



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero Ambiental”

TRABAJO DE GRADUACIÓN

TÍTULO DEL PROYECTO:

**ESTUDIO COMPARATIVO BIBLIOGRÁFICO DE TRATAMIENTOS
BIOLÓGICOS ANAERÓBICO, AERÓBICO Y ANÓXICO APLICADOS EN
LIXIVIADOS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE BIORREACTORES.**

Autor: Brayan Alcivar Morales Coloma

Tutor: MsC. María Fernanda Rivera C

Riobamba – Ecuador

2021

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: “ESTUDIO COMPARATIVO BIBLIOGRÁFICO DE TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS ANAERÓBICO, AERÓBICO Y ANÓXICO APLICADOS EN LIXIVIADOS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE BIORREACTORES”, presentado por: Brayan Alcivar Morales Coloma, dirigido por: MsC. María Fernanda Rivera C.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación, se constató el cumplimiento de las observaciones realizadas y se remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para constancia de lo expuesto firman:

Dra. Julia Guadalupe Calahorrano G.



Presidente del tribunal

.....
Firma

MsC. María Fernanda Rivera C.



Tutor del Proyecto

.....
Firma

Ing. Maribel Cecilia Pérez Pirela, PhD



Miembro del Tribunal

.....
Firma

Ing. María Fernanda Garcés Moncayo



Miembro del Tribunal

.....
Firma

DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA

Por la presente, certifico que el actual trabajo de investigación previo la obtención del título de INGENIERO AMBIENTAL, elaborado por: BRAYAN ALCIVAR MORALES COLOMA con el tema ESTUDIO COMPARATIVO BIBLIOGRÁFICO DE TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS ANAERÓBICO, AERÓBICO Y ANÓXICO APLICADOS EN LIXIVIADOS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE BIORREACTORES, el mismo que fue analizado y supervisado bajo mi asesoramiento en calidad de tutor y guía, por lo que se encuentra apto para ser presentado y defendido.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad.



Mgs. María Fernanda Rivera

CI. 0603452947

Tutora de proyecto

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, BRAYAN ALCIVAR MORALES COLOMA con cédula de identidad N° 0202520946, soy responsable de las ideas, doctrinas, resultados y propuesta realizada en la presente investigación y patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



Brayan Alcivar Morales Coloma

CI. 0202520946

Autor de proyecto

AGRADECIMIENTO

A llegado el momento de agradecer.

Desde que empecé a estudiar he tomado en cuenta a todos y cada uno de los que me fueron brindando su cariño y ánimos de ser mejor, por lo cual en primer lugar agradezco a Dios y a todos ellos, en especial a mis padres y hermanos ya que sin ellos este momento jamás llegaría a ser real.

DEDICATORIA

A mis padres, con infinito amor y cariño son y serán el pilar fundamental en el desarrollo de mi vida educativa, desde el inicio de mis días siendo la guía a mi superación.

A mis hermanos, Joffre y Logan que con su cariño y atenciones me dan día a día fuerzas y ánimos de seguir adelante.

A mi familia.

A mi tutora ya que sin su esfuerzo y apoyo no fuese posible este trabajo.

A mis amigos por acompañarme y permitirme aprender más de la vida.

Esto es gracias a su esfuerzo y cariño.

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

°C	Grados centígrados.
µm	Micrómetro.
AGV	Ácidos grasos volátiles
AO	Anóxico y oxígeno
AT	Alcalinidad total
C5H10O3	Biomasa
CaCO ₃	Carbonato de calcio.
CE	Conductividad eléctrica.
CL-	Cloruro.
CO ₂	Dióxido de carbono.
COT	Carbono orgánico total
DBO _x	Demanda biológica de oxígeno (tras "x" días de incubación)
DQO	Demanda química de oxígeno
DT	Dureza total
EGSB	Reactor de manto de lodo granular expandido
H ₂ O	Agua
MBBR	Reactor biológico de lecho móvil
MBR	Reactor biológico de membrana.

meq/L	Miliequivalentes
mS/cm	miliSiemens por centímetro.
NH ₃	Amoniacó
NH ₃ -N	Nitrógeno amoniacal.
NTK	Nitrógeno total Kjeldahl
OD	Oxígeno disuelto.
pH	potencial de hidrógeno
RSU	Residuos sólidos urbanos.
SBR	Reactor biológico secuencial.
SDT	Sólidos disueltos totales
SST	Sólidos en suspensión totales
ST	Sólidos totales
TRH	Tiempo de retención hidráulica
TRL	Tiempo de retención de lodos
UASB	Manta de lodo anaeróbico de flujo ascendente (upflow anaerobic sludge blanket).
UC	Unidades de color

Contenido

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL	I
DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA	II
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	III
AGRADECIMIENTO	IV
DEDICATORIA	V
LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS	VI
INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
JUSTIFICACION	4
OBJETIVOS:	5
1. Objetivo General:	5
2. Objetivos Específicos:	5
1. ESTADO DEL ARTE	6
1.1. Vertederos	6
1.1.1. Tipos de vertederos	7
1.2. Lixiviado	7
1.2.1. Características	8
1.2.2. Contaminación al ambiente por lixiviados	9
1.2.3. Normativa Legal	9
1.3. Tratamientos biológicos	10
1.3.1. Proceso Anaerobio	10
1.3.2. Proceso aerobio	12
1.3.3. Proceso anóxico	13
1.4. Reactores Biológicos	13
A. Reactor de fangos activos.	13
B. Reactor biológico secuencial (SBR).	14

C.	Reactor biológico de membranas (MBR).....	15
D.	Reactor biológico de lecho móvil (MBBR).....	16
E.	Reactor UASB.....	16
F.	Sistema de Biodiscos.....	17
G.	Reactor de manto de lodo granular expandido (EGSB).....	18
1.5.	Relación DBO5 y DQO	18
2.	METODOLOGIA	20
2.3.	Investigación bibliográfica	20
2.3.1.	Planeación de la Investigación documental.....	20
2.3.2.	Recolección y selección de la información.....	20
2.3.3.	Análisis e interpretación de la información	21
2.4.	Cuantitativa	21
2.5.	Cualitativo.....	21
2.6.	Población y Muestra.....	22
2.7.	Técnicas.....	22
2.7.1.	Técnicas de recolección de lixiviados.....	22
3.	RESULTADOS.....	24
3.1	Composición de los lixiviados.....	24
4.	CONCLUSIONES.....	34
5.	RECOMENDACIONES.....	36
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	37
7.	ANEXOS	42

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición de los lixiviados.....	24
Tabla 2: Datos según la normativa vigente en Ecuador.....	25
Tabla 3: Cuadro comparativo de los casos de estudio.....	31

INDICE DE ILUSTRACIÓN

Ilustración 1: Esquemática del metabolismo anaerobio bacteriano.....	12
Ilustración 2: Metabolismo aeróbico de la materia orgánica.....	12
Ilustración 3: Esquema de un sistema de fangos activos.....	14
Ilustración 4: Esquema de un reactor biológico secuencial.....	15
Ilustración 5: Esquema de un reactor biológico de membranas	15
Ilustración 6: Esquema de un reactor biológico de lecho móvil.....	16
Ilustración 7: Esquema de un reactor UASB.....	17
Ilustración 8: Esquema de un sistema de biodiscos.....	17
Ilustración 9: Esquema de un reactor de manto de lodo granular expandido.....	18

INDICE DE ANEXOS

Anexo A. Parámetros óptimos de operación de cada proceso para tratamiento de lixiviados.	42
Anexo B. Resultados de los procesos combinados para tratamiento de lixiviado.	43
Anexo C. Resultados del % de Retención del DQO	44
Anexo D. Resultados del Porcentaje de Remoción del DQO en los diferentes procesos	45
Anexo E. Ventajas y desventajas de los tratamientos anaerobio y aerobio.	46

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un estudio comparativo bibliográfico de tratamiento de lixiviados en los procesos aerobio, anaerobio y anóxico mediante la utilización de reactores biológicos, los lixiviados son generados por desechos sólidos a nivel de relleno sanitarios, son considerados como uno de los principales contaminantes medioambientales, los análisis de caracterización de los lixiviados presentan parámetros físico químicos fuera del rango establecido por la normativa vigente ecuatoriana. De los estudios analizado se enfatizó en el DQO, parámetro de mayor cuidado en el tratamiento de lixiviados para evitar la eutrofización de las aguas por el exceso de nutrientes que poseen e indica la cantidad de materia orgánica presente, también se consideró la relación de DBO5/DQO determinando que el tratamiento óptimo a emplear es de tipo biológico. Se pudo identificar que el tratamiento biológico con mayor nivel de eficiencia por el porcentaje de remoción de DQO que presentó es el aerobio. Los lixiviados fueron tratados en varios tipos de reactores, entre ellos el UASB, SBR, EGSB, MBBR y MBR, siendo el que presenta mayor rendimiento el MBR tanto en procesos anaerobios como aerobios, alcanzando niveles de remoción del 90% y 95% respectivamente. No existen estudios relevantes en procesos anóxicos, ya que esta técnica no es aplicada en procesos de remoción del DQO, sino es utilizado para la remoción de nitrógeno amoniacal y materia orgánica en lixiviados logrando alcanzar 100% de remoción de los mismos.

PALABRAS CLAVES: <LIXIVIADO> < TRATAMIENTO ANAEROBIO > < AGUAS RESIDUALES> < DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)> < TRATAMIENTO AEROBIO> <TRATAMIENTO ANOXICO > < REACTOR BIOLÓGICO> <DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)>

Abstract

The present work aims to carry out a comparative bibliographic study of the treatment of leachates in the aerobic, anaerobic and anoxic processes through the use of biological reactors; Leachates are generated by solid waste at the sanitary landfill level; they are considered one of the primary environmental pollutants; the characterization analyzes of leachates present physical-chemical parameters outside the range established by current Ecuadorian regulations. Of the studies analyzed, the COD was emphasized, a parameter of more excellent care in treating leachates to avoid eutrophication of the waters due to the excess of nutrients they possess indicates the amount of organic matter present. The ratio of BOD5 / COD determines that the optimal treatment to be used is biological. It was possible to identify that the biological treatment with the highest efficiency level due to the percentage of COD removal presented is the aerobic one. The leachates were treated in various reactors, including the UASB, SBR, EGSB, MBBR, and MBR; the MBR is the one with the highest performance both in anaerobic and aerobic processes, reaching removal levels of 90% and 95%, respectively. There are no relevant studies in anoxic processes since this technique is not applied in COD removal processes but is used to remove ammonia nitrogen and organic matter in leachates, achieving 100% removal.

Keywords: Leached, anaerobic treatment, residual waters, chemical oxygen demand (COD), aerobic treatment, anoxic treatment, biological reactor, biochemical demand (for oxygen)



Reviewed by:

Mgs: Sonia Granizo Lara.

ENGLISH PROFESSOR.

c.c. 0602088890

INTRODUCCIÓN

Los rellenos sanitarios liberan una amplia gama de compuestos debido a la degradación de los residuos en todo su ciclo de vida. Los lixiviados generados en un relleno sanitario son líquidos con gran carga orgánica producto de la descomposición natural de las basuras, siendo una amenaza para el ambiente y la salud humana.(Ziyang *et al.* 2009)

El lixiviado es un líquido que se encuentra presente en los rellenos sanitarios o vertederos, producto de la percolación de los líquidos a través de los desechos que se encuentran en proceso de descomposición y estabilización. Este líquido se encuentra en la parte superficial del relleno, al estar en intemperie y por influencia tanto de la gravedad y la lluvia son infiltrados, pudiendo contaminar el área de influencia donde se encuentre el relleno.(Méndes *et al.* 2009)

Existen varios tratamientos para los lixiviados generados en un relleno sanitario entre los cuales se encuentran los tratamientos convencionales, entre los que se destacan los tratamientos biológicos, recirculación y tratamientos fisicoquímicos. Los tratamientos biológicos han mostrado ser eficientes en la remoción de los contaminantes (Renou *et al.* 2008). La utilización de biorreactores es uno de los tratamientos biológicos más utilizados que se basan principalmente en el uso de microorganismos por la descomposición de la materia orgánica presente en los lixiviados, siendo esta transformada en biogás, y así mejorando las condiciones en las que se encuentra el residuo líquido.

Varias investigaciones sobre el tratamiento de lixiviados arrojan resultados promisorios con respecto a los tratamientos biológicos mediante la utilización de biorreactores, alcanzando gran eficiencia en la remoción de contaminantes.(Mendez *et al.* 2009)

En esta investigación bibliográfica se determinará cuál de los tratamientos biológicos aplicados a los lixiviados es el más eficiente en función del porcentaje de remoción de contaminantes, mediante la aplicación de la tecnología de los reactores biológicos. Para esto es necesario conocer la composición y carga contaminante que poseen los lixiviados generados en los rellenos sanitarios, identificar que reactor es el óptimo para realizar este proceso e identificar el tratamiento biológico más apropiado.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El ser humano, en su diario vivir siempre ha buscado satisfacer sus necesidades a través de actividades que realiza, las cuales generan desperdicios que no son amigables con la naturaleza, llegando a contaminar aguas, suelos y aire. De la misma manera la generación de Desechos Sólidos Urbanos va aumentando, los mismos que son desechados en los botaderos de basura sin un previo tratamiento, dando lugar a la generación de lixiviados.(Sáez and Urdaneta 2014)

Los lixiviados representan el agente contaminante más significativo de un relleno sanitario. En la mayoría de los casos los rellenos sanitarios no cumplen con las mínimas normas para mitigar la contaminación ambiental y visual, tampoco presentan un sistema apropiado de almacenamiento y tratamiento de los lixiviados.(Ulloa 2006)

Adicionalmente estos líquidos no se quedan confinados en el relleno sanitario, sino que, por las mismas condiciones de diseño del relleno, migran fuera del mismo contaminando el suelo, el ecosistema y las aguas superficiales y subterráneas que se encuentran a su paso, e incluso afecta la salud de las personas.(Pazmiño 2010)

Los procesos biológicos son en la actualidad los preferidos en el tratamiento de lixiviados, estos procesos son basados en principios sencillos y aptos para la descomposición biológica y degradación de ciertos contaminantes, es por esto que surge la necesidad de investigar sobre cuál es el tratamiento biológico (aeróbico, anaeróbico y anóxico) más eficiente para descontaminar los lixiviados, empleando para esto biorreactores que garanticen un tratamiento adecuado de los mismos.(Corena 2008)

JUSTIFICACION

Esta investigación se realiza con el propósito de determinar el tratamiento biológico adecuado y reactor apropiado para reducir los niveles de contaminación que presentan los lixiviados, ya que estos líquidos son perjudiciales para el ambiente.(Corena 2008)

Dentro de la normativa ambiental del Ecuador se considera a los lixiviados como un residuo de características tóxicas, por lo cual es vital el realizar el tratamiento respectivo a dicho residuo, por tal motivo nos vemos en la necesidad de determinar cuál de los tratamientos de tipo biológico presentan mejores alternativas para la remoción de contaminantes.

En la investigación se da a conocer las ventajas que presentan los procesos biológicos dentro del tratamiento de lixiviados, para lo cual se realiza una comparación entre tratamientos de tipo aerobio, anaerobio y anóxico, lo que permite determinar de una forma más clara cuál de estos procesos es el más adecuado a la hora de eliminar los contaminantes de los lixiviados, para lograr la mitigación de efectos adversos al ambiente.

OBJETIVOS:

1. Objetivo General:

- Realizar un estudio comparativo bibliográfico de los tratamientos aerobio, anaerobio y anóxico mediante reactores biológicos.

2. Objetivos Específicos:

- Comparar cuál de los procesos biológicos es el más eficiente en el tratamiento de lixiviados, en función de la carga contaminante que presentan los mismos.
- Evaluar la aplicación de tecnología en reactores, para la degradación biológica de los lixiviados.
- Analizar la eficiencia del porcentaje de remoción de contaminantes después del tratamiento, para deducir cuál de los tratamientos es el más factible según los estudios analizados.

1. ESTADO DEL ARTE

1.1. Vertederos

Los vertederos o también conocidos como rellenos sanitarios o basureros, se considera a aquella área en la cual se hace la disposición final de los residuos sólidos producidos por una comunidad o asentamiento humano.

Por lo cual todas las ciudades dentro de su jurisdicción deben tomar en cuenta la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU), para esto se debe poner en práctica las normas sanitarias.

La gestión se debe dar en la recolección, transporte, almacenamiento, tratamiento y la disposición final de los desechos.

Según el (Centro de Investigaciones Hidráulicas Cuba *et al.* 2015) sobre los vertederos en américa latina afirma:

“Los vertederos a cielo abierto y semi-controlados son los métodos más practicados para la disposición final de los RSU en América Latina y el Caribe, instalaciones que no cumplen las especificaciones técnicas requeridas de un vertedero sanitario. La calidad de estos sitios de disposición final ha mejorado en los últimos años, aunque todavía no se trata el lixiviado ni se usan membranas sintéticas para su impermeabilización. Los impactos ambientales de mayor consideración en los vertederos son aquellos de consecuencias a mediano y largo plazo y están, fundamentalmente, relacionados con los gases de vertedero”.

Nos indica que los vertederos en América Latina no cuentan con un manejo adecuado en los rellenos sanitarios, provocando una serie de problemas al medio ambiente por el mal tratamiento de los lixiviados.

1.1.1. Tipos de vertederos

A. *De residuos inertes, con mínima carga orgánica.*

Lixiviados con alta variabilidad y concentraciones de un amplio rango de contaminantes, tales como sales, elementos halogenados y metales pesados.

B. *De residuos municipales*

Lixiviados que poseen un elevado porcentaje de materia orgánica y sustancias nitrogenadas, generalmente en forma de amonio.

C. *De residuos inorgánicos*

Lixiviados con un elevado porcentaje de sales, la cuales son cloruros y sulfatos de la misma forma contiene un bajo contenido en nitrógeno, en lo que corresponde a trazas de elementos diversos en concentraciones a menudo insignificantes, etc. Estos lixiviado son típico de vertederos específicos de residuos industriales inorgánicos y cenizas de incineración.

D. *De residuos inertes*

Lixiviado que presentan una baja concentración de sustancias contaminantes y de poco peligro así el ambiente y el ser humano.

1.2. Lixiviado

Los lixiviados son residuos líquidos presentes en un relleno sanitario, los cuales son percolados a través de los residuos en proceso de descomposición, estos pueden encontrarse

en la superficie o a su vez ser infiltrados en el suelo, en el cual se encuentra ubicado el relleno sanitario. Los principales factores que ayudan a la producción de lixiviados son: la precipitación en el área de influencia, niveles de humedad presentes en los residuos y de la misma forma la composición de estos.(Méndes *et al.* 2009)

Este residuo circula a través de los intersticios del relleno sanitario, logrando una serie de reacciones tanto físicas como biológicas a lo largo de su tránsito por las capas de residuos, logrando de esta forma un líquido con alta carga contaminante. Se estima que durante el proceso de estabilización se generan 0,2 m³ de lixiviado por cada tonelada de residuos, y que, tras su clausura, un vertedero puede seguir generando lixiviados durante más de 50 años. (Kurniawan T.A. 2010)

1.2.1. Características

Según (Méndes *et al.* 2009) “los lixiviados presentan un color que va desde 3,000 y 15,000 unidades de color (UC), dependiendo del tiempo que este posea puede variar el color presentando tonos gris, café, pardo si este es joven y un tono negro y viscoso si este es viejo”.

Otra de las características de los lixiviados es un olor fuerte y fétido además de sus características fisicoquímicas, es también una de las sustancias que tiene alta variabilidad tanto en calidad como en cantidad, es por estos motivos que se lo considera como un líquido de alto poder contaminante y a su vez uno de los más repugnantes al momento de ser manipulado por el personal técnico y la comunidad involucrada.

Por otra parte, en la composición los lixiviados cuentan con una alta concentración de materia orgánica DQO y compuestos inorgánicos con alta variabilidad COT: entre estos se encuentran sólidos totales en suspensión y disueltos, nitrógeno en forma amoniacal, cloruros,

un pH con alta variación, compuestos orgánicos disueltos y metales pesados “que tienen un alto nivel de contaminación en los ecosistemas acuáticos”.

Para evitar la contaminación de acuíferos y aguas superficiales estos pueden ser separados de un relleno sanitario, logrando de esta forma el tratamiento ya sea fisicoquímico o biológico.

1.2.2. Contaminación al ambiente por lixiviados.

El lixiviado es un líquido con alta concentración de contaminantes, el cual contiene una alta concentración de materia orgánica, en parámetros de del tipo de vertedero y el tipo de residuos depositados en este.

A partir de los lixiviados y por las características antes mencionadas se ve un aumento en los vectores, malos olores y malestar en el personal que se encuentra encargado de su manipulación y control.

El recurso agua es el principal afectados por los lixiviados, ya que al infiltrarse se produce el contacto con las aguas superficiales y subterráneas, debido a los procesos de escorrentía y la infiltración.

El suelo por su parte es contaminado al producirse la percolación de los lixiviados, que modifican las condiciones naturales que este posee.(Rodríguez, McLaughlin, and Pennock 2019)

1.2.3. Normativa Legal.

Según el (Texto Unificado De Legislacion Secundaria 2003) “Los lixiviados generados deben ser tratados, de tal manera que cumplan con lo establecido en la Norma de Aguas, en lo referente a los parámetros establecidos para descarga de los efluentes a un cuerpo de agua”.

Los lixiviados que son generados dentro de un relleno sanitario, deberán ser recolectados y tratados para que sean inocuos al momento de ser liberados al ambiente. Para lo cual se debe realizar como prioridad los siguientes análisis: Temperatura, pH, DB05, DQO, sólidos totales, nitrógeno total, fósforo total, dureza, alcalinidad, calcio, magnesio, cloruros, sulfatos, hierro, sodio, potasio, sólidos disueltos, plomo, mercurio, cadmio, cromo total, cianuros, fenoles y tensoactivos.

1.3. Tratamientos biológicos

Los tratamientos biológicos se basan en la capacidad de un surtido conjunto de microorganismos que son degradadores de la materia orgánica presente en el agua residual, en este caso lixiviados para su propio crecimiento llevando a cabo la eliminación de componentes que se encuentran disueltos en el agua, estos pueden ser materia orgánica y otros compuestos con altas concentraciones de nitrógeno y fósforo.

De esta manera los microorganismos presentes usan a la materia orgánica como su fuente de energía y carbono para sus funciones y crecimiento, dependiendo del tipo de tratamiento estos pueden ser anaerobio, aerobio y anóxico.

1.3.1. Proceso Anaerobio

Es un proceso biológico en el cual se transforma la materia orgánica para lograr su estabilización, para lo cual el proceso anaerobio presenta dos fases: la fase hidrolítica y la fase fermentativa (acetogénica y metanogénica). (Martínez *et al.* 2014)

A. Fase hidrolítica

En esta fase se produce el desdoblamiento de la materia orgánica por medio de las enzimas, las cadenas largas y complejas son transformadas a unas más sencillas tales

como, carbohidratos, proteínas y grasas, a compuestos más sencillos que sean solubles como son el glicerol, amoniaco, azucres y ácidos grasos. Es indispensable que los microorganismos que continúan a este proceso sean capaces de asimilar materia orgánica disuelta.(Martínez *et al.* 2014)

B. Fase Fermentativa

En esta fase se produce la fermentación de la materia orgánica asimilable que se generaron en la fase anterior, en el cual los azucres, ácidos grasos y aminoácidos sufren una oxidación anaerobia. Produciendo de esta forma ácidos volátiles como el acético, butírico, valérico, propiónico, así también generando ácidos orgánicos (lactosa, succina) y alcoholes.(Martínez *et al.* 2014)

Las bacterias anaerobias se encargan de metabolizar la materia orgánica usándola como fuente de energía y carbono, generando una nueva biomasa. Una vez metabolizada la materia orgánica una parte de esta es transformada químicamente a productos finales, en este proceso es acompañado por una liberación química a la cual se llama catabolismo. Por otra parte, el sobrante de materia orgánica dentro en una etapa denominada síntesis o anabolismo, en la cual se trasforma en una nueva materia celular.(Rodríguez 2010)

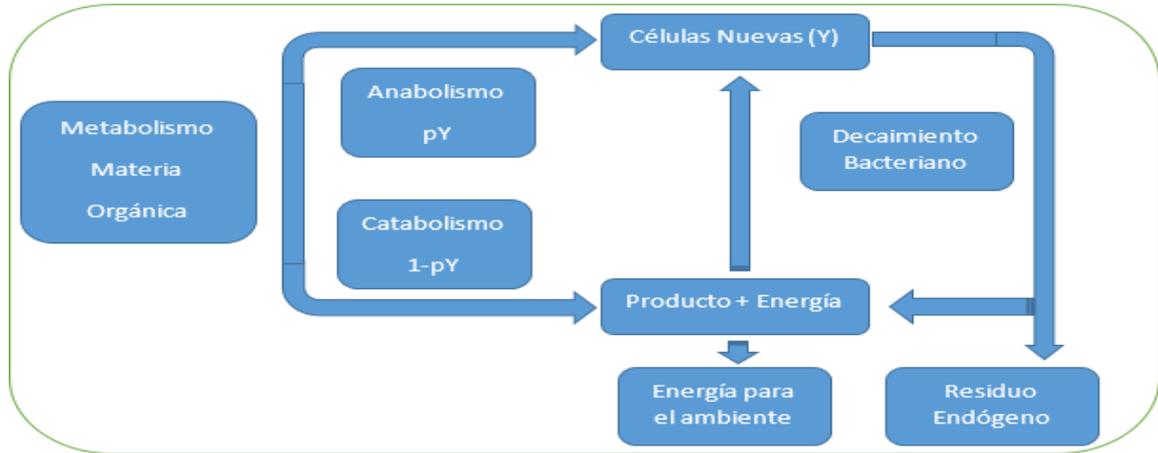


Ilustración 1: Esquemática del metabolismo anaerobio bacteriano.

Fuente:(Rodríguez 2010)

1.3.2. Proceso aerobio

Este es un proceso natural que se desarrolla de manera sencilla dentro de ríos, lagos, y mares.

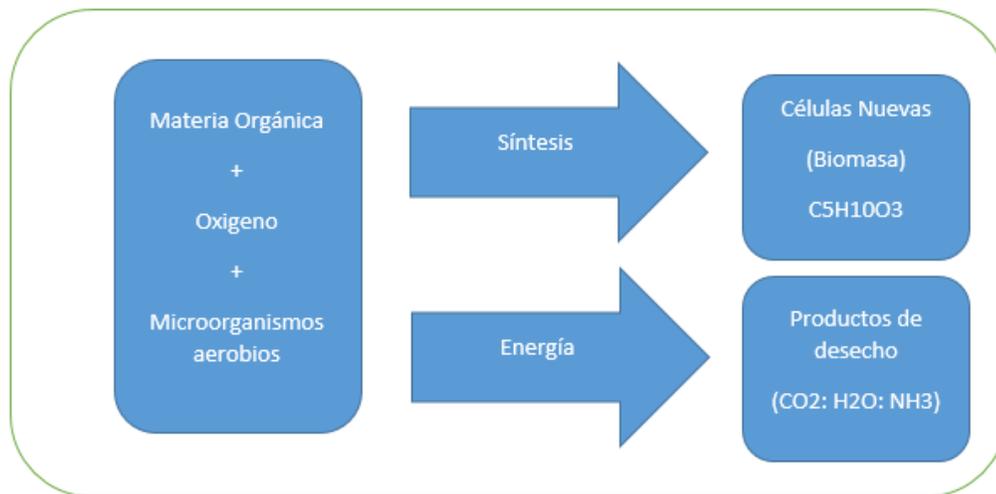


Ilustración 2: Metabolismo aeróbico de la materia orgánica.

Fuente:(Lozano Rivas, 2012)

Este es un proceso que se realiza con microorganismos en presencia de oxígeno, muy usado en el tratamiento de lixiviados, ayuda a mejorar las condiciones del mismo ya que al

contar con un DBO muy alto es perfecto para tener remociones del 90% de DBO, cabe recalcar que el DBO remanente puede ser aún alto. Estos tratamientos son usados frecuentemente como post-tratamiento a un proceso anaerobio.(Martínez *et al.* 2014)

1.3.3. Proceso anóxico

El tratamiento anóxico al igual que el anaerobio se realiza en ausencia de oxígeno, tomando en cuenta los niveles de oxígeno disuelto con los que cuenta el agua, si este es menor a 0,5mg/l es considerado como anóxico.

Este proceso se logra gracias a la presencia de organismos facultativos, los mismos que pueden trabajar tanto en presencia como en ausencia de oxígeno.(Corrales *et al.* 2015)

1.4. Reactores Biológicos

La técnica de los reactores biológicos es una variante a los lodos activados, para mejorar las condiciones de un efluente que en nuestro caso son los lixiviados, se caracteriza por usar una sola unidad de tratamiento, realizando en esta todos los procesos habituales de los lodos activados.(Condorchem 2018)

Los principales procesos que se dan dentro de este tratamiento son; reacción, sedimentación, y el vaciado, aprovechando la actividad microbiana que en este se genera para asimilar la materia orgánica y los nutrientes que se encuentra en los lixiviados, logrando así la eliminación de los elementos solubles en ese. Algunos de los reactores biológicos utilizados para el tratamiento de lixiviados son:

A. Reactor de fangos activos.

El proceso de depuración biológica mediante fangos activados, empleado dentro del tratamiento de aguas residuales consiste en el cultivo de microorganismos (bacterias) que

están dispuestos en forma de flóculos dentro del reactor biológico, con presencia de agitación y aireación, los microorganismos presentes en este tratamiento aprovechan las aguas residuales como fuente de alimento, y la aeración es propia para el tratamiento con microorganismos aerobios, un beneficio adicional de este proceso es la mezcla homogénea evitando la sedimentación de los nutrientes presentes en el agua residuales.(Jiménez 2014)

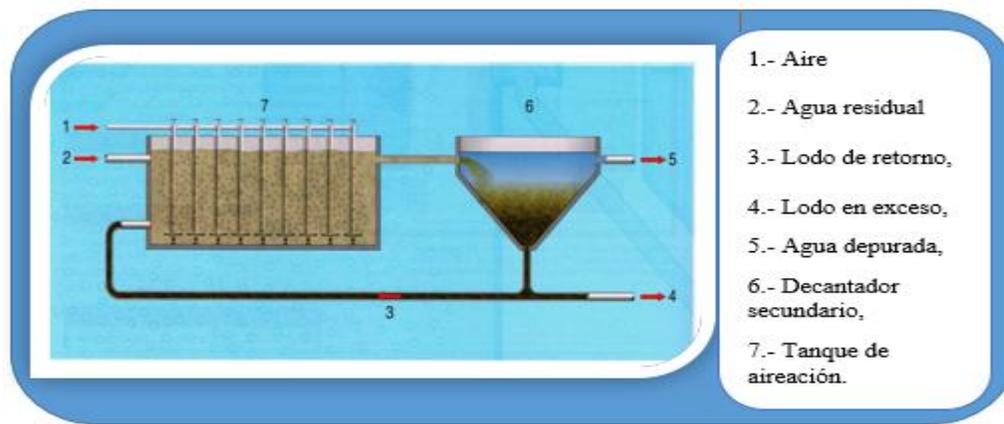


Ilustración 3: Esquema de un sistema de fangos activos.

Fuente: (Jiménez 2014)

B. Reactor biológico secuencial (SBR).

Es un tipo de tratamiento que tiene como fin la eliminación de la carga contaminante en las aguas residuales para lo cual usa un solo depósito para simplificar el proceso de remoción por fangos activados, en lo habitual se usan dos depósitos en paralelo para alternar ciertos puntos del proceso.(Nuevo 2015) Las fases del proceso que se simplifican en un solo tanque son la de aireación, decantación y vaciado, lo que permite la alimentación continua de aguas residuales hacia el reactor biológico.(Nuevo 2015)

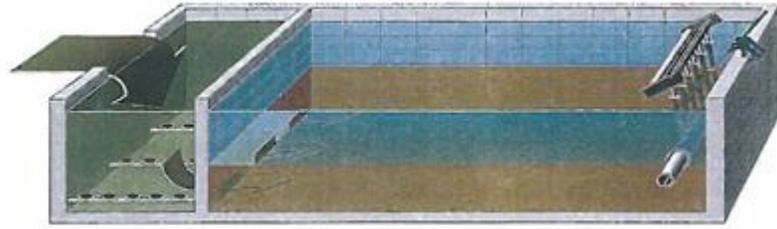


Ilustración 4: Esquema de un reactor biológico secuencial

Fuente: (Nuevo 2015)

C. Reactor biológico de membranas (MBR).

Se enfoca en obtener un efluente de muy buena calidad en un sistema de tratamiento compacto, es una variante de los fangos activados que consiste en la degradación biológica y el uso de membranas en lugar de un decantador, as membranas pueden ofrecer múltiples beneficios ya que gracias a su diversidad de porosidad se puede llegar a eliminar con mayor eficiencia los floculas generados en el reactor, estas membranas pueden ir dentro del tanque de degradación biológica, también puede reducir la desinfección de las aguas del proceso. Las membranas ofrecen 2 tipos de filtración que son la microfiltración de $0,1-1\mu\text{m}$ y la ultra filtración de $0,01-0,1\mu\text{m}$ que nos permite desinfectar el agua de virus.(Aguado 2019)

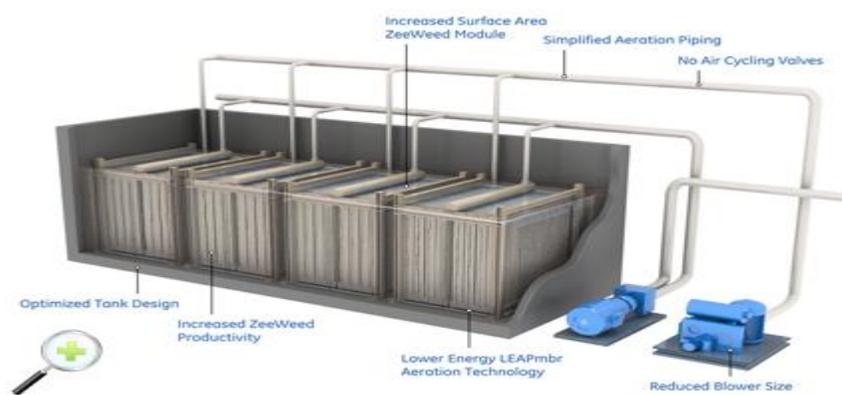


Ilustración 5: Esquema de un reactor biológico de membranas

Fuente:(Aguasindustriales. 2014)

D. Reactor biológico de lecho móvil (MBBR).

El funcionamiento del lecho móvil es el crecimiento de biomasa en los soportes de plástico que se mueven dentro del reactor biológico por la agitación que se produce por el proceso de aireación que se da dentro del reactor de tipo aerobio, en los reactores anaerobios y anóxicos se produce por movilidad mecánica. La densidad de los soportes es de 1 gr/cm^3 que permite su movilidad hasta en un 70% de capacidad del tanque. (Larrea *et al.* 2004)

La principal característica de este proceso es la formación de una biopelícula bacteriana en la superficie plástica de los soportes, de esta forma se logra reducir de una gran forma el volumen del reactor biológico. (Larrea *et al.* 2004)

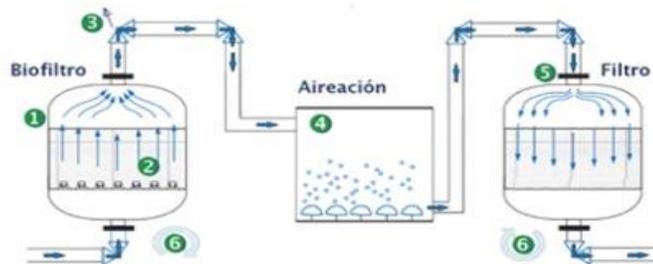


Ilustración 6: Esquema de un reactor biológico de lecho móvil.

Fuente: (Bio-Fil. 2014)

E. Reactor UASB.

Este es un tipo de reactor de flujo ascendente que opera de forma continua, es decir el agua contaminada ingresa por la parte inferior del reactor, y se dirige verticalmente por todo el reactor hacia la parte superior y poder salir. Este tipo de reactor es usado principalmente para efluentes con altas cargas orgánicas, como por ejemplo los efluentes de empresas agroindustriales. (Zornoza 2017)

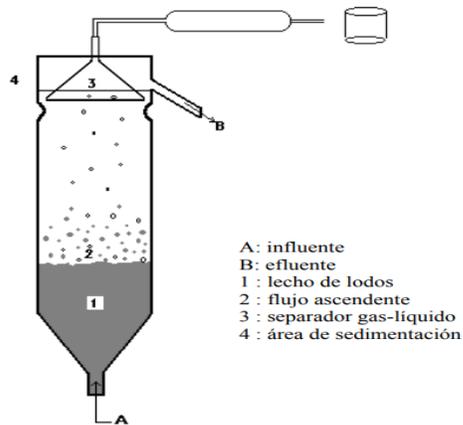


Ilustración 7: Esquema de un reactor UASB

Fuente: (Bermúdez *et al.* 2010)

F. Sistema de Biodiscos.

Es un sistema formado por minidiscos los cuales al estar en contacto con la materia orgánica dan lugar a la formación de la biomasa bacteriana (biofilm), sobre dichos minidiscos, al encontrarse en contacto directo con el agua residual, usa la materia orgánica de la misma como sustrato, de la misma forma emplea el oxígeno disponible desde el aire atmosférico.(Romero 2018)

Por la simplicidad del proceso y el mantenimiento del equipo, es el que mejor se adapta a las necesidades de pequeños tratamientos, ofreciendo resultados con altos beneficio en su desempeño.(Romero 2018)

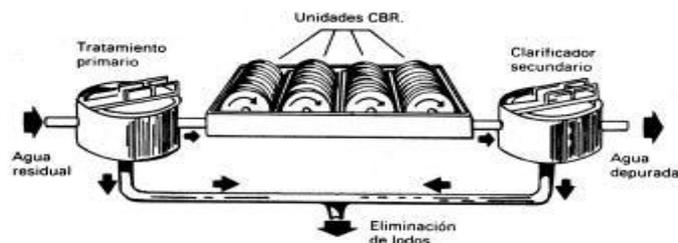


Ilustración 8: Esquema de un sistema de biodiscos.

Fuente: (Esqueche 2013)

G. Reactor de manto de lodo granular expandido (EGSB).

Es un reactor de tercera generación que presenta múltiples beneficios ya que puede tratar altas cargas orgánicas en espacios más cómodos (pequeñas áreas) y con costos inferiores a los otros procesos, en el hecho de aumentos desmedidos en la carga orgánica el sistema anaerobio puede ejecutar el tratamiento de forma continua y eficaz sin aumentar costos y la estabilidad del sistema, adicional a esto el reactor do genera grandes cantidades de lodo por lo cual la concentración de materia orgánica será inferior en el efluente.(Sanitron Ecuador 2019)

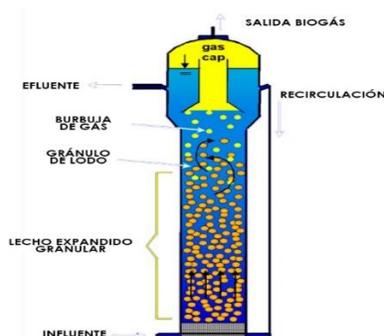


Ilustración 9: Esquema de un reactor de manto de lodo granular expandido

Fuente: (Sanitron Ecuador 2019)

1.5. Relación DBO5 y DQO

La relación DBO y DQO nos permite identificar la importancia de los compuestos que se encuentran dentro del vertido y la posibilidad que tiene para degradarse, el DQO tiene que ser mayor al DBO ya que la materia orgánica se oxida de forma química en mayor porcentaje para lo cual se toma en cuenta.(Raffo and Ruiz 2014)

En una relación $(\text{DBO5}/\text{DQO}) < 0,2$ nos indica que los compuestos del vertido son de naturaleza industrial, mientras que si la relación es $(\text{DBO5}/\text{DQO}) > 0,2$ nos indica que los

vertidos son de naturaleza urbana, lo que quiere decir que es biodegradable, mientras mayor la relación mayor degradación por tratamientos biológicos.(INTEMAN S.A. 2011)

2. METODOLOGIA

2.3. Investigación bibliográfica

La presente investigación es de tipo bibliográfica o documental, que según (Alfonso 1995) es un procedimiento científico, un proceso sistemático de indagación, recolección, organización, análisis e interpretación de información o datos en torno a un determinado tema. Para la elaboración del mismo se realizan varias etapas, las cuales son:

- Planeación de la Investigación documental
- Recolección y selección de la información
- Análisis e interpretación de la información

2.3.1. Planeación de la Investigación documental

Se aborda temas relacionados con tratamientos de lixiviados, en procesos aerobios, anaerobios y anóxicos, que se efectúen únicamente en biorreactores. Se contempla estudios a nivel mundial haciendo énfasis en Ecuador, en idioma español o inglés, a partir del año 2010.

2.3.2. Recolección y selección de la información

Todo el material publicado o inédito sobre el tema de investigación se recolecta mediante artículos científicos, estudios críticos, tesis, monografías, ensayos, documentos de archivo y libros, tomando en cuenta fuentes de información viables de criterio real, luego se selecciona esta información mediante una primera lectura para identificar si los documentos cuentan con la información requerida.

2.3.3. Análisis e interpretación de la información

Se analiza e interpreta la información seleccionada obteniendo bases necesarias para determinar cuál de los procesos biológicos es el más apto para el tratamiento de los lixiviados, y en qué tipo de reactor es más eficiente.

2.4. Cuantitativa

Se realiza un análisis cuantitativo, ya que se parte de datos estadísticos sobre los porcentajes de remoción de los contaminantes, lo que permite realizar una comparación de los resultados y se llega a determinar cuál de los tratamientos es el más eficiente.

Para el cálculo del porcentaje de efectividad se usa la fórmula de remoción para un sistema de tratamiento.(Parra 2006)

$$E = \frac{S_o - S}{S_o} * 100$$

Donde:

E: Eficiencia de remoción del sistema [%]

S: Carga contaminante de salida [mg DQO, DBO5 o SST/l]

S_o: Carga contaminante de entrada [mg DQO, DBO5 o SST/l]

2.5. Cualitativo

Se realiza el análisis en función de las características físicas químicas que tienen los lixiviados, logrando de esta forma determinar cuáles son los componentes contaminantes presentes que se encuentran fuera del rango establecido, y de esta manera poder identificar cuál de los procesos estudiados es el más eficiente para su tratamiento.

2.6. Población y Muestra

Para esta investigación se considera lixiviados generados en botaderos de basura y vertederos, la cantidad máxima de muestra que utilizan en los estudios es 60 litros.

2.7. Técnicas

Las investigaciones analizadas se realizan con la utilización de diferentes tipos de biorreactores y mediante tres procesos biológicos que se implementan de manera individual o combinados, éstos son:

- Tipo de biorreactor
 - Sistema de Biodiscos
 - UASB
 - SBR
 - MBR
 - Reactor de Secuenciación
- Proceso Biológico (Solos y combinados)
 - Anaerobio
 - Aerobio
 - Anóxico

2.7.1. Técnicas de recolección de lixiviados

La medición de parámetros en lixiviados se realiza mediante dos técnicas: in situ cuando los parámetros son tomados en la piscina de lixiviados en los que se mide:

- Temperatura (Multíparámetros)
- pH (Multíparámetros)

- Conductividad (Multíparámetros)
- Oxígeno disuelto (Multíparámetros)

Y la otra técnica es cuando se toma la muestra para ser analizada en el laboratorio para lo cual, el muestreo se lo realiza de forma manual, introduciendo una botella (plástica o cristal) en el punto de muestreo dentro del cuerpo de agua, tomando en cuenta una profundidad no mayor a 30cm, evitando el ingreso de solidos suspendidos y en contra de la corriente, hasta llenarla completamente, una vez sacada del cuerpo de agua, se descarta una pequeña cantidad de la misma aproximadamente medio centímetro, antes de realizar la toma de muestra es necesario el lavado previo de la botella con el mismo lixiviado. Se conserva la muestra a 4°C de temperatura, dentro de cámaras de frío para evitar las reacciones químicas y bilógicas.(Zambrano 2010)

2.7.2. Parámetros que deben ser monitoreados en un lixiviado

Entre algunos de los parámetros que se debe considerar para monitorear y analizar a los lixiviados están los siguientes:

- Químicos orgánicos (DQO, Fenoles, Carbono Orgánico Total, Ácidos volátiles, N-Orgánico, Aceites y grasas)
- Químicos Inorgánicos (Sulfatos, Cloruros, Sólidos volátiles en suspensión y disueltos, Sólidos suspendidos totales y disueltos, Metales pesados, N-Amoniacal)
- Físicos (Color, Conductividad, pH, Turbiedad, Temperatura)
- Biológicos (DBO, Coliformes totales)

3. RESULTADOS

3.1 Composición de los lixiviados.

Según el estudio de (Torres *et al.* 2014) realizado en la facultad de ingeniería de la Universidad del Valle, Colombia, se obtienen datos de una caracterización de 20 muestras de lixiviados, durante diferentes periodos del 2012, las cuales fueron recogidas en celdas de rellenos sanitarios, los lixiviados analizados se encuentran comprendidos en edades entre 5 y 15 años, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Composición de los lixiviados.

Parámetros	Unidades	EDAD DEL RELLENO		
		Lixiviado Joven < 5 años	Lixiviado Intermedio 5-10 años	Lixiviado Maduro >10 años
pH	Unidades	8,26	8,5	9,58
DT	mg CaCO3/L	4324	1863	2700
DBO5	mg O2/L	13391	1594	165
DQO	mg O2/L	25455	6638	2197
COT	mg COT/L	7840	3025	999
ST	mg/L	33796	17950	9345

N- NH3	mg N-NH3/L	2184	1848	956
--------	------------	------	------	-----

Fuente: (Torres *et al.* 2014)

Los valores de los parámetros representados de la caracterización se encuentran fuera del rango máximo establecido por la normativa vigente. Se considera en el Ecuador que los lixiviados deben ser tratados según la Normativa vigente para aguas residuales del TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA, analizando según el libro VI, anexo 1, tabla 12 (Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce), en la Tabla 2, se muestra los límites permisibles de la normativa vigente.

Tabla 2: Datos según la normativa vigente en Ecuador.

Parámetros	Unidades	Normativa
pH	-	5 a 9
CE	mS/cm	-
AGV	meq/L	0,3
AT	mg CaCO3/L	-
DT	mg CaCO3/L	-
DBO5	mg O2/L	100
DQO	mg O2/L	250
COT	mg COT/L	-
ST	mg/L	1600

SDT	mg/L	100
NTK	mg N-NTK/L	15
NH3 Libre	mg NH3	-
N	mg N-NH3/L	1,0
Amoniacal		
CL-	mg Cl/L	1000

Fuente: (TULSMA 2003)

Los lixiviados presentan parámetros que se encuentran fuera de los valores de la normativa, por tal razón deben ser tratados hasta que alcancen los valores establecidos para ser descargados al cuerpo hídrico.

En este estudio se considera el DQO como parámetro comparativo de análisis ya que las investigaciones analizadas enfatizan en la remoción de este contaminante mediante reactores biológicos.

3.2. Análisis de estudios

(Álvarez y Suárez 2006) realizan dos tratamientos biológicos de lixiviados del relleno sanitario “El Guayabal” de la ciudad San José de Cúcuta, uno de los tratamientos es de tipo anaerobio utilizando un Reactor UASB de 60 L y, el otro es de tipo aerobio con un reactor de Biodiscos con capacidad 39 L. La muestra de lixiviados presenta una temperatura de 45°C, un pH de 8.35, N-Amoniacal de 937 mg/L NH₃ y el DQO es 28250 mg/L.

El proceso aerobio realizado en el Sistema de Biodiscos alcanza 2285.43 mg/L de DQO a los 43 días, con un porcentaje de remoción de 91.91%, mientras que el proceso anaerobio

remueve el 65.45% en 63 días, obteniendo 9760,38 mg/L de concentración final. En este estudio el proceso aerobio es más eficiente mientras que, el anaerobio presenta menor porcentaje de remoción debido a que el pH alcalino no permite el buen funcionamiento en este proceso biológico, al modificar el pH a un rango de 6.8 – 7.2 se elimina la inhibición ocasionada por el alto contenido de nitrógeno amoniacal en el proceso de metanogénesis y de esta manera el proceso anaerobio logra la remoción del DQO.

(Bakar *et al.* 2012), en su estudio “Tratamiento de lixiviados utilizando un reactor de secuenciación por lotes (SBR)”, examina el rendimiento de reactor secuencial en la eliminación de DQO, nitrógeno amoniacal, sólidos suspendidos, nitrógeno total, fósforo total y turbidez, considera como variables el tiempo de reacción en condiciones anaeróbico, anóxico y aeróbico, trabajando de manera secuencial. Las muestras de lixiviados son tratadas en el reactor secuencial operando de manera consecutiva con los tres procesos biológicos, obteniendo un buen rendimiento en la reducción de las concentraciones de los parámetros analizados, alcanzando el mayor porcentaje de remoción el DQO con 90% llegando a obtener una concentración final de 6000 mg/L y del nitrógeno amoniacal es 76% alcanzando 50.64 mg/L de concentración final y un pH de 8.06.

(Fang *et al.* 2014), realiza un estudio sobre el “Tratamiento anaeróbico/aeróbico/de coagulación de lixiviados de una planta de incineración de residuos sólidos municipales”, realizado en la planta de incineración TongxingMSW-China de donde tomaron las muestras para los respectivos análisis que presentaron concentraciones elevadas de DQO y DBO5 y Amonio. El tratamiento se realiza en dos reactores Biológicos SBR con un volumen de trabajo de 5 L utilizados en serie. Para cada proceso se establecen parámetros de operación como se muestra en el Anexo A. También se adicionó cierta cantidad de lodos activados y

1g/L de glucosa como fuente de carbono suplementario, y 2g/L de Carbonato de sodio para aumentar el pH de 5.68 y la alcalinidad en el reactor biológico. Durante el tratamiento anaerobio se eliminó el 62.1% del DQO, obteniendo 3860 mg/L, luego al ser sometido al tratamiento aerobio que se realizó posteriormente al anaerobio se obtuvo una eliminación del 94% del DQO alcanzando una concentración de 230 mg/L. Al cumplir con toda la secuenciación con el proceso de coagulación se alcanza el 98.6 % de remoción y una concentración final de 138 mg/L, el proceso de coagulación fue utilizado para eliminar partículas coloidales y un pH de 5 óptimo para el tratamiento. El proceso aerobio resulta ser el más eficiente por la reducción de concentración que presenta como se muestra en el Anexo B.

El proceso para lodos activados por su bajo costo y buenos resultados es una buena opción para el tratamiento de lixiviados y lo establece mediante su tema de investigación “Tratamiento de lixiviados de vertederos con tecnología de lodos activados” realizado en Jinan-China. Este tratamiento es mediante procesos biológicos utilizando reactores UASB y MBR para procesos anaerobios y reactores SBR y MBR para aerobios. En el proceso anaeróbico, el lixiviado tratado en el reactor UASB alcanza una tasa de eliminación del 80% en un TRL de 2d. presenta una concentración final de DQO de 4000mg/L. Mientras que en el reactor MBR en un TRH de 2d., el DQO se redujo en un 95% alcanzando una concentración final de DQO de 250 mg/L. Para el proceso aeróbico al utilizar un SBR con un TRH de 12 horas, la DQO se redujo en un 85%, mientras que en el MBR se alcanza una tasa de eliminación de 90% como se muestra en el anexo C. Los procesos anaeróbico y aeróbico en un MBR presentan mejores porcentajes de eliminación de DQO debido a las

condiciones que favorecen para el crecimiento microbiano que son la base para la eliminación de DQO.(Wang et al. 2018)

(Fatma *et al.* 2016) realiza un estudio titulado “Caracterización y tratamiento biológico de lixiviados de rellenos sanitarios pretratados”, la caracterización de las muestras demuestran que se trata de un lixiviado moderadamente biodegradable por la relación DBQ/DQO que están en el rango de 0,33 a 0,45. El tratamiento se realiza mediante tres procesos: aeróbico, anaeróbico y combinado anaeróbico/aeróbico, en el cual se diluyó al lixiviado con aguas residuales utilizando una concentración de lixiviados de 5,9% y 50% con concentraciones de DQO de 1166 y 7830 mg/L respectivamente, y un pH máximo de 8,7. Para estos procesos se utilizó 3 reactores caseros ubicados en serie, para el tratamiento anaerobio con un tiempo de retención de 36 días, el aerobio un tiempo de retención de 24 h y el OD de 2mg/L, mientras que para el proceso combinado el tiempo de retención hidráulica fue de 24 h tanto para el proceso anaerobio como para el aerobio. En el Anexo D se presentan los resultados obtenidos del porcentaje de retención de DQO en cada proceso. Se observa que los porcentajes de remoción de DQO son mayores cuando el lixiviado presenta mayor concentración de DQO, ya que a altas concentraciones el crecimiento bacteriano se estimula por consumir compuestos orgánicos biodegradables. Y existe una remoción mayor cuando el tratamiento se realiza de manera combinada.

Para el tratamiento de lixiviados (Tibanlombo 2014), utiliza reactores UASB combinados con el uso de otros métodos de tratamiento para aguas residuales, como el uso de coagulantes, floculantes, y sedimentadores, obteniendo una remoción de DBO del 89,57%, cumpliendo con lo establecido en el TULSMA.

(Dávila 2013) aplica dos técnicas para tratar los lixiviados, la primera es aireación, coagulación – floculación y la segunda técnica incluye ozonización, coagulación, floculación, alcanza una remoción de DQO del 99,23 % en el primer caso, mientras que en el segundo el 98,50%.

Mediante fotocátalisis con dióxido de titanio (TiO₂) en presencia de luz UV (Ortiz 2018) estudia la efectividad del proceso como catalizador en la degradación de DBO y DQO, removiendo el 99,5% y 99,6% respectivamente.

(Guevara 2019) en su estudio “CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO FENTON COADYUVANTE DE TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS PARA LIXIVIADOS EN EL RELLENO SANITARIO PORLÓN”, tiene como objetivo la oxidación de materia orgánica mediante un proceso físico-químico, tomando en cuenta parámetros como el DBO, DQO y pH, a su vez el DBO muestra un 85% de remoción, DQO el 72% y un pH de 3 óptimo para el tratamiento, demostrando una acidificación del líquido tratado. Los datos fueron obtenidos en el relleno de la ciudad de Riobamba y sus alrededores, donde se tomó en cuenta los lixiviados producidos, razón por lo cual posee complejas condiciones de tratamiento y no cumple con lo normado en el TULSMA para descargas en cuerpos de agua dulce.

Proceso Anóxico

El proceso anóxico es aplicado para la reducción de nitrógeno amoniacal y materia orgánica, como lo analiza (Roldán y Martínez 2018) en su trabajo “Estudio de reactores anóxicos tipo batch para la reducción de nitrógeno amoniacal y materia orgánica presente en los lixiviados maduros provenientes de la disposición final de residuos sólidos municipales”, en el cual evalúa la eficiencia de reducción de nitrógeno amoniacal y materia orgánica. De la

misma manera (Yabroudi *et al.* 2010) estudió el proceso de nitratación/desnitrificación biológica en la remoción de materia orgánica en lixiviados de relleno sanitario, empleando un reactor de lodos activados, del mismo se obtiene elevadas eficiencias de remoción de nitrógeno amoniacal, alcanzando hasta un 100% de remoción.

El tratamiento anóxico no es eficiente para reducir DQO como en los otros casos analizados, y por tanto no se puede realizar una comparación en función de la tasa de eliminación del DQO.

3.3. Comparación de los casos de estudio.

En la Tabla 3 se presenta una comparación de los estudios analizados, considerando como parámetro principal al cual hacen referencia los autores el DQO.

Tabla 3: Cuadro comparativo de los casos de estudio.

Ubicación	Reactor usado	Lixiviado influyente DQO (mg/L)	Porcentaje de remoción de DQO (%)	Comentario
Cúcuta (Colombia)	Sistema de Biodiscos. (Aerobio)	28250	91.9	El proceso aerobio presenta un mejor porcentaje de remoción
	Reactor UASB (Anaerobio)	28250	65.5	

Pasir Gudang (Malasia)	Reactor de secuenciación por lotes (SBR)	6000	90	Al ser un tratamiento combinado nos da un % de remoción adecuado para el proceso realizado.
Tongxing (China)	Reactor de secuenciación por lotes (SBR)	10180	98.6	Al ser un tratamiento combinado demuestra un alto nivel de efectividad en remoción de DQO
Jinan (China)	UASB (Aerobio)	20000	80	El reactor MBR presenta mayor eficiencia en los dos procesos.
	MBR (Aerobio)	5000	95	
	SBR (Anaerobio)	1348	85	

	MBR	2200	90	
	(Anaerobio)			
				Es el
				tratamiento con
Borg El-	Botellas en			menor porcentaje
Arab	forma de	7830	52.2	de remoción
(Egipto)	reactor			debido a que es a
	biológico			escala de
				laboratorio.

Fuente: El autor.

4. CONCLUSIONES

Los lixiviados que son generados por desechos sólidos a nivel de relleno sanitarios, son considerados como uno de los principales contaminantes medioambientales, la mayoría de parámetros físicos químicos se encuentran fuera del rango establecido por la Normativa vigente.

Al ser un lixiviado considerado moderadamente biodegradable porque la relación que presenta de DBO5/DQO está en el rango de 0.33 a 0.45, su tratamiento se lleva a cabo mediante procesos biológicos (aeróbico, anaeróbico, anóxico), para lo cual se utilizan biorreactores (Sistema de Biodiscos, UASB, SBR, MBR, Reactor de Secuenciación).

En los casos de estudio de Cucuta, Pasir Gudun, Tongxing, Jinan y Borg El-Arab, que tienen como principal parámetro de control el DQO, se pudo determinar que el tratamiento biológico con mayores niveles de eficiencia por el porcentaje de remoción es el aerobio, ya que la presencia de oxígeno atribuye a una degradación más eficiente del mismo.

Se determina que el reactor MBR es el que presenta mayor eficiencia tanto en procesos anaerobios como aerobios, alcanzando niveles de remoción del 90% y 95% respectivamente, ya que este tipo de reactores biológicos presenta las condiciones adecuadas para el tratamiento de los lixiviados.

Al utilizar los biorreactores con procesos biológicos combinados (anaerobio/aerobio) se observan mayores rendimientos de disminución de la concentración de DQO logrando porcentajes de remoción de 98%, lo que no se obtiene al trabajar independientemente con cada proceso.

No hay estudios en los cuales se realice comparaciones con procesos anóxicos, este proceso es utilizado para la remoción de nitrógeno amoniacal y materia orgánica en lixiviados logrando alcanzar 100% de remoción de los mismos, este proceso no es apropiado para remover DQO como lo realizan los procesos aerobios y anaerobios.

Existen estudios que tienen gran eficiencia en la remoción de contaminantes al momento de tratar los lixiviados, mediante mecanismos físico-químicos, aireación, coagulación, floculación, ozonización, fotocátalisis con dióxido de titanio, técnica Fenton (oxidación avanzada).

5. RECOMENDACIONES

Al término de la tesis realizada, se puede tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Para dar un tratamiento a los lixiviados realizarlo en reactores MBR y en lo posible mediante procesos combinados, o con procesos aerobios por su eficiencia en la reducción de DQO.
- Realizar una comparación de los procesos biológicos utilizando biorreactores de manera experimental con muestras de Ecuador, ya que no existen estudios en el mismo.
- Realizar una caracterización adecuada de los lixiviados dependiendo de la edad de los rellenos sanitarios en función a la temperatura ambiente.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguado, Daniel. 2019. "Reactores Biológicos de Membranas - MBR."
- Aguasindustriales. 2014. "Implantación de Bioreactor de Membranas Para Aguas Industriales: Ventajas y Desventajas de Un MBR." *Ventajas y Desventajas En La Implantación de Bioreactor de Membranas Para Aguas Industriales* 1. Retrieved (<http://aguasindustriales.es/implantacion-de-bioreactor-de-membranas-para-aguas-industriales-ventajas-y-desventajas-de-un-mbr/>).
- Álvarez, Alexander, and John Hermógenes Suárez. 2006. "Tratamiento Biológico Del Lixiviado Generado En El Relleno Sanitario 'El Guayabal' de La Ciudad San José de Cúcuta." Universidad del Norte.
- Bakar, Amnani Abu, Zawawi Daud, Zulkifli Ahmad, and Mohamad Othman. 2012. "Treatment of Leachate Using Sequencing Batch Reactor (SBR)." *Universiti Tun Hussein Onn Malaysia* (Environmental Engineering).
- Bermúdez, Rosa C., Suyén Rodríguez, Mirna Martínez, and Adis Terry. 2010. "Ventajas Del Empleo de Reactores UASB En El Tratamiento de Residuales Líquidos Para La Obtención de Biogas." *Universidad de Oriente* Anexos.
- Bio-Fil. 2014. "Nuevo Proceso de Lecho Movil (MBBR), Eficiente y Económico Para La Reducción de Nitratos (NO₃), Presentes En Aguas Subterráneas." *Biología y Filtración* 1. Retrieved (<https://www.bio-fil.es/es/2014/09/new-efficient-economic-moving-bed-process-mbbr-for-the-reduction-nitrates-no3-groundwaters/>).
- Centro de Investigaciones Hidráulicas (Cuba), Alexis, Matilde López, María del Carmen Espinosa, and Orestes González. 2015. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*. Vol. 36. Centro de Investigaciones Hidráulicas, Instituto Superior Politécnico José Antonio

Echeverría.

Condorchem. 2018. "Tratamiento Biológico de Aguas Residuales." *Condorchem Envitech*, 1.

Corena, Mirenel de Jesus. 2008. "Sistemas de Tratamientos Para Lixiviados Generados En Rellenos Sanitarios." UNIVERSIDAD DE SUCRE.

Corrales, Lucia, Diana Antolinez, Johanna Bohórquez, and Aura Corredor. 2015.

"Bacterias Anaerobias: Procesos Que Realizan y Contribuyen a La Sostenibilidad de La Vida En El Planeta." *Scielo* 23:55–81.

Dávila, Alexandra. 2013. "Estudio Del Sistema de Tratamiento de Lixiviados En El Relleno Sanitario de Lago Agrio." UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.

Esqueche, Armando. 2013. "Contactores Biologicos Rotativos."

Carlosesquecheangeles.Wordpress. Retrieved

(<https://carlosesquecheangeles.wordpress.com/2013/02/13/contactores-biologicos/>).

Fang, Fang, Abdulhussain A. Abbas, You-Peng Chen, Zhi-Ping Liu, Xu Gao, and JinSong Guo. 2014. "Anaerobic/Aerobic/Coagulation Treatment of Leachate from a Municipal Solid Wastes Incineration Plant." *Environmental Technology*.

Fatma, A., G. El-Gohary, and Kamel. 2016. "Characterization and Biological Treatment of Pre-Treated Landfill Leachate." *Ecological Engineering* 1–7.

Guevara, Mayra. 2019. "Construcción de Un Prototipo Fenton Coadyuvante de Tratamientos Biológicos Para Lixiviados En El Relleno Sanitario Porlón." ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

INTEMAN S.A. 2011. "¿Qué Es La DQO y La DBO?" *Kenbi* 1. Retrieved (<http://www.kenbi.eu/privacidad.php>).

Jiménez, Nuria. 2014. "Diseño de Un Reactor Biológico de Fangos Activos."

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA.

- Larrea, Asun, Gorka Zalakain, Luis Larrea, and Arantza Abad. 2004. “Ventajas y Aplicaciones de La Tecnología de Lecho Móvil En Aguas Residuales Urbanas e Industriales.” *Diciembre*, 1.
- Martínez, A. ..., W. Padrón, O. .. Rodríguez, and O. Chiquito. 2014. “Alternativas Actuales Del Manejo de Lixiviados.” *Avances En Química* 38.
- Méndes, Roger Iván, Elba René Castillo, María Rosa Sauri, Carlos Alberto Quintal, Germán Giacoman, and Blanca Jiménez. 2009. “Comparación de Cuatro Tratamientos Físicoquímicos de Lixiviados.” *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 25(3):133–45.
- Nuevo, David. 2015. “Reactor Biologico Secuencial (SBR).” *Consultoría, EDAR, Ingeniería* 1. Retrieved (<https://www.tecpa.es/reactor-biologico-secuencial-sbr/>).
- Ortiz, Polett. 2018. “Tratamiento de Los Lixiviados Del Relleno Sanitario El Inga Mediante Fotocatálisis Con Dióxido de Titanio (TiO₂) En Presencia de Luz UV.”
- UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO U.
- Parra, Lina. 2006. “Operación de Un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) Hasta Alcanzar El Estado Estable.”
- Pazmiño, Luis. 2010. “Relleno Sanitario de La Isla San Cristóbal, Provincia de Galápagos: Diseño e Impermeabilización.” UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO.
- Raffo, Eduardo, and Edgar Ruiz. 2014. “Caracterización de Las Aguas Residuales y La Demanda Bioquímica de Oxígeno.” *Universidad Nacional Mayor de San Marcos* 77.
- Rodríguez, Jenny Alexandra. 2010. “Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales.” *Universidad El Valle. Cali - Colombia* 1.
- Rodríguez, Eugenio, M. McLaughlin, and P. Pennock. 2019. *LA CONTAMINACIÓN DEL*

SUELO: UNA REALIDAD OCULTA. Roma.

Roldán, Diego, and Ingeniero Ambiental. 2018. “Estudio de Reactores Anóxicos Tipo Batch Para La Reducción de Nitrógeno Amoniacal y Materia Orgánica Presente En Lixiviados Maduros Provenientes de La Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales.” *Instname: Universidad Autónoma de Occidente*.

Romero, Fernando. 2018. “Biodiscos, La Solución Perfecta En El Tratamiento de Aguas Residuales En Pequeñas Poblaciones.” *Aguasresiduales* 1. Retrieved (<https://www.aguasresiduales.info/expertos/tribuna-opinion/biodiscos-la-solucion-perfecta-en-el-tratamiento-de-aguas-residuales-en-pequenas-pobl-amVHc>).

Sáez, Alejandrina, and Joheni Urdaneta. 2014. “Manejo de Residuos Sólidos En América Latina y El Caribe.” *Omnia*, 122.

Sanitron Ecuador. 2019. “Anaerobios- Reactor Anaerobio EGSB.” *Sanitron Ingenieria Purificación* 1. Retrieved (<https://www.sanitronec.com/producto/anaerobios-reactor-anaerobio-egsb/>).

Texto Unificado De Legislacion Secundaria, Medio Ambiente. 2003. *TEXTO UNIFICADO LEGISLACION SECUNDARIA, MEDIO AMBIENTE, PARTE I*.

Tibanlombo, Nelly. 2014. “Diseño de Una Planta de Tratamiento de Lixiviados Para El Botadero de Curgua Del Cantón Guaranda Provincia de Bolívar.” ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Torres, Patricia, Luz Edith Barba, César Ojeda, Jonier Martínez, and Yulieth Astaño. 2014. “Influence of Leachates Age on Its Physico- Chemical Composition and Toxicity Potential.” *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 17(1):245–55.

Ulloa, José. 2006. “Los Rellenos Sanitarios.” *LA GRANJA*, 2.

Wang, Kai, Lusheng Li, Fengxun Tan, and Daoji Wu. 2018. “Treatment of Landfill

Leachate Using Activated Sludge Technology: A Review.” *Hindawi* 2018(Article ID 1039453):10 page.

Yabroudi, Suher Carolina, Pedro Alem Sobrinho, Dione Mari Morita, Luciano Matos

Queiroz, and Mailer Amaral. 2010. “Aplicabilidad Del Proceso de

Nitritación/Desnitritación En El Tratamiento de Lixiviado de Releno Sanitario.” P.

924 in *Interciencia*. Caracas, Venezuela.

Zambrano, Sandra. 2010. *Protocolo Para Toma de Muestras de Aguas Residuales*.

Ziyang. 2009. “Natural Attenuation and Characterization of Contaminants Composition in

Landfill Leachate under Different Disposing Ages.” *Science of the Total Environment*

3385–91.

Zornoza, Andrés. 2017. “Estudio de La Dinámica Poblacional de Protistas, Metazoos y

Bacterias Filamentosas y Su Interpretación Ecológica En Fangos Activos.” Universitat

Politécnica de València.

7. ANEXOS

Anexo A. Parámetros óptimos de operación de cada proceso para tratamiento de lixiviados.

Proceso	Parámetros de operación óptimos
Anaeróbico	pH=7, TRH=4 d, tiempo de ciclo=24 h, tiempo de reacción=20 h, TRL=25 d, concentración de lodo=10 g/L
Aerobio	pH=7, TRH = 4 d, tiempo de ciclo = 24 h, tiempo de aireación = 14 h, TRL = 15 d, concentración de lodo = 5 g/L, OD = 4 mg/L
Coagulación	pH=5, Fe ₂ (SO ₄) ₃ , dosis = 600 mg / L

Fuente: (Fang 2014).

Anexo B. Resultados de los procesos combinados para tratamiento de lixiviado.

Procesos	Concentración (mg / L)			Rendimiento (%)		
	DQO	DBO5	NH3-N	DQO	DBO5	NH3-N
Afluente	10180	5395	654			
Anaerobia	3860	2740	330	62.1	49.2	49.5
Aerobio	230	85	35	94.0	96.9	89.4
Coagulación	138	27	22	40.0	68.2	37.1
Eliminación general del tratamiento combinado				98.6	99.5	96.6

Fuente: Fang *et al.* (2014).

Anexo C. Resultados del % de Retención del DQO

Procesos	Tipo de Reactor	DQO de lixiviados	% de Retención
Anaeróbico	UASB	20000 mg/l	80
	MBR	5000 mg/L	95
Aeróbico	SBR	1348 mg/l	85
	MBR	2200 mg/L	90

Fuente: (Wang *et al.* 2018).

Anexo D. Resultados del Porcentaje de Remoción del DQO en los diferentes procesos

Proceso	Porcentaje de Remoción	Porcentaje de Remoción
	(5.9% Lixiviado)	(50% Lixiviado)
Aerobio	16.9	30.3
Anaerobio	15.4	37.5
Combinado	31.7	52.2

Fuente: (Fatma *et al.* 2016).

Anexo E. Ventajas y desventajas de los tratamientos anaerobio y aerobio.

Proceso	Ventajas	Desventajas
Anaerobio	<ul style="list-style-type: none">• Bajo consumo energético.• Puede producir energía por sí mismo.	<ul style="list-style-type: none">• El DQO del efluente es alta.• Retiene algo de materia orgánica biodegradable.
Aerobia	<ul style="list-style-type: none">• Alta biodegradación.• Buena calidad del agua.• Alta tasa de eliminación orgánica.	<ul style="list-style-type: none">• Alto consumo de energía durante todo el proceso.

Fuente: El autor.