www.magonlineibrary.com/doi/abs/10.12968/ijtr.2017.24.3.114>
DOI: 10.12968/ijtr.2017.24.3.114
- (42) OPTIMIZATION of treatment leachates from young, middle-aged and elderly landfills with bipolar membrane electrodialysis por Fatih Ilhan [et al]. *Environmental Technology* [en línea]. (38), 2733-2742. 22 de diciembre de 2016. [Fecha de consulta: 12 de mayo de 2021].
Disponible en:
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09593330.2016.1276221>
DOI: 10.1080/09593330.2016.1276221
- (43) PARTIAL nitrification and denitrification of mature landfill leachate using a pilot-scale continuous activated sludge process at low dissolved oxygen por Zhenguo Chen [et al]. *Bioresource Technology* [en línea]. (218), 580-588. Octubre de 2016. [Fecha de consulta: 29 de marzo de 2021].
Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/journal/09608524>
DOI: 10.1016/j.biortech.2016.07.008
- (44) POST-treatment of landfill leachate using rice husk ash as adsorbent médium por Josiane Pinheiro Farias [et al]. *Revista ambiente e agua* [en línea]. (14), 1-8. 1 de agosto de 2019. [Fecha de consulta: 8 de mayo de 2021].
Disponible en:
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980993X2019000400313&lng=en&nrm=iso&tlng=en3
DOI: 10.4136/ambi-agua.2350
- (45) RAWAT, Shalu, VERMA, Lata, y SINGH, Jiwan. Environmental Concerns and Sustainable Development [en línea]. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2019. [Fecha de consulta: 14 de abril del 2021].
Capítulo 16: Environmental Hazards and Management of E-waste.
Disponible en:
https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-981-13-6358-0_16#citeas
ISBN: 978-981-13-6358-0
- (46) REN Y, FERROZ F.M. y YUAN Qiuyan. Biological leachate treatment using anaerobic/aerobic process: suspended growth-activated sludge

versus aerobic granular sludge. *International Journal of Environmental Science and Technology* [en línea]. (15), 2295–2302. 17 de diciembre de 2017. [Fecha de consulta: 8 de mayo de 2021].

Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-017-1633-3>

DOI: 10.1007/s13762-017-1633-3

- (47) SIL, Avick y KUMAR, Sunil. Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Solid Waste Management [en línea]. India: Elsevier Ltd, 2017. [Fecha de consulta: 10 de abril del 2021]. Capítulo 17: Landfill Leachate Treatment.
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444636645000174#>
DOI: 10.1016/B978-0-444-63664-5.00017-4
- (48) STABILIZED landfill leachate treatment by zero valent aluminium-acid system combined with hydrogen peroxide and persulfate based advanced oxidation process por Jismy Antony [et al]. *Waste Management* [en línea]. (106), 1-11. 1 de abril de 2020. [Fecha de consulta: 6 de abril de 2021].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X20301070?via%3>
DOI: 10.1016/j.wasman.2020.03.005
- (49) STABILIZED Landfill Leachate Treatment using Heterogeneous Fenton and ElectroFenton Processes por Sruthi T. [et al]. *Chemosphere* [en línea]. (210), 38-43. Noviembre de 2018. [Fecha de consulta: 26 de marzo de 2021].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653518312475>
DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.06.172
- (50) STRAUSS, Anselm y CORBIN, Juliet. Bases de la investigación cualitativa. Técnicas y procedimientos para desarrollar la teoría fundamentada. Colombia: Universidad de Antioquia. 2002. 340pp.
ISBN: 958-655-624-7
- (51) TREATMENT of landfill leachate with different techniques: an overview por Amin Mojiri [et al]. *Journal of Water Reuse and Desalination* [en línea]. (11), 66-96. 1 de marzo de 2021. [Fecha de consulta: 1 de mayo de 2021].
Disponible en:
<https://iwaponline.com/jwrd/article/11/1/66/78524/Treatment-of-landfill-leachate-with-different>
DOI: 10.2166/wrd.2020.079
- (52) TREATMENT of leachate concentrate by electrocoagulation coupled with electro-Fenton-like process: Efficacy and mechanism por Jing Ding [et al]. *Separation and Purification Technology* [en línea]. (225), 117668. 15 de enero de 2021. [Fecha de consulta: 13 de marzo de 2021].

Disponible en:

[https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586620321420?
via%3](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586620321420?via%3)

DOI: 10.1016/j.seppur.2020.117668

- (53) TWO-stage anoxic/oxic combined membrane bioreactor system for landfill leachate treatment: Pollutant removal performances and microbial community por Jianbo Liu [et al]. *Bioresource Technology* [en línea]. (243), 738-746. Noviembre de 2017. [Fecha de consulta: 30 de marzo de 2021].

Disponible en:

[https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096085241731088X
?via%3](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096085241731088X?via%3)

DOI: 10.1016/j.biortech.2017.07.002

- (54) USE of fish scales as an adsorbent of organic matter present in the treatment of landfill leachate por Rodrigo Poblete [et al]. *Journal of chemical technology and biotechnology* [en línea]. (95), 1550-1558. 13 de enero de 2020. [Fecha de consulta: 7 de mayo de 2021].

Disponible en:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jctb.6349>

DOI: 10.1002/jctb.6349

- (55) VACCARI Mentore, TUDOR Terry y VINTI Giovanni. Characteristics of leachate from landfills and dumpsites in Asia, Africa and Latin America: an overview. *Waste Management* [en línea]. (95), 416-431. 15 julio de 2019. [Fecha de consulta: 12 de mayo de 2021].

Disponible en:

[https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X1930409X
?via%3](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X1930409X?via%3)

DOI: 10.1016/j.wasman.2019.06.032

- (56) WILLIAMSON, Kirsty y JOHANSON, Graeme. Research Methods Information, Systems, and Contexts. [En línea]. EE. UU: Elsevier Ltd, 2018 [fecha de consulta: 9 de abril del 2021]. Capítulo 16: Questionnaires, individual interviews and focus group interviews.

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102220-7.00044-3>

ISBN: 978-0-08-102220-7

- (57) WILLIAMSON, Kirsty y JOHANSON, Graeme. Research Methods Information, Systems, and Contexts. [En línea]. EE. UU: Elsevier Ltd, 2018 [fecha de consulta: 9 de abril del 2021]. Capítulo 17: Observación

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102220-7.00044-3>

ISBN: 978-0-08-102220-7

- (58) ZHANG, Tian C. y SURAMPALLi, Rao Y. Sustainable Solid Waste Management [En línea]. EE. UU: Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles (ASCE), 2016 [fecha de consulta: 7 de abril del 2021]. Capítulo 19. Landfill Leachate Collection and Treatment.

Disponible en:

<https://experts.nebraska.edu/en/publications/landfill-leachate-collection-and-treatment>.
ISBN: 9780784479308

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de categorización apriorística

MATRIZ DE CATEGORIZACION APRIORISTICA				
Objetivos específicos	Problemas específicos	Categorías	Subcategorías	Unidad de análisis
Identificar los contaminantes fisicoquímicos del lixiviado de vertederos	¿Qué tipos de contaminantes fisicoquímicos están presentes en los lixiviados de vertederos?	Tipo de contaminantes fisicoquímicos	Inorgánicos Orgánicos	(Nair, Senthilnathan y Nagendra, 2019) (Yong, Bashir, Ng, Sethupathi y Lim, 2018) (Moddy y Townsend, 2017) (Islam, Xu y Yuan, 2020) (Silva, et al., 2017)(Al-Wasify, Ali y Hamed, 2018) (Oloibiri, De Coninck, Chys, Demesstere y Van Hulle, 2017) (Kumari, Ghosh y Thakur, 2016) (Oumar, Patrick, Gerardo, Rino y Ishen, 2016) (Del moro, et al., 2016)(De Almeida, et al., 2020) (Farias, et al., 2020) (keen, 2016) (Ding, et al., 2018) (Poblete, Cortes, Bakit y Luna-Galiana, 2020) (Dia, Drogui, Buelna, Dubé y Ihsen, 2017)
Analizar las características fisicoquímicas de los lixiviados de vertederos según su edad	¿Cuáles son las características fisicoquímicas de los lixiviados de vertederos según su edad?	Características fisicoquímicas del lixiviado de vertederos según su edad	Joven Mediano Maduro	(Zegzouti, et al., 2020) (Zegzouti, et al., 2019) (Yong, Bashir, Ng, Sethupathi y Lim, 2018) (Sruthia, Gandhimathi, Ramesh y Nidheesh, 2018)

<p>Analizar los métodos que se aplican en el tratamiento de lixiviados de vertederos</p>	<p>¿Qué métodos se aplican para el tratamiento de lixiviados de vertederos?</p>	<p>Métodos de tratamientos de lixiviados de vertederos</p>	<p>Método fisicoquímico Método biológico</p>	<p>(De Almeida, et al., 2020) (Islam, Xu y Yuan, 2020) (Farias, et al., 2019) (Al-Wasify, Ali y Hamed, 2018) (Kumari, Ghosh y Thakur, 2016)</p>
<p>Analizar las condiciones operativas de los tratamientos biológicos y fisicoquímicos</p>	<p>¿Cuáles son las condiciones operativas de los tratamientos de biológico y fisicoquímico?</p>	<p>Condiciones operativas</p>	<p>Temperatura, pH, tiempo de operación, SRT, HRT y la velocidad de agitación</p>	<p>(Sruthia, Gendhimathi, Ramesh y Nidheesh, 2018) (Dia, Drogui, Buelna, Dubé y Ihsen, 2017) (Rouidi, Mauricio, Boukhissa, Ait-Amar y Balamane, 2019) (Del moro, et al., 2016) (Kumari, Ghosh y Thakur, 2016) (Moddy y Townsend, 2017) (Silva, et al., 2017) (Al-Wasify, Ali y Hamed, 2018)</p>

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: Características del lixiviado de vertederos

Sistemas de tratamientos del lixiviado de vertederos. revisión sistemática, 2021

Características del lixiviado de vertederos		
Fuente	Características	Cantidad
(Ding, et al., 2021)	pH	7.4-7.8
	Conductividad eléctrica	17.2-21.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$
	SS	200-600 mg/L
(De Almeida, et al., 2020)	pH	11.1
	Conductividad eléctrica	13 mS/cm
	Turbiedad	39 NTU
	UV254 nm	14.25 cm
	Color	1290 mg Pt-Co/L
(Hamid, Li y Grace, 2020)	pH	7.9
	TSS	86 mg/L
	Conductividad eléctrica	6.8 mS/m
	Alcalinidad	710 mg CaCO_3/L
	TOC	304 mg/L
(Islam, Xu y Yuan, 2020)	DBO/DQO	0.095
	pH	8.1
	TOC	675 mg/L
(Antony, Niveditha, Gandhimathi, Ramesh y Nidheesh, 2020)	pH	8.3
	DBO/DQO	0.04
	TSS	2050 mg/L
	TDS	16440 mg/L
	TOC	2747 mg/L
(Quan, et al., 2019)	pH	8.63
	Cromaticidad	1400 Pt - Co
(Augusto, et al., 2019)	pH	7.7
	Conductividad eléctrica	41.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$
	TS	33,552 mg/L
	TVS	12,073 mg/L
	SS	3373 mg/L
(Hui, et al., 2019)	Chroma	128
	SS	23 mg/L
	DBO/DQO	0.12
	pH	7.6
	Conductividad eléctrica	8030 $\mu\text{S}/\text{cm}$
	Color	Marrón
(Rouidi, Mauricio, Boukhissa, Ait-Amar y Balamane, 2019)	DBO/DQO	0.2
	pH	8.7
	TSS	775 mg/L
	VSS	415 mg/L
	Conductividad eléctrica	30.8 mS/cm

	O2 Disuelto	3.58 mg/L
	TS	18700 mg/L
	Alcalinidad	14,000 mg CaCO3/L
	TVS	5605 mg/L
	Color	Negro
	Olor	Acre
	Turbiedad	1200 NTU
	TOC	2900 mg/L
	NTK	4.72 mg/L
(Sruthia, Gandhimathi, Ramesh y Nidheesh, 2018)	DBO/DQO	0.03
	pH	8.1
	TSS	7500 mg/L
	TS	17000 mg/L
	Alcalinidad	10000 mg de CaCO3/L
	TVS	1120 mg/L
	TDS	9500 mg/L
(Liu, et al., 2018 a)	pH	7.2-8.5
	Color	Marrón oscuro
	Olor	Fuerte
(Liu, et al., 2018 b)	pH	7.2-8.5
	Color	Marrón oscuro
	Olor	Fuerte
(Al-Wasify, Ali y Hamed, 2018)	pH	8.1
	TSS	3234,6 mg/L
	Conductividad eléctrica	4479 μ s/cm
(Dia, Drogui, Buelna, Dubé y Ihsen, 2017)	DBO/DQO	0.02
	pH	8.7
	Conductividad eléctrica	6.04 mS/cm
	Alcalinidad	494 mg de CaCO3/L
	Turbiedad	3.9 NTU
(Moddy y Townsend, 2017)	DBO/DQO	0.04
	pH	6.3
	Alcalinidad	4200 mg/L
	TDS	52,000 mg/L
	UV254	1.3
	TOC	95 mg/L
	DQO/TOC	27.2
	DBO/DQO	0.11
	pH	7.1
	Alcalinidad	490 mg/L
	TDS	7000 mg/L
	UV254	2.6 cm
	TOC	915 mg/L
	DQO/TOC	4

(Liu, et al., 2017)	pH	7.2-8.5
	Color	Marrón oscuro
	Olor	Fuerte
(Del moro, et al., 2016)	DBO/DQO	0.2
	pH	8.6
	TSS	203 mg/L
	VSS	189 mg/L
	Conductividad eléctrica	10.5 μ s/cm
	DOC	1448 mg/L
	Color	3.07 abs a 426 nm
(keen, 2016)	DBO/DQO	0.64
	UV254	195 cm
	TOC	19400 mg/L
	DQO/TOC	0.31
	UV254/TOC	0.91 m - 1.1 mg/L
Chen, Wang, Yang, Mirino y Yuan de Yanlei, 2016)	pH	8.78
	Alcalinidad	6684 mg CaCO ₃ /L
(Oloibiri, De Coninck, Chys, Demesstere y Van Hulle, 2017)	UV254	18.4 cm
(Kumari, Ghosh y Thakur, 2016)	pH	8.5
	Conductividad eléctrica	34400 μ s/cm
	Color	Marrón Oscuro - 9220 Pt Co
	Olor	Desagradable
	TDS	32400 mg/L
(Silva, et al., 2017)	pH	7.6
	DBO/DQO	0.1
	Alcalinidad	4420 mg CaCO ₃ /L
	DOC	1280 mg/L
	TDS	2341 mg/L
	DIC	1060 mg/L
(Ding, et al., 2018)	DBO/DQO	0.16
	pH	8.2
	TSS	360 mg/L
	Coliformes Fecales	1.4 10 ⁵ /L
(Nair, Senthilnathan y Nagendra, 2019)	pH	7.48
	Color	Marrón Oscuro
	DOC	697 mg/L
(Poblete, Cortes, Bakit y Luna-Galiana, 2020)	pH	7.61
	Conductividad eléctrica	39.33 mS/cm
	Color	200 PCU
	UV254	14.9 cm
(Farias, et al., 2020)	pH	8.14
	Color	16600 UC
(Ren, Ferroz y Yuan, 2017)	DBO/DQO	<0.30

	pH	7.8
(Ganjan, Peyravi, Qoreyshi, Jahanshahi y Rad, 2017)	pH	80 mg/L
	TSS	8.33
(Song, et al., 2020)	pH	8.2
	Color	Marrón Oscuro
	Olor	Fuerte
(Wu, et al., 2016)	pH	7.5-8.5
(Oumar, Patrick, Gerardo, Rino y Ishen, 2016)	DBO/DQO	0.09
	TSS	30 mg/L
	Conductividad eléctrica	7.98 mS/cm
	Alcalinidad	2750 mg CaCO ₃ /L
	Turbiedad	106.9 NTU
(Yong, Bashir, Ng, Sethupathi y Lim, 2018)	DBO/DQO	0.21
	pH	8.39
	TSS	169 mg/L
	Conductividad eléctrica	22.45 mS
	Color	4155 Pt Co
	Turbiedad	188 NTU
	Salinidad	17.09 ppt
(Wang, et al., 2016)	DBO/DQO	0.11
	pH	7.52
(Baiju, Gandhimathi, Ramesh y Nidheesh, 2018)	DBO/DQO	0.03
	pH	8.28
	Conductividad eléctrica	41281 µs/cm
	Alcalinidad	6375 mg CaCO ₃ /L
	TDS	26420 mg/L
(Tripathy, Ramesh, Debnathy y Kumar, 2019)	DBO/DQO	0.036
	pH	6.61
	TSS	900 mg/L
	TS	8900 mg/L
	Conductividad eléctrica	6300 mg/L
	Turbiedad	73 NTU
	TDS	8000 mg/L
TN/DQO	1.063	

Fuente: Elaboración propia



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, QUISPE PERCCA CAROLINA estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Sistemas de Tratamientos de Lixiviado de Vertederos para Eliminar Contaminantes Fisicoquímicos. Revisión Sistemática 2021", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

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

Nombres y Apellidos	Firma
QUISPE PERCCA CAROLINA DNI: 70412399 ORCID 0000-0002-5085-5870	Firmado digitalmente por: CQUISPEPE01 el 15-07- 2021 18:03:12

Código documento Trilce: INV - 0257404