



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**LINEAMIENTOS GENERALES
PARA EL CONTROL,
DESCONTAMINACIÓN Y
REUTILIZACIÓN DEL LIXIVIADO
PROCEDENTE DE RESIDUOS
SÓLIDOS.**

Autores:

Pignalosa P. Alejandra Y.

C.I: 26.162.372

Torres R. Juan A.

C.I: 20.386.734

Urb. Yuma II, Calle N 3, Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (Master) - Fax: (0241) 87123



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**LINEAMIENTOS GENERALES PARA EL CONTROL,
DESCONTAMINACIÓN Y REUTILIZACIÓN DEL LIXIVIADO
PROCEDENTE DE RESIDUOS SÓLIDOS.**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de
INGENIERO CIVIL

Autores:

Pignalosa P. Alejandra Y.

C.I: 26.162.372

Torres R. Juan A.

C.I: 20.386.734

Tutor: Ing. Ruiz José A.

C.I: 1.729.432

San diego, enero 2019

Disponible en:

<https://drive.google.com/open?id=1jL8ymvwqA3jsR8N6KekA0sYQEcl-eAN3>



Universidad José Antonio Páez
Facultad de Ingeniería

FI - CV-025-2018-IICR

Valencia, 31 de Octubre de 2018.

Ciudadano:
Alejandra Pignalosa
C.I: 26.162.372
Juan Torres
C.I: 20.386.734
Presente.-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 01-2018 de fecha 31-10-2018 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado **LINEAMIENTOS GENERALES PARA EL CONTROL, DESCONTAMINACIÓN Y REUTILIZACIÓN DEL LIXIVIADO PROCEDENTE DE RESIDUOS SÓLIDOS**. Presentado por usted(es) como requisito para optar al título de Ingeniero Civil.

Se ratifica la designación del Ing. José Antonio Ruiz, C.I: 1.729.432 y la Ing. Alicia Yáñez, C.I.: 4.598.880 como Tutores Académicos que lo asesorarán en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,




Prof. Zulay Salcedo
Decana de la Facultad de Ingeniería

e. e. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).

ZS/fr



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ing. Ruiz José Antonio, portador de la cedula de identidad N° 1.729.432, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por los ciudadanos, Alejandra Y. Pignalosa P., portador(a) de la cedula de identidad N° 26.162.372, y Juan A. Torres R., portador de la cedula de identidad N° 20.386.734, titulado **“LINEAMIENTOS GENERALES PARA EL CONTROL, DESCONTAMINACIÓN Y REUTILIZACIÓN DEL LIXIVIADO PROCEDENTE DE RESIDUOS SÓLIDOS.”**. Presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 12 días del mes de DICIEMBRE del año 2018

Ing. Ruiz José Antonio
Tutor Académico


Firma

12-12-18
Fecha

AGRADECIMIENTOS

A nuestro tutor, Ing. Civil José Antonio Ruiz.

A la profesora, Ing. Civil Emerly Castillo.

Al profesor, Ing. Civil Rafael Dautant.

A la empresa, Diseños Ambientales, C.A.

A Simón Serrano, Jefe de la división de Ambiente y Aseo IAM Fumcosandi.

DEDICATORIAS

A mis padres, Silvia y Alejandro.

A mi profesor, Ing. José Antonio Ruiz.

Alejandra Ysabel Pignalosa Pernaleté

A mis padres, Priscila y Jeremías.

Juan Anthony Torres Riaño

ÍNDICE

CONTENIDO	
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
	Pp.
CAPÍTULO I	
EL PROBLEMA	
1.1. Planteamiento del Problema.....	3
1.2. Formulación del Problema.....	6
1.3. Objetivos de la Investigación.....	6
1.3.1. Objetivo General.....	6
1.3.2. Objetivos Específicos.....	6
1.4. Justificación.....	7
1.5. Alcances.....	9
1.6. Limitaciones.....	9
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	
2.1. Antecedentes.....	11
2.2. Bases Teóricas.....	14
2.2.3. Lixiviados.....	14
2.2.4. Composición de los lixiviados.....	14
2.2.5. Clasificación de los lixiviados.....	15
2.2.6. Tratamiento de los lixiviados.....	17
2.2.7. Niveles del tratamiento.....	17
2.2.8. Tratamientos preliminares y primarios.....	19
2.2.9. Tratamientos biológicos.....	23
2.2.10. Tratamientos fisicoquímicos.....	30
2.2.11. Tratamiento de lodos.....	37
2.2.12. Estimación del caudal de lixiviados.....	41
2.2.13. Reutilización de lixiviado.....	41
2.2.14. Reutilización de aguas residuales tratadas en los Estados Unidos.....	42
2.2.15. Guías de la EPA.....	43
2.3. Bases Legales.....	45

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109
ANEXOS.....	109
	111
Anexo A. Tamaño de la abertura de las rejillas para desbaste.	112
Anexo B. Variación del pH en el reactor de biodiscos.	113
Anexo C. Variación del color en el reactor de biodiscos.	114
Anexo D. Variación de sólidos totales en el reactor de biodiscos.	115
Anexo E. Análisis de DQO en el reactor de biodiscos.....	116
	117
Anexo F. Análisis de DBO en el reactor de biodiscos.	118
Anexo G. Análisis del nitrógeno total en el reactor de biodiscos.	119
Anexo H. Aplicaciones con usos y dosis para la cloración.....	120
Anexo I. Distribución de HCLIO y CIO ⁻ en función del pH	121
Anexo J. Kit de cloración en tanque con recirculación.....	122
Anexo K. Resumen guías de la EPA para el reuso de aguas tratadas.....	123
Anexo L. Requisitos reglamentarios del estado de california.....	
Anexo M. Concentraciones máximas permisibles de metales.....	
Anexo N. Diagrama Parque Ambiental Los Pocitos.....	
Anexo O. Información Adicional Parque Ambiental Los Pocitos.....	

ÍNDICE DE TABLAS

TABLAS	Pp.
1. Composición de Lixiviados en rellenos sanitarios Recientes y Antiguos.....	16
2. Límites máximos de parámetros fisicoquímicos en descargas a cuerpos de agua.....	48
3. Procedimientos y observaciones para la Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	58
4. Procedimientos y observaciones para la Demanda Química de Oxígeno.....	59
5. Procedimientos y observaciones para los Cloruros.....	61
6. Procedimientos y observaciones para los Sólidos en todas sus formas.	63
7. Resultados de Lixiviados a Nivel Mundial.....	63
8. Resultados esperados después de la Torre de Barrido de Nitrógeno.....	64
9. Resultados esperados después del Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente con Manto de Lodos.	64
10. Resultados esperados después de la Zona Anóxica – Desnitrificación..	65
11. Resultados esperados después de la Zona Aerobia - Lodo Activado...	66
12. Resultados esperados del Nitrógeno Amoniacal inicial en los Biodiscos.....	67
13. Resultados esperados de Área de Biopelícula necesaria.	68
14. Resultados esperados después de la Precipitación Química.	69
15. Porcentaje de caudal para la Osmosis Inversa para A, B y C.....	73
16. Porcentaje de caudal para la Osmosis Inversa para la muestra analizada	74
17. Resultados esperados después de la Osmosis Inversa.....	75
18. Resultados de la caracterización de la muestra.....	76
19. Recomendaciones tratamiento preliminar.	77
20. Recomendaciones tratamiento primario.	78
21. Recomendaciones tratamiento secundario.	78
22. Recomendaciones tratamiento terciario.	84
23. Recomendaciones tratamiento de lodos.	84
24. Recomendaciones tratamiento de sistemas de bajo coste y otras opciones.....	85

25.	Eficiencia del tratamiento según el tipo de lixiviado.	86
.....		86
26.	Resultados esperados finales	87
27.	Resultados esperados del Lodo 1 después del tratamiento.	88
.....		89
28.	Resultados esperados del Lodo 2 después del tratamiento.	90
29.	Resultados esperados del Lodo 3 después del tratamiento.	91
30.	Resultados esperados del Lodo 4 después del tratamiento.	92
31.	Análisis comparativo	93
1.....		94
32.	Análisis comparativo 2, lixiviado tipo A.	95
.....		
33.	Análisis comparativo 2, lixiviado tipo B.	
.....		
34.	Análisis comparativo 2, lixiviado tipo C.	
.....		
35.	Análisis comparativo	
3.....		
36.	Análisis comparativo 4.	
.....		
37.	Análisis comparativo 5, muestra analizada.....	
38.	Análisis comparativo 5, lixiviado tipo A.	
39.	Análisis comparativo 5, lixiviado tipo B.	
40.	Análisis comparativo 5, lixiviado tipo C.	

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS	Pp.
1. Rejas y rejillas de limpieza manual y su operación.....	20
2. Balsa de recogida de lixiviados.....	20
3. Esquema del funcionamiento de Torre de Barrido de Nitrógeno.....	21
4. Dosificación de ácido y álcali para el proceso de control de pH.....	22
5. Esquema del funcionamiento de un Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente con Manto de Lodos.....	25
6. Esquema del reactor de lodos activos.	27
7. Transformaciones del nitrógeno en los diferentes procesos de tratamiento..	29
8. Tren de biodiscos en flujo perpendicular al eje.	29
9. Esquema del funcionamiento de una Unidad de Precipitación Química.....	34
10. Proceso de coagulación y floculación	35
11. Proceso molecular de la coagulación.....	35
12. Proceso de la floculación.....	36
13. Osmosis y Osmosis Inversa.	37
14. Equipo de la Osmosis Inversa.	37
15. Filtro prensa	40
16. Distribución por usos de las aguas residuales tratadas en los Estados Unidos.....	43
17. Diagrama del sistema de tratamiento.....	82
18. Mapa conceptual del sistema de tratamiento.....	83

**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**LINEAMIENTOS GENERALES PARA EL CONTROL,
DESCONTAMINACIÓN Y REUTILIZACIÓN DEL LIXIVIADO
PROCEDENTE DE RESIDUOS SÓLIDOS.**

Tutor: Ing. Ruiz José Antonio

Autores: Pignalosa P. Alejandra Y, Torres R. Juan A.

Fecha: Enero, 2019.

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo general, definir lineamientos generales para el control, descontaminación y reutilización del lixiviado procedente de residuos sólidos. Metodológicamente es un estudio que corresponde al tipo de investigación mixta, es decir, exploratorio, descriptivo y explicativo, bajo el diseño integral exploratorio y descriptivo, con nivel de investigación explicativo. Las técnicas de recolección de datos que fueron utilizadas en la presente investigación fueron a través de estudios de laboratorio y entrevistas no estructuradas a expertos en el tema. El marco demográfico de este trabajo de grado, consta de los residuos sólidos que descargan en el vertedero La Guásima, siendo la muestra la recolección de residuos sólidos del Municipio San Diego. Posteriormente se puede decir que, los hallazgos obtenidos fueron de manera inicial la obtención de una caracterización de lixiviado en la planta de transferencia, en donde se pudo obtener las características suficientes para clasificarlo según su antigüedad. Seguidamente, se presentaron opciones de

tratamiento para ofrecer un resultado reflejado en tablas con recomendaciones, con las cuales, se estableció un sistema de tratamiento completo, que perdure en el tiempo; además, se presentaron unos resultados esperados del efluente; a través de diversos análisis comparativos, los lixiviados fueron clasificados como jóvenes; se demostró que el sistema de tratamiento descrito es similar a uno presente en la realidad y los valores esperados cumplen con las normativas existentes. Finalmente, concluir que el efluente cumple con las características necesarias para descargar en cuerpos de agua y su reutilización en riego superficial para cultivos de alimento para consumo humano que se procesan comercialmente; riego de cosechas que no se consumen por humanos como fibras, semillas y pasto, y riego en áreas verdes restringidas al público.

Descriptor: lixiviado, tratamiento de aguas, reúso de aguas tratadas.

INTRODUCCIÓN

En Venezuela el Instituto Nacional de Estadística (INE), a través de un boletín informativo sobre los residuos y desechos sólidos, determinó que en el año 2012 se recolectaron 26.792.036 kilogramos de basura por día, para una población aproximada de 29.716.468 habitantes (INE, Proyecciones y Estimaciones), lo que indica una tasa de recolección per capital de 0,902 Kg/hab/día. De esto, lo más alarmante, son los lugares de disposición final a donde van a parar las más de 26 mil toneladas de basura que genera Venezuela al día, llamados vertederos. En el país existen 300 vertederos reconocidos como tal, en donde sólo 17 son controlados, 50 medianamente controlados y el resto son botaderos.

Es necesario señalar que los residuos almacenados, en los vertederos se descomponen a través de una serie de procesos físico-químicos y biológicos. Durante este proceso de descomposición, se forma un efluente líquido debido a la percolación del agua de lluvia a través del lecho de residuos, que disuelve los diferentes componentes que constituyen los residuos sólidos allí depositados. El líquido que se produce, al exceder su capacidad de campo pasa a través de los residuos, extrayendo sustancias disueltas en suspensión, aumentando su concentración de contaminantes hasta convertirse en una masa para el suelo, las aguas superficiales y subterráneas (Tchobanoglous, Theisen y Vigil, 1994).

Actualmente se estudian tratamientos innovadores. Sin embargo, el mayor reto en el tratamiento del lixiviado es la aplicación de metodologías destinadas a las características particulares de cada lixiviado; que combinen métodos convencionales con tecnologías nuevas ya que de esta forma se ha demostrado que tienen mayor eficiencia en la remoción de contaminantes. (Renou, Givaudan, Poulain, Dirassoyan y Mouline, 2008). Sin embargo se debe agregar que, el químico alemán Michael Braungart y el arquitecto estadounidense William McDonough tienen una teoría, que llaman "de la cuna a la cuna", la cual defiende que es tiempo para los seres humanos

de jugar un papel constructivo en la naturaleza y atajar los problemas desde su mismo origen, trabajando para que desde el propio diseño y concepción de cualquier producto se tengan en cuenta todas las fases de su ciclo de vida, de manera que el balance de gastos, aporte de materias primas y energía sea positivo.

En esta investigación, se pretende diseñar lineamientos generales para la descontaminación del lixiviado procedente de residuos sólidos mediante métodos aerobios, anaerobios y fisicoquímicos para garantizar su control y reutilización. Todo esto cumpliendo con la teoría "de la cuna a la cuna", para así transformar un desecho en una materia prima para otra actividad. El propósito de la investigación permitió dejar asentadas las bases para reproducir dicho tratamiento en lixiviado generado en rellenos sanitarios con características similares al experimentado; este trabajo de grado se desarrolló a través de cuatro capítulos, estructurados de la siguiente forma:

Capítulo I, contiene el planteamiento del problema, formulación, los objetivos de la investigación, la justificación, alcance de la investigación.

Capítulo II, presenta el marco teórico de la investigación con los antecedentes, bases teóricas compuestas en los aspectos generales relacionados con el tema y las bases legales del mismo, así como la determinación de los términos básicos, que permiten establecer un criterio para desarrollar los objetivos de la investigación.

Capítulo III, describe el marco metodológico, el tipo, diseño, propósito de la investigación, así como las técnicas e instrumentos utilizados en la recolección de datos y la metodología del mismo describiendo las fases necesarias para llevar a cabo lineamientos generales para el control, descontaminación y reutilización del lixiviado procedente de residuos sólidos.

Capítulo IV, se presentan los resultados obtenidos mediante el estudio con relación a los objetivos específicos determinados, en donde, además, se expondrán una serie de propuestas para la reutilización del lixiviado.

Y finalmente, en el Capítulo V, se plasman las conclusiones y recomendaciones obtenidas durante el desarrollo del trabajo de grado.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

Al hacer referencia a los desechos sólidos estos se pueden definir como todo material o conjunto de materiales remanentes de cualquier actividad, proceso u operación, para los cuales no se prevé otro uso o destino inmediato o posible, y debe ser eliminado, aislado o dispuesto en forma permanente. Mientras que los residuos sólidos son el material remanente o sobrante de actividades humanas, que por sus características físicas, químicas y biológicas pueden ser utilizados en otros procesos. (Ley de Gestión Integral de residuos y desechos sólidos de la Gaceta Oficial N.º 6.017).

Aunado a ello la Organización Mundial de la Salud, en el 2010, determinó que cada persona genera alrededor de 1,40 Kg de desechos sólidos al día. En el 2015 se estimó un aumento de 40% de la producción de desechos sólidos a nivel mundial. El crecimiento exponencial de la población mundial en las últimas décadas, la deficiente cultura ambiental aunada a la mentalidad consumista ha ocasionado la rápida degradación de los ecosistemas, principalmente por la contaminación de los núcleos principales del planeta.

En las últimas décadas, los rellenos sanitarios han sido reconocidos como un método económico y efectivo para la disposición final de desechos sólidos municipales e industriales. Sin embargo, a pesar del desarrollo tecnológico aplicado en los rellenos destinados para eliminar o minimizar el impacto potencialmente negativo de los residuos sobre el medio ambiente, la generación de lixiviados sigue siendo una consecuencia inevitable en la práctica de eliminación de los residuos sólidos urbanos conllevando en algunos casos, a la contaminación no sólo de los

cuerpos de agua subterráneos y superficiales, sino al ecosistema en general (Tchobanoglous et al., 1994).

Es así como, al depositarse los residuos en los rellenos, éstos comienzan a descomponerse mediante una serie de procesos químicos complejos. Los productos principales de la descomposición son los líquidos lixiviados y los gases. Tanto los líquidos como los gases pueden afectar la salud de las poblaciones de los alrededores. Los líquidos lixiviados se forman mediante el percolado de líquidos (como, por ejemplo, agua de lluvia) a través de sustancias en proceso de descomposición. El líquido, al fluir, disuelve algunas sustancias y arrastra partículas con otros compuestos químicos. Los ácidos orgánicos formados en ciertas etapas de la descomposición contenidos en el lixiviado disuelven los metales contenidos en los residuos, transportándolos con el lixiviado (Friends of the Earth, 1996).

De igual manera, la escasez hídrica mundial genera la necesidad de la reutilización de aguas tratadas. La escasez de agua afecta ya a todos los continentes. Cerca de 1.200 millones de personas, casi una quinta parte de la población mundial, vive en áreas de escasez física de agua, mientras que 500 millones se aproximan a esta situación. Otros 1.600 millones, alrededor de un cuarto de la población mundial, se enfrentan a situaciones de escasez económica de agua, donde los países carecen de la infraestructura necesaria para transportar el agua desde ríos y acuíferos (PNUD, 2006).

Por su parte, la Organización de la Naciones Unidas reconoció que la reutilización de aguas residuales tratadas para el riego agrícola y la acuicultura es indispensable para lograr la seguridad alimentaria y mejorar la nutrición de la ciudadanía. De igual forma, para varios países, la reutilización de aguas residuales tratadas es la única alternativa para afrontar la escasez de agua. Por ejemplo, España tiene que aumentar en un 150% la reutilización de aguas residuales tratadas para el 2020 si quiere satisfacer sus necesidades de agua. Australia tiene que aumentar la reutilización en un 30% para el 2020. Arabia Saudita está obligada a incrementar la reutilización en un 65% para ese mismo año.

Además en el ámbito de la sostenibilidad, se deben diseñar los procesos bajo la teoría “de la cuna a la cuna”, creado por el químico alemán Michael Braungart y el

arquitecto estadounidense William McDonough en el año 1994, el cual se ha convertido en una referencia en materia de diseño sostenible y ha contribuido a consolidar esta línea de pensamiento y actuación. En palabras de McDonough: “Hay que rediseñar las cosas pensando en el uso presente y futuro de los materiales. Una parte de ellos retornará a la biosfera, otra parte se quedará necesariamente en la tecnosfera. Los nutrientes tecnológicos, como el plástico, el cristal o los metales se tienen que reutilizar. Los nutrientes biológicos, como la madera, el algodón o el corcho son compostables y pueden volver a la tierra.”

Cuando las aguas son tratadas mediante un riguroso y costoso proceso técnico, tienen como resultado un agua nueva, con otro valor social y económico, por lo tanto, se puede llegar más allá que simplemente deshacerse de esta al incorporarla a corrientes de aguas superficiales. Se puede aplicar el concepto de “de la cuna a la cuna” en la cual se pasa de un material de desecho, a uno que pueda servir de materia prima para otras actividades.

Donde exista necesidad de agua siempre va a haber demanda de esta, por lo cual se puede llegar a satisfacer con aguas de lixiviado ya tratadas y si es necesario llegar a condiciones de un nivel de exigencia aun mayor para encausarlas a otra actividad productiva se puede alcanzar, consiguiendo sostenibilidad total de principio a fin, logrando pasar de un elemento considerado altamente agresivo y con el único propósito de simplemente contaminar el entorno a su alrededor, a un elemento usado como materia prima en otros procesos.

En el país, actualmente no se han establecido parámetros legislativos o normativos para el correcto diseño de los sitios de disposición final de residuos sólidos, y tampoco parámetros por los cuales los organismos o instituciones que generan afluentes de aguas tratadas deban regirse al momento de poder conocer si el producto que es concebido, puede llegar a ser utilizado en alguna otra actividad. Estados Unidos es uno de los países que actualmente cuenta con normativas que regulan el uso de aguas tratadas para ser usadas en algún otro proceso.

Por esto, es necesario aplicar o establecer en los sitios de disposición final de desechos sólidos un tratamiento para el lixiviado que elimine contaminantes y permita cumplir con las especificaciones sobre la calidad del agua, para poder verterlos como descargas de aguas residuales y garantizar su reutilización, esto para cumplir con el concepto de “de la cuna a la cuna” de economía circular. Así que el reto es experimentar con el tratamiento a modo tal de que las descargas de este contaminante cumplan con la normativa vigente, siendo el problema a solucionar la falta de lineamientos generales para la descontaminación y reutilización del lixiviado.

1.2. Formulación del Problema

Ante el planteamiento mencionado con anterioridad se generan las siguientes interrogantes:

- ¿Se podrán caracterizar muestras de lixiviados mediante análisis biológicos?
- ¿Se podrá definir un tratamiento mediante métodos aerobios, anaerobios y fisicoquímicos?
- ¿Se podrá realizar un análisis comparativo de los estados del lixiviado?
- ¿Se podrán presentar usos del efluente derivado del tratamiento?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. General

Diseñar lineamientos generales para la descontaminación del lixiviado procedente de residuos sólidos mediante métodos aerobios, anaerobios y fisicoquímicos, para garantizar su control y reutilización.

1.3.2. Específicos

- Caracterizar muestras de lixiviados, mediante análisis biológicos, para conocer y determinar las concentraciones típicas de los componentes del lixiviado.
- Implementar un tratamiento mediante métodos aerobios, anaerobios y fisicoquímicos, para el control y reutilización del lixiviado.

- Realizar un análisis comparativo del lixiviado, a partir de las normativas existentes para observar mediante tablas ilustrativas las mejoras obtenidas con el tratamiento.
- Presentar a través de los resultados de la comparación anterior, posibles usos para el producto final obtenido, con la finalidad de minimizar la contaminación que se produce y lograr su reutilización.

1.4. Justificación del Proyecto

Si bien, la naturaleza tiene capacidad de diluir, extender, degradar, absorber o reducir el potencial contaminante en la atmósfera, en las vías fluviales y en la tierra; parte de la contaminación del aire y del agua ha sido atribuida a la gestión inapropiada de los residuos. Se han generado importantes desequilibrios ecológicos donde se ha excedido la capacidad de asimilación natural.

En Venezuela, los sistemas de disposición final de residuos sólidos utilizados principalmente son los vertederos. Al evaluar dichos sistemas, pueden estudiarse las deficiencias que presentan, debido a la mala gestión de selección del sitio, diseño, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias. Todas estas deficiencias imposibilitan que se lleve a cabo la protección ambiental, trayendo así graves consecuencias para el medio ambiente, como lo es la contaminación de los suelos, de la atmósfera y de las aguas tanto subterráneas como superficiales.

De igual manera, a pesar de que en Venezuela no exista una gran escasez hídrica, la reutilización del lixiviado proporcionaría una opción adicional como materia prima para satisfacer la demanda de agua de la población y de esta manera se disminuiría la extracción de la misma de los cuerpos de agua, creando mayor sostenibilidad en los sistemas.

En el ámbito socio – económico los residuos sólidos representan uno de los factores fundamentales que afectan directamente a las actividades económicas en las ciudades, debido a que esta genera condiciones poco favorables para el buen desarrollo de las actividades diarias de las personas, como lo son la presencia de

malos olores y de plagas originadas por los desechos sólidos. También es importante mencionar que, la sociedad recurre al agua para generar bienestar, mantener el crecimiento económico y la prosperidad, a través de actividades tales como la agricultura, la pesca comercial, la producción de energía, la industria, el transporte y el turismo. Por lo tanto, la reutilización de aguas tratadas de lixiviado es un aporte a la sociedad, debido a que permite mantener el crecimiento económico, al ser utilizado como una nueva fuente hídrica.

Además, otras de las consecuencias significativas de establecer un sistema de tratamiento óptimo para los lixiviados, es ahorrar significativamente los costos de tratamientos de aguas de donde se abastecen las poblaciones, debido a que se eliminaría la posibilidad de que estas estén contaminadas por el lixiviado.

El sistema de tratamiento que se propondrá en esta investigación, es un sistema novedoso e innovador el cual no ha sido desarrollado ampliamente en el territorio venezolano. Con la implementación del tratamiento, Venezuela mejoraría enormemente en el ámbito ambiental y sería una referencia en el tema de control de desechos sólidos. El tratamiento del lixiviado aportará grandes beneficios al ambiente, además de considerar su posible reutilización, y así no agotar otros recursos naturales.

Conjuntamente, el proceso de captación, tratamiento y disposición de lixiviados está añadido al diseño de los rellenos sanitarios. Sin embargo, el pensamiento siempre ha sido en función de disponerlo en cuerpos de agua, en el caso de este trabajo de investigación, el pensamiento es la reutilización, es decir, que se pueda utilizar como materia prima en otros procesos.

Esta investigación es un aporte a la sociedad debido a que evalúa las condiciones y plantea una solución al modo de operación de los rellenos sanitarios del país, siendo estos una fuente potencial de contaminación de acuíferos y suelos por lixiviado. Las condiciones de alta contaminación del recurso hídrico, del cual se abastece de agua potable a la población, hacen inminente la aplicación de un

tratamiento que mitigue contaminantes presentes en el lixiviado que puedan convertirse en un problema de salud pública.

Asimismo, la escasez hídrica mundial genera la necesidad de la reutilización de aguas tratadas. La escasez de agua afecta ya a todos los continentes, cerca de 1.200 millones de personas, casi una quinta parte de la población mundial, vive en áreas de escasez física de agua, mientras que 500 millones se aproximan a esta situación. De igual forma en el mundo ya fue establecida, en aquellas áreas geográficas donde existan cuencas con desbalance y/o escasez hídrica, es necesario desarrollar proyectos para que se utilicen aguas tratadas como una nueva fuente hídrica, como es el caso de este trabajo de investigación.

1.5. Alcances.

Conocer las características esenciales del lixiviado procedente de residuos sólidos, para posteriormente lograr caracterizar una muestra de lixiviado, mediante pruebas de laboratorio con la finalidad de determinar los siguientes parámetros: DBO, DQO, cloruros, pH y presencia de sólidos.

Presentar procesos que perduren en el tiempo y que garanticen la descontaminación que generan los lixiviados presentes en los rellenos sanitarios, evitando así la contaminación de acuíferos y suelos. Generando bienestar tanto a la sociedad como al medio ambiente, de esta forma, dar a entender la inminente necesidad de implementación de tratamientos de lixiviado en los rellenos sanitarios en cualquier parte del mundo.

Validar la eficiencia del proceso de descontaminación del lixiviado, realizando comparaciones con parámetros de calidad de la normativa existente, garantizando transparencia al momento de disponer de estas aguas ya tratadas. Conjuntamente al planteamiento de alternativas para la reutilización de las aguas de lixiviado en otros procesos productivos después de garantizar su descontaminación, manteniendo un equilibrio ecológico del agua logrando la sustentabilidad de este proceso.

1.6. Limitaciones.

En el desarrollo de la siguiente investigación se presentan algunas restricciones las cuales se deben tomar en cuenta, principalmente indicando que la muestra de lixiviado obtenida, a la cual se le realizaron estudios no contaba con las características propias del lixiviado, puesto que fue extraída en la planta de transferencia del municipio San Diego, la cual no es un sitio de disposición final de residuos sólidos. Esto se hizo debido a que, no se pudo acceder a otros puntos de generación de lixiviado, como por ejemplo el vertedero La Guásima. Por lo que se presentaron estudios previos de los cuales se extrajeron caracterizaciones de lixiviado procedentes de rellenos sanitarios alrededor del mundo.

Además, los resultados de cada proceso derivado del tratamiento propuesto se limitarán sólo al diseño teórico, ya que se cuenta con los porcentajes de remoción de concentraciones en cada una de las etapas del tratamiento, con los cuales se obtuvo valores esperados del efluente. Quedando así demostrado la eficiencia del tratamiento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes.

Se han realizado investigaciones enfocadas en el estudio del lixiviado para encontrar factores que puedan contribuir a su tratamiento. En el ámbito internacional Valles, A. presenta la tesis de grado **“Tratamiento Físicoquímico y Biológico de Lixiviado del Relleno Sanitario de la Ciudad de Chihuahua”** (2013) *en el centro de investigación en materiales avanzados, ubicado en la ciudad de Chihuahua, México*; para obtener grado de maestría en ciencia y tecnología ambiental, se evaluó una metodología de tratamiento sobre el lixiviado basada en procesos físicoquímicos y biológicos en cuatro etapas: I: Coagulación-Floculación/ Sedimentación mediante coagulante inorgánico, II: Adsorción con carbón activado, III: Reactor Biológico discontinuo por lotes y IV: oxidación química mediante reactivo Fenton.

Lográndose la realización de caracterizaciones del lixiviado considerando los parámetros como DQO, DBO₅, NT y metales de manera previa al experimento, así como antes y después de cada tratamiento para evaluar la eficiencia de cada proceso, obteniéndose remociones de 41 y 95% de DQO en Fase I y Fase II respectivamente. 92% DBO₅ y 52% Nitrógeno Total en Fase II, eliminación completa de metales como Bario, Cromo, Cobre, Níquel y Zinc además de remociones de 96% de Aluminio, 79% de Calcio, 51% de Hierro y 17% de Manganeso.

Con base en los valores encontrados de los parámetros se pudo determinar un tipo de tratamiento físico químico y biológico para el relleno sanitario de la ciudad de chihuahua.

En el mismo orden de ideas en el trabajo de grado presentado por Martínez O. se desarrollaron las **“Mejoras en el Tratamiento de Lixiviados de Vertedero de RSU Mediante Procesos de Oxidación Avanzada”** (2015) *en el departamento de*

ingeniería química y química inorgánica de la universidad de Cantabria, ubicado en la ciudad de Santander, España, para optar al título de doctor, con el objetivo de analizar un tratamiento para lixiviados procedentes de vertederos donde se recogen los residuos sólidos urbanos (RSU), mediante tecnologías de oxidación avanzada, como procesos innovadores y alternativos a los tratamientos convencionales. Concretamente, se estudiaron los Procesos de Oxidación Avanzada (POAs) basados en el empleo del peróxido de hidrógeno y sus variantes.

Inicialmente esta propuesta presentó el problema medioambiental relativo a la generación de lixiviados en los vertederos y las diferentes alternativas existentes para su depuración. En un segundo plano, se describen los sistemas experimentales y los métodos de análisis empleados durante la experimentación, tanto a escala de laboratorio como de planta piloto.

Este trabajo se encuadra en el desarrollo de una nueva línea de investigación sobre las aplicaciones medioambientales de los procesos de oxidación avanzada para el tratamiento del lixiviado, dentro de la cual se trabajó con diferentes tipos de aguas residuales, tintes textiles o compuestos fenólicos empleando procesos fotoquímicos, procesos tipo Fenton o electro-oxidación, poniendo en contexto un nuevo tipo de tratamiento que garantiza su control para evitar desastres irreparables en el ecosistema.

Por otra parte, Corena M. desarrollo **“Sistemas De Tratamientos Para Lixiviados Generados En Rellenos Sanitarios”** (2015) *en la universidad de Sucre, facultad de ingeniería, departamento de ingeniería civil, Sincelejo, Colombia;* para optar por el título de ingeniero civil, con el objetivo de conocer y describir cada una de las alternativas de tratamiento para los lixiviados generados en los rellenos sanitarios, con el propósito de resaltar los sistemas más adecuados, para la preservación y conservación del medio ambiente.

Implementando tratamientos aerobios y anaerobios en lixiviados, que van desde experiencias a escala de laboratorio hasta experiencias a escala real. Exponiendo que el tipo de tratamiento aerobio más extendido es Lodos Activados o

Lagunas Aireadas, Reactor de Biodiscos o RBC (Contactor Biológico Rotante). En cuanto al tratamiento se explica que el sistema anaerobio de lixiviado, de mayor difusión es el Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente con Manto de Lodos (UASB), el cual ha reportado resultados eficientes.

En Venezuela, no es un secreto que no se cumplan con las condiciones adecuadas para una correcta disposición final de desperdicios sólidos, por lo que es inevitable que se contaminen fuentes de aguas superficiales y subterráneas así como el suelo con lixiviados, es por ello que en el ámbito nacional, Polo M. describe la **“Contaminación de Acuíferos por Efecto de Los Lixiviados en El Área Adyacente al Vertedero de Desechos Sólidos La Guásima”** (2014) *en la facultad de ingeniería de la universidad de Carabobo, ubicada en Carabobo, Venezuela*, para optar por la maestría en ingeniería ambiental, con el objeto de desarrollar una investigación sobre el análisis de las características físicas geográficas del área y de los resultados del análisis de la calidad del agua subterránea muestreada en pozos de agua.

Determinado que el área donde se asienta el vertedero La Guásima, mostró una notoria actividad neotectónica y en la misma se localizaba un drenaje natural interrumpido por el movimiento de tierra debido a la disposición diaria de los desechos sólidos. El agua de pozos ubicados aguas abajo del vertedero, mostró altas concentraciones de elementos tales como Manganeso y Aluminio, mientras que para el Hierro este comportamiento fue tanto en los pozos ubicados aguas arriba, como dentro del mismo. También se evidenció la presencia de coliformes fecales y totales, sulfuro de hidrógeno y pesticidas organoclorados en las muestras analizadas en los pozos antes mencionados, por lo que se infiere que probablemente se están movilizando contaminantes provenientes de los lixiviados del vertedero La Guásima hacia las aguas subterráneas en el sector.

El objetivo de la investigación fue el de conocer la calidad del agua subterránea en el área adyacente al vertedero de desechos sólidos urbanos La Guásima, y comprobar si está siendo afectada por lixiviados provenientes de los

desechos sólidos dispuestos en ese sitio para posteriormente implementar medidas que permitan disminuir daños al ecosistema y concluye que el agua es un problema de todos y es necesario que las comunidades con el apoyo de las autoridades pertinentes contribuyan al cuidado del ambiente, el agua y prevenir el mayor daño posible.

2.2. Bases teóricas.

En la presente investigación resulta importante una revisión documental sobre la teoría y conceptos requeridos para sustentar ampliamente la realización de este análisis y se detallan.

2.2.3. Lixiviados.

Los residuos almacenados en los vertederos se descomponen a través de una serie de procesos físico-químicos y biológicos. Durante este proceso de descomposición, se forma un efluente líquido debido a la percolación del agua de lluvia a través del lecho de residuos, que disuelve los diferentes componentes que constituyen los residuos sólidos allí depositados. El líquido que se produce, al exceder su capacidad de campo pasa a través de los residuos, extrayendo sustancias disueltas y en suspensión, aumentando su concentración de contaminantes hasta convertirse en una masa para el suelo, las aguas superficiales y subterráneas (Tchobanoglous et al., 1994).

Es pertinente señalar que los lixiviados, de acuerdo a la normativa ambiental, no pueden ser vertidos sin una previa adecuación, ya que todos los efluentes están sujetos a unas calidades mínimas de vertido, establecidas según el cauce receptor, si no las cumplen deben someterse a tratamientos que le confieran la calidad de vertido necesario o que permitan la recuperación interna del agua (Custodio y Llamas, 1976).

2.2.4. Composición de los lixiviados.

El lixiviado comprende componentes orgánicos originados por procesos de hidrólisis y fermentación, por lo que contiene una alta concentración de materia orgánica e iones inorgánicos, incluyendo metales pesados (Robinson, Tech y Barber, 1982). La composición media de los lixiviados varía considerablemente según las

áreas geográficas y la edad de los rellenos sanitarios. Además, puede ser muy compleja, aunque existen características químicas comunes tales como la presencia de altas concentraciones de hidrocarburos solubles, de nitrógeno orgánico y amoniacal, metales pesados como Cd, Ni, Zn y Pb, así como una elevada salinidad. (Kulikowska y Klimiuk, 2008).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅): es la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para estabilizar la materia orgánica biodegradable en 5 días, a una temperatura de 20°C (Padrón, 2005).

Demanda química de oxígeno (DQO): Mide la cantidad de oxígeno equivalente a los agentes químicos, dicromato o permanganato de potasio, necesarios para la oxidación de la materia orgánica de un agua, bio y no biodegradable. (Rigola, 1999).

Nitrógeno Amoniacal: Nitrógeno combinado en forma de amoniaco (NH₃) o amonio (NH₄⁺). El nitrógeno amoniacal siempre presente en las aguas residuales sanitarias, por hidrólisis enzimática.

Metales Pesados: Son en general tóxicos para los seres humanos y entre los más importantes son el níquel (Ni), manganeso (Mn), plomo (Pb), zinc (Zn), cadmio (Cd), cromo (Cr), hierro (Fe) y mercurio (Hg). La presencia de cualquiera de ellos por encima de su nivel, interferirá con gran número de los usos del agua (Padrón, 2005).

Cloruros: Los cloruros son sales que resultan de la combinación de un átomo de cloro en su estado de oxidación Cl⁻ con otro elemento metálico, y están presentes en todas las fuentes de agua, sean ríos, mares, lagos e incluso agua potable. (Hanna Instruments, 2018).

Nitratos (NO₃⁻): Es un compuesto inorgánico formado por un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de oxígeno que dan lugar a un anión (NO₃⁻).

2.2.5. Clasificación de los lixiviados.

La edad del relleno sanitario y por ende del grado de estabilización de los residuos, tiene un efecto sobre la composición de los lixiviados. Estos se pueden clasificar en lixiviados jóvenes y maduros. A continuación, se presenta la Tabla 1 en la cual se puede observar la composición típica de los lixiviados según la antigüedad

del relleno sanitario extraído. Es importante destacar que, la clasificación según la antigüedad es la más usada.

De la tabla 1 se observa que los lixiviados jóvenes contienen la mayor carga orgánica, y de la cual más del 50% es biodegradable al presentar una relación DBO5/DQO superior a 0.5, y no poseen una gran cantidad de metales pesados. Por su parte, el lixiviado catalogado como maduro registra una menor carga orgánica con una relación DBO5/DQO inferior a 0.1, por lo que la mayor parte de los contaminantes orgánicos son de naturaleza refractaria, y posee una mayor concentración de metales pesados.

Tabla 1

Composición de Lixiviados en rellenos sanitarios Recientes y Antiguos

Parámetro (unidad mg/L, excepto el pH)	Símbolo	Relleno Joven (< 2 años)		Relleno Maduro (>10 años)
		Intervalo	Típico	Intervalo
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO ₅	2000 - 30000	10000	100 - 200
Carbón Orgánico Total	COT	1500-20000	6000	80-160
Demanda Química de Oxígeno	DQO	3000 - 60000	18000	100 - 500
Sólidos Totales en Suspensión	TDS	200 – 2000	500	100 – 400
Nitrógeno orgánico	NH ₃	10 – 800	200	80 – 120
Nitrógeno amoniacal	NH ₃ :N	10 – 800	200	20 – 40
Nitrato	NO ₃ ⁻	5 – 40	25	5 – 10
Fósforo Total	P total	5 – 100	30	5 – 10
Alcalinidad como CaCO ₃		1000-10000	3000	200-1000
Potencial Hidrógeno	pH	4.5-7.5	6	6.6-7.5
Dureza total como CaCO ₃		300 – 10000	3500	200 – 500
Calcio	Ca ²⁺	200-3000	1000	100-400
Magnesio	Mg ²⁺	50-1500	250	50-200
Potasio	K ⁺	200-1000	300	50-400
Sodio	Na ⁺	200-2500	500	100-200
Cloruro	Cl ⁻	200-3000	500	100-400
Sulfato	SO ₄ ²⁻	50-1000	300	20-50
Sales Solubles	Cl, SO ₄	200-4000	800	100-500
Hierro total	Fe total	50-1200	60	20-200
Plomo	Pb	1-10	2	0.01-0.5
Zinc	Zn	25-250	50	0.1-1.0

Recuperado de Tchobanoglous et al., 1991.

2.2.6. Tratamiento de los lixiviados.

Las manifestaciones de los lixiviados en los alrededores del lugar escogido para realizar la acumulación de los desechos sólidos y su probable impacto, señala que la solución ambiental correcta, es el tratamiento de los lixiviados antes de su eliminación; sin embargo, la aplicación de un determinado tratamiento depende de la composición, características y naturaleza de la materia orgánica presente, así como la edad y la estructura del relleno sanitario (Padrón, 2005).

Han sido desarrolladas tecnologías que involucran los tratamientos biológicos, fisicoquímicos, procesos de oxidación avanzada, así como sistemas naturales y recirculación de lixiviados, no sólo para minimizar la generación de contaminantes tóxicos del lixiviado, sino también para cumplir con las normas de aprobación ambientales, cada vez más estrictas en diferentes países (Li y Zhao, 2001).

Cabe aclarar, que la clasificación del lixiviado es de suma importancia en la definición del sistema de tratamiento a seguirse en la depuración de estos líquidos. Así, para lixiviados jóvenes como primera etapa de tratamiento, siempre será recomendable pensar en sistemas biológicos; mientras que para un lixiviado maduro, dada su baja biodegradabilidad y altos contenidos en metales pesados, los procesos fisicoquímicos se convierten en la mejor opción.

2.2.7. Niveles de tratamiento.

Los sistemas de tratamientos están conformados por niveles que se determinan por la remoción que se pueden llegar a lograr en cada uno de ellos y por las características de concentración esperadas en el lixiviado a tratar. El tratamiento está conformado por los siguientes niveles: Preliminar, primario, secundario, terciario y de lodos.

El tratamiento preliminar debe ser aplicado sin importar las características que posea el lixiviado, esto se debe a que consiste en eliminar los residuos fácilmente

separables y preparar el lixiviado para el tratamiento posterior, y de igual manera evitar la generación de daños a los equipos mecánicos, incrustaciones en tuberías y depósitos permanentes en tanques de los tratamientos siguientes. Para dicho fin, pueden ser utilizados por ejemplo desarenadores y sistemas de desbaste, también en esta fase se incluyen lagunas de retención previo al tratamiento.

Primeramente, el tratamiento primario consiste en la remoción de una fracción considerable de los sólidos en suspensión (SST), parte del nitrógeno amoniacal presente y una fracción de la materia orgánica (DBO₅ y DQO). Todo esto mediante la implementación de la sedimentación, tanques precipitadores de metales, tanques homogeneizador o torres de barrido de nitrógeno.

A continuación, el tratamiento secundario consiste en la remoción de la materia orgánica presente en los lixiviados, mediante procesos biológicos como anaerobios y aerobios, de tal manera que se permita una alta disminución de las altas cargas orgánicas presentes. Este debe ser aplicado en mayor cantidad a lixiviados jóvenes, debido a que estos poseen una gran cantidad de materia orgánica, y en menor cantidad a lixiviados maduros, debido a que estos poseen una pequeña cantidad de materia orgánica.

Algunos ejemplos de tratamientos biológicos pueden ser: Filtro percolador, desnitrificación, sistemas de cultivo en suspensión tipo lodo activado o reactor discontinuo secuencial (SRB), biorreactores de membrana sumergida (MBRs), reactor de manto de fango de flujo ascendente (UASB), sistemas de biopelícula Móvil como biodiscos, sistemas de biopelícula fija como lechos bacterianos o filtros percoladores, lechos fluidizados y filtros sumergidos o lechos inundados.

Finalmente, el tratamiento terciario, tiene como finalidad incluir las mejoras finales. Consiste en la remoción de patógenos asegurando una calidad muy superior del efluente secundario. Este proceso permitirá que el efluente final sea reutilizado o vertido en una fuente receptora y está compuesto por procesos físico – químicos. Por el contrario que los tratamientos secundarios, estos deben ser aplicado en mayor cantidad a lixiviados maduros, debido a que estos poseen una gran cantidad de

metales pesados, y en menor cantidad a lixiviados jóvenes, debido a que estos poseen una pequeña cantidad de metales pesados.

Algunos ejemplos de tratamientos físico químicos pueden ser: Tanque clarificador, evaporación, intercambio iónico, electrolisis, electrodiálisis, oxidación Fenton, adsorción, cámara de cloración, precipitación química (coagulación – floculación), membranas de microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y de osmosis inversa.

Es importante destacar que, el tratamiento de lodos se hace con el objetivo de la estabilización del mismo, para conseguir una degradación controlada de sustancias orgánicas y eliminación del olor. Todo esto garantizando la higiene y muerte de organismos patogénicos. De igual manera para reducir el volumen, el peso y mejorar las propiedades del lodo para su utilización posterior o disposición final (Lenntech, 2015).

Para lograr lo anterior mente expuesto se pueden aplicar diversos tratamientos, como por ejemplo: espesamiento por gravedad, flotación o mecánico, estabilización aeróbica, compostaje, acondicionamiento, deshidratación, filtro prensa y filtro de banda.

2.2.8. Tratamientos preliminares y primarios.

Desbaste

La operación de desbaste según la Comisión Nacional del Agua, México. (2016), se emplea para remover el material grueso, generalmente basura flotante o en suspensión, que pueden obstruir o dañar bombas, tuberías y equipos de las plantas de tratamiento o interferir con la buena operación de los procesos de tratamiento. El desbaste puede ser grueso si se emplean rejas, medio con rejillas o fino si se usan rejillas finas.

Existen diversos tamaños de abertura entre barrotes para cada tipo de desbaste (Ver anexo A). Las rejillas utilizadas en el desbaste pueden ser de limpieza manual o automática. Su selección depende del caudal a tratar en la planta y de la cantidad de basura esperada.

Rejas y rejillas finas de limpieza manual

En la figura 1 se puede observar las rejillas de limpieza manual, las cuales tienen inclinaciones de 45 a 60 grados con respecto a la horizontal para facilitar la extracción de basura y reducir la tendencia a obstrucciones. Las rejillas finas poseen aberturas de 0,2 a 6 mm y pueden ser rejillas estáticas, tambores rotatorios o tipo escalera.



Figura 1. Rejas y rejillas de limpieza manual y su operación. Comisión Nacional del Agua, México. (2016).

Laguna de recepción

Los vertederos suelen disponer de un sistema de captación de los lixiviados que pretende evitar la acumulación del lixiviado en el fondo del vertedero. La configuración más utilizada es una red en “espina de pescado”, formada por un colector principal al que vierten ramales transversales que cubren prácticamente toda la superficie de acopio de residuos. Los lixiviados captados normalmente son almacenados en balsas diseñadas para gestionarlos posteriormente. Estas balsas de almacenamiento de lixiviados deberán estar situadas preferentemente en lugares donde por gravedad sea posible el drenaje de los líquidos, deberán estar impermeabilizadas y diseñadas para tener capacidad suficiente para albergar todos los lixiviados generados (Fontanet y Poveda, 1999). En la figura 2 se muestra el aspecto de una balsa de recogida de lixiviados.



Figura 2. Laguna de recepción de lixiviados. Fontanet y Poveda. (1999).

Lavado con aire - Torre de Barrido de Nitrógeno

El lavado con aire o Air Stripping es una técnica en la que las aguas a tratar y el aire se ponen en contacto entre sí. Esto hace que los compuestos volátiles presentes en las aguas residuales se transfieran al aire. Los principales tipos de configuración son la torre de desmontaje o la columna de desmontaje y el removedor de placa. La torre de desmontaje se basa en el principio de contraflujo, donde una columna vertical se llena con material de embalaje. El decapante de placa se basa en el principio de flujo cruzado, donde el flujo de líquido se airea intensamente a través de una placa perforada (Emis, 2010).

En la Figura 3, se puede observar el esquema representativo del proceso en una Torre de Barrido de Nitrógeno.

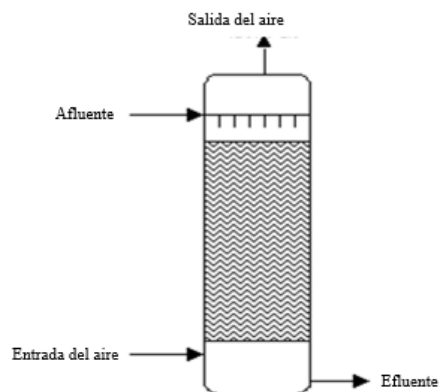


Figura 3. Esquema del funcionamiento de Torre de Barrido de Nitrógeno. Emis (2010).

El proceso de lavado con aire o air stripping es el método físico-químico más común para la eliminación de amoníaco, un contaminante que normalmente se

encuentra en altas concentraciones en los lixiviados (Marttinen, Kettunen, Sormunen, Soimasuo y Rintala, 2002)

Tanque Neutralizador

Pastor (1994) establece que, el control del pH es en general difícil de realizar debido a la dependencia altamente no lineal entre los reactivos que ingresan al sistema y el pH que se desea. Además, el control de pH en ocasiones presenta un comportamiento de fase no mínima; de ahí que a veces al disminuir el flujo de algún reactivo, se produce una disminución de pH y en otras al aumentar este flujo se produce de igual modo una disminución de pH. Los reactores UASB son sistemas que tienen gran sensibilidad en el momento en que se varía la calidad del lixiviado, pues con ligeros cambios de pH decae la eficiencia de remoción de DQO. También el alto contenido de nitrógeno amoniacal influye en el comportamiento del tratamiento anaerobio ya que causa la inhibición de bacterias metanogénicas.

Un sistema para controlar pH en simple sentido consiste en un electrodo, un transmisor, un controlador y una bomba dosificadora que agregará ácido o álcali según se quiera bajar o subir el pH. El operador debe programar, entre otros, dos parámetros:

- (a) Valor de pH deseado.
- (b) Valor de pH para el máximo caudal dosificado.

La diferencia entre ambos valores se denomina banda proporcional. A partir de ahí, dado que el pH es medido en forma permanente, el controlador actuará sobre la bomba aumentando o disminuyendo el caudal dosificado según se aleje o se acerque del valor de pH deseado.

Cuando el pH llegue al valor deseado (a) la bomba no dosificará producto o bien dosificará sólo lo necesario para mantener el proceso estable (control proporcional + integral). A medida que se vaya acercando al valor de (b), la bomba irá aumentando su caudal hasta llegar a su máxima capacidad. En la Figura 4, se puede observar el gráfico correspondiente a la dosificación de ácido y álcali según el nivel de pH deseado.

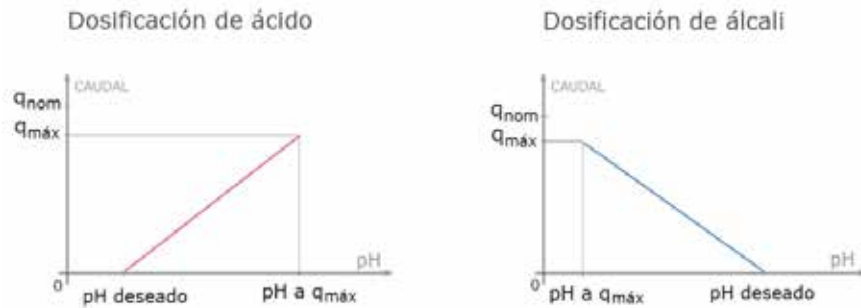


Figura 4. Dosificación de ácido y álcali para el proceso de control de pH. Ares Electrónica Industrial. (2013).

2.2.9. Tratamientos biológicos.

También, los lixiviados pueden ser biológicamente tratados, mediante el empleo de microorganismos, que llevan a cabo la degradación de las sustancias contaminantes, normalmente mediante procesos oxidativos; estos pueden ser aerobios, anaerobios y lagunajes profundos (Seoanez, 1998).

Es importante destacar, que los procesos aerobios son realizados por determinado grupo de microorganismos (principalmente bacterias y protozoos) que, en presencia de oxígeno, actúan sobre la materia orgánica e inorgánica disuelta, suspendida y coloidal existente en el agua residual, transformándola en gases y materia celular, que puede separarse fácilmente mediante sedimentación. La unión de materia orgánica, bacterias y sustancias minerales forma los flóculos y el conjunto de flóculos es lo que se conoce como lodo biológico. Los objetivos que persigue este tipo de tratamiento son la transformación de la materia orgánica y la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables.

En el caso de algunas aguas residuales urbanas, también se persigue la eliminación de Nitrógeno y de Fósforo. Por último, se consigue además la disminución de los microorganismos patógenos y fecales. Básicamente, existen dos tipos de tratamientos biológicos aerobios: Procesos de Cultivo en Suspensión (lodos Activados). Procesos de Cultivo Fijo (Lechos Bacterianos).

También es importante destacar, que los procesos anaerobios son procesos biológicos complejos y degradativos en el cual parte de los materiales orgánicos de un sustrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores. Utilizando el proceso de digestión anaeróbica es posible convertir gran cantidad de residuos, residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria, fermentativa, industria papelera y de algunas industrias químicas, en subproductos útiles. Algunos ejemplos de tratamientos biológicos anaerobios pueden ser: Lagunas anaerobias, y el reactor UASB.

Reactor USAB

Seguidamente se tiene a los reactores anaerobios de flujo ascendente (USAB), proceso anaeróbico de flujo ascendente consiste básicamente de un tanque "al revés", presentando las cámaras de decantación y digestión anaeróbica superpuestas. En este digestor existen 3 zonas bien definidas. Las zonas son:

- Zona de lecho de lodos, en la cual se concentran los microorganismos que van a biodegradar el material orgánico presente en el agua residual a tratar.
- Zona donde se encuentran dispersos los microorganismos a lo largo del UASB.
- Zona de separación gas - líquido - sólido.

En este proceso, el residuo que se quiere tratar se introduce por la parte inferior del reactor. El agua residual fluye en sentido ascendente a través de un manto de lodos constituido por gránulos o partículas formadas biológicamente. El tratamiento se produce al entrar en contacto el agua residual y el lodo microbiológico. Los gases producidos en condiciones anaeróbicas (principalmente metano y dióxido de carbono) provocan una circulación interior, que colabora en la formación y mantenimiento de los gránulos. Parte del gas generado dentro del manto de lodos se adhiere a las partículas biológicas. Tanto el gas libre como las partículas a las que se ha adherido gas, ascienden hacia la parte superior del reactor.

Allí se produce la liberación del gas adherido a las partículas, al entrar éstas en contacto con unos deflectores desgasificadores. Las partículas desgasificadas suelen volver a caer hasta la superficie del manto de lodo. El gas libre y el gas liberado de las partículas se captura en una bóveda de recogida de gases, instalada en la parte superior del reactor. El líquido, que contiene algunos sólidos residuales y algunos de los gránulos biológicos, se conducen a una cámara de sedimentación, donde se separan los sólidos residuales. Los sólidos separados se conducen a la superficie del manto de lodo a través del sistema de deflectores.

Para mantener el manto de lodo en suspensión, es necesario que la velocidad de flujo ascendente tenga un valor entre 0,6 y 0,9 m/h. (8) La idea básica de este proceso es que el lodo anaerobio tenga buenas características de sedimentación, si son favorables las condiciones físicas y químicas del proceso de floculación.

Si se logran estas condiciones, la retención del lodo, o sea, los microorganismos, dependerán principalmente de una separación efectiva del gas producido en el proceso (especialmente de las burbujas de gas atrapadas en el lodo). Después de la separación del gas la sedimentación del lodo procede favorablemente. En el UASB estos objetivos se cumplen equipando el reactor en la parte superior con un separador sólido - gas y manteniendo un mezclado mecánico y/o la recirculación del lodo a niveles mínimos (Lorenzo y Obaya, 2006).

En la figura 5, se puede observar el esquema representativo del proceso en el Reactor UASB.

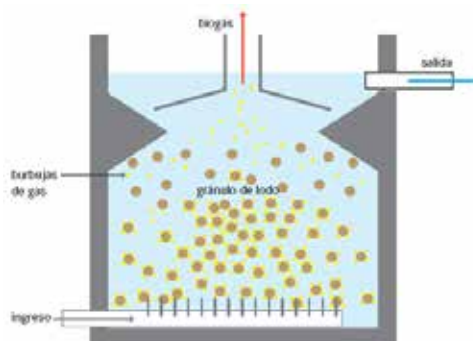


Figura 5. Esquema del funcionamiento de un Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente con Manto de Lodos. Lettinga, Roersma, y Grin. (1983).

Selector Biológico

Según Dautant (2018), este selector biológico se encarga de proporcionar y controlar las condiciones ideales para que no haya microorganismos filamentosos. Está formado por un Tanque de Retención, en el cual el efluente se encuentra por un tiempo aproximado de 30 minutos sin presencia de oxígeno, pero con agitación. Esto se hace debido a que esto genera una Zona de Estrés Bacterial, lo cual elimina la posibilidad de que existan microorganismos indeseables, como por ejemplo, los filamentosos, los cuales generan el Bulking, definido como el levantamiento del lodo

Zona anóxica - Desnitrificación

La desnitrificación es la reducción bioquímica del ion nitrato (NO_3^-), presente en el suelo o el agua, a óxido de nitrógeno (N_2O) o como nitrógeno molecular diatómico (N_2) que es la sustancia más abundante en la composición del aire, así el nitrógeno regresa a la atmosfera. Este proceso se consigue bajo condiciones anóxicas.

La conversión del nitrógeno, en forma de nitratos, a formas más rápidamente eliminables se puede llevar a cabo gracias a la acción de diversos géneros de bacterias. Estas bacterias son capaces de la reducción del nitrato, que es un proceso de dos etapas:

- El primer paso consiste en la conversión de nitrato en nitrito



Dado que tanto los óxidos de nitrógeno que se forman en la desnitrificación (NO y N_2O) como el N_2 son compuestos gaseosos, se pierden a la atmósfera y empobrecen los suelos en compuestos nitrogenados, por lo que es un proceso perjudicial para la agricultura. Sin embargo, y por las mismas razones, resulta beneficioso para el tratamiento de aguas residuales, ya que convierte NO_3^- en N_2 , disminuyendo significativamente la cantidad de nitrógeno disponible para el crecimiento no deseado de algas y de diferentes microorganismos.

Los factores que inciden directamente en las cantidades de N perdidas por este proceso son: Disponibilidad de nitratos, contenido hídrico del suelo, contenido de materia orgánica, temperatura, textura del suelo y pH.

Zona Aerobia - Lodos Activados

En el 2008, Biotecnología Práctica explica que un sistema de lodos activados es un proceso biológico utilizado para la depuración natural (biorremediación) de las aguas residuales. En donde el tratamiento es realizado por un reactor, mediante un proceso de cultivo continuo de lodos activados, que se realiza a través de un cultivo bacteriano aerobio mixto de microorganismos en suspensión: bacterias filamentosas y formadoras de flóculos; cuyo accionar causa la oxidación de la materia orgánica en suspensión.

El ambiente aerobio se consigue mediante la aireación o difusión forzada de aire dentro del medio fluido, por el uso de difusores de aire que, a su vez, permiten mantener el líquido mezcla perfectamente agitado y en movimiento continuo (estado de mezcla completa). Debe pasar un periodo de tiempo determinado, llamado tiempo de retención, para que, la mezcla de células nuevas con células viejas, conduzca a la oxidación completa de la materia orgánica.

De ahí, parte del líquido mezcla es pasado desde la parte superior del tanque, hasta un tanque de sedimentación para su separación del agua residual tratada. Este proceso es llamado clarificación del agua. Aproximadamente de un 20-40% del líquido mezcla, es pasado desde la parte baja del tanque (que contiene las células

sedimentadas) y se recircula para mantener en el birreactor, una concentración de células equilibrada.

En la figura 6. se muestra una vista lateral del reactor de lodos activados utilizado en el estudio de tratabilidad.

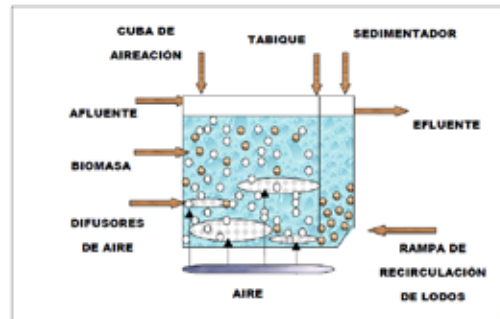


Figura 6. Esquema del reactor de lodos activos. Rivera y Valencia (2002)

Reactores Biológicos Rotativos de Contacto o Biodiscos

Metcalf y Eddy (1996) definen los biodiscos (RBCs) como un tipo de reactores que utilizan una biopelícula expuesta a las aguas residuales. La rotación de los discos induce la transferencia de oxígeno manteniendo la biopelícula en condiciones aerobias. La rotación es también un buen mecanismo para la eliminación del exceso de biomasa en la superficie de los discos por medio de los esfuerzos cortantes que se producen y para mantener en suspensión los sólidos desprendidos de modo que puedan ser arrastrados desde el reactor hasta el clarificador.

Los biodiscos se utilizan como un tratamiento secundario o avanzado. En los casos en que se precisa un efluente nitrificado, los biodiscos se pueden utilizar para el tratamiento en conjunto de la demanda biológica de oxígeno (DBO_5) y del nitrógeno amoniacal, o para nitrificar por separado el efluente del tratamiento secundario.

Eliminación de Nitrógeno en biodiscos.

En el agua residual, el nitrógeno puede estar presente en diferentes formas y son numerosas las transformaciones que puede sufrir en los diferentes procesos de tratamiento como se muestra en la Figura 7 (Metcalf y Eddy, 1995). Los dos mecanismos principales que intervienen en este proceso son la asimilación y la

nitrificación-desnitrificación. Debido a que el nitrógeno es un nutriente, los microorganismos presentes en el proceso de tratamiento tendrán que asimilar el nitrógeno amoniacal y luego incorporarlo a la masa celular. Una parte de este nitrógeno amoniacal retornará al agua residual con la lisis y la muerte de la célula. En el proceso de nitrificación-desnitrificación, la eliminación del nitrógeno se consigue en dos etapas de conversión.

En la primera, la nitrificación, reduce la demanda de oxígeno del amoníaco mediante su conversión a nitrato. No obstante, en este paso, el nitrógeno apenas ha cambiado su forma y no se ha eliminado.

En el segundo caso, la desnitrificación, el nitrato se convierte en un producto gaseoso que es eliminado. Lo anterior se puede observar claramente en el ciclo del nitrógeno.

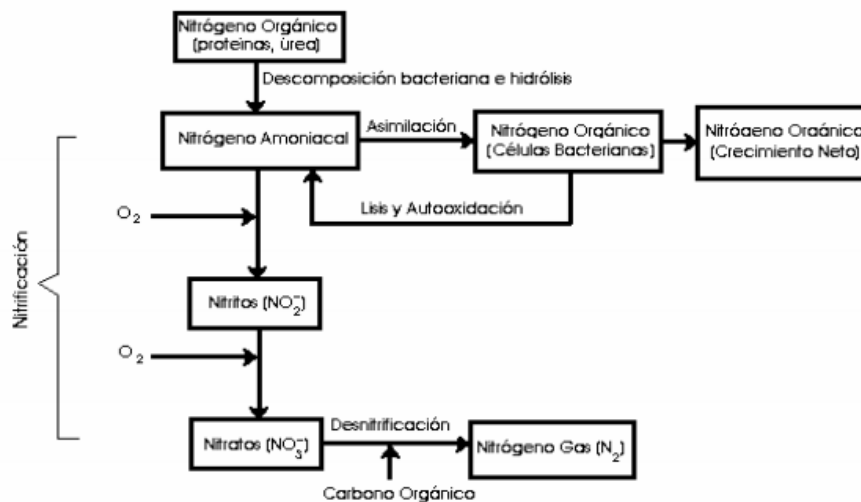


Figura 7. Transformaciones del nitrógeno en los diferentes procesos de tratamiento. Metcaf y Eddy, (1995).

Cuando se requiere lograr una buena nitrificación, el pH y la alcalinidad son parámetros muy críticos, debiéndose tener el pH próximo a 8.4. El nivel de alcalinidad para la nitrificación en el efluente debe mantenerse mínimo en 7.1 veces la concentración de amoníaco, para permitir que la reacción se complete sin afectar negativamente a los microorganismos (Marin y Gorge, 1995).

En la Figura 8, se puede observar el esquema representativo del proceso en los Reactores Biológicos Rotativos de Contacto.

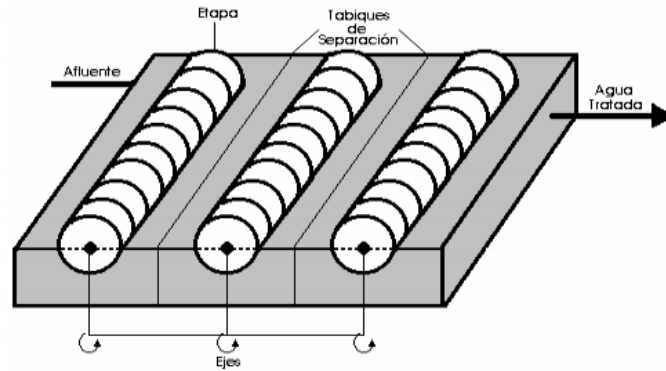


Figura 8. Tren de biodiscos en flujo perpendicular al eje. Ordóñez y Betancur, (2003).

Además, se realizó un resumen de los resultados esperados de variación del pH (Ver anexo B), del color (Ver anexo C), de sólidos totales (Ver anexo D), del análisis de DQO (Ver anexo E), del comportamiento de la DBO en la entrada y (Ver anexo F) y del comportamiento del nitrógeno total en la entrada y salida (Ver anexo G).

Para el Área de Biopelícula necesaria, se utilizan las siguientes fórmulas:

Donde:

- A_p = Área necesaria de Biopelícula.
- A_{DBO} = Área necesaria para DBO.
- A_{NH_4} = Área necesaria para Nitrógeno Amoniacal.

Para la A_p :

Donde:

- Q = Caudal
- S_0 = DBO inicial
- S = DBO Normativo

- C_e =Carga específica para diseño=15gr DBO/m²*d

Para la An:

Donde:

- Q= Caudal
- N_o =Nitrógeno inicial
- S= Nitrógeno Normativo
- C_e =Carga específica para diseño=1 gr N/m²*d

2.2.10. Tratamientos fisicoquímicos.

Por su parte, los métodos usados aplicando tratamientos fisicoquímicos, han demostrado ser válidos no sólo para la eliminación de sustancias refractarias en lixiviados estabilizados, sino también como una etapa de refinación del lixiviado tratado biológicamente. Estos comprenden el uso de técnicas como la precipitación y oxidación química, la adsorción y la ósmosis inversa, pero ningún intento hasta ahora se ha hecho para obtener una completa visión general de todos los tratamientos fisicoquímicos, en términos de las condiciones óptimas para la remoción de DQO y NH₃-H de los lixiviados de los rellenos sanitarios. Sin embargo, son métodos con menor sensibilidad a las variaciones de las condiciones del medio (Kurniawan, Wai-hung y Chan, 2006).

Sedimentación

La Empresa Cyclus (2017), establece la sedimentación como un proceso físico de separación por gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador. Está en función de la densidad del líquido, del tamaño, del peso específico y de la morfología de las partículas. Esta operación será más eficaz cuanto mayor sea el tamaño y la densidad de las partículas a separar del agua, es decir, cuanto mayor sea su velocidad de sedimentación, siendo el principal parámetro de diseño para estos equipos. A esta operación de sedimentación se le suele denominar también decantación.

El objetivo fundamental de la decantación primaria es doble: por un lado, permite eliminar los sólidos en suspensión (en un 60%, aproximadamente) presentes en las aguas residuales y la materia orgánica (en un 30%, aproximadamente) y por otro lado, protegen los procesos posteriores de oxidación biológica de la intrusión de lodos inertes de densidad elevada. Los lodos producidos en este paso, se deben someter a un sistema de tratamiento correspondiente, el cual está explicado en la última parte de este proceso.

Sistema de Desinfección - Cámara de Cloración

Según el Manual de cloración de agua potable de la empresa ITE en el año 2010, el uso del cloro como agente desinfectante empezó a principios del siglo XX y pasó a completar el proceso de filtración, que ya era ampliamente utilizado. Para la cloración, existen diversos usos y cada uno posee una dosis típica (Ver anexo H).

Los productos de la familia del cloro más habituales para realizar la desinfección del agua son: cloro gaseoso, hipoclorito sódico, hipoclorito cálcico.

- El cloro (Cl^{2+}) es un gas tóxico, más denso que el aire, de color verde amarillento. Es un producto muy oxidante que reacciona con muchísimos compuestos. El manejo de cloro se ha de realizar pues, por parte de personal especializado, son necesarios sistemas de control y de alarma muy efectivos. Por este motivo, es preferible la utilización de hipocloritos en solución o en forma sólida.

- El hipoclorito sódico (NaClO) en solución es un desinfectante que se utiliza desde el siglo XVIII y que popularmente se conoce como lejía, es un oxidante muy potente e inestable.

- El hipoclorito cálcico ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) es un sólido blanco con contenido entre el 20 y el 70% de cloro activo. Es muy corrosivo y que puede inflamarse al entrar en contacto con ciertos materiales ácidos. Sin embargo, presenta dos ventajas respecto al hipoclorito sódico: su mayor contenido en cloro y su mayor estabilidad. Para ser utilizado, se diluye con agua para obtener una solución de concentración más manejable, por ejemplo, 2%.

· El ácido hipocloroso (HClO) es un desinfectante mucho más eficaz que el ion hipoclorito, este hecho podría estar relacionado con la inexistencia de carga en la molécula de ácido hipocloroso. Al ser una molécula neutra, le sería más fácil penetrar la pared bacteriana con la consiguiente actividad bactericida. Así, a pH por debajo de 7.5 la cantidad de hipoclorito para desinfectar un agua es mucho menor que la necesaria para esa misma agua a pH superior a 7.5. Existe una distribución de HClO y ClO⁻ en función del pH (Ver anexo I).

Cloración en tanque con recirculación.

La configuración estándar del kit de cloración en tanque con recirculación, consta de diversos elementos que pasamos a describir a continuación. (Ver anexo J).

A la entrada de agua en la cuba, se realiza una cloración proporcional. A la salida, en caso de ser necesario, se realizaría un ajuste, controlada de forma que realiza una dosificación por regulación on/off hasta llegar al valor consigna de potencial. Se crea un circuito de recirculación de forma donde parte del agua que sale del tanque se suministra y parte vuelve al tanque. Así se puede llegar al valor consigna para la totalidad del contenido del tanque. La proporción de agua que se recircula se puede seleccionar mediante la válvula de compuerta que controla la recirculación.

El dimensionado de la bomba proporcional viene dado por el caudal de agua a tratar y la dosis necesaria para llegar al punto de ruptura, teniendo en cuenta todo lo expuesto anteriormente en materia de tiempo de contacto entre el cloro y el agua. En los cálculos correspondientes se deben tomar en cuenta dos valores, el caudal de cloro combinado y el residual. Al ponerse en contacto el cloro con el afluente, este reacciona con la DBO y el Nitrógeno Amoniacal presente y se oxida, por lo tanto, existirá un cloro residual después de atravesada la cámara de cloración diferente al combinado. Generalmente este valor de cloro residual, debe estar entre 0,5-1mg/l.

En general, para el cálculo del cloro combinado se utiliza la siguiente formula:

Donde:

- QCl es el caudal de hipoclorito expresado en l/h.
- QH₂O es el caudal de agua a tratar en m³ /h.
- D es la dosis de hipoclorito requerida, expresada en ppm.
- % es el porcentaje de pureza del hipoclorito comercial

Este proceso de cloración, se lleva a cabo para cumplir con la Gaceta Oficial extraordinaria: 5.021 del 18/12/95. Decreto n° 883, en el cual se establece que el número de organismos coliformes totales debe ser menor de 1000 por cada 100ml.

Precipitación química

Moreno (2011) establece que, consiste en la dosificación de determinados productos químicos al agua a tratar, con el fin de llevar a cabo una reacción con un contaminante o grupo de ellos, obteniéndose unos compuestos insolubles que por posterior sedimentación o filtración son eliminados del medio.

Las principales aplicaciones en el tratamiento de aguas se centran en la eliminación de: Fosfatos, Compuestos tóxicos (metales pesados) y Fluoruros.

- Fosfatos: Se precipitan con sales de aluminio o hierro (generalmente sulfatos).
- Metales pesados: Se precipitan en medio básico con hidróxido cálcico. Se suele hacer a dos niveles de pH:
 - pH= 8 Precipitan: Fe²⁺., Al³⁺, Cr³⁺, Cu²⁺.
 - pH= 10,5 Precipitan: Pb⁴⁺, Mn²⁺, Hg²⁺, Ni²⁺, Cd²⁺, Zn²⁺.
- Fluoruros: Se precipitan con cal.

En la figura 9, se puede observar el esquema representativo del proceso en la precipitación química.



Figura 9. Esquema del funcionamiento de una Unidad de Precipitación Química. Academia Nacional de Ciencias (2007).

Coagulación y floculación

Es el proceso que permite separar los sólidos en suspensión de tamaño muy pequeño, coloides y/o grasas y aceites emulsionados o finamente divididos, que no han sido separados en otros procesos. En la Figura 10, se puede observar el proceso en forma de diagrama. La pequeña dimensión (10^{-6} – 10^{-9} m) de las partículas coloidales presentes en el agua residual, así como la existencia de cargas negativas repartidas en su superficie, proporcionan una gran estabilidad a las suspensiones coloidales. Por tanto, tienen una velocidad de sedimentación extremadamente lenta, por lo que haría inviable un tratamiento mecánico clásico. Para romper estas suspensiones y producir la aglomeración de partículas, se recurre al tratamiento de coagulación-floculación. Son dos procesos claramente diferenciados.



Figura 10. Proceso de coagulación y floculación. Spena Group, (2017).

Unidad de mezcla rápida (coagulación)

Es el fenómeno de desestabilización de las partículas coloidales, que puede conseguirse especialmente a través de la neutralización de sus cargas eléctricas con la adición de un coagulante (reactivo químico). Es fundamental en este proceso conseguir una distribución rápida y homogénea del coagulante (agitación fuerte), para

aumentar las oportunidades de contacto entre las partículas y el reactivo químico. El tiempo de residencia es < de 3 minutos. Los principales coagulantes utilizados son las sales de aluminio y de hierro. En la Figura 11, se puede observar el proceso molecular de la coagulación.

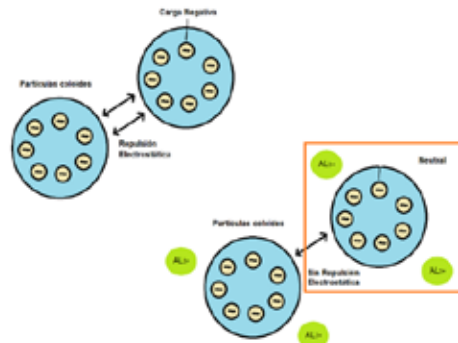


Figura 11. Proceso molecular de la coagulación. Spena Group, (2017).

Unidad de mezcla lenta (floculación)

Es la agrupación de las partículas descargadas, al ponerse en contacto unas con otras. Esta agrupación es favorecida por algunos productos químicos llamados floculantes. Los flóculos son retenidos en una fase posterior del tratamiento (decantación o flotación). En esta etapa, a diferencia de la anterior, es necesaria una agitación también homogénea y muy lenta, con objeto de no romper los flóculos que se forman. El tiempo de residencia es de 10-30 min. En la Figura 12, se puede observar el proceso de la floculación.

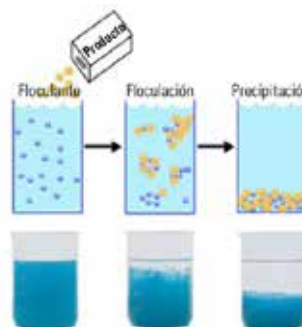


Figura 12. Proceso de la floculación. Revista AutoCrash, (2016).

Membrana Parcialmente Permeable

Osmosis Inversa

Aguasistec (2017) explica que el movimiento de moléculas a través de una membrana parcialmente permeable porosa, que va de una región de mayor concentración a otra de menor, en esta acción la membrana tiende a igualar las concentraciones en los dos lados. Este flujo de partículas solventes hacia la zona de menor potencial se conoce como presión osmótica medible en términos de presión atmosférica. Sí se utiliza una presión superior a la presión osmótica, un efecto contrario al ósmosis se puede lograr, al presionar fluidos a través de la membrana y sólo las moléculas de menor peso pasan del otro lado. En el tratamiento de agua los sólidos disueltos al generar esta presión quedan retenidos en la membrana y sólo pasa el agua, a esto se le llama ósmosis inversa. Para lograr este efecto del paso del agua es necesario presurizar el agua a un valor superior al de la presión osmótica.

Para realizar el proceso de ósmosis inversa, el agua debe fluir de la toma de agua hasta un filtro con sedimentos. Seguidamente, el agua pasará por un filtro de carbón activo, como paso previo a la membrana de ósmosis. Cuando el agua llega a la membrana de ósmosis, se produce la ósmosis inversa propiamente dicha. El agua con menos contenido sólido pasa a un nuevo depósito; mientras que los restos sólidos son rechazados y se van por el desagüe. Finalmente, el agua pasa por un depósito y seguidamente por el filtro de postcarbón. Tras este paso, ya está lista para su consumo. En la Figura 13, se puede observar el diagrama de la diferencia entre la Ósmosis y la Ósmosis Inversa.

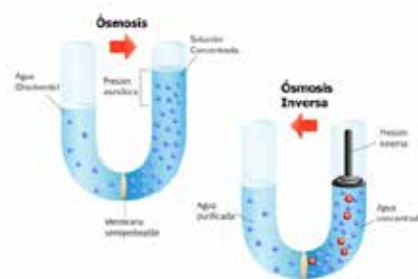


Figura 13. Ósmosis y Ósmosis Inversa. Aguasistec, 2017.

Un equipo completo de ósmosis inversa, está compuesto por pre-filtro de seguridad, bomba de presión, módulos de ósmosis inversa, equipo de control por

conductividad y circuitos de interconexión. Suelen estar equipados con un dispositivo para la limpieza automática de las membranas en caso de paro de la unidad, así como de varios módulos de control integrados en el cuadro de mando que garantizan su funcionamiento óptimo.

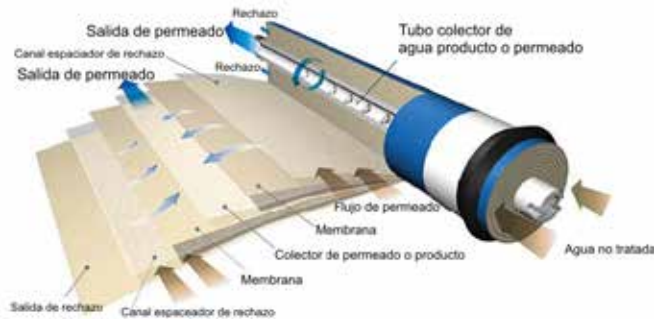


Figura 14. Equipo de la Osmosis Inversa. Aguasistec, (2017).

2.2.11. Tratamientos de lodos.

Los lodos pueden clasificarse en dos tipos, primarios y secundario. Los primarios son aquellos que provienen de reactores de tratamiento de tipo biológico y los secundarios son aquellos que provienen de reactores de tratamiento fisicoquímicos.

Para Lodos Biológicos.

Según Dautant (2018), en los cálculos correspondientes para los lodos biológicos, el dato de más relevancia para los efluentes son las cargas de sólidos presentes. Para esto, cada tipo de lodo según el reactor de donde provenga, posee una relación en kg de sólidos por cada kg de DBO reducida. Por lo tanto, también es de suma importancia la cantidad de DBO que es reducida o removida en el reactor que origina el lodo a tratar.

Cálculos necesarios:

Para la carga de sólidos presentes en los lodos:

Donde:

- X =Carga de DBO removida en el reactor.
- Y =Cantidad de Kg de sólidos presentes por cada Kg de DBO reducida para cada tipo de reactor.

Donde:

- Q Caudal.
- S_0 = DBO inicial.
- S = DBO final.

Para Lodos Químicos.

Para este tipo de lodos, se debe contener en un tanque de agitación. Con la agitación de lodos, forzamos al fluido por medios mecánicos para que adquiera un movimiento circulatorio en el interior de un recipiente. El agitador crea un cierto tipo de flujo dentro del sistema, dando lugar a que el lodo circule por todo el recipiente y vuelva de vez en cuando al agitador, para así realizar un correcto tratamiento de aguas

Los agitadores se dividen en dos tipos: Flujo axial (los que generan corrientes paralelas al eje del agitador) y Flujo radial (los que dan origen a corrientes en dirección tangencial o radial). Los tres principales tipos de agitadores son: los de hélice, los de paletas y los de turbina. La capacidad de circulación hace que el oxígeno se disperse en toda la masa y evita la sedimentación del lodo en el fondo del depósito. El cálculo para los lodos químicos es un poco más complicado, debido a que para estos, se realiza un estudio adicional. Se debe realizar la llamada Prueba de Jarra, la cual se hace con el objetivo de conocer el valor del colchón de lodos.

Ingeniería y Servicios Ambientales ISA (2018) explica que se utiliza este método ya que permite determinar las dosis óptimas de polímero utilizado en procesos de deshidratación de lodos, y también las dosis óptimas de coagulantes en plantas de tratamiento de agua potable y/o agua residual, especialmente cuando la calidad del agua fluctúa rápidamente. Con este procedimiento se determina las

condiciones óptimas a pequeña escala lo más representativas con el objetivo de predecir el funcionamiento de una operación unitaria a gran escala.

Procedimiento de la Prueba de Jarra:

Primero, se programa primero una mezcla rápida intensa y de corta duración aproximadamente 1 minuto seguida de una mezcla lenta de aproximadamente 25 minutos, al final se deja reposar por al menos 10 minutos sin mezcla. Con anterioridad, se calcula las diferentes dosis a analizar y se coloca una dosis distinta en cada jarra, justo en el momento en el que comienza la mezcla rápida y se enciende el programa secuencial y se observa el comportamiento de cada jarra. Al final del tiempo de reposo se observa la altura de lodos generados, la cual es denominada colchón de lodos. Finalmente, con el dato del colchón de lodo y con la característica básica de la concentración de un lodo efluente de una precipitación química, se puede pasar a los cálculos:

Para el caudal de lodos:

Donde:

- Caudal inicial en litros/día.
- CL = Altura obtenida de la Prueba de Jarra en mg Lodo/L afluente.

Para la Carga de Sólidos

Donde:

- Caudal inicial en litros/día.
- C = Concentración de sólidos presente en mg/L.

Filtro Prensa

Filtros prensa de placas

Los filtros prensa funcionan mediante la aplicación de altas condiciones de presión (desde 5 a 15 bares o más). La técnica de prensado es la más extendida a

pesar de la operación intermitente y altos costes de inversión. En la figura 15, se puede observar ejemplos de filtro prensa.



Figura 15. Filtro Prensa. Lenntech (2015)

Un filtro se compone de una serie de chapas verticales, yuxtapuestas y acopladas. Estas chapas prensadas entre ellas cuentan con un sistema hidráulico-neumático que puede ser automático, semiautomático. La presión aplicada a las zonas unidad de cada filtro debe de soportar la presión interna de la cámara que se forma debido a la inyección mediante bomba del lodo al sistema.

Ciclos de filtración

Los filtros de prensa son sistemas de deshidratación intermitente. Cada operación de prensado supone los siguientes pasos:

1. Cerramiento de la prensa: cuando el filtro está totalmente vacío, la cabeza movable que es activado por el sistema hidráulico-neumático cierra las placas.
2. Rellenado: Durante esta fase corta la cámara se llena con lodos para su filtración. El tiempo de relleno depende del flujo de la bomba de alimentación.
3. Filtración: Una vez rellena la cámara, la llegada de manera continua de lodo a tratar para ser desaguado provoca un aumento de la presión debido a la formación de una capa espesa de lodo en las membranas.
4. Apertura del filtro: La cabeza movable se retira para desarmar la primera cámara de filtración. La pasta cae por su propio peso.
5. Limpieza: La limpieza de las membranas puede llevarse a cabo entre 15-30 operaciones del proceso.

2.2.12. Estimación del caudal de lixiviados

Una de las maneras más sencillas de realizar una estimación del caudal de lixiviados producidos en rellenos sanitarios, usada en este trabajo de investigación, es basándose en la aproximación según las toneladas de residuos sólidos urbanos, es decir, se establece el criterio de 400 a 600 litros de lixiviado producidos por tonelada y una producción de 250 toneladas por día. Estos datos equivalen a un relleno sanitario evaluado para una población de aproximadamente 22000 habitantes (Dautant, 2018). Con los cuales se tiene que:

—————
—————
—————
—————
—————
para 22000 habitantes.

2.2.13. Reutilización de lixiviado.

Es importante destacar que, existen interesados en que no se avance en este tema según (Caldes, 2017), estos son algunos sectores que se ven beneficiados con la situación actual de derroche, desperdicio y casi nulidad de costos por consumo de agua. Algunos factores que atentan contra la utilización de las aguas tratadas son:

1. Falta de liderazgo institucional, mientras no exista un marco técnico, jurídico y económico que transparente los beneficios ambientales, sociales, de salud pública e incentivos económicos o subsidios, no será posible que se encuentre la oferta con la demanda para que llegue la inversión pública, privada o de organismos internacionales (BID, CAF).
2. Lo cultural juega un rol importante en la viabilidad de utilizar las aguas tratadas. En general, existe un rechazo cultural fundado en la desconfianza al uso de estas aguas, como consecuencia de casos de tratamientos ineficientes. Hoy existen casos exitosos donde estas aguas se usan y son parte integral en el suministro de agua del país, como Israel, Singapur, algunos Estados en EEUU y Medio Oriente.
3. Existe una falta de disposición a pagar o incapacidad de pago de los eventuales usuarios por el uso de este tipo de aguas. Esta situación, afecta la viabilidad y sustentabilidad de los proyectos, por no contar con financiamiento seguro

para la inversión, operación y manutención.

4. El análisis del Cambio Climático con sus consecuencias como la escasez hídrica y la forma de enfrentarlo por parte de los estados, también genera importantes niveles de consensos a nivel global. Sin embargo, no se refleja la urgencia o la asignación de recursos que requiere la implementación de estos planes o programas hídricos de los gobiernos.

2.2.14. Reutilización de aguas residuales tratadas en los Estados Unidos.

La Figura 16 muestra el uso y porcentaje de reutilización de aguas residuales tratadas en los EE.UU. Un 31% de las aguas tratadas en los E.E.U.U se reutilizan para el riego agrícola. Un 21% cae en otros usos, el cual incluye al control de polvo fugitivo en proyectos de construcción, lavado de vehículos, lavado de calles, preparación de concreto, producción de nieve y mejorar el flujo de ríos y quebradas. Un 19% se reutilizan para el riego de campos de golf y áreas verdes. Un 9% de esta agua se reutiliza para establecer barreras en contra de la intrusión de agua salada en acuíferos. Un 8% se reutiliza en los sectores industriales y comerciales. Un 7% se reutiliza para usos recreativos y un 5% se reutiliza para reabastecer acuíferos, entre otros.

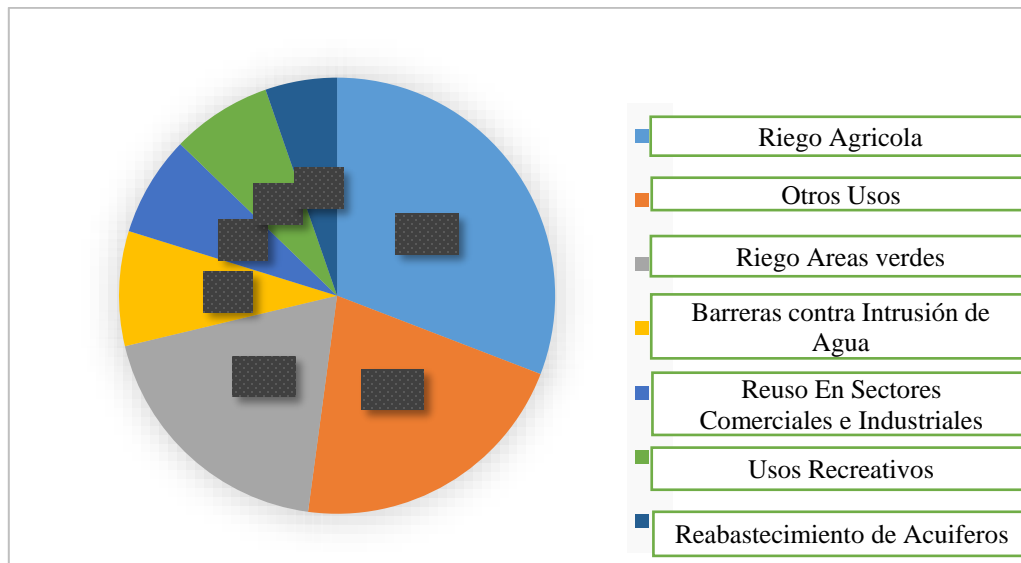


Figura 16. Distribución por usos de las aguas residuales tratadas en los Estados Unidos. EPA. (2012)

2.2.15. Guías de la EPA

Para el reuso de aguas residuales tratadas.

La Environmental Protection Agency o La Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) desarrolló las primeras Guías sobre la Reutilización de Aguas Residuales Tratadas en el 1980. Estas guías se han actualizado en el 1992, 2009 y 2012. Cada estado y territorio tiene la potestad de desarrollar guías o reglamentos para la reutilización de aguas residuales tratadas. Sin embargo, no están obligados a reglamentar la reutilización de aguas residuales tratadas. Hasta el presente, 30 estados han aprobado reglamentos para la reutilización de aguas residuales tratadas y 15 estados y territorios han aprobado guías o normas de diseño para sistemas de reuso.

La EPA establece guías para tres categorías: riego de cultivos que se ingieren crudos (ej. lechuga), riego de cultivos que se procesan comercialmente (ej. habichuelas enlatadas) y cultivo de cosechas que no son para consumo humano (ej. pasto para ganado). (Ver anexo K)

De igual manera, se detallan los requisitos reglamentarios del estado de California para riego agrícola. California establece cuatro categorías. La primera es para cultivos que se ingieren crudos por el ser humano y que pudieran tener contacto con las aguas tratadas. Nótese que en este caso California es más estricta que la EPA. En el segundo caso es para cultivo de cosechas ingeridas crudas por el ser humano, pero no tienen contacto con las aguas residuales tratadas (ej. tomates con riego a través de sistema de goteo). Nótese que en este caso California es menos restrictivo que la EPA. La tercera instancia cubre el riego de árboles frutales, viñedos, pastos, y alimentos que serán procesados comercialmente (ej. manzanas). En esta instancia, California es menos restrictiva que la EPA. El cuarto caso concierne al cultivo de pastos para ganado que sule leche. En este caso. Nótese que en este caso California es más restrictivo que la EPA. (Ver anexo L)

La EPA también desarrolló guías para proteger los cultivos. El pH debe ser igual o mayor a 6.5 y menor o igual a 8.4. En cuanto a sólidos disueltos totales, la EPA establece que una concentración menor a 500 mg/L no tiene efectos adversos.

Sin embargo, establece que una concentración igual o mayor a 500mg/L y menor a 1,000 mg/L puede afectar a cultivos sensitivos. Finalmente, establece que una concentración igual o mayor a 1,000mg/L afecta a la gran mayoría de los cultivos. (Ver anexo K)

Para riego de áreas verdes.

La EPA desarrolló guías para la reutilización de aguas residuales tratadas para el riego de áreas verdes. En Puerto Rico varios hoteles reúsan aguas residuales tratadas para el riego de campos de golf y áreas verdes. Además, el riego de áreas verdes con aguas residuales tratadas, en vez de agua potable, es una medida que se debe implantar de inmediato en los municipios para disminuir el uso de agua potable.

EPA establece requisitos para dos casos. El primer caso es para áreas verdes donde el público tiene acceso (ej. parques o un área verde). El segundo caso es el riego de áreas verdes restringidas al público (ej. intersecciones en las carreteras). (Ver Anexo K)

2.3. Bases Legales.

2.3.1. Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (2009), gaceta oficial N°5908.

Establece en su artículo 304: que las aguas son bienes del dominio público de la nación y que la ley garantizara su protección, al tiempo que en el artículo 127 se consagra la obligación del Estado, con la activa participación de la sociedad, a garantizar la protección del agua, además de otros elementos de los ecosistemas.

Esta norma constitucional implica, que es el estado el administrador, en nombre de los ciudadanos, de todas las aguas de existen en el país, y que debe garantizar su protección, con la participación de los ciudadanos, como parte competente del Estado.

2.3.2. Ley de Gestión Integral de la Basura (2010).

Esta ley establece Ley establece las disposiciones regulatorias para la gestión integral de la basura, con el fin de reducir su generación y garantizar que su recolección, aprovechamiento y disposición final sea realizada en forma sanitaria y ambientalmente segura.

En su artículo 2, hace referencia a los principios conforme a los de prevención, integridad, precaución, participación ciudadana, corresponsabilidad, responsabilidad civil, tutela efectiva, prelación del interés colectivo, información y educación para una cultura ecológica, por su parte el artículo 7 establece las competencias al poder ejecutivo nacional, a través del ministerio del poder popular en materia ambiental, conjuntamente con otros órganos y entes con competencia en la materia como lo es poder ejecutivo estatal los estados y el distrito capital, cumpliendo los lineamientos del plan nacional de manejo integral de residuos y desechos sólidos.

2.3.3. Ley orgánica para la presentación de los servicios de agua potable y saneamiento (2001), gaceta oficial N°5568 (LAPSAPS).

Señala en su artículo 3 que los servicios serán presentados en consonancia con la preservación de la salud pública, el recurso hídrico y del ambiente, y que todos los ciudadanos deben tener acceso a la provisión de los servicios de agua potable y saneamiento, ampliándose su calidad, generalidad y costo eficiente. El artículo 66, señala que los prestadores de los servicios deberán publicar periódicamente información actualizada sobre la calidad de los servicios que presten.

2.3.4. Ley Orgánica del Ambiente (2006), Gaceta Oficial N°5833.

En sus disposiciones generales, artículo 1, en el que explica que el objeto de esta ley es establecer las disposiciones y principios y los rectores para la gestión del ambiente, en el marco de desarrollo sustentable en el marco del desarrollo sustentable como derecho y deber fundamental del Estado y de la sociedad, para contribuir a la seguridad y al logro del máximo bienestar de la población y al sostenimiento del planeta en interés de la humanidad. De igual forma, establece las normas que

desarrollan las garantías y derechos constitucionales aun ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado.

En el artículo 2 se explica a los efectos de la presente ley, se entiende por gestión del ambiente el proceso continuo por un conjunto de acciones o medidas orientadas a diagnosticar, inventariar, restablecer, restaurar, mejorar, preservar, proteger, controlar, vigilar y aprovechar los ecosistemas, la diversidad biológica y demás recursos naturales y elementos del ambiente, en garantía del desarrollo sustentable.

2.3.5. Ley Penal del Ambiente (2012), Gaceta oficial N° 39.913

Tiene por objeto tipificar como delito los hechos atentatorios contra los recursos naturales y el ambiente e imponer las sanciones penales. Asimismo, determinar las medidas precautelares, de restitución y de reparación que haya lugar y las disposiciones de carácter procesal derivadas de la especificidad de los asuntos ambientales.

En los siguientes capítulos específica lo referente a la calidad del agua.

Capitulo VIII: Delitos contra la Calidad Ambiental

Sección primera: envenenamiento, contaminación y demás acciones capaces de alterar la calidad de las aguas.

Artículo 83 Corrupción y Envenenamiento de Aguas de uso público: la persona natural o jurídica que contamine o envenene las aguas destinadas al uso público o a la alimentación pública, poniendo en peligro la salud de las personas, será sancionada con prisión de dieciocho meses a cinco años o multa de mil ochocientas unidades tributarias (1.800 U.T.) a cinco mil unidades tributarias (5.000 U.T.).

Artículo 84 Vertido de materiales degradables en cuerpos de aguas: la persona natural o jurídica que vierta o arroje materiales no biodegradables, sustancias, agentes biológicos o bioquímicos, efluentes o aguas residuales no tratadas según las disposiciones técnicas dictadas por el Ejecutivo Nacional, objetos o desechos de cualquier naturaleza en los cuerpos de aguas, capaces de degradarlas, envenenarlas o

contaminarlas, será sancionado con prisión de uno a dos años o multa de mil unidades tributarias (1.000 U.T) a dos mil unidades tributarias (2.000 U.T.).

Artículo 85 Daños a Aguas subterráneas: la persona natural o jurídica que realice trabajos que puedan ocasionar daños, contaminación o alteración de aguas subterráneas o de las fuentes de aguas minerales, será sancionada con prisión de dos a cuatro años o multa de dos mil unidades tributarias (4.000 U.T.).

2.3.6. Normas para la clasificación y control de la calidad de los cuerpos de aguas y vertidos o efluentes líquidos, Decreto 883 (1995) Gaceta Oficial N° 5021.

Decreta “Normas para la clasificación y control de la calidad de los cuerpos de aguas y vertidos o efluentes líquidos”. De su capítulo II se clasifican las aguas de la siguiente manera, en el siguiente Artículo 3, las aguas se clasifican en:

Tipo 1 Aguas destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requieren de agua potable, siempre que esta forme parte de un producto o sub-producto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él.

Tipo 2 Aguas destinadas a los usos agropecuarios.

Tipo 3 Aguas marinas o medios costeros destinados a la cría y exploración de moluscos consumidos en crudo.

Tipo 4 Aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia.

Tipo 5 Aguas destinadas para usos industriales que no requieren de agua potable.

Tipo 6 Aguas destinadas a la navegación y generación de energía.

Tipo 7 Aguas destinadas al transporte, dispersión y desdoblamiento de polentas sin que se produzca interferencia con el medio ambiente adyacente.

Los parámetros establecidos en esta norma aceptables para ser vertidos se pueden apreciar la Tabla 2. Presentada a continuación.

Tabla 2

Límites máximos de parámetros fisicoquímicos en descargas a cuerpos de agua.

Parámetros Físico-Químicos (mg/l) (excepto pH)	Símbolo	Límites máximos
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO ₅	60 mg/l
Demanda Química de Oxígeno	DQO	350 mg/l
Sólidos Flotantes	S. Flo	Ausentes
Sólidos Suspendidos	SST	80 mg/l
Sólidos Sedimentables	S. Sed	1,0 mg/l
Nitrógeno Total	N total	40 mg/l
Nitritos + Nitrato	NO ₂ , NO ₃	10 mg/l
Fósforo Total	P total	10 mg/l
Potencial Hidrógeno	pH	6 - 9
Cloruros	Cl ⁻	1000 mg/l
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	1000 mg/l
Hierro Total	Fe total	10 mg/l
Cromo	Cr	2
Cobre	Cu	1
Zinc	Zn	5
Cadmio	Cd	0,2

Recuperado de Gaceta Oficial extraordinaria: 5.021 del 18/12/95. Decreto N° 883 fecha: 11 de octubre de 1995.

2.4. Definición de términos básicos.

A continuación, se definen los términos relevantes que dan fundamentos al presente trabajo de grado:

Calidad de los lixiviados: varía en función de un número de factores que incluye la cantidad producida, la naturaleza de los materiales que conforman los residuos sólidos y la variedad de reacciones químicas y bioquímicas que pueden ocurrir. Esta se puede estimar a través de variables como la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO); tomando en cuenta además parámetros como pH, temperatura, concentración de sólidos disueltos totales (SDT) y en suspensión, dureza, concentración de fosfatos y nitratos, así como la concentración de metales pesados, entre otros (Padrón, 2005).

Cloración: procedimiento utilizado para desinfectar el agua mediante la utilización de gas cloro o de compuestos que contengan este elemento. El cloro es un desinfectante eficaz frente a microorganismos patógenos presentes en el agua, y su

empleo ha reducido la incidencia de numerosas enfermedades que se contraían por la ingestión de aguas contaminadas.

Coagulación: desestabilización de un coloide producida por la eliminación de las dobles capas eléctricas que rodean a todas las partículas coloidales, con la formación de núcleos microscópicos.

Compuestos volátiles: son compuestos orgánicos constituidos fundamentalmente por carbono, que se convierten fácilmente en vapor o gas que tienen a 20° C una presión de vapor igual o mayor a 0,01 kPas, o una volatilidad equivalente en las condiciones particulares de uso. En general son compuestos con puntos de ebullición que oscilan entre 50 y 260° C (Guenther, Hewitt, Erickson, Fall, Geron, Graedel, Harley, Klinger, Lerda, McKay, Pierce, Scholes, Steinbrecher, Tallamraju, Taylor, Zimmerman, 1995) (Rudd, 1995).

Desbaste: tiene por objeto proteger a la estación de la posible llegada de grandes objetos que puedan provocar obstrucciones en las distintas unidades de la instalación o dificultar los restantes tratamientos. permite separar y evacuar fácilmente las materias voluminosas arrastradas por el agua bruta, que podrían disminuir la eficacia de los tratamientos siguientes, o complicar la realización de los mismos.

Desnitrificación: conversión de nitratos (NO_3^-) en gas nitrógeno inerte (N_2). Es el paso final en el ciclo del nitrógeno, una combinación de procesos naturales por medio de los cuales el nitrógeno se transforma de una forma a otra. Tal como se explica en el Programa Ambiental de las Naciones Unidas: La desnitrificación es el proceso por el cual se elimina el nitrógeno del agua. Cuando se lo emplea en tecnologías de mejora de la calidad del agua, se utiliza la desnitrificación para tratar el agua, reducir el contenido existente de nitrógeno en la forma de nitratos y llevarla a niveles de potabilidad.

Floculación: aglomeración de partículas desestabilizadas primero en microflóculos y más tarde en aglomerados voluminosos llamados flóculos.

Flóculo: conjunto de partículas pequeñas aglutinadas en partículas más grandes y con mayor capacidad de sedimentación que se obtiene mediante tratamiento químico, físico o biológico. Masa floculada que es formada por la acumulación de partículas suspendidas.

Lixiviado: líquido que se forma por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos orgánicos y que contienen en forma disuelta o en suspensión, sustancias que pueden filtrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos que puede dar lugar a la contaminación del suelo, además de cuerpos de agua provocando su deterioro, los cuales representan un riesgo potencial a la salud humana y de los demás organismos vivos.

Microorganismos: constituyen un grupo de seres vivos sumamente heterogéneo cuya única característica común es su reducido tamaño: todos son lo suficientemente pequeños como para pasar inadvertidos al ojo humano, siendo preciso el uso de dispositivos de aumento como el microscopio óptico o, en algunos casos, el microscopio electrónico para poder observarlos. La gran mayoría de los microorganismos son unicelulares, aunque una parte significativa de ellos tiene organización subcelular y unos pocos forman agrupaciones de células de tipo colonial sin llegar a constituir verdaderos organismos pluricelulares.

Percolación: hacer pasar un líquido a través de una masa polvorienta con el fin de disolver sus principios activos.

pH: medida de la concentración de protones de una solución acuosa. La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 6 y 8. Es muy importante controlar este parámetro, pues si el lixiviado presenta un pH muy ácido o muy básico puede desencadenar problemas de corrosión, lo que supone un peligro potencial para el ambiente (Rigola, 1999).

Sedimentación: proceso por el cual las partículas más pesadas que el agua, que se encuentran en su seno en suspensión, son removidas por la acción de la gravedad.

Sólidos Totales (ST) y Sólidos Disueltos Totales (SDT): los sólidos que pasan a través de un filtro apropiado son definidos como los SDT, mientras que los sólidos que son retenidos por el filtro son los SST. Estos junto con otros más suman los sólidos totales presentes en una muestra líquida.

Solubilidad: máxima cantidad de soluto que se puede disolver en una cantidad de disolvente a una temperatura determinada. Se expresa como gramos de soluto por cada 100 cm³ de disolvente a una temperatura dada.

Zona anóxica: ambiente que carece de oxígeno.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

El marco metodológico es el apartado del trabajo que da el giro a la investigación, es donde se expone la manera como se va a realizar el estudio y los pasos para realizarlo. La metodología consta de la descripción y análisis de los métodos que se emplearán en el estudio de investigación. La metodología se centra más en el proceso de investigación que en los resultados, aunque estos últimos dependen de ella.

Cervo y Bervian (citado por Arias, 2006), define la investigación como una actividad encaminada a la solución de un problema. En el capítulo que a continuación se presenta, se enfocan los aspectos relativos a la metodología que se empleó para realizar el presente estudio, tomando en consideración el tipo de investigación, diseño, población y muestra, así como también, se describen las técnicas e instrumentos de recolección de los datos, los procedimientos que se emplearon para darle validez, así como confiabilidad a fin de procesar conjuntamente analizando los resultados y de esta manera obtener una conclusión que permita dar respuesta a los objetivos planteados.

3.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación se refiere a la clase de estudio que se va a realizar. Orienta sobre la finalidad general del estudio y sobre la manera de recoger las informaciones o datos necesarios. El presente trabajo de grado se desarrolló a través de una investigación documental y de campo, por lo tanto, se trata de una investigación mixta, la cual se define de la siguiente forma:

La documental según el autor (Ramírez, 1999), se define como: la investigación que tiene como objetivo es el análisis de diferentes fenómenos(históricos, psicológicos, etc.) de la realidad a través de la indagación

rigurosa, utilizando técnicas muy precisas; de la documentación existente que aporte información atinente al fenómeno que se estudia. Este tipo de investigaciones generalmente son utilizadas en las ciencias

Sociales.

En el mismo orden de ideas el autor antes mencionado (Ramírez, 1999), define: la investigación de campo como aquellas que permiten indagar in situ los efectos de la interrelación entre diferentes tipos de variables sociológicas, psicológicas, educacionales, antropológicas entre otros.

3.2. Diseño de la Investigación.

Arias (2006), define el diseño de la investigación como “La estrategia que adopta el investigador para responder al problema planteado”. En el estudio de la investigación se definió la técnica y el plan de acción adecuado, más aplicable al tipo de investigación, que conlleva a la solución del problema planteado. En el diseño se establece la estrategia a seguir para obtener resultados positivos, además de definir la forma de encontrar respuesta a los interrogantes.

El diseño de esta investigación es documental y de campo, puesto a que se basó sobre hechos reales y es necesario llevar a cabo una estrategia que permita analizar la situación directamente en el lugar donde acontecen. Arias (2006), explica que la investigación de campo se apoya en informaciones que provienen entre otras, de entrevistas, cuestionarios, encuestas y observaciones. Como es compatible desarrollar investigaciones de campo junto a la investigación de carácter documental, se recomienda que primero se consulten las fuentes del carácter documental, a fin de evitar una duplicidad de trabajos.

Para el segundo caso de tipo documental, según el autor Arias (2006), define la investigación documental en un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos.

3.3. Nivel de la Investigación

Según Palella y Martins (2006). El nivel de investigación, tal como lo plantea Arias (2006), se refiere “Al grado de profundidad con que se aborda un objeto o

fenómeno”. El tipo de investigación a realizar determina los niveles que es preciso desarrollar.

Así pues, el nivel de investigación establece hasta qué punto se llevará a cabo el estudio del tema o problema planteado. Para efectos de esta investigación, la misma está enmarcada en una investigación del nivel exploratorio, descriptivo y explicativo, debido a que según el autor (Ramírez, 1999), define: La investigación exploratoria se utiliza cuando su propósito es indagar acerca de una realidad poco estudiada. El investigador debe realizar una exploración previa sobre el tópico o aquellas comunidades muy poco estudiadas.

Además, Según (Ramírez, 1999) las investigaciones descriptivas son aquellas cuyos objetivos es la descripción con mayor precisión, de las características de un determinado individuo, situaciones o grupos, con o sin especificación de hipótesis iniciales acerca de la naturaleza de tales características. Otra modalidad de los estudios descriptivos, según (Ramírez, 1999) son aquellos cuyo alcance se extiende hasta la determinación de la frecuencia con la que algo ocurre o con la que algo se halla asociado o relacionado con otro factor.

Finalmente se tiene el nivel explicativo, debido a que según Ramírez (1999) son aquellos estudios cuyo objetivo están concentrados en la comprobación de hipótesis de relación causal entre variables.

3.4. Población

Una población está determinada por sus características definitorias. Por lo tanto, el conjunto de elementos que posea esta característica se denomina población o universo. Según Tamayo y Tamayo (1997) “La población se define como la totalidad del fenómeno a estudiar donde las unidades de población poseen una característica común la cual se estudia y da origen a los resultados de la investigación”.

En vista de lo planteado, el marco demográfico de este trabajo de grado, consta de los residuos sólidos que descargan en el vertedero La Guásima, ubicado en el Municipio Libertador de Estado Carabobo, el cual recibe los residuos sólidos de diversos Municipios, principalmente de Valencia, Naguanagua, San Diego y

lógicamente Libertador. Como consecuencia de esto, existe la mayor generación de lixiviado. Basados en el criterio de Carl McDaniel y Roges Gates (2007) mencionado en su libro investigación de Mercados donde resulta que “no hay reglas específicas que se puedan seguir para definir la población, lo que debe hacer el investigador es aplicar la lógica y el criterio para abordar el problema básico”.

3.5. Muestra.

Balestrini (2006), señala que: “Una muestra es una parte representativa de una población, cuyas características deben reproducirse en ella, lo más exactamente posible”. Así como también De Barrera (2008), señala que la muestra se realiza cuando: “La población es tan grande o inaccesible que no se puede estudiar toda, entonces el investigador tendrá la posibilidad de seleccionar una muestra. La muestra no es un requisito indispensable de toda investigación, eso depende de los propósitos del investigador, el contexto y las características de sus unidades de estudio”.

Esta investigación debido a la cantidad de habitantes que se ven afectados, la muestra será de tipo intencional, la cual trata según Arias (2006), consiste en seleccionar casos típicos, según el interés. De esta manera la muestra de esta investigación está basada en la recolección de residuos sólidos del Municipio San Diego, debido a que para la caracterización de lixiviado se tomó una muestra en la planta de transferencia ubicada en dicho municipio, y este solo representa una parte de todos los municipios que descargan los residuos sólidos en el vertedero La Guásima.

3.6. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.

Arias (2006), menciona que “Las técnicas de recolección de datos son las distintas formas de obtener información”. Así mismo (Rodríguez, 2008) las técnicas, son los medios empleados para recolectar información, entre las que destacan la observación, cuestionario, entrevistas y encuestas.

Como complemento Bavaresco (2001), indica que la técnica de recolección de datos constituye “El conjunto de herramientas científicamente validada por medios en

los cuales se levantan los registros necesarios para comprobar un hecho o fenómeno de estudio”.

En este caso se utilizó la entrevista no estructurada, según Arias, (2006) “más que un simple interrogatorio es una técnica basada en un diálogo o conversación “cara a cara”, entre el entrevistador y el entrevistado acerca de un tema previamente determinado, de tal manera que el entrevistador pueda obtener la información requerida”.

Además, las entrevistas no estructuradas fueron necesarias debido a que el tratamiento de lixiviado es un tema poco explorado. Por lo tanto, se necesitaba información de profesionales especializados, como por ejemplo el Ing. Rafael Dautant, el cual posee una amplia experiencia en el área de tratamiento de aguas y ha sido presidente de AIDIS (Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental) y de AVISA (Asociación Venezolana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental), ponente en el tema Agua y Saneamiento en el XI Congreso Bolivariano y X Congreso Venezolano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, celebrados en la ciudad de Valencia en el mes de marzo de 2006.

Una de las fuentes de recolección de datos para esta investigación fue a través de estudios de laboratorio realizados en las instalaciones de la empresa Diseños Ambientales, C.A. (DISA C.A.) ubicada en la urbanización el Trigal Centro. Av. Pocaterra, Qta. Los Corales # 88-20, donde se obtuvieron los parámetros presentes en el lixiviado para producir una caracterización del mismo, realizar un análisis comparativo, que permitiera observar la posibilidad de su reutilización.

Finalmente, a través de las técnicas mencionadas, se verifica el manejo de información acerca de la contaminación causada por la acumulación de residuos sólidos de la población de estudio, con el objetivo de proponer un tratamiento que minimice el efecto negativo de la generación de lixiviado al ambiente.

3.7. Fases Metodológicas.

Fase I: Caracterización del lixiviado.

La caracterización de lixiviados se llevó a cabo mediante la toma de muestra a evaluar en la Estación de Transferencia ubicada en la zona industrial del municipio San Diego, estado Carabobo el 14 de noviembre del 2018 a las 10:20am. Dicha muestra, se llevó al laboratorio inmediatamente para evitar alteraciones en las concentraciones del lixiviado al ser extraído de su lugar de origen. El Laboratorio utilizado para los análisis fue el de la empresa Diseños Ambientales, C.A. (DISA C.A.) ubicado en la Urb El Trigal Centro. Av. Pocaterra, Qta. Los Colares #88-20.

Aproximadamente a la 1:00pm se realizaron en conjunto con la empresa, una serie de análisis de laboratorio, de acuerdo al informe expedido, se determinaron las concentraciones de: DBO, DQO, Sólidos Totales, Sólidos Totales Volátiles, Sólidos Flotantes, Potencial Hidrógeno y Cloruros. Los procedimientos de laboratorio necesarios para cada una de las características, fueron extraídos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SM) 21st Edition, 2005.

Demanda Bioquímica de Oxígeno: Clave SM – 5210.

Se realizaron los procedimientos de dos maneras: inicial, el cual es el del día de la toma de muestra y final después de transcurridos cinco días. Para cada procedimiento, del inicial y final, se realizaron los siguientes pasos descrito en la Tabla 3:

Tabla 3*Procedimientos y observaciones para la Demanda Bioquímica de Oxígeno*

Procedimientos	Observaciones
Preparación de agua aireada durante 1 hora por litro.	Se estima aproximadamente 1,20 litros por muestra a temperatura ambiente.
Por cada litro de agua aireada se añadió 1 ml de Buffer fosfato, sulfato de magnesio, cloruro de calcio y cloruro férrico.	En el orden indicado.
Tomar 0,50 ml de la muestra y ajustar el pH con NaOH (Hidróxido de sodio).	Se alcanza un rango de pH de 6.5 a 7.5.
Tomar 4 frascos por muestra y se añade 0,50ml	Incluir duplicados para analizar a los 5 días.
Completar el frasco hasta rebosar con agua aireada.	Revisar que no queden burbujas de aire.
Incubar los duplicados.	A una temperatura de 20°C durante 5 días.
Añadir 1ml de sulfato manganeso y 1ml de yoduro de potasio.	Realizar a la muestra inicial y a los duplicados una vez transcurrido el tiempo indicado.
Tapar y agitar unas 20 veces.	
Dejar reposar.	Hasta evidenciar una sedimentación.
Añadir 1 ml de ácido sulfúrico concentrado.	
Agitar vigorosamente.	Hasta eliminar el precipitado.
Descartar 100 ml de la solución de muestra.	
Añadir 1 ml de solución de almidón.	
Titular con tiosulfato de sodio 0.025N.	Hasta pasar de un color negro a transparente.
Reportar el volumen utilizado de tiosulfato de sodio 0.025n.	
Resultado Obtenido	
Demanda Bioquímica de Oxígeno.	505mg/L.

Pignalosa y Torres, 2019.

Tabla 4

Procedimientos y observaciones para la Demanda Química de Oxígeno: Clave SM – 5220

Procedimientos	Observaciones
Tomar 5ml de muestra.	Llevar hasta completar 500ml con agua destilada.
Colocar 2.5ml de la muestra diluida en un vial.	
Añadir 1.5ml de solución estándar de Dicromato de Potasio.	
Añadir cuidadosamente 3.5ml de solución acida.	Con el vial sumido en agua fría.
Agitar suavemente.	
Colocar en un reactor.	A una temperatura de 150°C durante 1 hora.
Dejar reposar y enfriar.	Trasvasar las muestras a las fiolas una vez este a temperatura ambiente.
Añadir 1 gota de Ferroina.	Titular inmediatamente.
Titular con Tiosulfato de Sodio.	Hasta pasar de un color verde azulado a naranja
Reportar el volumen utilizado de tiosulfato de sodio 0.025n	
Resultado Obtenido	
Demanda Química de Oxígeno	1043mg/L
Pignalosa y Torres, 2019.	

Tabla 5

Procedimientos y observaciones para los Cloruros: Clave SM – 4500, B-Cl-.

Procedimientos	Observaciones
Tomar 10ml de muestra.	Llevar hasta completar 100ml con agua destilada en una fiola.
Ajustar el pH de la muestra con NaOH (Hidróxido de sodio).	Hasta alcanzar un rango de pH de 7 a 10.
Se agregó 1ml de cromato de potasio.	
Titular con Nitrato de Plata 0.0141N.	Hasta observar un cambio de coloración de amarillo brillante a cobre.
Reportar el volumen utilizado de Nitrato de Plata.	Repetir el proceso de titulación tres veces, y calcular el promedio de los volúmenes utilizados.
Resultado Obtenido	
Cloruros.	300mg/l.
Pignalosa y Torres, 2019.	

Tabla 6

Procedimientos y observaciones para los Sólidos en todas sus formas Clave SM – 2540.

Procedimientos	Observaciones
Colocar los crisoles totales dentro de la mufla. Dejar enfriar y colocar dentro del desecador. Reportar el peso denominado 1 de cada Crisol. Agregar 5ml de muestra en cada Crisol. Introducir los crisoles en la estufa.	A una temperatura de 500°C durante 15 minutos Durante 30 minutos. A una temperatura de 105°C hasta que el líquido esté totalmente ausente.
Dejar enfriar. Colocar nuevamente dentro del desecador. Reportar el peso denominado 2 de cada Crisol. Introducir. los crisoles a la mufla.	Durante 30 minutos. A una temperatura de 500°C durante 15 minutos.
Dejar enfriar. Introducir los crisoles en el desecador . Reportar el peso denominado 3 de cada Crisol	Durante 30 minutos.
Resultado Obtenido	
Sólidos Totales.	828 mg/L.
Sólidos Totales Volátiles.	608 mg/L.
Sólidos Totales Fijos.	220 mg/L.
Sólidos Flotantes.	Ausentes.

Pignalosa y Torres, 2019.

Con todo lo anteriormente expuesto, quedan cumplidos los trabajos y tareas necesarias de la Fase I, a fin obtener y cumplir con el objetivo específico N° 1.

Fase II: Implementación de tratamiento.

Se definieron los lineamientos generales para un tratamiento óptimo del lixiviado, estableciendo todas las medidas necesarias para su correcta depuración según la clasificación que posea dicho lixiviado. Para concluir con los valores esperados a obtener después de aplicado el tratamiento.

En los resultados de esta fase primeramente, se presentan las Tablas 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15 con recomendaciones para cada nivel de tratamiento, en las cuales se

encuentran una gran variedad de opciones para el tratamiento de lixiviado, cada una con su función principal, esto con el objetivo de resumir las opciones existentes y que a partir de dichas tablas, se puedan crear nuevos sistemas de tratamiento dependiendo de las necesidades presentes en el relleno sanitario.

Seguidamente, se procedió a explicar un sistema de tratamiento posible para la descontaminación del lixiviado, esto se hizo con la combinación adecuada de procesos propuestos en las tablas mencionadas para garantizar que el efluente de dicho sistema cumpla con los parámetros físico-químicos establecidos en el Decreto N° 883 de la Gaceta Oficial extraordinaria: 5.021 del 18/12/95, para descargas en cuerpos de agua (Tabla 2). Sin embargo, se puede modificar el nivel de tratamiento para ajustarlo a conveniencia, en caso de que se requiera una descontaminación mayor.

Valores esperados

Tabla 7

Resultados de Lixiviados a Nivel Mundial

Parámetro (en mg/L exceptuando el pH)	Símbolo	A	B	C
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	150	3400	1032
Demanda Química de Oxígeno	DQO	3460	5600	1084,7
Potencial Hidrógeno	pH	8,2	7,9	8,5
Cloruros	Cl ⁻	4130	4360	3349
Sólidos Totales	ST	-	1050	-
Sólidos Totales Volátiles	STV	-	1500	-
Sólidos en Suspensión Totales	SST	-	-	-
Sólidos Disueltos Totales	SDT	-	-	1000
Nitrógeno Amoniacal	N-NH ₃	750	1835	1095,2
Nitratos	NO ₃ ⁻	-	-	-
Níquel	NI	0,10	0,39	0,354
Cromo	CR	0,1	1,3	0,468
Cobre	CU	0,08	-	0,008
Cinc	ZN	0,25	1,5	0,38
Cadmio	CD	<0,01	0,03	-

(A) BRASIL. Vertedero de Gramacho de Río de Janeiro (Silva, Dezotti y Sant' Anna, 2004)

- (B) URUGUAY. Vertedero de la ciudad de Montevideo (Borzacconi, Lopez, Ohanian y Viñas, 1996).
- (C) MEXICO. Vertedero de Toluca. (Guerrero, Sánchez, Buenrostro Marquéz, 2014).

Como último paso de la Fase II, se incluyó la Tabla 7, en la cual se encuentran resultados de caracterizaciones de lixiviados en diversos países del mundo, esto con la finalidad de utilizarlos como ejemplos para la obtención de resultados esperados después de aplicado el tratamiento. Dichos valores esperados se presentan en tablas resumen, esto con el objetivo de poder establecer de manera más exacta las posibles opciones de reutilización.

Calculo del Caudal (Q)

Es importante destacar, que también fue necesario la estimación de un caudal inicial antes del tratamiento para futuros cálculos. Se llevó a cabo aplicando el siguiente dato (Dautant, 2018), un caudal de lixiviado de $125\text{m}^3/\text{d}$ para una población de 22000 habitantes. Al tener este dato, se basó el cálculo en un caudal aproximado para la población del Municipio San Diego, debido a que nuestra muestra se estableció como la recolección de residuos sólidos de dicho municipio. Para lograr esto. Se recurrió a los datos obtenidos por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), en el censo de 2001 en donde se puede apreciar que el del Municipio San Diego posee una población de: 93.257 habitantes.

Con lo cual se puede estimar con base en los datos ya conocidos el caudal de lixiviados de 529,87 que puede ser expresado en 6,13litros/seg. Con todo lo anteriormente expuesto quedan cumplidos los trabajos y tareas necesarias de la Fase II, a fin obtener y cumplir con el objetivo específico N° 2.

Procedimiento y cálculos para obtener resultados esperados después de aplicado el tratamiento

Calculo del Caudal (Q)

El caudal a utilizar será de 6,13litros/seg. Y se tomará en cuenta las referencias establecidas en la Tabla 7 y los resultados obtenidos en la muestra analizada en la fase I (Tabla 18).

1. Tratamiento Primario:

Control de pH

En este paso el pH se eleva al valor óptimo de entre 9 y 10.

Torre de Barrido de Nitrógeno

Promedio de remoción de 40% debido a conclusiones obtenidas por parte de Dautant (2008). En la Tabla 8 se encuentran los resultados esperados:

Tabla 8

Resultados esperados después de la Torre de Barrido de Nitrógeno

Parámetro (en mg/L exceptuando el pH)	Símbolo	A	B	C	Muestra Analizada
Nitrógeno Amoniacal Inicial	N-NH3	750	1835	1095,20	-
Remoción del 40%		300	734	438,08	-
Nitrógeno Amoniacal del efluente		450	1101	657,12	-
Resultados					
Nitrógeno Amoniacal del efluente		450	1101	657,12	-

Pignalosa y Torres, 2019.

Tanque Neutralizador

En este paso el pH se lleva al valor óptimo de entre 7,2-7,5.

Reactor UASB

Porcentaje de eliminación de DBO del 70% y porcentaje de eliminación de DQO: 80%. En la tabla 9, se pueden observar los resultados esperados:

Tabla 9

Resultados esperados después del Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente con Manto de Lodos

Parámetro (en mg/L)	Símbolo	A	B	C	Muestra Analizada
Demanda Bioquímica de Oxígeno Inicial	DBO	150	3400	1032	505
Remoción del 70%		105	2380	722,40	353,50
DBO del efluente		45	1020	309,60	151,50

Demanda Química de Oxígeno Inicial	DQO	3460	5600	1084,70	1043
Remoción del 80%		2768	4480	867,76	834,40
Amonio del efluente		692	1120	216,94	208,60
Resultados					
DBO del efluente		45	1020,00	309,60	151,50
DQO del efluente		692	1120	216,94	208,60

Pignalosa y Torres, 2019.

Selector Biológico

Seguidamente se pase a un tanque de Retención para proporcionar las condiciones ideales y controlar el pH.

Zona Anóxica - Desnitrificación

Porcentajes de eliminación de DBO del 10% por asimilación. En la tabla 10, se pueden observar los resultados esperados:

Tabla 10

Resultados esperados después de la Zona Anóxica – Desnitrificación

Parámetro (en mg/L)	Símbolo	A	B	C	Muestra Analizada
Demanda Bioquímica de Oxígeno Inicial	DBO	45	1020	309,60	151,50
Remoción del 10%		4,50	102	30,96	15,15
DBO del efluente		40,50	918	278,64	136,35
Resultados					
DBO del efluente		40,50	918	278,64	136,35

Pignalosa y Torres, 2019.

Zona Aerobia – Lodo Activado

Porcentajes de eliminación de DBO es 75% y de DQO 80%. En la tabla 11, se pueden observar los resultados esperados:

Tabla 11

Resultados esperados después de la Zona Aerobia – Lodo Activado.

Parámetro (en mg/L)	Símbolo	A	B	C	Muestra Analizada
Demanda Bioquímica de Oxígeno Inicial	DBO	40,50	918,00	278,64	136,35
Remoción del 75%		30,38	688,50	208,98	102,26
DBO del efluente		10,13	229,50	69,66	34,09

Demanda Química de Oxígeno Inicial	DQO	692	1120	216,94	208,60
Remoción del 80%		553,60	896,00	173,55	166,88
DQO del efluente		138,40	224,00	43,39	41,72
Resultados					
DBO del efluente		10,13	229,50	69,66	34,09
DQO del efluente		138,40	224,00	43,39	41,72

Pignalosa y Torres, 2019.

Reactor de Biopelícula Móvil.

En este paso, se deben llevar los valores de DBO y nitrógeno a los permitidos por la norma, en este caso, 20mg/l de DBO y 40mg/l de nitrógeno amoniacal.

En este punto, es importante tomar en cuenta que durante el proceso Aerobio de Lodos Activado por cada 100 partes de DBO oxidadas en el proceso se consumen 5 partes de nitrógeno amoniacal, esto es debido a que los microorganismos lo consumen como parte de su proceso celular. Por lo tanto, el nitrógeno presente antes de entrar a la Biopelícula móvil establecidos en la Tabla 12:

Tabla 12

Resultados esperados del Nitrógeno Amoniacal inicial en los Biodiscos

Parámetro (en mg/L)	Símbolo	A	B	C	Muestra Analizada
Demanda Bioquímica de Oxígeno Oxidada	DBO	139,88	3170,50	962,34	470,91
Nitrógeno amoniacal consumido por oxidación de DBO	N-NH3	6,99	158,53	48,12	23,55
Nitrógeno Amoniacal Inicial Biodiscos	N-NH3	443,01	942,48	609	-

Pignalosa y Torres, 2019.

Para esto se calcula el área necesaria de Biopelícula. En la tabla 13, se pueden observar los resultados después de aplicar los porcentajes de eliminación correspondientes:

Tabla 13*Resultados esperados de Área de Biopelícula necesaria.*

Parámetro (en mg/L)	Símbolo	A	B	C	Muestra Analizada
Demanda Bioquímica de Oxígeno Inicial	So	10,13	229,50	69,66	34,09
Demanda Bioquímica de Oxígeno Norma	S	20	20	20	20
Carga Especifica para Diseño	Ce	15	15	15	15
Área para DBO		0	1282,42	303,99	86,23
Nitrógeno Amoniacal Inicial	No	443,01	942,48	609,00	-
Nitrógeno Amoniacal Inicial Norma	No	40	40	40	-
Carga Especifica para Diseño	Ce	1	1	1	-
Área para N		37004,03	82865,25	52245,86	-
Área Total Para Biopelícula		37004,03	84147,67	52549,84	86,23

Pignalosa y Torres, 2019.

Con los cuales entonces tendremos finalmente, unos resultados esperados de: 20mg/l para la DBO y 40mg/L de nitrógeno amoniacal.

Cámara de cloración

En este paso se le agregará un valor de cloro de 5-10mg/l, en este paso se puede variar la cantidad de cloro necesario según la normativa existente. En este caso, la normativa establece menos de 1000 coliformes en 100ml de agua, pero serán tomados 800col/100ml de agua para no trabajar con valores límites.

Fórmulas:

Precipitación Química

Promedio de porcentaje de eliminación de Metales Pesados: 80%. En la tabla 14, se pueden observar los resultados después de aplicar los porcentajes de eliminación correspondientes:

Tabla 14

Resultados esperados después de la Precipitación Química.

Parámetro (en mg/L)	Símbolo	A	B	C
Níquel	NI	0,1000	0,3900	0,3540
Remoción del 80%		0,0800	0,3120	0,2832
Níquel del efluente		0,0200	0,0780	0,0708
Cromo	CR	0,1000	1,3000	0,4680
Remoción del 80%		0,0800	1,0400	0,3744
Cromo del efluente		0,0200	0,2600	0,0936
Cobre	CU	0,0800	0,0000	0,0080
Remoción del 80%		0,0640	0,0000	0,0064
Cobre del efluente		0,0160	0,0000	0,0016
Cinc	ZN	0,2500	1,5000	0,3800
Remoción del 80%		0,2000	1,2000	0,3040
Cinc del efluente		0,0500	0,3000	0,0760
Cadmio	CD	0,0100	0,0300	0,0000
Remoción del 80%		0,0080	0,0240	0,0000
Cadmio del efluente		0,0020	0,0060	0,0000
Resultados				
Níquel del efluente		0,0200	0,0780	0,0708
Cromo del efluente		0,0200	0,2600	0,0936
Cobre del efluente		0,0160	0,0000	0,0016
Cinc del efluente		0,0500	0,3000	0,0760
Cadmio del efluente		0,0020	0,0060	0,0000
Total Metales Pesados		0,11	0,64	0,24

Pignalosa y Torres, 2019.

Membranas de Osmosis Inversa

· Porcentaje de eliminación de DQO del 98%, elimina el 98% de sólidos disueltos totales (sales minerales y material orgánico), el 95% de metales pesados.

En los Límites máximos de parámetros fisicoquímicos en descargas a cuerpos de agua se establece un máximo de 1000mg/l de cloruros, por lo cual se realizará el cálculo correspondiente para el caudal que realmente debe pasar a través de las membranas de Osmosis Inversa para cumplir con dicho límite para los lixiviados tipo A, B y C (Tabla 7). No se tomó el valor de 1000mg/L para no trabajar con valores límites, se trabajó con 800mg/L.

Tabla 15

Porcentaje del caudal para la Osmosis Inversa

Parámetro (en mg/L)	Símbolo	A	B	C
Cloruros	Cl ⁻	4130	4360	3349
Normativo		800	800	800
Porcentaje del Caudal a Tratar		81	82	76

Pignalosa y Torres, 2019.

Sin embargo, para la muestra analizada en la fase I no se puede aplicar el mismo criterio debido a que esta ya posee un valor de cloruros por debajo de lo permitido en la norma. Por lo tanto, se sacará el caudal necesario por los sólidos totales presentes, los cuales son 828mg/l y los normativos son solo 82mg/l (Tabla 16).

Tabla 16

Porcentaje del caudal para la Osmosis Inversa para la muestra analizada

Parámetro (en mg/L)	Símbolo	Muestra Analizada
Sólidos totales	SST	828
Normativo		82
Porcentaje del Caudal a Tratar		90

Pignalosa y Torres, 2019.

En la tabla 17, se pueden observar los resultados después de aplicar los porcentajes de eliminación correspondientes:

Tabla 17*Resultados esperados después de la Osmosis Inversa.*

Parámetro (en mg/L)	Símbolo	A	B	C	Muestra Analizada
Porcentaje de Caudal a Tratar		0,81	0,82	0,76	0,90
Demanda Química de Oxígeno	DQO	112,104	183,68	32,97488	37,548
Remoción del 98%		109,86	180,01	32,32	36,80
DQO del efluente		2,24	3,67	0,66	0,75
Cloruros	CL	3345,3	3575,2	2545,24	270
Remoción del 98%		3278,39	3503,70	2494,34	264,60
Cl- del efluente		66,91	71,50	50,90	5,40
Sólidos Totales	ST	0	861	0	745,2
Remoción del 98%		0,00	843,78	0,00	730,30
Sólidos Totales del efluente		0,00	17,22	0,00	14,90
Sólidos Totales Volátiles	STV	0	1215	0	547,2
Remoción del 98%		0,00	1190,70	0,00	492,48
Sólidos Totales Volátiles del efluente		0,00	24,30	0,00	54,72
Sólidos Disueltos Totales	SDT	0	0	760	-
Remoción del 98%		0,00	0,00	744,80	-
Sólidos Disueltos Totales del efluente		0,00	0,00	15,20	-
Total Metales Pesados	TMP	0,0891	0,0902	0,0836	-
Remoción del 95%		0,08	0,09	0,08	-
Total Metales Pesados del efluente		0,00	0,00	0,00	-
Coliformes Fecales	CF	648	656	589	720
Remoción del 95%		616	623	577	648
Coliformes Fecales del efluente		32	33	12	72
Resultados					

DQO del efluente	2,24	3,67	0,66	0,75
Cl- del efluente	66,91	71,50	50,90	5,40
Sólidos Totales del efluente	0,00	17,22	0,00	14,90
Sólidos Totales Volátiles del efluente	0,00	24,30	0,00	54,72
Sólidos Disueltos Totales efluente	0,00	0,00	15,20	-
Total Metales Pesados del efluente	0,00	0,00	0,00	-
Coliformes Fecales del efluente	32	33	12	72

Pignalosa y Torres, 2019.

Finalmente, el efluente de la Osmosis Inversa se mezcla con la proporción que no pasó por este proceso.

Tratamientos para los Lodos

Lodos Biológicos

1. Efluente del reactor UASB.

Para el Reactor UASB, se utiliza una Relación de Kg de 0,05 KgSólidos/KgDBOr. En la tabla 27, se pueden observar los resultados esperados después de aplicar las ecuaciones correspondientes:

2. Efluente del sedimentador del reactor Lodo Activado.

Para el Reactor Lodo Activado, se utiliza una Relación de Kg de 0,60 KgSólidos/KgDBOr. En la tabla 28, se pueden observar los resultados esperados después de aplicar las ecuaciones correspondientes:

3. Efluente del sedimentador del reactor Biodiscos.

Para el Reactor Lodo Activado, se utiliza una Relación de Kg de 0,45 KgSólidos/KgDBOr. En la tabla 29, se pueden observar los resultados esperados después de aplicar las ecuaciones correspondientes:

Lodos Químicos

4. Efluente del sedimentador del reactor de Precipitación Química:

Para el Reactor Precipitación Química, se utiliza un Colchón de Lodos de 50 mg Lodo/L y una concentración de mg/l. En la tabla 30, se pueden observar los resultados esperados después de aplicar las ecuaciones correspondientes:

Fase III: Análisis comparativo del estado de los lixiviados.

El desarrollo de esta fase estuvo enfocado en la realización de cuadros comparativos que permitan distinguir claramente el estado de los lixiviados que se tomaron en consideración para el desarrollo de la investigación. A través de dichos cuadros, se realizó el análisis comparativo correspondiente, esto permitió la clasificación de los lixiviados, verificación de las concentraciones adecuadas con la normativa existente, en este caso La Gaceta Oficial extraordinaria: 5.021 del 18/12/95. Decreto n° 883 fecha: 11 de octubre de 1995 (Ver Tabla 2), con la finalidad de presentar posibles casos para su reutilización.

Análisis Comparativo N° 1

Este análisis, se llevó a cabo mediante la comparación del efluente recolectado en la planta de transferencia de san diego (Tabla 18) con la Tabla 1 de composición de lixiviados en rellenos sanitarios Recientes y Antiguos, con el fin de poder clasificarla según su antigüedad.

Análisis Comparativo N° 2

En este análisis, se llevó a cabo mediante la comparación de las referencias de lixiviado a utilizar (Tabla 7) con la Tabla 1 de composición de lixiviados en rellenos sanitarios Recientes y Antiguos, con el fin de poder clasificarla según su antigüedad.

Análisis Comparativo N° 3

En este análisis, se compara el sistema de tratamiento aplicable en lixiviado descrito en esta investigación (ver Figura 17 y 18) con un sistema de tratamiento real ubicado de Parque Ambiental Los Pocitos (Ver anexo N y O).

Análisis Comparativo N° 4

Este análisis, se llevó a cabo mediante la comparación de los valores esperados después de aplicado el tratamiento (Tabla 26) con el Decreto N° 883 (Tabla 2), con el fin de poder observar y verificar de manera clara, que se cumpla con la normativa establecida.

Análisis Comparativo N° 5

Este análisis, se llevó a cabo mediante la comparación de los valores esperados después de aplicado el tratamiento (Tabla 26) con las guías EPA para la

reutilización de aguas tratadas (Ver anexo K), con el fin de poder concluir más específicamente cuales serían los posibles usos del efluente obtenido. Con todo lo anteriormente expuesto quedan cumplidos los trabajos y tareas necesarias de la Fase III, a fin obtener y cumplir con el objetivo específico N° 3.

Fase IV: Reutilización de lixiviado posterior a su tratamiento.

Finalmente, con la información obtenida durante el desarrollo de esta investigación y con la participación de los profesionales convenientes, se verificó la información obtenida en el análisis comparativo presentado en la fase anterior y se planteó una lista de los usos adecuados para el lixiviado obtenido.

Con todo lo anteriormente expuesto quedan cumplidos los trabajos y tareas necesarias de la Fase IV, a fin obtener y cumplir con el objetivo específico N° 4.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Fase I: Caracterización del lixiviado.

En la Tabla 18 se puede observar el cuadro resumen de los resultados obtenidos al haber realizado los estudios correspondientes.

Tabla 18

Resultados de la caracterización de la muestra

Parámetro	Unidad	Símbolo	Muestra analizada
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	DBO ₅	505
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	DQO	1043
Sólidos Totales	mg/L	SST	828
Sólidos Totales Volátiles	mg/L	STV	608
Sólidos Totales Fijos	mg/L	STF	220
Sólidos Flotantes	mg/L	S. Flo	Ausentes
Potencial Hidrógeno		pH	8,91
Cloruros	mg/L	Cl ⁻	300

Pignalosa y Torres, 2019

Se puede observar que, los resultados obtenidos de la caracterización de la muestra son suficientes para clasificar el lixiviado según su antigüedad. Esto es de suma importancia, debido a que permite conocer las características del lixiviado a tratar y es indispensable para escoger el sistema de tratamiento óptimo para cada tipo de lixiviado.

4.2. Fase II: Implementación de tratamiento.

Tabla 19

Recomendaciones tratamiento preliminar

Preliminares	
Tratamiento	Función Principal
Desarenador.	Retiene más del 80% de las arenas y de aceites y grasas.
Sistema de desbaste.	Remueve el material grueso .

Laguna de Retención de
Lixiviado.

Almacenar el lixiviado.

Pignalosa y Torres, 2019

Primeramente, el tratamiento preliminar debe ser en toda ocasión, ya que su finalidad es eliminar los residuos fácilmente separables, esto para evitar la generación de daños a los equipos mecánicos, incrustaciones en tuberías y depósitos permanentes en tanques de los tratamientos siguientes. Se puede observar en la Tabla 20, dos opciones que cumplen con las especificaciones necesarias, como los son el desarenador y un sistema de desbaste. La laguna de retención, que solo sirve para almacenar el lixiviado, previo a su tratamiento.

Tabla 20

Recomendaciones tratamiento primario

Primario	
Sedimentadores.	Disminuye los Sólidos Suspendedos Totales en un 30%.
Tanque Precipitador de Metales.	Los lodos precipitados son extraídos por gravedad y dispuestos en el tratamiento correspondiente.
Tanque Homogeneizador.	El pH se lleva al valor óptimo.
Torre de Barrido de Nitrógeno.	Remueve el 40% del nitrógeno amoniacal.(Cheung, Chu y Wong, 1997)

Pignalosa y Torres, 2019

En el siguiente paso, se lleva a cabo la remoción de una fracción considerable de los sólidos en suspensión (SST), parte del nitrógeno amoniacal presente y una fracción de la materia orgánica (DBO₅ y DQO). Las recomendaciones para este nivel, presentes en la Tabla 20, incluyen sedimentadores, tanques precipitadores de metales, tanques homogeneizador o torres de barrido de nitrógeno.

Tabla 21*Recomendaciones tratamiento secundario*

Secundario	
Filtro Percolador con recirculación.	Un 40% de disminución de la contaminación orgánica medida como DBO ₅ del lixiviado efluente del UASB.
Zona Anóxica - Desnitrificación.	Remueve el 10% de DBO. (Dautant, 2018).
Sistemas de cultivo en suspensión - Lodo Activado.	Remueve el 75% de DBO y el 80% de DQO. (Dautant, 2018).
Sistemas de cultivo en suspensión - Reactor discontinuo secuencial (SRB).	Remueve el 55% de DQO. (Obbard, Barr, Robinson y Carville, 1999)
Sistemas de cultivo en suspensión - Biorreactores de membrana sumergida (MBRs).	Remueve el 55% de DQO y 96% de DBO (Ahn, Kang Yim y Choi, 2002)
Sistemas de cultivo en suspensión - Proceso anaerobio de manto de fango de flujo ascendente (UASB).	Se elimina el 70% de la DBO ₅ .(Kennedy y Lentz, 2000)
Sistema de Biopelícula Móvil - Biodiscos.	Se llevan los valores de DBO y nitrógeno a los permitidos por la norma, en este caso, 20mg/l de DBO y 40mg/l de nitrógeno amoniacal (Dautant, 2018).
Sistemas de biopelícula fija Lechos bacterianos o filtros percoladores.	Remoción del 90% de DBO y el 95% de amoniaco.(Knox, 1985).
Sistemas de biopelícula fija Lechos fluidizados.	Lechos fluidizados aerobio: eliminación del 30% DQO anaerobios: eliminación del 90% de DQO. (Imai, Onuma, Inamori y Sudo, 1995)
Sistemas de biopelícula fija Filtros sumergidos o lechos inundados.	Remoción de 75% de DQO. (Smith, 1995)

Pignalosa y Torres, 2019.

A continuación, se encuentra el tratamiento secundario, el cual consiste en la remoción de la materia orgánica presente en los lixiviados, mediante procesos biológicos como anaerobios y aerobios, de tal manera que se permita una alta disminución de las altas cargas orgánicas presentes. Las recomendaciones para este nivel, presentes en la Tabla 21, incluyen: filtro percolador, desnitrificación, sistemas de cultivo en suspensión tipo lodo activado o reactor discontinuo secuencial (SRB), biorreactores de membrana sumergida (MBRs), reactor de manto de fango de flujo ascendente (UASB), sistemas de biopelícula Móvil como biodiscos, sistemas de

biopelícula fija como lechos bacterianos o filtros percoladores, lechos fluidizados y filtros sumergidos o lechos inundados.

Tabla 22

Recomendaciones tratamiento terciario

Terciario	
Tanque Clarificador.	Se obtiene un 70% de remoción de Sólidos Suspendedos Totales.
Evaporación.	Concentra el amoníaco, metales pesados y compuestos orgánicos para reducir el flujo de agua, así como la concentración de compuestos que producen un ensuciamiento de las membranas. (Leonhard, Eisner, Haase y Wilderer, 1994)
Intercambio iónico.	Ablanda el agua o para eliminar el contenido mineral. (Kurniawan <i>et al.</i> , 2006).
Electrolisis.	Extracción de algunos metales como el Cobre, Oro, Plata, Zinc, Aluminio, Cromo, Cobalto y Manganeso. (Tsai, Lin, Shue y Su, 1997).
Electrodialisis.	Remover hasta el 50% de los compuestos inorgánicos disueltos. (Kurniawan <i>et al.</i> , 2006).
Oxidación Fenton.	Remoción del 50% de DQO. (Huang, Diyamandoglu y Fillos, 1993).
Adsorción.	Remoción del 90% de DQO. (Morawe, Ramteke y Vogelpohl, 1995.).
Cámara de cloración.	Se llevan el número de organismos coliformes totales a menos de 1000 por cada 100ml.
Precipitación Química. (Coagulación – Floculación)	Remueve el 80% de metales pesados. (Çeçen y Gürsoy, 2000).
Membranas de Microfiltración	Remoción del 40% de DQO. (Chianese, Ranauro y Verdone, 1999)
Membranas de Ultrafiltración	Remoción del 50% de DQO. (Bohdziewicz, Bodzek y Gorska, 2001)
Membranas de Nanofiltración	Remoción del 75% de DQO. (Ozturk, Altinbas, Koyuncu, Arikan y Gomec-Yangin, 2003)
Membranas de Osmosis Inversa	Remueve el 99% de DQO y DBO, el 98% cloruros y el 95% de metales pesados. (Ushikoshi, Kobayashi, Uematsu, Toji, Kojima y Matsumoto, 2002)

Pignalosa y Torres, 2019.

Seguidamente, se pasa al tratamiento terciario, el cual consta de procesos fisicoquímicas. Estos tienen como finalidad incluir las mejoras finales, removiendo patógenos y asegurando una calidad muy superior del efluente secundario. Este proceso es esencial, debido a que permitirá que el efluente final tenga las

características que permitan su reutilización. Las recomendaciones para este nivel, presentes en la Tabla 22, incluyen: tanque clarificador, evaporación, intercambio iónico, electrolisis, electrodiálisis, oxidación Fenton, adsorción, cámara de cloración, precipitación química (coagulación – floculación), membranas de microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y de osmosis inversa.

Tabla 23

Recomendaciones tratamiento de lodos

Tratamiento de Lodos.	
Espesamiento por gravedad	Se emplea en lodos primarios, físico-químicos y mixtos que decantan bien por gravedad. Los lodos biológico decantan lentamente.
Espesamiento por flotación	Se emplea para el espesado de fangos biológicos debido a su baja capacidad de sedimentación.
Espesamiento mecánico	De tipo mesas espesadoras, se emplea para lodos activos o digeridos. No es adecuado en el caso de lodos físico-químicos.
Estabilización aeróbica	Se emplea para lodos mixtos con un aporte más elevado de oxígeno.
Compostaje	Es efectivo en la descontaminación de contaminantes orgánicos como: Hidrocarburos de petróleo, compuestos monoaromáticos, explosivos, clorofenoles, algunos pesticidas y compuestos aromáticos policíclicos.
Acondicionamiento	Los lodos de consistencia gelatinosa pueden dificultar las operaciones de secado. En estos casos se realiza un acondicionamiento previo para mejorar las características del lodo para su deshidratación.
Deshidratación	Cualquier tipo de lodo.
Filtro Prensa.	Se consigue una estanqueidad del 35-45%, según las características del lodo a tratar. Método costoso pero eficiente para cualquier tipo de lodo.
Filtro de banda	Método económico para cualquier tipo de lodo.

Pignalosa y Torres, 2019.

Finalmente, el tratamiento de lodos, este se hace con el objetivo reducir el volumen, el peso del mismo y mejorar las propiedades del lodo para su utilización posterior o disposición final. De igual manera, se logra su estabilización, para conseguir una degradación controlada de sustancias orgánicas y eliminación del olor, todo esto garantizando la higiene y muerte de organismos patogénicos. Las recomendaciones para este nivel, presentes en la Tabla 23, incluyen: espesamiento

por gravedad, flotación o mecánico, estabilización aeróbica, compostaje, acondicionamiento, deshidratación, filtro prensa y filtro de banda.

Tabla 24

Recomendaciones tratamiento de sistemas de bajo coste y otras opciones

Otras Opciones	
Recirculación del lixiviado sobre el vaso de vertido.	Diluye los Sólidos Disueltos Totales, DBO ₅ , DQO y metales pesados, lixiviados jóvenes. (Koerner y Soong, 2000).
Depuración conjunta con las aguas residuales urbanas.	
Sistemas de bajo coste	
Lechos de turba	Remoción de 85-90% de Sólidos en suspensión, 80-85% de DBO ₅ , 75-85% de DQO, el 30-40% de Nitrógeno total y el 10-40% de Fósforo total 10-40%. (Heavey, 2003)
Lagunaje	Remoción de 98% de DQO y el 99% de DBO ₅ . (Robinson et al, 1989)

Pignalosa y Torres, 2019.

De igual manera, existen otros tipos de sistemas de tratamiento que representan un menor costo, como lo son los lechos de turba y el lagunaje. Además de otras opciones, como lo es la recirculación del lixiviado sobre el vaso de vertido y también la depuración del lixiviado en conjunto con las aguas residuales urbanas.

Tabla 25

Eficiencia del tratamiento según el tipo de lixiviado

DQO/DBO	<4	4-10	>10
Tipo de Lixiviado	Biodegradable (joven)	Maduro	Estabilizado (viejo)
Tipo de Tratamiento	Eficiencia		
Biológico	Buena	Favorable	Pobre
Precipitación Química	Favorable - Pobre	Favorable	Pobre
Oxidación Química	Favorable - Pobre	Favorable	Buena
Carbón Activado	Favorable - Pobre	Buena - Favorable	Buena
Osmosis Inversa	Favorable	Buena	Buena
Coagulación	Favorable - Pobre	Buena - Favorable	Buena

Recuperado de Dautant, 2019.

A continuación, se procederá a explicar un sistema de tratamiento posible para la descontaminación del lixiviado. En las figuras 19 y 20, se encuentran los diagramas correspondientes a dicho sistema de tratamiento. El efluente cumple con los

parámetros físico-químicos establecidos en el Decreto N° 883 de la Gaceta Oficial extraordinaria: 5.021 del 18/12/95, para descargas en cuerpos de agua.

Descripción de los Niveles del Tratamiento.

1. Tratamiento Preliminar: Se dispone de un sistema de desbaste conformado por rejillas finas de limpieza manual estáticas, con una separación de entre 0.5 a 2cm entre rejillas y una inclinación de 45 a 60 grados, con el fin de retener el material grueso contenido en el lixiviado. Para posteriormente pasar a una laguna de retención de lixiviado, con su correspondiente estación de bombeo y ser transportado a la siguiente fase del tratamiento.

2. Tratamiento Primario: Consiste en la remoción de una fracción considerable del nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$), a partir de una Torre de Barrido de Nitrógeno, también conocido como Lavado con Aire. Se estima que la remoción de nitrógeno es del 40%. Para esto, previo a la Torre de Barrido de Nitrógeno, se debe aumentar el valor de pH a 9-10 aproximadamente, posteriormente a la Torre Barrido de Nitrógeno de un Tanque Homogeneizador, en este se acondiciona el lixiviado para el Tratamiento Secundario. El pH se lleva al valor óptimo de 7.2-7.5, los reactores UASB son sistemas que tienen gran sensibilidad en el momento en que se varía la calidad del lixiviado, pues con ligeros cambios de pH decae la eficiencia de remoción de DQO.

3. Tratamiento Secundario: Se dispone de un tratamiento biológico anaerobio utilizando para ello un reactor tipo UASB donde se elimina el 70% de la concentración orgánica medida como DBO_5 contenida en el lixiviado y el 80% de la concentración química medida como DQO. Pasa a un selector biológico, en el cual permite generar condiciones ideales para pasar a una zona anóxica, con un proceso de desnitrificación, en el cual se elimina el 10% de DBO presente por asimilación de microorganismos.

Seguidamente. pasa a la zona aerobia con un reactor tipo Lodo Activado, en el cual se remueve el 75% de la DBO y el 80% de la DQO del lixiviado efluente del UASB. Finaliza el tratamiento secundario con un Reactor de Biopelícula Móvil con

la cual se llevan los valores de DBO y Nitrógeno Amoniacal a los permitidos por norma, en este caso a 20mg/l de DBO y 40mg/l de Nitrógeno Amoniacal a través de la nitrificación de la misma. Esto mediante el cálculo del Área de Biopelícula necesaria para la remoción de los excedentes contenidos en el lixiviado, esto quiere decir que, existe una porción del área de la biopelícula que va a ser utilizada por los microorganismos para oxidar la materia orgánica (DBO), pero cuando la DBO llega al valor de 20mg/l el microorganismo se dirige hacia el Nitrógeno Amoniacal, con lo cual lo oxida hasta transformarlo en nitrato.

El efluente de la biopelícula, posee una recirculación del 100-300% hasta la Zona Anóxica, en la cual se produce la desnitrificación, proceso que finaliza con nitrógeno gas, así se garantiza la descontaminación del lixiviado llevando el nitrógeno amoniacal a los valores permitidos, en este caso, 30mg/l (Dautant, 2018). Habiendo finalizado este proceso, se pasa a un proceso a un tanque de sedimentación y se realiza una recirculación de entre el 100-300% desde el Biodiscos hasta el selector biológico ubicado justo antes de la zona anóxica.

Finalmente, la otra parte se purga del sistema, el lodo en exceso, hacia otro proceso en donde son tratados los lodos. Los residuos del tratamiento del lixiviado, lodos en exceso, no pueden ser desechados sin un tratamiento adecuado. Dicho Tratamiento de Lodos será explicado en la parte final del tratamiento del lixiviado.

4. Tratamiento Terciario: El efluente del Reactor de Biopelícula Móvil ingresa primeramente a una Cámara de Cloración, en el cual se realiza la cloración correspondiente para cumplir con los parámetros de la Gaceta Oficial extraordinaria: 5.021 del 18/12/95. Decreto n° 883, la cual establece que el número de organismos coliformes totales debe ser menor de 1000 por cada 100ml.

Seguidamente, se procede a una unidad de Precipitación Química, conformada por una unidad de mezcla rápida para la coagulación, una unidad de mezcla lenta para la floculación y un tanque de sedimentación, en las cuales se elimina el 80% de metales pesados. Previo al proceso de la Precipitación Química, existe un desvío que permite decidir si es necesaria utilizar la unidad o no, es decir, la unidad de

Precipitación Química sólo será usada en caso de que el lixiviado posea valores de metales pesados por fuera de la norma. Como paso final del tratamiento, el efluente pasa por Membranas de tipo Osmosis Inversa para eliminar el 99% de la DQO presente, el 98% de cloruros disueltos, el 95% de metales pesados y finalmente el 98% de la DBO presente.

En los Límites máximos de parámetros fisicoquímicos en descargas a cuerpos de agua. Gaceta Oficial extraordinaria: 5.021 del 18/12/95. Decreto n° 883 fecha: 11 de octubre de 1995. Se establece un máximo de 1000mg/l de cloruros. Para cumplir con dicha norma, se llevarán los cloruros presentes a 800mg/l aproximadamente. Por lo cual se realizará el cálculo correspondiente para el caudal que realmente debe pasar a través de las membranas de Osmosis Inversa, es decir, se le aplica el tratamiento a una parte del caudal y luego es mezclado con el resto, para así cumplir con la normativa y no sobrecargar de manera innecesaria el sistema.

5. Tratamiento de Lodos: En este tratamiento se producen dos tipos de lodos, los lodos biológicos y los lodos químicos. Los lodos biológicos son los que se producen después del reactor UASB, del reactor de lodos activados y de los biodiscos. Los lodos químicos son los que se producen después de la precipitación química.

Para el tratamiento de lodos biológicos, se acumulan en un Tanque Aireado para luego pasar a un Filtro Prensa, del cual sale un lodo biológico seco, el cual representa el 20% del caudal inicial y el restante, es la parte líquida, compuesta por lixiviado sobrante que se vuelven a incluir en el proceso de tratamiento a través de un Tanque de Retención. El lodo final, tiene como sitio de disposición final un relleno sanitario de residuos domésticos.

Para el tratamiento de lodos químicos, se acumulan en un Tanque de Agitación para luego pasar a un Filtro Prensa, del cual sale un lodo similar al del biológico, pero con una alta concentración de metales pesados. Por lo tanto, el lodo efluente representado como el 20% del caudal inicial, debe tener como sitio de disposición final un relleno sanitario de residuos peligrosos. La parte líquida, de igual

forma, compuesta por lixiviado sobrante se vuelve a incluir en el proceso de tratamiento a través de un Tanque de Retención.

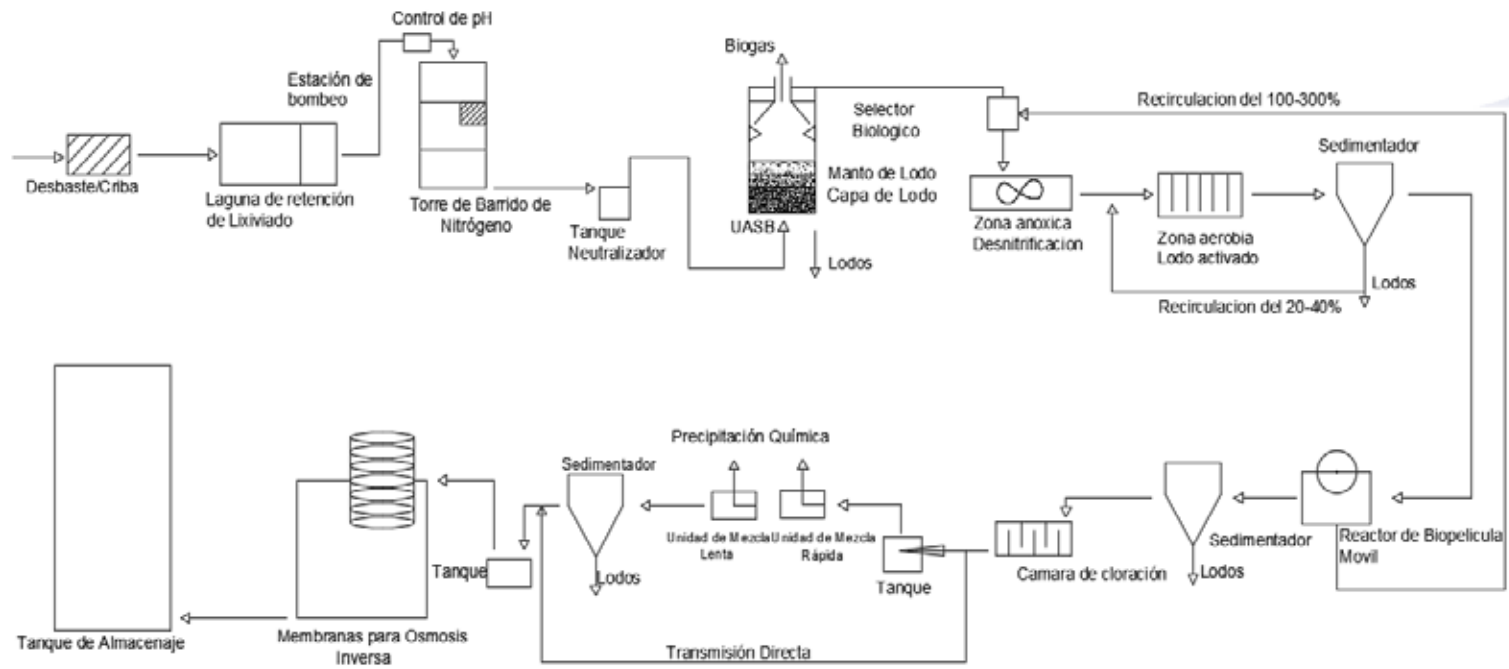


Figura 17. Diagrama del sistema de tratamiento. Pignalosa y Torres, (2019).

Diagrama Resumen del Tratamiento a Aplicar.

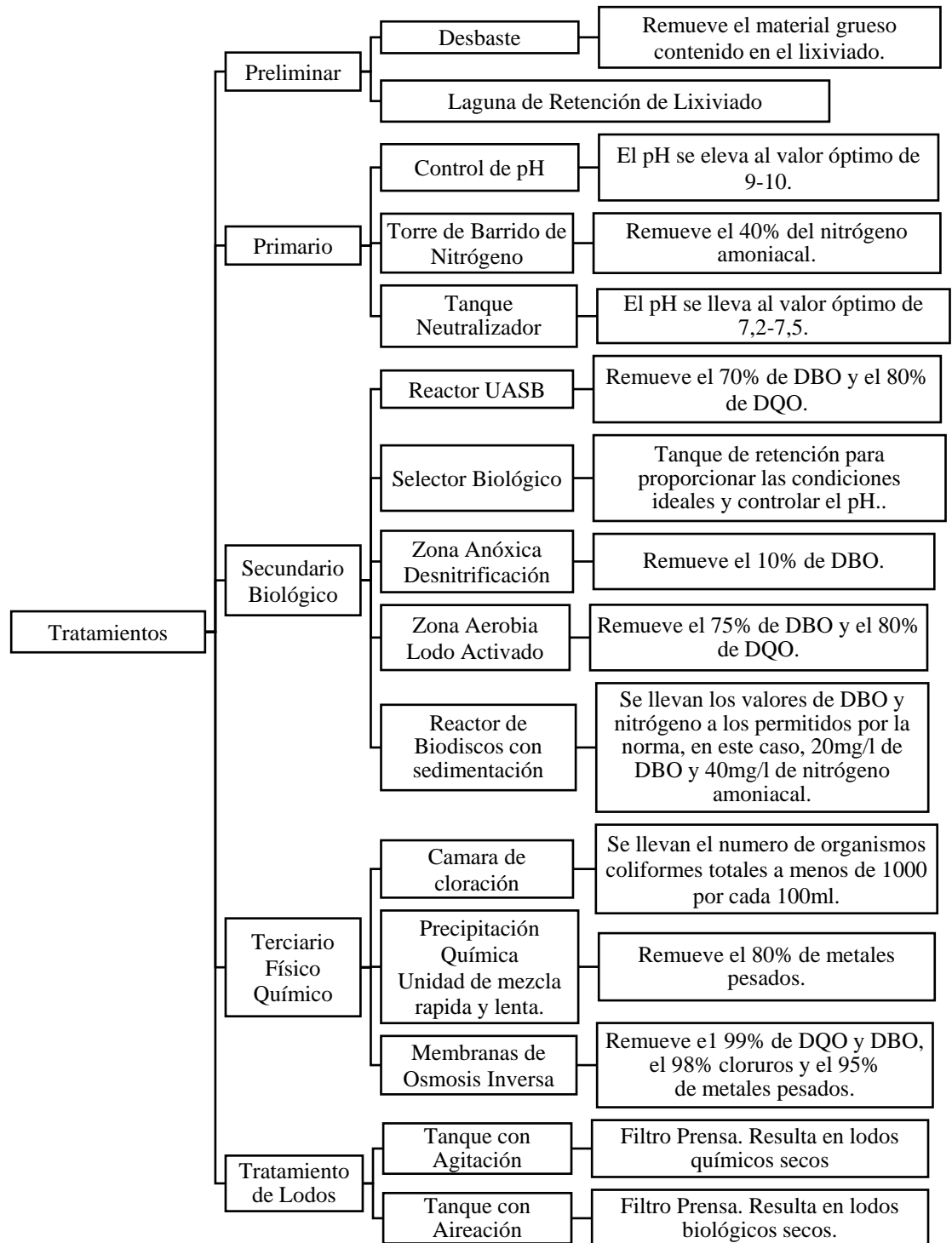


Figura 18. Mapa conceptual del sistema de tratamiento. Pignalosa y Torres, (2019)

En la tabla 26, se muestran los resultados esperados finales.

Tabla 26

Resultados esperados finales.

Resultado Final Efluente					
Parámetro (en mg/L)	Símbolo	A	B	C	Muestra Analizada
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	<10	<10	<10	<10
Demanda Química de Oxígeno	DQO	29,92	46,23	11,07	4,92
Sólidos Totales	ST	0,00	216,72	0,00	97,70
Sólidos Totales Volátiles	STV	0,00	309,30	0,00	115,52
Sólidos Disueltos Totales	SDT	0,00	0,00	255,20	-
Nitrógeno Amoniacal	N-NH3	<40	<40	<40	-
Total Metales Pesados	TMP	0,00	0,00	0,00	-
Cloruros	Cl-	866,91	871,50	850,90	35,40
Coliformes Fecales	CF	184	177	198	152

Pignalosa y Torres, 2019.

Tratamiento para los Lodos

Lodos Biológicos

1. Efluente del reactor UASB.

En la tabla 27, se muestran los resultados esperados del Lodo I después del tratamiento.

Tabla 27

Resultados esperados del Lodo 1 después del tratamiento

Parámetro (en mg/L)	Símbolo	A	B	C	Muestra Analizada
Caudal	Q	6,13	6,13	6,13	6,13
DBO Inicial	So	150	3400	1032	505
DBO Final	S	45	1020	310	152
Carga DBO removida	C DBO _r	644	14589	4428	2167
Relación de Kg	KgSólidos/KgDBO _r	0,05	0,05	0,05	0,05
Carga de Sólidos	Csólidos	32	729	221	108

Pignalosa y Torres, 2019.

4. Efluente del sedimentador del reactor Lodo Activado.

Tabla 28

Resultados esperados del Lodo 2 después del tratamiento.

Parámetro (en mg/L)	Símbolo	A	B	C	Muestra Analizada
Caudal	Q	6,13	6,13	6,13	6,13
DBO Inicial	So	41	918	279	136
DBO Final	S	10,13	229,50	69,66	34,09
Carga DBO removida	C DBO _r	186	4221	1281	627
Relación de Kg	KgSólidos/KgDBO _r	0,60	0,60	0,60	0,60
Carga de Sólidos	Csólidos	112	2532	769	376

Pignalosa y Torres, 2019.

3. Efluente del sedimentador del reactor Biodiscos.

Tabla 29

Resultados esperados del Lodo 3 después del tratamiento

Parámetro (en mg/L)	Símbolo	A	B	C	Muestra Analizada
Caudal	Q	6,13	6,13	6,13	6,13
DBO Inicial	So	10	230	70	34
DBO Final	S	0	20	20	20
Carga DBO removida	C DBO _r	62	1284	304	86
Relación de Kg	KgSólidos/KgD BO _r	0,45	0,45	0,45	0,45
Carga de Sólidos	Csólidos	28	578	137	39

Pignalosa y Torres, 2019.

Lodos Químicos

4. Efluente del sedimentador del reactor de Precipitación Química:

Tabla 30

Resultados esperados del Lodo 4 después del tratamiento

Parámetro (en mg/L)	Símbolo	A, B, C, Muestra Analizada
Caudal	Q	6,13
Colchón de Lodos	CL	50,00
Caudal de Lodos	Qlodos	307
Concentración	C	0,0015
Carga de Sólidos	Csólidos	0,46

Pignalosa y Torres, 2019.

4.3. Fase III: Análisis comparativo del estado de los lixiviados.

Análisis Comparativo N° 1.

En la tabla 31, se observa la comparación del efluente recolectado en la planta de transferencia de san diego (Tabla 18) con la composición de lixiviados en rellenos sanitarios Recientes y Antiguos (Tabla 1).

Tabla 31

Análisis comparativo 1

Parámetro (unidad mg/L, excepto el pH)	Símbolo	Relleno Joven (< 2 años)	Relleno Maduro (>10 años)	Muestra analizada
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO ₅	2000 - 30000	100 - 200	505
Demanda Química de Oxígeno	DQO	3000 - 60000	100 - 500	1043
Sólidos Totales en Suspensión	TDS	200 - 2000	100 - 400	828
Nitrógeno amoniacal	NH ₃ N	10 - 800	20 - 40	525
Potencial Hidrógeno	pH	4.5-7.5	6.6-7.5	8,91

Cloruro	Cl ⁻	200-3000	100-400	300
---------	-----------------	----------	---------	-----

Pignalosa y Torres, 2019.

En este caso, la muestra de lixiviado procedente de la planta de transferencia San Diego, no puede ser usada como referencia de lixiviado. Esto se debe, debido a que el proceso de disposición final de la basura sólo debe cumplirse en un relleno sanitario, en una planta de transferencia no puede haber producción de lixiviado. Por lo tanto, con los resultados obtenidos, se puede concluir que a pesar de que el proceso de transferencia no está siendo llevado a cabo de la manera correcta y se están produciendo líquidos después de la percolación por la basura, dichos líquidos no pueden ser clasificados como lixiviado, debido a que no ha permanecido lo suficiente como para que exista una gran oxidación de la materia orgánica presente.

Análisis Comparativo N° 2

En las tablas 32, 33 y 34, se observa la comparación los lixiviados a estudiar (Tabla 7) con la composición de lixiviados en rellenos sanitarios Recientes y Antiguos (Tabla 2).

Para el lixiviado tipo A:

Tabla 32

Análisis comparativo 2, lixiviado tipo A

Parámetro (unidad mg/L, excepto el pH)	Símbolo	Relleno Joven (< 2 años)	Relleno Maduro (>10 años)	A	Relleno Joven	Relleno Maduro
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO ₅	2000 - 30000	100 - 200	150	Aplica	-
Demanda Química de Oxígeno	DQO	3000 - 60000	100 - 500	3460	-	Aplica
Sólidos Totales en Suspensión	TDS	200 - 2000	100 - 400	-	Aplica	-
Nitrógeno orgánico	NH ₃	10 - 800	80 - 120	-	-	-
Nitrógeno amoniacoal	NH ₃ :N	10 - 800	20 - 40	750	Aplica	-
Potencial Hidrógeno	pH	4.5-7.5	6.6-7.5	8,2	Aplica	Aplica

Cloruro	Cl ⁻	200-3000	100-400	4130	Aplica	-
Zinc	Zn	25-250	0.1-1.0	0,25	-	-

Pignalosa y Torres, 2019.

Se puede concluir que en el lixiviado (A), se puede observar una tendencia que indica que es un lixiviado joven, debido a la amplia similitud en los parámetros de su composición con el de un lixiviado típico joven según (Tchobanoglous et al, 1994).

Para el lixiviado tipo B:

Tabla 33

Análisis comparativo 2, lixiviado tipo B

Parámetro (unidad mg/L, excepto el pH)	Símbolo	Relleno Joven (< 2 años)	Relleno Maduro (>10 años)	B	Relleno Joven	Relleno Maduro
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO ₅	2000 - 30000	100 - 200	3400	Aplica	-
Demanda Química de Oxígeno	DQO	3000 - 60000	100 - 500	3400	Aplica	-
Sólidos Totales en Suspensión	TDS	200 – 2000	100 – 400	1050 0	Aplica	-
Nitrógeno orgánico	NH ₃	10 – 800	80 – 120	-	-	-
Nitrógeno amoniacoal	NH ₃ -N	10 – 800	20 – 40	525	Aplica	-
Potencial Hidrógeno	pH	4.5-7.5	6.6-7.5	7.4	Aplica	Aplica
Cloruro	Cl ⁻	200-3000	100-400	1540	Aplica	-
Zinc	Zn	25-250	0.1-1.0	1.5	-	-

Pignalosa y Torres, 2019.

Para el lixiviado (B), se puede observar una clara tendencia que indica que es un lixiviado joven, debido a la amplia cantidad de similitudes en los parámetros de su composición con el de un lixiviado típico de un relleno sanitario joven según (Tchobanoglous et al, 1994).

Para el lixiviado tipo C:

Finalmente para el lixiviado (C), se puede apreciar que se encuentra en una transición de un lixiviado joven a maduro, debido a que las composiciones típicas de este se encuentran entre los rangos de un lixiviado con las características de un relleno sanitario joven y uno maduro según (Tchobanoglous, 1994).

Tabla 34

Análisis comparativo 2, lixiviado tipo C

Parámetro (unidad mg/L, excepto el pH)	Símbolo	Relleno Joven (< 2 años) Intervalo	Relleno Maduro (>10 años) Intervalo	C	Relleno Joven	Relleno Maduro
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO ₅	2000 - 30000	100 - 200	1032	Aplica	-
Demanda Química de Oxígeno	DQO	3000 - 60000	100 - 500	1084.7	Aplica	-
Sólidos Totales en Suspensión	TDS	200 – 2000	100 – 400	11790	Aplica	-
Nitrógeno orgánico	NH ₃	10 – 800	80 – 120	1095.2	-	-
Nitrógeno amoniacal	NH ₃ -N	10 – 800	20 – 40		Aplica	-
Potencial Hidrógeno	pH	4.5-7.5	6.6-7.5	8.5	Aplica	Aplica
Cloruro	Cl ⁻	200-3000	100-400	3349	Aplica	-
Zinc	Zn	25-250	0.1-1.0	0.38	-	-

Pignalosa y Torres, 2019.

Análisis Comparativo N° 3

En la tabla 35, se observa la comparación entre el sistema de tratamiento aplicable (Figura 18) con un sistema de tratamiento de la realidad (Ver anexo N).

Se puede concluir, que los niveles del tratamiento en ambas plantas son muy similares, tienen los mismos objetivos y ambos remueven una gran cantidad de contaminantes presentes, a pesar de poseer reactores diferentes.

Como se puede observar, se crean diversas combinaciones de sistemas de tratamiento para lixiviado, adaptándose así a las características de cada uno además

de las necesidades y normativas según sea el caso. Lo importante es garantizar que el efluente de dicho tratamiento no represente un peligro ni para el ambiente ni para la salud pública, además de existir la posibilidad de presentarse como materia prima para otros procesos futuros.

Tabla 35

Análisis comparativo 3

Sistema de Tratamiento Aplicable en Lixiviado (Pignalosa y Torres, 2019)		Sistema de Tratamiento Aplicable en Lixiviado (Parque Ambiental Los Pocitos)	
Tratamiento Preliminar		Tratamiento Preliminar	
Desbaste	Remueve Material Grueso	Desarenador	Retención de Arenas, Aceites y Grasas
Laguna de Lixiviado	Sistema de captación		
Tratamiento Primario		Tratamiento Primario	
Control de pH	Elevación de pH a nivel óptimo	Sedimentador	Disminución de Sólidos suspendidos Precipitación Por Gravedad
Torre de Barrido de Nitrógeno	Remoción de nitrógeno amoniacal	Tanque Precipitador de Metales	Extracción de Líquidos y Homogenización
Tanque Neutralizador	Elevación de pH a nivel óptimo	Tanque Homogeneizador	Obtención de Valores Óptimos de pH
Tratamiento Biológico		Tratamiento Secundario	
Reactor UASB	Remoción de DBO y DQO		
Selector Biológico	Retención para proporcionar las condiciones ideales y controlar el pH	Reactor UASB	Remoción de DBO
Zona Anóxica Desnitrificación	Remoción DE DBO	Filtro	Remoción de DBO

Zona Aerobia de Lodo Activado y Sedimentación	Remoción de DBO y DQO	Percolador con Circulación	
Reactor de biopelícula Móvil	Regulación de DBO Y DQO según lo Requerido		
Tratamiento Físico Químico		Tratamiento Terciario	
Cámara de Cloración	Regulación de Organismos coliformes a lo Requerido	Tanque Clasificador	Remoción de Sólidos Totales
Precipitación Química Mezcla Rápida y Lenta	Remoción de Metales Pesados		
Osmosis Inversa	Remoción de DQO, DBO, Cloruros y Metales Pesados	Filtro Rápido Arena-Antracita, Filtro Lento y Filtro Adsorción de Carbono Activado	

Pignalosa y Torres, 2019.

Análisis Comparativo N° 4.

En la tabla 36, se observa la comparación entre los valores esperados obtenidos (Tabla 26) y el decreto 883 (Tabla 2).

Tabla 36

Análisis comparativo 4

Parámetro (en mg/L)	Símbolo	Resultado Final esperado Efluente			Muestra Analizada	Límites máximos o rangos	Perisología
		A	B	C			
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	<20	<20	<20	<20	60 mg/l	Cumple
Demanda Química de Oxígeno	DQO	29,92	46,23	11,07	4,92	350 mg/l	Cumple
Sólidos Totales	ST	0	216,51	0	97,70	80 mg/l	Cumple
Sólidos Disueltos Totales	SDT	0	309,30	0	-	-	-
Nitrógeno Amoniacal	N-NH ₃	<40	<40	<40	-	40 mg/l	Cumple
Total Metales	TMP	0	0	0	-	17mg/l	Cumple

Pesados							
Cloruros	Cl ⁻	866,1	871,60	850,90	35,40	1000 mg/l	Cumple

Pignalosa y Torres, 2019.

Se puede observar, como en los lixiviados tipo A, B y C, se logró alcanzar parámetros adecuados que cumplen con la regulación establecida en límites máximos de parámetros fisicoquímicos en descargas a cuerpos de agua (Tabla 2). De esta forma se puede proceder a disponer de la mejor manera un efluente, que ya no representa un riesgo para la salud pública ni para el medio ambiente.

Análisis Comparativo N° 5.

En las tablas 37, 38, 39 y 40, se observa la comparación entre los valores esperados obtenidos (Tabla 26) y las guías EPA (Ver anexo K).

Tabla 37

Análisis comparativo 5, muestra analizada

Uso	Símbolo	Límites	Muestra Analizada	
	Sector Agrícola		Valor Esperado	Permisología
1	pH	6 - 9	8	Cumple
	DBO		<10	Cumple
	Coliformes fecales	no detectable	152 col /100ml	No cumple
	Cloro residual	1 mg/L	1 mg/L	Cumple
2	pH	6 - 9	8	Cumple
			<10	Cumple
		< 500 mg/L	97,7	Cumple
	Coliformes fecales		152 col /100ml	Cumple
	Cloro residual	1 mg/L	1 mg/L	Cumple
	Riego de Áreas Verdes		Valor Esperado	Permisología
3	pH	6.5 - 8.5	8	Cumple
	DBO ₅		<10	Cumple
	Coliformes fecales	no detectable	152 col /100ml	No cumple
	Cloro residual	1 mg/L	1 mg/L	Cumple

	pH	6.5 - 8.5	8	Cumple
	DBO5		<10	Cumple
4	SST	< 500 mg/L	97,7	Cumple
	Coliformes fecales		152 col /100ml	Cumple
	Cloro residual	1 mg/L	1 mg/L	Cumple

Pignalosa y Torres, 2019.

Como se puede observar, la muestra obtenida en la fase I de este trabajo de investigación cumple para los usos 2 y 4.

Para el Lixiviado tipo A:

Tabla 38

Análisis comparativo 5, lixiviado tipo A

Uso	Símbolo	Límites	Lixiviado A	
	Sector Agrícola		Valor Esperado	Permisología
	pH	6 - 9	8	Cumple
	DBO		<10	Cumple
1	Coliformes fecales	no detectable	184 col /100ml	No cumple
	Cloro residual	1 mg/L	1 mg/L	Cumple
	pH	6 - 9	8	Cumple
			<10	Cumple
2		< 500 mg/L	0	Cumple
	Coliformes fecales		184 col /100ml	Cumple
	Cloro residual	1 mg/L	1 mg/L	Cumple
	Riego de Áreas Verdes		Valor Esperado	Permisología
	pH	6.5 - 8.5	8	Cumple
	DBO ₅		<10	Cumple
3	Coliformes fecales	no detectable	184 col /100ml	No cumple
	Cloro residual	1 mg/L	1 mg/L	Cumple

	pH	6.5 - 8.5	8	Cumple
	DBO5		<10	Cumple
4	SST	< 500 mg/L	0	Cumple
	Coliformes fecales		184 col /100ml	Cumple
	Cloro residual	1 mg/L	1 mg/L	Cumple

Pignalosa y Torres, 2019.

De igual manera, el lixiviado tipo A, cumple solo para los usos de tipo 2 y 4, de la misma manera que la muestra obtenida en la fase I.

Para el Lixiviado tipo B:

Tabla 39

Análisis comparativo 5, lixiviado tipo B

Uso	Símbolo	Límites	Lixiviado B	
	Sector Agrícola		Valor Esperado	Permisología
	pH	6 - 9	8	Cumple
	DBO		<10	Cumple
1	Coliformes fecales	no detectable	177 col /100ml	No cumple
	Cloro residual	1 mg/L	1 mg/L	Cumple
	pH	6 - 9	8	Cumple
	mg/L		<10	Cumple
2		< 500 mg/L	216,72	Cumple
	Coliformes fecales		177 col /100ml	Cumple
	Cloro residual	1 mg/L	1 mg/L	Cumple
	Riego de Áreas Verdes		Valor Esperado	Permisología
	pH	6.5 - 8.5	8	Cumple
3	DBO ₅		<10	Cumple
	Coliformes fecales	no detectable	177 col /100ml	No cumple

	Cloro residual	1 mg/L	1 mg/L	Cumple
	pH	6.5 - 8.5	8	Cumple
	DBO5		<10	Cumple
4	SST	< 500 mg/L	216,72	Cumple
	Coliformes fecales		177 col /100ml	Cumple
	Cloro residual	1 mg/L	1 mg/L	Cumple

Pignalosa y Torres, 2019.

Además, el lixiviado tipo B, cumple solo para los usos de tipo 2 y 4, de la misma manera que la muestra obtenida en la fase I y el lixiviado tipo A.

Para el Lixiviado tipo C:

Tabla 40

Análisis comparativo 5, lixiviado tipo C

Uso	Símbolo	Límites	Lixiviado C	
	Sector Agrícola		Valor Esperado	Permisología
	pH	6 - 9	8	Cumple
	DBO		<10	Cumple
1	Coliformes fecales	no detectable	222 col /100ml	No cumple
	Cloro residual	1 mg/L	1 mg/L	Cumple
	pH	6 - 9	8	Cumple
			<10	Cumple
2		< 500 mg/L	0	Cumple
	Coliformes fecales		222 col /100ml	No cumple
	Cloro residual	1 mg/L	1 mg/L	Cumple
	Riego de Áreas Verdes		Valor Esperado	Permisología
	pH	6.5 - 8.5	8	Cumple
3	DBO ₅		<10	Cumple
	Coliformes fecales	no detectable	222 col /100ml	No cumple

	Cloro residual	1 mg/L	1 mg/L	Cumple
	pH	6.5 - 8.5	8	Cumple
	DBO5		<10	Cumple
4	SST	< 500 mg/L	0	Cumple
	Coliformes fecales		222 col /100ml	No cumple
	Cloro residual	1 mg/L	1 mg/L	Cumple

Pignalosa y Torres, 2019.

Además, el lixiviado tipo C, cumple solo para los usos de tipo 2 y 4, de la misma manera que la muestra obtenida en la fase I, el lixiviado tipo A y B.

4.4. Fase IV: Reutilización de lixiviado posterior a su tratamiento.

Según los análisis comparativos realizados en la fase anterior, se puede llegar a conclusión que la muestra analizada en la fase I y las referencias presentes, denominadas lixiviados tipo A, B y C, una vez de culminado el tratamiento, al ser comparados con las guías EPA (Ver anexo K) pueden ser reutilizados para: Riego superficial para cultivos de alimento para consumo humano y que se procesan comercialmente; riego de cosechas que no se consumen por humanos incluyendo fibras, semillas y pasto, y riego en áreas verdes restringidas al público

Es importante destacar de igual manera que, de forma genérica Comas (2012), describe algunas de las actividades en que es más común la reutilización de aguas de lixiviado ya tratado:

- Riego agrícola (cultivos y semilleros).
- Riego de parques y jardines (campos de golf, cementerios)
- Reutilización industrial (refrigeración, alimentación de calderas).
- Recarga artificial (recarga de acuíferos, control de la intrusión marina).
- Usos urbanos no potables (riego de zonas verdes, lucha contra incendios, sanitarios, aire acondicionado, lavado de coches, riego de calles).
- Uso medio ambiental (caudales ecológicos, zonas húmedas).
- otros como (acuicultura, construcción, eliminación de polvo, limpieza de ganado).

Esta lista, que podría ser más larga, pone de manifiesto la cantidad de agua potable que se sigue malbaratando y hace evidente la importancia que tiene en estos momentos la correcta gestión del agua por parte de las administraciones.

Por otro lado, se prohíben determinados usos que presentan riesgos para la salud humana y el medio ambiente. Así, se prohíbe la reutilización de aguas para el consumo humano, pero abre oportunidades a usos como necesidades propias de la industria alimentaria; para uso en instalaciones hospitalarias y otros usos similares; para el cultivo de moluscos filtradores en acuicultura; para el uso recreativo como agua de baño; para el uso en torres de refrigeración y condensadores evaporativos; para el uso en fuentes en espacios públicos o interiores de edificios (Comas, 2012).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

- Cada sistema de tratamiento es particular para cada lixiviado, por esto, se debe realizar una caracterización que permita clasificar al mismo.
- Los tratamientos biológicos poseen mayor eficiencia con los lixiviados jóvenes, debido a que estos tienen una concentración alta de materia orgánica y poca de metales pesados. Por lo tanto, el sistema de tratamiento descrito en este trabajo de grado, se usaron el reactor UASB, la desnitrificación, reactor de lodo activado y biodiscos.
- Los tratamientos fisicoquímicos poseen mayor eficiencia con los lixiviados maduros, debido a que estos tienen una concentración alta de metales pesados y poca materia orgánica. Por lo tanto, el sistema de tratamiento descrito en este trabajo de grado, se usaron la precipitación química y membranas de osmosis inversa.
- El proceso de captación, tratamiento y disposición de lixiviados está añadido al diseño de los rellenos sanitarios. Sin embargo, el pensamiento siempre ha sido en función de disponerlo en cuerpos de agua, en el caso de este trabajo de investigación, el pensamiento es la reutilización, es decir, que se pueda utilizar como materia prima en otros procesos. Todo esto condiciona el diseño del sistema de tratamiento.
- Se puede modificar a conveniencia el nivel de descontaminación presente en el sistema, esto modificando el porcentaje de caudal a transitar por las membranas de osmosis inversa y la cantidad de cloro añadido en la cámara de cloración, esto con la finalidad de adecuar el efluente a la reutilización que se desee.
- El sistema de tratamiento descrito revela la factibilidad de tratar los lixiviados para mitigar las posibilidades de contaminación y reutilización.

- Los porcentajes de remoción en el sistema de tratamiento descrito en cada reactor son: en la torre de barrido de nitrógeno el 40% de nitrógeno amoniacal, en el reactor UASB el 70% de DBO y 80% de DQO, en la desnitrificación el 10% de DBO, en el reactor de lodo activado el 75% de DBO y 80% de DQO, en el reactor de biodiscos se llevan los valores de DBO y nitrógeno amoniacal a los permitidos por la norma, en este caso 20mg/l de DBO y 40mg/l de nitrógeno amoniacal, en la cámara de cloración se lleva el número de organismos coliformes totales a menos de 1000 por cada 100ml, en la precipitación química el 80% de metales pesados, en las membranas de osmosis inversa el 99% de DQO y DBO, el 98% cloruros y el 95% de metales pesados.
- Se cumple con la teoría “de la cuna a la cuna”, en la cual convertimos un desecho considerado contaminante, en una sustancia no sólo inocua sino con posibilidad de ser materia prima en otros procesos y/o actividades.
- El lixiviado posterior al sistema de tratamiento descrito, cumple con las características suficientes, según las Guías EPA, para su reutilización en: riego superficial para cultivos de alimento para consumo humano y que se procesan comercialmente; riego de cosechas que no se consumen por humanos incluyendo fibras, semillas y pasto, y riego en áreas verdes restringidas al público.

5.2 Recomendaciones

- Realizar una caracterización de lixiviado que incluya la determinación de parámetros como DBO, DQO, cloruros y fósforo total, esto con la finalidad de clasificar el lixiviado según su antigüedad, ya sea joven o maduro.
- Utilizar las tablas 9, 10, 11, 12, 13 y 14 propuestas como resultados de la investigación, como guía para el diseño de un sistema de tratamiento que satisfaga las necesidades presentes en cualquier relleno sanitario.
- A pesar de que los resultados obtenidos corresponden a lixiviados jóvenes, el diseño del sistema incluyó tanto tratamientos biológicos como fisicoquímicos. Esto se recomienda debido a que con el paso del tiempo, las concentraciones de materia orgánica disminuyen y las de metales pesados aumentan. Por lo tanto, es necesario utilizar ambos tipos de tratamientos para que el sistema perdure en el tiempo.
- Darles difusión a las posibilidades de reutilización del lixiviado con el objetivo de combatir la escasez hídrica mundial.
- Realizar planes de concientización de la población en el tema de la escasez del agua, como método para erradicar la cultura errónea que establece el rechazo hacia el agua tratada.
- Incentivar a todo aquel que quiera realizar planes de recuperación de materia prima de los desechos sólidos, siguiendo las especificaciones técnicas y legales permitentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Academia Nacional de Ciencias (2007), **El Agua Potable Segura es Esencial** [Artículo en la web] disponible en la página: <https://www.koshland-science-museum.org/water/html/es/Treatment/Coagulation-Flocculation.html> (Consultado enero 2019).
- Aguasistec (2017) **Solución en tratamientos de agua, productos de tratamiento de agua y aguas residuales: osmosis inversa.** [Artículo en la web] disponible en la página: <http://www.aguasistec.com/osmosis-inversa.php> (Consultado enero 2019).
- Ahn, W; Kang, M; Yim, S. and Choi, K. (2002). **Advanced landfill leachate treatment using an integrated membrane process.** *Desalination* 149: 109-114.
- Ares Electrónica Industrial (2013). **Sistema de control de pH.**
- Arias, F. (2006). **Mitos y errores en la elaboración de tesis y proyectos de investigación.** Editorial Espisteme, 1998.
- Balestrini, A. (2006). **Como se elabora el proyecto de investigación.** BI Consultores Asociados. Sexta edición. Caracas, Venezuela.
- Bavaresco, A. (2001). **Proceso metodológico en la investigación,** Maracaibo, Venezuela.
- Biotecnología Practica (2008), **Biotecnología practica y aplicada: ¿cómo funciona una planta de lodos activados.** [Artículo en la web] disponible en la página: <https://bioreactorcrc.wordpress.com/2008/04/30/como-funciona-una-planta-de-lodos-activados/> (Consultado enero 2019).
- Bohdziewicz, J; Bodzek, M. and Gorska, J. (2001). **Application of pressure- driven membrane techniques to biological treatment of landfill leachate.** *Process Biochemistry* 36: 641-646.

- Borzacconi, L; López, I; Ohanian, M. y Viñas, M. (1996). **Degradación anaerobia de lixiviado de relleno sanitario y post-tratamiento aerobio**. IV Taller y Seminario Latinoamericano de Digestión Anaerobia, Bucaramanga, Colombia.
- Braungart, M: y McDonough, W. (1994). **De la cuna a la cuna: Rediseñando la forma en que hacemos las cosas**. Madrid, McGraw-Hill, 2005.
- Caldes, G. (2017). **Reutilización de las aguas residuales tratadas**. Chile.
- Çeçen, F. and Gürsoy, G. (2000). **Characterization of landfill leachates and studies on heavy metal removal**. Journal of Environmental Monitoring 2: 436-442.
- Cheung, K; Chu, L. y Wong, M. (1997). **Ammonia stripping as a pretreatment for landfill leachate**. Water Air Soil Pollution 94: 209-221.
- Chianese, A; Ranauro, R. and Verdone, N. (1999). **Treatment of landfill leachate by reverse osmosis**. Water Research 33 (3): 647-652.
- Comas, V. (2012). **Interempresas Tecnología y Equipamiento para la Industria Química**. Barcelona, España.
- Comisión Nacional del Agua, México. (2016). **Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento**.
- Constitución de la República Bolivariana de Venezuela** (2009). Gaceta Oficial N°5908.
- Corena, M. (2015). **Sistemas de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios**. Sincelejo, Colombia.
- Custodio, E. y Llamas, M. (1976). **Hidrología Subterránea**, Ediciones Omega. Barcelona, España, 2359p.
- Cyclus (2017). **Tratamiento Primario**. [Artículo en la web] disponible en la página: <http://www.cyclucid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-primario/> (Consultado enero 2019)
- Dautant, R. (2006). **Agua y Saneamiento**. En Conferencia: XI Congreso Bolivariano y X Congreso Venezolano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Valencia, Venezuela.

- Decreto 883** (1995). Gaceta Oficial Extraordinaria N°5021.
- Ehrig, H. (1983). **Quality and quantity of sanitary landfill leachate**, *Water Management & Research, Waste Management*, V1, 53-58p.
- Emis (2010) **Air stripping**. [Artículo en la web de la empresa] disponible en la página: <https://emis.vito.be/en/techniekfiche/air-stripping> (Consultado enero 2019).
- EPA (2012). **Guías para la reutilización de aguas residuales y agricultura**. E.E.U.U.
- Fontanet, L. y Poveda, P. (1999). **Gestión de residuos urbanos. Manual Técnico y de régimen jurídico**. Exlibris ediciones. Madrid. pp. 201- 2002.
- Friends of the Earth (FOE), (1996). **“Citizen’s Guide to Municipal Landfills”**; Estados Unidos; GAIA.
- Guenther, A; Hewitt, C; Erickson, D; Fall, R; Geron, C; Graedel, T; Harley, P; Klinger, L; Lerdau, M; McKay, W; Pierce, T; Scholes, B; Steinbrecher, R; Tallamraju, R; Taylor, J. and Zimmerman, P. (1995). **A global model of natural volatile organic compound emissions**. *Journal of Geophysical Research* 100: 8873-8892.
- Guerrero, D; Sánchez, J.; Buenrostro, O. and Márquez, L. (2014). **Phytotoxic effect of landfill leachate with different pollution indexes on common bean**. *Water Air Soil Pollut.* 2014; 225(6):1-7.
- Hanna Instruments (2018). **Cloruros de agua residual de minería**. [Artículo en la web] disponible en la página: <https://www.hannachile.com/blog/post/cloruros-de-agua-residual-de-mineria> (Consultado enero 2019).
- Heavey, M. (2003). **Low cost treatment of landfill leachate using peat**. *Waste Management* 23: 447-454.
- Hernández, S; Fernández, C. y Baptista, L. (2006). **Metodología de la Investigación** (cuarta edición). Editorial: McGraw-Hill, México.
- Huang, S; Diyamandoglu, V. and Fillos, J. (1993). **Ozonation of leachates from aged domestic landfills**. *Ozone Sci Eng* 15 (5): 433-444.

- Imai, A; Onuma, K; Inamori, Y. and Sudo, R. (1995). **Biodegradation and adsorption in refractory leachate treatment by the biological activated carbon fluidized bed process.** Water Research 29 (2): 687-694.
- Instituto Nacional de Estadística (2001). **Censos de Población y Vivienda.**renou
- Instituto Nacional de Estadística (2012). **Boletín informativo sobre los residuos y desechos sólidos.**
- Ingeniería y Servicios Ambientales ISA (2018). **pruebas de jarras. usos, objetivos de uso y ventajas.**
- ITE (2010). **Manual de cloración de agua potable.**
- Kawamura, S. (2000) **Integrated design and operation of water treatment facilities.** 2. ed.New York: John Wiley & Sons, 2000. 691 p.
- Kennedy, J. and Lentz, M. (2000). **Treatment of landfill leachate using sequencing batch and continuous flow upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors.** Water Research 34 (14): 3640-3656.
- Knox, K. (1985). **Leachate treatment with nitrification of ammonia.** Water Research 19: 895-904.
- Koerner, R. and Soong, T. (2000). **Leachate in landfills: the stability issues.** Geotextiles and Geomembranes 18: 293-309.
- Kulikowska, D. y Klimiuk, E. (2008). **The effect of landfill age on municipal leachate composition,** Bioresource Technology, Vol. 99, 5981-5985p.
- Kurniawan, T; Wai-hung, L and Chan, G. (2006). **Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate,** Journal of Hazardous Materials, B129, 80–100p.
- Lenntech BV (2015), **Tratamiento de lodos General** [Artículo en la web] disponible en la página: <https://www.lenntech.es/tratamiento-lodos-tecnicas.htm>. (Consultado enero 2019).
- Leonhard, K; Eisner, P; Haase, W. and Wilderer, P. (1994). **Distillative treatment of liquid industrial wastes.** Water Science and Technology 30: 139-147.
- Lettinga, G; Roersma, R. and Grin, P. (1983). **Anaerobic treatment of raw**

domestic sewage at ambient temperatures using a granular bed uasb reactor biotechnology and bioengineering. 1701–1723.

Ley de Aguas (2007). Gaceta Oficial N°38595.

Ley de Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos (2010). Gaceta Oficial N.º 6.017

Ley Orgánica del Ambiente (2006). Gaceta Oficial N°5833.

Ley Orgánica para la Prestación de los Servicio de Agua Potable Saneamiento (2001). Gaceta Oficial N°5568 (LOPSAPS).

Ley Penal del Ambiente (2012). Gaceta Oficial N°39.913.

Li, Z. & Zhao, L. (1999). **Ammonium removal from landfill leachate by chemical precipitation.** Waste Management 19: 409-415.

Lorenzo, Y. y Obaya, M. (2006). **La digestión anaerobia y los reactores UASB.** Generalidades ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. XL, núm. 1.

Marin, A. y Gorge, E. (1995). **Diseño y construcción de un reactor de biodiscos.** Universidad Nacional de Colombia.

Martínez, O. (2015). **Mejoras en el tratamiento de lixiviados de vertedero de rsu mediante procesos de oxidación avanzada.**

Marttinen, K; Kettunen, H; Sormunen, M; Soimasuo, M. and Rintala, A. (2002). **Screening of physical-chemical methods for removal of organic material, nitrogen and toxicity from low strength landfill leachates.** Chemosphere 46: 851-858.

McDaniel, C. y Gates, R. (2007). **Investigación de Mercados,** Chile

Metcalf & Eddy, Inc. (1996). **Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento vertido y reutilización.** Editorial Mc Graw Hill. México.

Morawe, B; Ramteke, D. and Vogelpohl, A. (1995). **Activated carbon column performance studies of biologically treated landfill leachate.** Chemical Eng. Process 34: 299-303.

- Moreno, A. (2011), **Capítulo 8: Procesos químicos. Precipitación, coagulación y floculación** [Artículo en la web] disponible en la página: <http://www.mailxmail.com/curso-agua-tratamientos-1-2/procesos-quimicos-precipitacion-coagulacion-floculacion> (Consultado enero 2019).
- Norma Venezolana COVENIN 1431-82. **Agua Potable Envasada** (1982).
- Normas Sanitarias de Calidad del Agua potable** (1998). Gaceta Oficial N°36395.
- Normas para la clasificación y control de la calidad de los cuerpos de aguas y vertidos o efluentes líquidos, Decreto 883.** (1995) Gaceta Oficial N° 5021.
- Obbard, J; Barr, M; Robinson, H. and Carville, M. (1999). **Landfill leachate: characteristics and biological treatment in Hong Kong.** Resource and Environmental Biotechnology 2: 235-248.
- Ordóñez, P. y Betancur, A. (2003). **Estudio preliminar para el tratamiento de lixiviados en un reactor de biodiscos.**
- Organización Mundial de la Salud, (2010). [Artículo en la web] disponible en la página: <http://azulambientalistas.org.ve/una-verdadera-propuesta-para-el-problema-de-la-basura/diagnostico/> (Consultado enero 2019).
- Ozturk, I; Altinbas, M; Koyuncu, I; Arikan, O. and Gomec-Yangin, C. (2003). **Advanced physico-chemical treatment experiences on young municipal landfill leachates.** Waste Management 23: 441-446.
- Ozzane, F. (1990). **Les lixiviats de decharges le point des connaissances,** T.S.M N° 6, 289-300p.
- Padrón, L. (2005). **Análisis de lixiviados provenientes de La Bonanza.** Trabajo especial de grado, Escuela de química, Universidad Central de Venezuela, Facultad de ciencias, Caracas, Venezuela.
- Palella, S. y Martins, P. (2006). **Metodología de la investigación cuantitativa,** edit. Fedupel. 2da edición, Caracas.
- Pastor, J. (1994). **Vertederos controlados. Problemática de los lixiviados.** Universidad Autónoma de Madrid. Castilla-La Mancha y de Madrid.

- PNUD (2006). **Informe sobre Desarrollo Humano 2006: Más allá de la escasez: Poder, pobreza y crisis mundial del agua.**
- Polo, M. (2014). **Contaminación de acuíferos por efecto de los lixiviados en el área adyacente al vertedero de desechos sólidos La Guásima.** Carabobo, Venezuela.
- Prada, A. (2014). **Estudio experimental de la aglomeración de partículas en un lecho fluidizado.** Departamento ingeniería térmica y de fluidos. Universidad Carlos III.
- INTA Pergamino (2010). **Procesos de suelo: desnitrificación.**
- Ramírez, T. (1999). **Como hacer un proyecto de investigación.** Caracas Editorial panapo.
- RAS (2000). **Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico.** titulo F tabla f.6.3 normas ASTM para geomembranas.
- Renou, S; Givaudan, J; Poulain, S; Dirassoyan, F. and Mouline, P. (2008). **Leachate treatment: review and opportunity.** *Hazardous materials*, 150, 468-493.
- Revista AutoCrash (2016), **El taller reparador también tiene responsabilidades ambientales** [Revista en la web] disponible en la página: <https://www.revistaautocrash.com/taller-reparador-tambien-responsabilidades-ambientales/> (Consultado enero 2019).
- Revista CENIC (2015). **Ciencias Químicas.** Vol. 46.
- Rigola, M. (1999). **Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuo.** Ediciones Alfaomega, México, Distrito Federal.
- Rivera y Valencia, (2002). **Estudio preliminar para el tratamiento de lixiviados en un reactor de lodos activados.** Universidad Nacional De Colombia, Sede Manizales Colombia.
- Robinson, H; Tech, B & Barber, P. (1982). **Generation and treatment of leachate form domestic wastes in landfills,** *Water Pollut Control* . 565– 75p.
- Rodríguez, A. (2008). **Diseño de proyecto de tesis. material de curso de seminario de tesis del doctorado en estudios fiscales.** Facultad de Contaduría y

- Administración de la Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, Sinaloa, México.
- Rudd, H. (1995). **Emissions of volatile organic compounds from stationary sources in the United Kingdom: speciation.** AEA Technology Report, AEA/CS/REMA-029. AEA Technology. Oxfordshire, UK.
- Seoanez, M. (1998). **Ecología Industrial. Ingeniería medioambiental aplicada a la industria y a la empresa,** Ediciones Mundo-Prensa, Madrid, España.
- Silva, C; Dezotti, M. and Sant'Anna, Jr. L. (2004). **Treatment and detoxification of a sanitary landfill leachate.** Chemosphere 55 (2): 207-214.
- Smith, D. (1995). **Submerged filter biotreatment of hazardous leachate in aerobic, anaerobic, and anaerobic/aerobic systems.** Hazardous Waste & Hazardous Materials 12 (2): 167-83.
- Spena Group (2017) **Tratamiento primario del agua y aguas residuales – sistema de coagulación y floculación.** [Artículo en la web] disponible en la página: <http://spenagroup.com/tratamiento-primario-del-agua-aguas-residuales-sistema-coagulacion-floculacion/> (Consultado enero 2019).
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater** (2005). 21st Edition.
- Tamayo y Tamayo, M. (1997) **El proceso de la investigación científica.** Edit. Limusa, México. 231p.
- Tchobanoglous, G; Theisen, H. y Vigil S. (1994). **Gestión Integral de Residuos Sólidos.** McGraw-Hill.España. 1994.
- Tsai, C; Lin, S; Shue, Y. and Su, P. (1997). **Electrolysis of soluble organic matter in leachate from landfills.** Water Research 31 (12): 3073- 3081.
- Ushikoshi, K; Kobayashi, T; Uematsu, K; Toji, A; Kojima, D. and Matsumoto, K. (2002). **Leachate treatment by the reverse osmosis system.** Desalination 150: 121-129.
- Valles, A. (2011). **Tratamiento de lixiviados de relleno sanitario de la ciudad de Chihuahua, México.**

ANEXO A

Tamaño de la abertura de las rejas y rejillas para desbaste

Concepto	Rango	Comentarios
Aperturas de rejas retenedoras de basura	38 – 150 mm	Se usa frecuentemente en combinación con otros sistemas, el tamaño de las aperturas depende del equipo
Apertura de rejillas manual	25 – 50 mm	Se usan en plantas pequeñas o en canales bypass
Velocidad de aproximación	0.30 – 0.60 m/s	La apertura de 18 mm se considera satisfactoria para la protección de los equipos procesos siguientes
Rejillas de limpieza mecánica	6 – 38 mm	Velocidad necesaria para evitar la acumulación de arenas
Velocidad de aproximación mínima	0.30 – 0.60 m/s	
Rejillas continuas	6 – 38 mm	
Velocidad de aproximación máxima	0.30 – 1.20 m/s	Este tipo de rejilla es conveniente con aperturas de 6 a 18 mm
Velocidad de aproximación mínima	0.30 – 0.60 m/s	
Pérdida de carga admisible Triturador (reducción de tamaño solamente)	0.15 – 0.60 m 6 – 13 mm	Apertura de una función de la capacidad hidráulica de la unidad
Molino (reducción de tamaño solamente)	6 – 13 mm	En canal abierto
Pérdidas típicas	300 – 450 mm	
Tamiz fijo estático (rejilla fina)	2.3 a 6.4 mm	Aperturas menores a 2.3 mm son usadas en pretratamiento o tratamiento primario
Tamiz ajustable	0.02 a 0.3 mm	Poco utilizado en plantas municipales, sólo en el efluente secundario

ANEXO B

Variación del pH en el reactor de biodiscos

Carga DBO5 entrada g DBO5/m2*día	pH entrada	pH salida	Carga DBO5 entrada g DBO5/m2*día	pH entrada	pH salida
17.5	7.96	8.43	64.50	7.57	8.31
25.58	8.06	8.64	67.34	7.61	8.41
15.71	8.26	9	63.50	7.64	7.99
16.16	8.14	8.75	64.46	7.85	8.27
18.51	7.98	8.52	82.47	7.98	8.41
34.56	7.72	8.55	63.23	7.85	8.56
61.26	7.85	8.36	33.66	7.78	8.29
38.60	8.05	8.53	25.25	8.02	8.65
53.86	7.9	8.5	26.65	8.23	8.75
48.25	7.87	8.26	47.12	7.99	8.65
30.24	7.91	8.38	53.02	8.12	8.74
34.36	7.78	8.53	45.16	8.15	8.64
52.23	7.89	5.52			

ANEXO C

Variación del color en el reactor de biodiscos

Carga DBO5 entrada gDBO5/m2*día	Color entrada UNC	Color salida UNC	% Remoción
15.71	1230	1770	-43.9
17.50	1640	1950	-18.9
25.25	1350	1240	8.1
25.58	1650	1800	-9.1
26.65	1260	1120	11.1
30.24	660	640	3.0
33.66	1120	1180	-5.4
34.36	890	740	16.9
38.60	1117	1260	-7.7
45.16	1680	1580	6.0
47.12	1870	1570	16.0
48.25	460	680	-47.8
53.02	1650	1890	-14.5
53.86	1060	1150	-8.5
61.26	1380	2810	-103.6
63.23	1150	1360	-18.3
63.50	350	490	-40.0
63.50	1270	1470	-15.7
64.46	1220	930	23.8
67.35	700	270	61.4
82.47	1100	1300	-18.2

ANEXO D

Variación de sólidos totales en el reactor de biodiscos

Carga DBO5 entrada gDBO5/m2*día	STT entrada g/L	STT salida g/L	% Remoción
15.71	11.144	7.960	28.6
18.51	10.456	9.148	12.5
30.24	6.047	5.800	4.1
34.36	6.320	5.760	8.9
34.56	11.960	9.304	22.2
18.60	10.859	10.396	4.3
48.25	4.460	4.396	1.4
52.23	5.247	4.347	17.2
53.86	11.680	10.100	13.5
61.26	10.948	10.712	2.2
63.50	6.265	5.105	18.5
67.35	6.350	5.570	12.3
82.47	9.107	8.260	9.3

ANEXO E

Análisis de DQO en el reactor de biodiscos

Muestra	DQO	% Remoción	Muestra	DQO	% Remoción
	mg/L			mg/L	
Entrada	5040		Entrada	5220	
Compart.1	3780	25	Compart.1	3960	24.3
Compart.2	3420	32	Compart.2	3780	27.5
Compart.3	1980	60.7	Compart.3	2280	44.8
Salida Biod.	1800	64.3	Salida Biod.	2520	51.17
Salida sedim.	1620	67.9	Salida sedim.	2520	51.17

ANEXO F

Análisis de DBO en el reactor de biodiscos

Corrida	Caudal	DBO5 entrada	DbO5 salida	% Remoción
N.	L/día	mg/L	Mg/L	DBO
2	24	5200	3800	26.92
3	24	7600	5400	28.95
5	20	5600	2200	60.71
6	24	4800	3600	25.00
7	30	4400	3200	27.27
9	56	4400	3400	22.73
10	56	7800	6600	15.38
11	64	4300	3100	25.00
12	96	4000	3000	25.00
13	80	4300	2600	39.53
14	98	2200	800	63.64
15	98	2500	1600	36.00
16	98	3800	2800	26.32
17	98	4620	1680	63.64
18	98	4620	1540	66.67
20	98	4690	1820	61.19
21	98	6000	3800	36.67
22	98	4600	2400	47.83
23	50	4800	1200	75.00
24	50	3600	2000	44.44
25	50	3800	1400	63.16
26	70	4800	1800	62.50
27	70	5400	1600	70.37
28	70	4600	2800	39.13

ANEXO G

Análisis del nitrógeno total en el reactor de biodiscos

Caudal	N total Entrada	N Total Salida	% Remoción
L/Día	mg/L	mg/L	
50	1280.3	1070.4	16.39
50	1212.2	1025	15.423
50	1243.3	1056.72	15
70	1240.5	1080.2	12.92
70	1235.3	1078.2	12.7

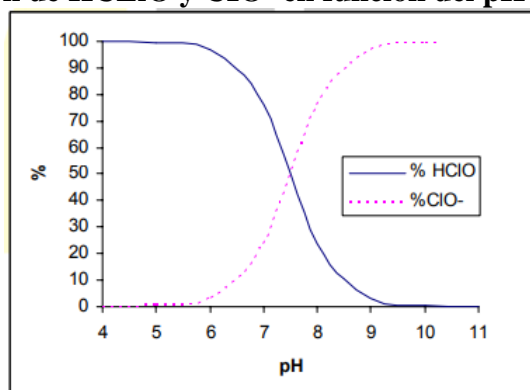
ANEXO H

Aplicaciones con usos y dosis para la cloración

Aplicación	Dosis	pH óptimo	Tiempo de reacción	Efectividad
Hierro	0.62 mg/mg Fe	7.0	< 1h	Bien
Manganeso	0.77 mg/mg Mn	7-8 9.5	1-3h	Cinética
Crecimiento biológico	1-2 mg/l	6-8		Bien
Olor/sabor	Variable	6-8	Variable	Variable
Eliminación de color	Variable	4-6.8	Minutos	Bien
Mejillones cebra	2-5 mg/l 0.2-0.5 mg/l		Nivel de shock Nivel residual	Bien
Almejas asiáticas	0.3-0.5 mg/l		Continuo	Bien

ANEXO I

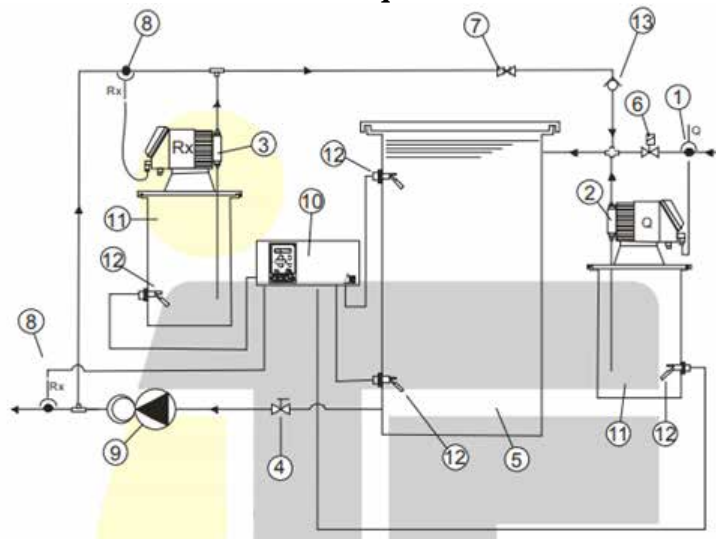
Distribución de HClO y ClO⁻ en función del pH (ITE, 2010).



Se aprecia claramente en el gráfico que entre pH 6 y pH 9, ambas especies coexisten, mientras que a pH inferiores a 6 y superiores a 9 se considera la existencia de una única especie. A valor de pH igual al pKa del observa que las concentraciones de HClO y ClO⁻ son iguales, hecho fácilmente deducible de la expresión anterior.

ANEXO J

Kit de cloración en tanque con recirculación



N°	Designación	Cantidad
1	Caudalímetro	1
2	Bomba dosificadora (P)	1
3	Bomba dosificadora (Rx)	1
4	Válvula de bola 2 vías	1
5	Deposito	1
6	Betroválvulas	1
7	Válvula de compuesta	1
8	Sonda de Redox	2
9	Grupo de Presión	1
10	Panel de control	1
11	Depósitos dosificadores	2
12	Sensor de nivel	4

ANEXO K

Resumen guías de la EPA para el reuso de aguas tratadas.

Uso	Calidad / normas
Sector Agrícola	
En riego superficial o por asperjado de cultivos de alimentos para consumo humano, se ingiere crudo. (Uso 1)	pH 6-9 Coliformes fecales = no detectable Cloro residual – 1 mg/L
Riego superficial para cultivos de alimento para consumo humano y que se procesan comercialmente.	pH 6-9
Riego de cosechas que no se consumen por humanos incluyendo fibras, semillas y pasto (Uso 2)	500 mg/L Cloro residual – 1 mg/L
Riego de Áreas Verdes	
Riego en áreas verdes no restringidas al público (Uso 3)	pH = 6-9 DBO ₅ < 10 mg/L Coliformes fecales = no detectable Cloro residual = 1 mg/L
Riego en áreas verdes restringidas al público. (Uso 4)	pH = 6-9 DBO ₅ < 30 mg/L SST < 500 mg/L Coliformes fecales = < 200/100mL Cloro residual = 1 mg/L

ANEXO L

Requisitos reglamentarios del estado de california

Tipo de Reutilización	Normas
Riego agrícola superficial que puede tener contacto con la porción que se come del cultivo.	Turbiedad > 2 NTU Coliformes Totales < x 2.2
Riego agrícola superficial que no tiene contacto con la parte que se come del cultivo.	Coliformes Totales < 2.2 MPN
Riego de árboles frutales, viñedos, pastos, plantas ornamentales, árboles que no producen alimento, cultivo de alimentos que se someterán a un proceso de destrucción de patógenos.	Coliformes Totales < 2.3 MPN
Riego de pastos para animales que producen leche.	Coliformes Totales < 23 MPN

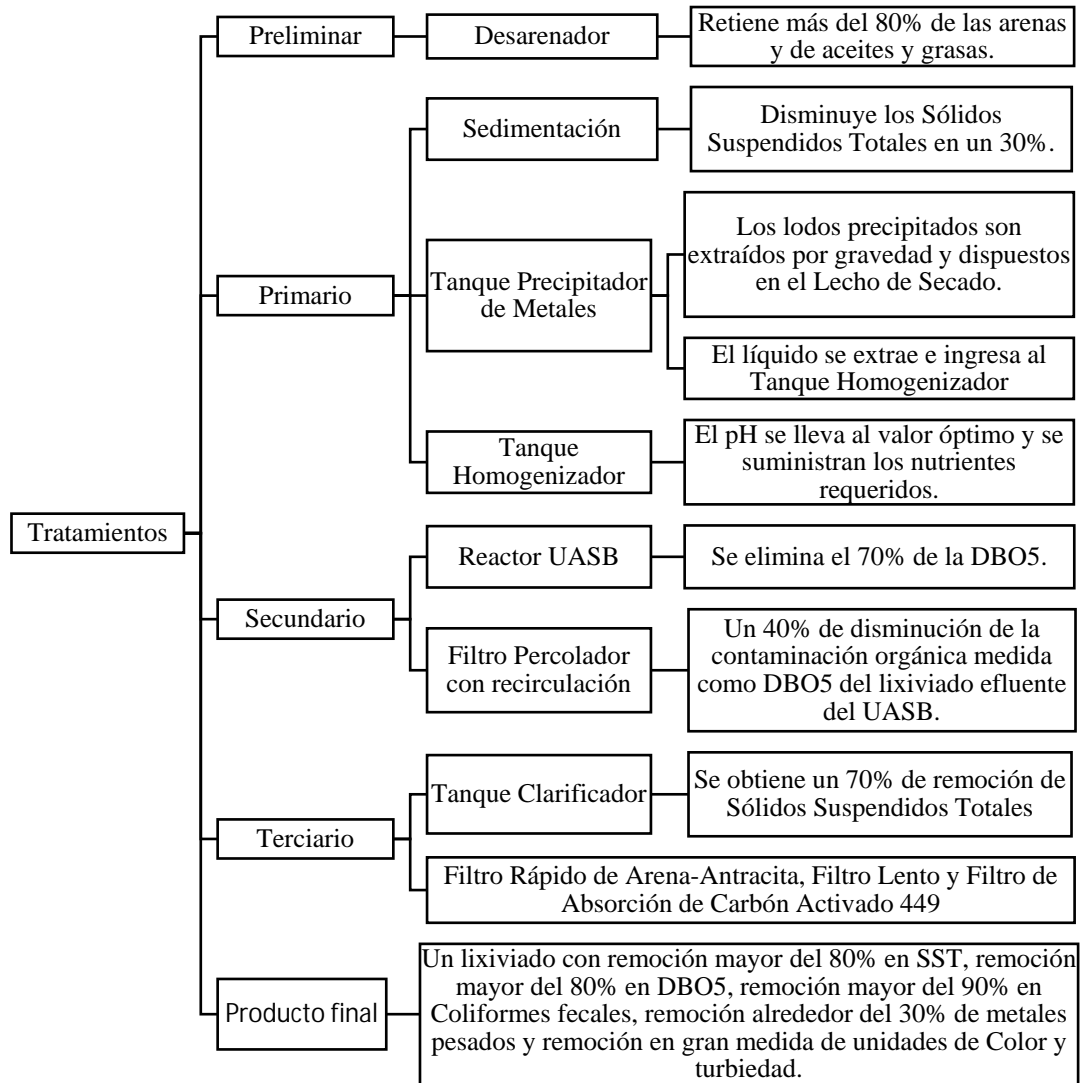
ANEXO M

Concentraciones máximas permisibles de metales.

Metal	Concentración máxima (mg/L)
Aluminio	5
Arsénico	0.1
Berilio	0.1
Boro	0.75
Cadmio	0.01
Cinc	2.0
Cromo (hexavalente)	0.1
Cobalto	0.05
Cobre	0.2
Fluoruro	1
Hierro	5
Litio	2.5
Manganeso	0.2
Molibdeno	0.01
Níquel	0.2
Plomo	5
Selenio	0.02
Vanadio	0.1

ANEXO N

Diagrama Parque Ambiental Los Pocitos



ANEXO O

Información Adicional Parque Ambiental Los Pocitos

El relleno sanitario llamado ahora “Parque Ambiental Los Pocitos”, se encuentra localizado en el sector noroccidental del Municipio Galapa, Departamento de Atlántico y el acceso al mismo se hace por la vía Barranquilla – Tubará aproximadamente en el Km 11 medido desde Barranquilla. A él le llegan todos los residuos sólidos urbanos generados por el municipio de Barranquilla y su área de influencia exceptuando el municipio de Malambo. En este relleno se da un manejo ambientalmente adecuado a los residuos sólidos, se minimiza los riesgos sobre la salud humana y el ambiente contribuyendo a la sostenibilidad de los recursos naturales.