

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS, PROCEDENTES
DE LA PLANTA DE RESIDUOS SOLIDOS EL RESODO, UBICADA EN EL
MUNICIPIO DE EL PLAYÓN, SANTANDER.**

PROYECTO PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERA QUIMICA

KAREN DAYANNA RAMOS RIBERO

C.C. 1.094.275.997

INGENIERÍA QUÍMICA

DEPARTAMENTO INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y QUÍMICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

PAMPLONA

2018

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS, PROCEDENTES
DE LA PLANTA DE RESIDUOS SÓLIDOS EL RESODO, UBICADA EN EL
MUNICIPIO DE EL PLAYÓN, SANTANDER.**

PROYECTO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERA QUÍMICA

KAREN DAYANNA RAMOS RIBERO

C.C. 1.094.275.997

Director

JACIPT ALEXANDER RAMON VALENCIA

Msc, Ph. D. QUÍMICA

INGENIERÍA QUÍMICA

DEPARTAMENTO INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y QUÍMICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

PAMPLONA

2018



NOTA DE ACEPTACIÓN

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía.

A mis padres Albeiro Ramos y Claudia Ribero por su amor, apoyo y comprensión en esta etapa, por ser el motor de mi vida.

A mis hermanos Carlos Ramos y Nicole Ramos por ayudarme, apoyarme y estar siempre conmigo.

A mis tías, primos y abuela por estar junto a mí en este proceso.

A Jeffer por estar a mi lado y brindarme su fuerza en el cumplimiento de esta meta.

AGRADECIMIENTOS

A la universidad de Pamplona y su cuerpo de docentes, por brindar una educación de calidad.

A el profesor, Jacipt Ramón por su tiempo y esfuerzo realizado para llevar a cabo este proyecto.

A la alcaldía de El Playón, por tener un espacio emprendedor y permitir que mi práctica profesional se llevara a cabo en la planta de residuos sólidos El Resodo.

A los ingenieros Yuli, Patricia y Marlon por brindarme sus conocimientos en lo requerido para este proyecto.

A Héctor García y Cenaida Muñoz por sus recomendaciones y aportes en el desarrollo de mi proyecto.

Tabla de contenido

Índice de figuras.....	11
Índice de tablas	12
Introducción	14
1. Planteamiento del problema	16
2. Justificación.....	17
3. Objetivos.....	18
3.1. Objetivo general	18
3.1. Objetivos específicos.....	18
4. Marco referencial.....	19
4.1. Marco contextual.....	19
4.1.1. Descripción física de El Playón-Santander.....	19
4.1.2. Límites del municipio de El Playón.....	20
4.1.3. Área de estudio: planta de residuos sólidos el Resodo	20
5. Marco teórico.....	21
5.1. Residuos solidos.....	21
5.2. Rellenos sanitarios.....	21
5.2.1. Tipos de rellenos sanitarios.....	22
5.2.1.1. Relleno sanitario mecanizado.....	22
5.2.1.2. Relleno sanitario semimecanizado	23
5.2.1.3. Relleno sanitario manual	23
5.2.2. Descomposición de los residuos sólidos en un relleno sanitario	23
5.3. Lixiviados.....	25
5.3.1. Caracterización de lixiviados	27
5.3.1.1. Parámetros fisicoquímicos.....	27
5.3.1.1.1. Conductividad	27
5.3.1.1.2. PH.....	27
5.3.1.1.3. Demanda química de oxígeno DQO	28
5.3.1.1.4. Demanda bioquímica de oxígeno DBO.....	28
5.3.1.1.5. Nitritos.....	28

5.3.1.1.6. Fosfatos	28
5.3.1.1.7. Sulfatos	29
5.3.1.1.8. Cloruros	29
5.3.1.1.9. Metales	29
5.3.1.1.10. Oxígeno Disuelto OD	30
5.3.1.1.11. Alcalinidad	30
5.3.1.1.12. Solidos totales (ST) y solidos disueltos totales (SDT)	30
5.3.1.2. Parámetros microbiológicos	31
5.3.1.2.1. Coliformes Totales	31
5.3.1.2.2. Coliformes Fecales	31
5.3.2. Alternativas de tratamientos de lixiviados	31
5.3.2.1. Aspectos importantes de diferentes sistemas de tratamiento de lixiviados	32
5.3.2.2. Niveles de tratamiento en un sistema de lixiviados	34
5.3.2.3. Reactores anaerobios U.A.S.B	35
5.3.3. Recolección de lixiviados	37
5.4. Marco legal	39
5.4.1. Resolución 0631 de 2015	41
5.5. Estado del arte	44
5.5.1. Referencias internacionales	45
5.5.2. Referencias Nacionales	46
5.5.2.1. Referencias regionales	48
6. Metodología	49
7. Resultados y análisis	52
7.1. Diagnostico técnico preliminar del estado actual de la planta de residuos sólidos del municipio del Playón-Santander	52
7.1.1. Clasificación de residuos reciclables	53
7.1.2. Residuos orgánicos	55
7.1.3. Residuos sólidos especiales	57
7.1.4. Residuos de demolición y construcción	58
7.1.5. Gestión de residuos en el área rural	58

7.2.	Evaluación del comportamiento de la composición de la materia orgánica e inorgánica.	58
7.2.1.	Análisis fisicoquímico y microbiológico	58
7.3.	Prueba de jarras	62
7.4.	Diseño del sistema de tratamiento de lixiviados procedentes de la planta de residuos sólidos El Resodo	63
7.4.1.	Generalidades.....	64
7.4.2.	Parámetros de diseño	64
7.4.2.1.	Estimación de la población.....	64
7.4.2.2.	Proyección de la producción total de residuos solidos	66
7.4.2.3.	Calculo de la generación del lixiviado	67
7.4.2.4.	Estimación de la generación de lixiviado	68
7.5.	Diseño Conceptual	69
7.5.1.	Rejillas	69
7.5.1.1.	Dimensionamiento.....	70
7.5.2.	Tanque de almacenamiento.....	71
7.5.2.1.	Volumen del tanque de almacenamiento.....	71
7.5.2.2.	Área del tanque de almacenamiento	71
7.5.2.3.	Dimensionamiento del tanque	72
7.5.2.4.	Altura efectiva del tanque.....	72
7.5.2.5.	Altura Total del tanque de almacenamiento	72
7.5.3.	Diseño del vertedero triangular.....	73
7.5.3.1.	Cabeza y borde libre del vertedero	74
7.5.3.2.	Altura total del vertedero.....	74
7.5.3.3.	Ancho del vertedero.....	74
7.5.3.4.	Longitud.....	74
7.5.3.5.	Abertura y Angulo	74
7.5.4.	Diseño del Reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB).....	75
7.5.4.1.	Tiempo de retención hidráulico del reactor	75
7.5.4.2.	Dimensiones del reactor UASB.....	76
7.5.4.2.1.	Carga Orgánica.....	76

7.5.4.2.2. Carga orgánica volumétrica.....	77
7.5.4.2.3. Carga orgánica superficial.....	78
7.5.4.2.4. Remoción de DQO	78
7.5.4.3. Volumen del reactor	78
7.5.4.4. Diámetro del reactor	79
7.5.4.1. Área del reactor	79
7.5.4.2. Velocidad ascensional del reactor	79
7.5.4.3. Carga Hidráulica superficial.....	80
7.5.5. Diseño de la Campana del Reactor UASB.	80
7.5.5.1. Velocidad de flujo de campana	81
7.5.5.2. Área de abertura.....	81
7.5.5.3. Área de la sección de la campana.....	81
7.5.5.4. Radio mayor de la campana.....	81
7.5.5.5. Ancho de la abertura.....	82
7.5.5.6. Angulo de inclinación de la campana.....	82
7.5.5.7. Altura de la campana	82
7.5.5.8. Altura y longitud del recolector de gases	82
7.5.5.9. Cálculo de la distancia entre la base de la campana y el recolector de gases..	83
7.5.5.10. Traslapo	83
7.5.5.11. Ancho del deflector	83
7.5.5.12. Longitud de los deflectores.....	83
7.5.5.13. Distancia entre el deflector y la base de la campana	84
7.5.5.14. Producción de biogás.....	84
7.5.6. Sistema de bombeo	84
7.5.7. Diseño del lecho de secado de lodo.....	85
7.5.7.1. Volumen del lecho de secado de lodos.....	85
7.5.7.2. Altura del lecho de secado según el RAS.....	85
7.5.7.3. Área del lecho de secado	86
7.5.7.4. Ancho del lecho de secado	86
7.5.7.5. Longitud del lecho de secado	86

8.	Plano del proceso del sistema de tratamiento	87
8.1.	Variables de diseño calculadas para el tratamiento de lixiviados	88
8.1.1.	Rejillas	88
8.1.2.	Tanque de almacenamiento de lixiviados	88
8.1.3.	Vertedero triangular	88
8.1.4.	Reactor U.A.S.B	89
8.1.5.	Campana del reactor	89
8.1.6.	Lecho de secado	89
9.	Monitoreo de lixiviados	90
10.	Análisis económico	91
11.	Conclusiones	93
12.	Recomendaciones	94
13.	Referencias bibliográficas	95

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación geográfica de El Playón	19
Figura 2. Relleno sanitario mecanizado	22
Figura 3. Relleno sanitario semimecanizado.	23
Figura 4. Relleno sanitario manual.	23
Figura 5. Esquema general de la descomposición de los residuos por contacto con el agua.	25
Figura 6. Esquema del funcionamiento de un reactor UASB.....	36
Figura 7. Vista externa de la planta de aprovechamiento	53
Figura 8. Áreas de clasificación de residuos.....	54
Figura 9. Maquina compactadora.	54
Figura 10. Maquina picadora y espacio de secado	56
Figura 11. Área de disposición final.....	57
Figura 12. Análisis de muestras en el laboratorio	59
Figura 13. Prueba de jarras	62
Figura 14. Recolección de lixiviados.....	68
Figura 15. Rejillas.....	70
Figura 16. Plano del proceso.....	87
Figura 17. PFD del proceso	91

Índice de tablas

Tabla 1. Georreferenciación sitios de aprovechamiento	20
Tabla 2. Procesos de descomposición de los residuos en un sitio de disposición final.	24
Tabla 3. Clasificación de lixiviado de vertedero vs edad.	26
Tabla 4. Aspectos importantes de diferentes sistemas de tratamiento	32
Tabla 5. Niveles de tratamiento en un sistema de lixiviado.....	34
Tabla 6. Parámetros y frecuencia del monitoreo de lixiviados	38
Tabla 7. Normativa aplicable para el manejo de residuos solidos	39
Tabla 8. Parámetros fisicoquímicos y monitoreo.....	42
Tabla 9. Parámetros caracterizados.....	50
Tabla 10. Cantidad de residuos aprovechables por tipo de material.....	54
Tabla 11. Cantidad de residuos	56
Tabla 12. Caracterización Fisicoquímica del lixiviado.....	59
Tabla 13. Análisis de metales en el lixiviado.....	60
Tabla 14. Análisis microbiológico.	61
Tabla 15. Dosificación de la prueba de Jarras	62
Tabla 16. Dosis optima de Cal	63
Tabla 17. Crecimiento poblacional	65
Tabla 18. Datos poblacionales DANE	65
Tabla 19. Producción de residuos	66
Tabla 20. Proyección de la producción de residuos.....	66
Tabla 21. Estimación de la generación de lixiviado	68
Tabla 22. Tiempos de retención en función de la temperatura en reactores UASB.	75
Tabla 23. Eficiencias típicas de remoción	77
Tabla 24. Corrientes del proceso.....	87
Tabla 25. Dimensionamiento de rejillas	88
Tabla 26. Dimensionamiento del tanque de almacenamiento.....	88
Tabla 27. Dimensionamiento del vertedero triangular.....	88
Tabla 28. Dimensionamiento del Reactor UASB	89

Tabla 29. Dimensionamiento de la campana del reactor	89
Tabla 30. Dimensionamiento del lecho de secado	89
Tabla 31. Monitoreo de lixiviados	90
Tabla 32. Análisis Económico	92

Introducción

A medida que la sociedad crece, cambian sus costumbres y la mayoría de la población se desplaza hacia la urbanización, de tal manera que se incrementan notablemente las necesidades de consumo de la humanidad. Debido a esto se eleva potencialmente el uso irracional de diversos materiales, los cuales se convierten a corto plazo, en desechos que en unas cuantas décadas generan una serie de dificultades a resolver.

La basura que se acumula en la casa sin ser clasificada, es una mezcla de diferentes residuos emanados de la misma, esta mezcla está compuesta básicamente por: sobrantes de detergentes, materia orgánica en descomposición, productos de la oxidación de metales humedecidos, entre otros. Ciertos subproductos generados de dicha mezcla se convierten en un fluido denominado: lixiviado, este líquido que drena de las basuras se clasifica según el tiempo de vida del mismo, y su composición es difícil de establecer como tal, ya que depende de la combinación de las cantidades de diferentes residuo contenidos en determinado lote de desechos. (Martinez-Lopez, y otros, 2014)

A cualquier líquido contaminado se le debe proporcionar un tratamiento adecuado y uno de los primeros pasos para establecer el tratamiento, es realizar una caracterización. En el caso de los lixiviados dada la diversidad y complejidad de su composición, existen parámetros básicos al momento de elegir el sistema de tratamiento a emplearse. La carga orgánica medida como DBO y DQO son dos de ellos, y básicamente la relación que existe entre ambos define en gran medida la biodegradabilidad del lixiviado. (H., J, J., & Rojas-Valencia, 2009)

Es común que en los sistemas de tratamiento de lixiviados se incorporen procesos fisicoquímicos y biológicos, con el fin de disminuir elevadas cargas orgánicas. El tratamiento fisicoquímico, se

fundamenta en la eliminación de partículas suspendidas del líquido por la acción de sustancias denominadas coagulantes. (Novelo, 2007).

En el presente proyecto se realizó el diseño de un sistema para el tratamiento de lixiviados derivados de la planta de residuos sólidos de El Playón, Santander, para su posterior construcción y operación en el Resodo del municipio, de manera simultánea se realizó un diagnóstico técnico preliminar del estado actual de la planta, para identificar los principales contaminantes en los lixiviados. Además, se evaluó el comportamiento de la composición de la materia orgánica e inorgánica a través de una caracterización físico-química y microbiológica; a partir de estos estudios se diseñó el sistema de tratamiento convencional, mediante cálculos de ingeniería que permitieron optimizar el proceso de degradación de la materia, con el fin de contribuir a la conservación de los recursos naturales del municipio y garantizar el cumplimiento de las normativas establecidas.

1. Planteamiento del problema

La gestión adecuada de residuos sólidos es uno de los principales desafíos que la sociedad debe enfrentar actualmente. En las últimas décadas, debido al rápido desarrollo de las economías nacionales, la urbanización de las áreas rurales y la mejora continua del nivel de vida, la producción de desechos sólidos está aumentando constantemente. Este problema se ve agravado por la ausencia de un tratamiento adecuado en los desechos peligrosos que se descartan junto con los residuos comerciales y domésticos destinados a los vertederos. Los vertederos son cada vez más comunes en la mayoría de ciudades y los servicios de recolección no son hábitos comunes en la sociedad. (Alobaid, y otros, 2018)

El lixiviado procedente de rellenos sanitarios es un líquido de color oscuro, con un fuerte olor, producido por la humedad natural y el agua presente en el residuo de materia orgánica, es el resultado de la degradación biológica, de la materia orgánica presente y la infiltración de agua en las capas interiores y cubiertas de los vertederos. Una de sus características es una solución acuosa en la que están presentes cuatro grupos de contaminantes: materia orgánica disuelta, compuestos macro inorgánicos, metales pesados y compuestos orgánicos xenobióticos procedentes de residuos químicos y domésticos presentes en bajas concentraciones. La composición química y microbiológica del lixiviado es compleja y variable, ya que además de depender de las características del depósito residual, está influenciada por las condiciones ambientales, la forma operativa del vertedero y la dinámica del proceso de descomposición que ocurre dentro de las celdas. (Yao, 2013)

2. Justificación

La disposición final de residuos sólidos municipales es una de las prácticas más difundidas en el mundo, la cual genera emisiones gaseosas y líquidas con un alto grado de contaminación, lo que genera un deterioro ambiental y un potencial daño a la salud humana. La mejora de los métodos para tratar estas emisiones, en particular el lixiviado, es necesaria para aumentar la sostenibilidad de todo el sistema de gestión de residuos. La degradación de los residuos sólidos es un suceso a largo plazo que genera gases muy contaminados y lixiviados que son la fuente principal del impacto ambiental asociado con esta práctica. Por lo tanto, es de vital importancia identificar tecnologías más sostenibles para su tratamiento, a fin de reducir las preocupaciones ambientales de todo el sistema de gestión de residuos sólidos.

En particular, el lixiviado es un agua residual altamente contaminada, que implica una importante amenaza para la salud humana, el suelo y las aguas superficiales y subterráneas. (Maria & Sisani, 2017) Debido a esto, es de vital importancia diseñar un sistema para reducir la contaminación generada por los lixiviados de residuos sólidos; que permita optimizar el proceso de degradación de la materia orgánica e inorgánica, garantizando un tratamiento eficiente y competitivo, con el fin de contribuir con la gestión ambiental del municipio y mejorar la calidad de vida de los Playoneros; cumpliendo con los estándares que exigen las normas del marco legal colombiano del proceso actual.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

- Diseñar un sistema de tratamiento de lixiviados, procedentes de la planta de residuos sólidos el Resodo, ubicada en el municipio de El Playón, Santander, con el fin de contribuir con la gestión ambiental del municipio y mejorar la calidad de vida sus habitantes.

3.1 Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico técnico preliminar del estado actual de la planta de residuos sólidos del municipio de El Playón, que permita Identificar los principales contaminantes en los lixiviados.
- Evaluar el comportamiento de la composición de la materia orgánica e inorgánica a través de la caracterización físico-química y microbiológica de los lixiviados derivados de la planta, utilizando métodos estandarizados.
- Diseñar un sistema de tratamiento convencional para los lixiviados procedentes de plantas de residuos sólidos del municipio de El Playón, a través de cálculos de ingeniería que permita optimizar el proceso de degradación de la materia orgánica e inorgánica utilizando la metodología establecida en el RAS 2015.
- Proponer un sistema de tratamiento de los lixiviados a través del dimensionamiento de la planta con el fin de dar cumplimiento a la normativa actual.

4. Marco referencial

4.1. Marco contextual

A continuación, se describe la zona de estudio con la ubicación geográfica y características más relevantes tanto de El Playón como de la planta de residuos sólidos el Resodo.

4.1.1. Descripción física de El Playón-Santander



Figura 1. Ubicación geográfica de El Playón
(Sitio oficial de El Playón en Santander, Colombia, 2016)

Como se observa en la figura 1, El Playón es un municipio colombiano, situado en el norte del departamento de Santander (provincia de Soto Norte). Se sitúa a 41 km de la capital departamental, Bucaramanga. El municipio se erigió en 1984.

La principal actividad del municipio es la explotación del sector primario, la cual es de tipo tradicional, destacándose la agricultura con cultivos de maracuyá, cacao siendo el principal

productor dentro de la subregión, aportando el 80.1% de la producción total, café, yuca, cítricos, tomate de árbol, mora, caña panelera, entre otros; en la parte pecuaria se tienen bovinos doble propósito, porcinos, avicultura, piscicultura y equinos.

La extensión del municipio es de 46.760 Ha (467.60 Km²) equivalente al 1,45% de la extensión total del departamento. Altitud de la cabecera municipal 600 metros sobre el nivel del mar, temperatura media 24° C, distancia de referencia 41 kilómetros de Bucaramanga.

4.1.2. Límites del municipio de El Playón.

El Playón limita al norte con el municipio de CÁCHIRA (Norte de Santander), al este con el municipio de SURATÁ., al Sur con los municipios de Matanza y Rionegro y al Oeste con los municipios de Rionegro y Cachira. (Sitio oficial de El Playón en Santander, Colombia, 2016)

4.1.3. Área de estudio: planta de residuos sólidos el Resodo

La planta de aprovechamiento de residuos orgánicos y reciclables del municipio El Playón se encuentra a 500 metros de la entrada del éste, por la vía Rio Negro-Bucaramanga en la Hacienda El Limoncito propiedad de la alcaldía municipal; dicha finca cuenta con un área de 26.5 hectáreas en la vereda Centro Urbano.

Tabla 1. Georreferenciación sitios de aprovechamiento

Georreferenciación sitios de aprovechamiento		
Tipo de aprovechamiento	Coordenadas	
	Norte	Este
Planta de Compostaje y Reciclaje	7°27'40.96"	73°11'58.22"

Fuente: (Municipal, 2015)

La planta opera en un área aproximada de 0,35 hectáreas de la hacienda

5. Marco teórico

5.1. Residuos sólidos

Los residuos sólidos, constituyen aquellos materiales desechados tras su vida útil, y que por lo general por sí solos carecen de valor económico.

En un sistema eficiente de gestión de residuos sólidos se debe reducir, reutilizar, reciclar y gestionar los residuos para proteger la salud de los seres humanos y el medio ambiente natural. La caracterización de desechos es el primer paso para una política exitosa de gestión de residuos, esto se lleva a cabo para estimar la posible recuperación de materiales, identificar fuentes de generación de componentes, facilitar el diseño de equipos de procesamiento, estimar las propiedades físicas, químicas y térmicas de los desechos, y mantener el cumplimiento de las normas legales vigentes. La composición de los desechos generados varía con el resultado del cambio climático, el estilo de vida y la demografía, estos residuos sólidos, en su mayoría son susceptibles de reaprovecharse o transformarse con un reciclado adecuado. (Adeniran, Nubi, & Adelopo, 2017)

En general se le pueden clasificar en tres tipos:

- Residuos sólidos urbanos
- Residuos sólidos no peligrosos
- Residuos sólidos peligrosos.

5.2. Rellenos sanitarios

Los vertederos siguen siendo la alternativa más extendida para la disposición final de los residuos sólidos municipales (RSU) debido a la inversión relativamente baja, los costos de operación y los requisitos técnicos. Un vertedero adecuado, también conocido como relleno sanitario, es un sitio planificado y controlado con drenaje de lixiviados y sistemas de tratamiento, que impide la

contaminación del agua subterránea y otros sistemas para recolectar y quemar el biogás generado. En los países de altos ingresos, el vertido en rellenos sanitarios es el método más común de eliminación final de RSU, mientras que los países de bajos y medianos ingresos todavía tienen vertederos a cielo abierto como la alternativa principal. (Lima, y otros, 2017)

5.2.1. Tipos de rellenos sanitarios

En relación con la disposición final de residuos sólidos, se mencionan tres tipos de rellenos sanitarios, a saber:

5.2.1.1. *Relleno sanitario mecanizado*



Figura 2. Relleno sanitario mecanizado . (Castañeda, 2016)

Estos rellenos son apropiados para municipalidades medianas y grandes, ya que está diseñado para poblaciones que generan más de 40 toneladas diarias. Debido a sus requerimientos es un proyecto de ingeniería bastante complejo, que va más allá de operar con equipo pesado. Esto se

refiere a la cantidad, el tipo de residuo y la infraestructura requerida, tanto para recibir los residuos como para el control de las operaciones.

5.2.1.2. *Relleno sanitario semimecanizado*



Figura 3. Relleno sanitario semimecanizado. (Jaramillo, 2002)

Es el método más común de disposición final de residuos sólidos, se utiliza cuando la población genera entre 16 y 40 toneladas diarias de residuos, es conveniente usar maquinaria pesada como apoyo al trabajo manual, a fin de hacer una buena compactación de la basura, estabilizar los

terraplenes y generar más vida útil al relleno.

5.2.1.3. *Relleno sanitario manual*



Figura 4. Relleno sanitario manual. (Rodríguez)

Este relleno es una alternativa técnica y económicamente factible, en donde solo se requiere de maquinaria para la adecuación del sitio, los trabajos adicionales se realizan manualmente, se aplica a pequeñas poblaciones que producen menos de 15 toneladas/día. (Jaramillo, 2002)

5.2.2. **Descomposición de los residuos sólidos en un relleno sanitario**

La mala disposición de residuos sólidos provoca un deterioro al medio ambiente, debido a la generación de diferentes productos contaminantes, derivados de los procesos de descomposición microbiana y liberación de componentes de los residuos. Esto se da cuando se depositan en lugares inapropiados, la contaminación puede presentarse en forma sólida (polvo y materiales ligeros

arrastrados por el viento), líquida (lixiviado) y gaseosa (biogás), o incluso como partículas sólidas suspendidas en el lixiviado o en el humo de incendios provocados y auto incendios eventuales en los rellenos.

Tabla 2. *Procesos de descomposición de los residuos en un sitio de disposición final.*

PROCESOS	DESCOMPOSICION AEROBIA	DESCOMPOSICION ANAEROBIA	LIXIVIACIÓN
Requisitos	Oxígeno disponible, menos humedad	Carece de oxígeno, mayor humedad	Gran volumen de agua pluvial, cubierta de aire
Temperatura	50 – 70 °C	35 – 50 °C	_____
Reacciones	Oxidación, nitrificación	Reducción, desnitrificación	Disolución, hidrolisis
Consecuencias	Mineralización, esponjamiento	Consolidación, solidificación	Aumento de permeabilidad, acumulación de contaminantes
Productos	CO ₂ , H ₂ O, productos de oxidación	Ácidos orgánicos, CH ₄ , CO ₂ , NH ₃ , H ₂ S, lixiviado	Lixiviado

Fuente: (Köfalusi & Aguilar, 2006)

En la tabla anterior se puede resaltar que, en todos los procesos principales de transformación aerobia, anaerobia o por lixiviación, tienen un elemento común que es el agua, que está presente en los mismos residuos como contenido de humedad; estos procesos de transformación se utilizan para reducir el volumen y el peso de los residuos que se evacuan. (Köfalusi & Aguilar, 2006)

Las características de los lixiviados y del biogás dependen de los procesos de descomposición de residuos, en estos procesos se presentan diferentes factores internos y externos que modifican la calidad de los lixiviados, entre los cuales se encuentran:

- Las condiciones climáticas y meteorológicas en el sitio

- Las propiedades fisicoquímicas de los residuos dispuestos
- La tecnología aplicada en la disposición final
- La edad del relleno

El agua desempeña un papel muy importante en la degradación de los residuos sólidos, ya que cataliza los procesos mediante la hidrólisis y disolución de componentes tóxicos de la materia orgánica e inorgánica, dando como resultado finalmente la producción del lixiviado. Las transformaciones físico-químicas que se derivan del contacto del agua con los residuos, se presentan de manera resumida la figura 4. (Kiss G, 1998)

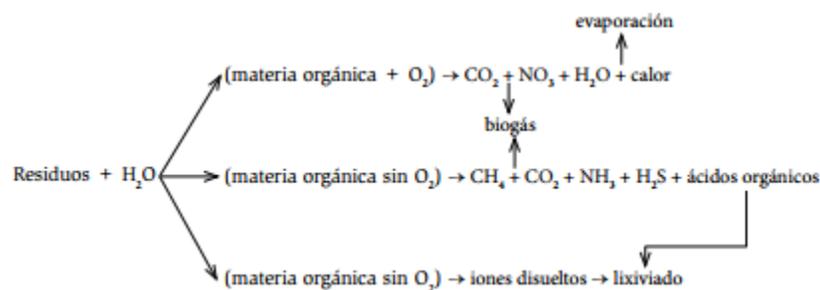


Figura 5. Esquema general de la descomposición de los residuos por contacto con el agua.

Fuente: (Kiss G, 1998)

Como se observa en la descripción anterior, la generación de lixiviados y biogás genera una gran contaminación al medio ambiente, por lo que se debe tener conciencia en los aspectos ambientales, ecológicos y sanitarios que esto implica, definiendo los riesgos potenciales que puedan originarse de los residuos dispuestos en los sitios de disposición final. (Köfalusi & Aguilar, 2006)

5.3. Lixiviados

El lixiviado es el líquido generado durante la fase ácida de la estabilización del vertedero. Durante esta fase, el pH del lixiviado generado se disminuye, movilizandolos muchos metales pesados. La composición del lixiviado depende de muchos factores, como la característica de los residuos, el

diseño y la operación del vertedero y la composición de los desechos. La mala gestión de los vertederos es una gran preocupación para la contaminación del agua subterránea y superficial en muchas naciones subdesarrolladas y en desarrollo. Debido a la instalación incorrecta de los revestimientos y sistemas de recolección de lixiviados, el lixiviado se filtra en el agua subterránea o cuerpos de agua superficial cercanos, degradando la calidad del agua. Para regular la potencial contaminación del lixiviado, casi todos los países han desarrollado un conjunto de reglas, pero las medidas correctivas deben instalarse en fases, lo cual es un proceso difícil y no es rentable. (Lothe & Sinha, 2016)

Tabla 3. Clasificación de lixiviado de vertedero vs edad.

	Nuevo	Intermedio	Viejo
Edad (años)	< 5	5-10	>10
PH	6,5	6,5 – 7,5	>7,5
DQO (mg/L)	>10.000	4.000-10.000	< 4.000
DBO ₅ /DQO	> 0,3	0,1 - 0,3	< 0,1
Compuestos orgánicos	80% ácidos grasos volátiles(AGV)	5 - 30% VGA + ácidos húmicos y fúlvicos	ácidos húmicos y fúlvicos
	Nuevo	Intermedio	Viejo
Metales pesados	Bajo-medio		bajo
	Nuevo	Intermedio	Viejo
Biodegradabilidad	importante	medio	bajo

Fuente: (Renou, Givaudan, Poulain, Dirassouyan, & Moulin, 2008)

En la tabla 3 se observan las características que puede presentar un lixiviado, las cuales están influenciadas en gran medida por los procesos biológicos, químicos y físicos que tienen lugar en el relleno sanitario. Por otra parte, los parámetros más importantes del lixiviado son: DBO5, DQO, sólidos disueltos totales (STD), metales pesados y constituyentes tóxicos. (Méndez R, 2010)

Dependiendo de la calidad del lixiviado, de la tecnología adoptada y de sus parámetros de operación, la tasa de concentrado puede variar de aproximadamente 1.5% hasta 30% de la tasa de lixiviados de entrada, reduciendo así la dependencia del tratamiento externo y transporte. En general, mejorar la eliminación / reducción de contaminantes de las aguas residuales mediante tecnologías avanzadas también conduce a un aumento de las emisiones directas e indirectas debido a un mayor consumo de energía y materiales. (Maria & Sisani, 2017)

5.3.1. Caracterización de lixiviados

El lixiviado, es un líquido altamente contaminado de composición variable y en consecuencia no es acertado generalizar los procedimientos para su depuración, debido a esto se requiere un estudio individual, para conocer sus características y aplicar el tratamiento adecuado. (Lopez, 2014)

5.3.1.1. Parámetros fisicoquímicos

5.3.1.1.1. Conductividad

La conductividad eléctrica de una solución es una medida de la capacidad de la misma para transportar la corriente eléctrica y permite conocer la concentración de especies iónicas presentes en el agua. (Ambiental, 2013)

5.3.1.1.2. PH

Es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. En un lixiviado el potencial de hidrogeno (pH) varía de acuerdo a su edad. El pH del lixiviado disminuye hasta 5 o menos por la presencia

de ácidos orgánicos durante la fase ácida, incrementando después hasta un valor de 8 durante la fase de maduración. (Valles Chavez, 2013)

5.3.1.1.3. Demanda química de oxígeno DQO

Es la cantidad de oxígeno consumido por los cuerpos reductores presentes en el agua sin la intervención de los organismos vivos. Efectúa la determinación del contenido total de materia orgánica oxidable, sea biodegradable o no. (Enciclopedia Medioambiental-Aguas, 2015)

5.3.1.1.4. Demanda bioquímica de oxígeno DBO

Es el parámetro más utilizado en la caracterización de la contaminación de agua residual y agua superficial. La determinación de DBO se basa en la medición de oxígeno disuelto usado por los microorganismos durante la oxidación bioquímica de la materia orgánica en un lapso de tiempo dado. (Lecca & Lizama, 2014)

5.3.1.1.5. Nitritos

La presencia de nitritos en el agua es indicativo de contaminación de carácter fecal reciente, cabe resaltar que el nitrito se halla en un estado de oxidación intermedio entre el amoníaco y el nitrato. Los nitritos en concentraciones elevadas son totalmente tóxicos y representan un impedimento para la vida piscícola y el establecimiento de un ecosistema fluvial en buenas condiciones. (Rodríguez Hernández, 2010)

5.3.1.1.6. Fosfatos

Los compuestos del fósforo son nutrientes de las plantas y conducen al crecimiento de algas en las aguas superficiales. Dependiendo de la concentración de fosfato existente en el agua, puede producirse la eutrofización. Tan sólo 1 gramo de fosfato-fósforo ($\text{PO}_4\text{-P}$) provoca el crecimiento

de hasta 100 g de algas. Cuando estas algas mueren, los procesos de descomposición dan como resultado una demanda de oxígeno de alrededor de 150 gramos. (Putz, 2010)

5.3.1.1.7. Sulfatos

El ión sulfato es la forma oxidada estable del azufre, siendo muy soluble en agua. Sin embargo, los sulfatos de plomo, bario y estroncio son insolubles. El sulfato disuelto puede ser reducido a sulfito y volatilizado a la atmósfera como H₂S, precipitado como sales insolubles o incorporado a organismos vivos. Los sulfatos sirven como fuente de oxígeno a las bacterias, en condiciones anaeróbicas, convirtiéndose en sulfuro de hidrógeno. Pueden ser producidos por oxidación bacteriana de los compuestos azufrados reducidos, incluyendo sulfuros metálicos y compuestos orgánicos. (Triana, 2010)

5.3.1.1.8. Cloruros

El ión cloruro se encuentra con frecuencia en las aguas naturales y residuales, en concentraciones bajas y elevadas. Este ion ingresa al agua en forma natural, mediante el lavado que las aguas de lluvia realizan sobre el suelo. El gran inconveniente de los cloruros es el sabor desagradable que comunican al agua. Son también susceptibles de ocasionar una corrosión en las canalizaciones y en los depósitos, en particular para los elementos de acero inoxidable. (Ambiental, 2013)

5.3.1.1.9. Metales

Los elementos metálicos, debido a que están presentes en los ecosistemas acuáticos a muy baja concentración, son denominados elementos traza. Algunos son nutrientes esenciales para las plantas y los animales, pero cuando estos elementos están presentes en sistemas ambientales a concentraciones superiores a ciertos niveles, debido a desequilibrios naturales o por introducción

antropogénica, pueden ser tóxicos para los seres vivos. (Rubio, Calderon, Gualtero, Rodriguez, & Rojas, 2015)

5.3.1.1.10. Oxígeno Disuelto OD

El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida. Sin embargo, el oxígeno es sólo ligeramente soluble en agua. La cantidad real de oxígeno y otros gases que puede estar presente en la solución, viene condicionada por los siguientes aspectos: solubilidad del gas; presión parcial del gas en la atmósfera; temperatura y la pureza del agua. Debido a que la velocidad de las reacciones bioquímicas que consumen oxígeno aumenta con la temperatura, los niveles de oxígeno disuelto tienden a ser más críticos en las épocas veraniegas. (Ambiental, 2013)

5.3.1.1.11. Alcalinidad

La alcalinidad de un agua es su capacidad para neutralizar ácidos y constituye la suma de todas las bases titulables. El valor medido puede variar significativamente con el pH de punto final utilizado. La alcalinidad es la medida de una propiedad agregada del agua, y solamente puede interpretarse en términos de sustancias específicas cuando se conoce la composición química de la muestra. (Bojaca, 2005)

5.3.1.1.12. 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. Esta división de los contaminantes en sólidos disueltos totales (SDT) y sólidos suspendidos totales (SST) es fundamental ya que muchos tratamientos solo

son efectivos contra uno de ellos. Además de que en lixiviados proporciona una noción de que tratamiento aplicar y la cantidad de residuos que se generarán mediante este. (Hernandez, 2007)

5.3.1.2. Parámetros microbiológicos

5.3.1.2.1. Coliformes Totales

Las bacterias pertenecientes al grupo de los coliformes totales (excluida *E. coli*) están presentes tanto en aguas residuales como en aguas naturales. Algunas de estas bacterias se excretan en las heces de personas y animales, pero muchos coliformes son heterótrofos y capaces de multiplicarse en suelos y medios acuáticos. Los coliformes totales pueden también sobrevivir y proliferar en sistemas de distribución de agua, sobre todo en presencia de biopelículas. (Total de bacterias coliformes, s.f.)

5.3.1.2.2. Coliformes Fecales

Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales, capaz de fermentar la lactosa a 44.5°C. Aproximadamente el 95% del grupo de los coliformes presentes en heces fecales, están formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*. Ya que los coliformes fecales se encuentran casi exclusivamente en las heces de animales de sangre caliente, se considera que reflejan mejor la presencia de contaminación fecal. Otro de los aspectos negativos del uso de los coliformes totales como indicador es el hecho de que algunos coliformes son capaces de multiplicarse en el agua. (Madigan, Martinku, & Parker, 1997)

5.3.2. Alternativas de tratamientos de lixiviados

Actualmente se cuenta con una gran variedad de sistemas que pueden ser utilizados para el tratamiento de lixiviados de vertederos, entre los que se encuentran:

- Procesos anaerobios

- Procesos aerobios
- Sistemas naturales
- Evaporación
- Recirculación de lixiviados
- Sistemas de membranas

Para su elección, diseño, dimensionamiento y explotación adecuada, es necesario conocer diferentes parámetros, debido a que los contaminantes pueden afectar el funcionamiento del tratamiento seleccionado. (Giraldo E. , 2001)

5.3.2.1. Aspectos importantes de diferentes sistemas de tratamiento de lixiviados

En la tabla 4 se exponen los aspectos más importantes a la hora de elegir un tratamiento adecuado.

Tabla 4. Aspectos importantes de diferentes sistemas de tratamiento

Aspectos	Lodos activados	Lagunas de estabilización	U.A.S.B
Desempeño			
Remoción de sólidos en suspensión MO	> 95%	>80%	> 80%
Patógenos	> 95%	> 90%	> 80%
Nutrientes	> 90%	>99.99%	>80%
	> 90%	> 20%	>20%
Tamaño			
Tiempo de permanencia	12-24 h	20-30 días	4-8h
Volumen per-cápita	75-150 L	3-4m ³	25-50 L
Área per-cápita	0.02- 0.04 m ²	3-4m ²	0.01 - 0.02 m ²
Costos			
Construcción	Muy alto	Muy alto	Bajo

Operación	Muy alto	Bajo	Bajo
Mantenimiento	Muy alto	Bajo	Bajo
Problemas Causados	Aerosoles	Insectos, olores, estética (paisajes)	Olores
Otros			
Simplicidad	Complicada	Simple	Simple
Confiabilidad	Depende de la energía eléctrica, decanta el lodo con dificultad	Olores por la falta de sol	Confiable

Fuente (Davalos & Tuny, 2011)

El tratamiento biológico es el que se utiliza con mayor frecuencia para la eliminación del lixiviado que contiene elevadas concentraciones de DBO. La biodegradación es llevada a cabo por microorganismos, que pueden degradar compuestos orgánicos a dióxido de carbono y lodo en condiciones aeróbicas y al biogás en condiciones anaeróbicas. Los procesos biológicos han demostrado ser muy efectivos en la eliminación de materia orgánica y nitrogenada de los lixiviados inmaduros cuando la relación DBO / DQO tiene un alto valor. Con el tiempo, el aumento de compuestos como ácidos húmicos y fúlvicos tiende a limitar la efectividad del proceso. (Yao, 2013)

Teniendo en cuenta los estándares de descarga que continuamente se tornan más rigurosos y al envejecimiento de vertederos con lixiviados, la capacidad de la planta de tratamiento de aguas residuales para eliminar algunos contaminantes es limitada. Además, los costos de tratamiento fuera del sitio de disposición se ven afectados por las tarifas de transporte y eliminación que pueden verse influidas por las fluctuaciones del mercado, que también son un factor clave en el riesgo económico para el administrador del vertedero. Por estas razones, se han desarrollado y adaptado

tecnologías avanzadas, como la ósmosis inversa y los sistemas de evaporación, para el tratamiento de lixiviados. Se basan en procesos químicos y físicos, que se caracterizan por poseer una alta capacidad de tratamiento por unidad de superficie en comparación con otras soluciones convencionales, lo que los hace especialmente adecuados para su uso en vertederos existentes. (Maria & Sisani, 2017)

Existen diversos procedimientos que permiten el tratamiento de los lixiviados, combinando diferentes técnicas. Elegir el mejor método a utilizar en cada caso es una decisión compleja, ya que depende de muchos factores tangibles e intangibles que deben sopesarse para lograr un equilibrio entre la técnica, el coste y la sostenibilidad ambiental. (Reyes, 2015)

5.3.2.2. *Niveles de tratamiento en un sistema de lixiviados*

Debido a las diferentes operaciones y procesos que intervienen en la depuración de lixiviados es necesario hablar de niveles de tratamientos, como se describen en la siguiente tabla:

Tabla 5. Niveles de tratamiento en un sistema de lixiviado

Niveles de tratamiento	Descripción	Tratamiento
Recolección	Conducción y disposición del lixiviado al sistema de tratamiento.	Tanque de almacenamiento
Preliminar	Remoción de constituyentes del lixiviado que puedan causar problemas operacionales o de mantenimiento. Sistemas auxiliares destinados a la preparación del lixiviado para su disposición o tratamiento subsecuente	Desbaste o Rejas. Desarenadores. Tanques desengrasadores. Homogeneización. Aireación preliminar.
Primario	Remoción de parte de los sólidos sedimentables y degradación de la materia orgánica presente en el lixiviado.	Sedimentación simple (primaria). Precipitación química y sedimentación.

		Digestión de lodos. Lechos de secado.
Secundario	Remoción de compuestos orgánicos, biodegradables, sólidos suspendidos y nutrientes (nitrógeno o fósforo por separado o en conjunto). Complementa los tratamientos precedentes y debe incluir un proceso biológico adecuado y una sedimentación final.	Tratamientos biológicos aerobios, filtros percoladores (biológicos), lodos activados, sistemas de lagunas de estabilización, tratamientos biológicos anaeróbicos, reactores anaeróbicos de flujo ascendente, filtros anaeróbicos.
Terciarios	Remoción de sólidos suspendidos, en general por filtración en medio granular. La desinfección hace siempre parte del tratamiento terciario, incluyéndose en esta definición la remoción de nutrientes Complementa los procesos siempre que las condiciones locales exijan eventualmente un grado más elevado de depuración.	Procesos físico-químicos. Procesos físico-biológicos. Desinfección

(Davis & Masten, 2005)

5.3.2.3. Reactores anaerobios U.A.S.B

La abreviación U. A. S. B. se define como Upflow Anaerobic Sludge Blanquet o Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente. Es una tecnología que se originó en Bélgica y Holanda, empleada principalmente en el tratamiento de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica.

El tratamiento de aguas residuales con reactores tipo U. A. S. B. es el más difundido en América Latina desde 1988. Estos reactores reemplazaron de cierta forma en las plantas de tratamiento

aerobio a los sedimentadores primarios, sedimentadores secundarios, biodigestores para el tratamiento de lodos y gran parte de los sistemas de lodos activados, pues logran eficiencias de remoción comprendidas entre el 60 y 80% de la DQO y la DBO en función de la concentración inicial del agua residual. Los U. A. S. B. funcionan como tratamiento primario, tratamiento secundario, pero no llegan a eficiencias de remoción superiores al 82%. Para lograrlo, deben ser complementados por sistemas aerobios tradicionales como lodos activados, filtros percoladores o lagunas. (CAICEDO MESSA, 2006)

En la figura 6 se puede observar el funcionamiento de un reactor U.A.S.B, en el cual el afluyente se alimenta por el fondo del reactor y hace contacto con el lodo; la degradación anaerobia de los sustratos orgánicos ocurre en el lecho del lodo, donde se produce el biogás, es decir, la acidificación y la metanogénesis ocurren en el mismo reactor. (Lettinga, Van Velsen, Hobma, De Zeew, & KLaowijk, 1980)

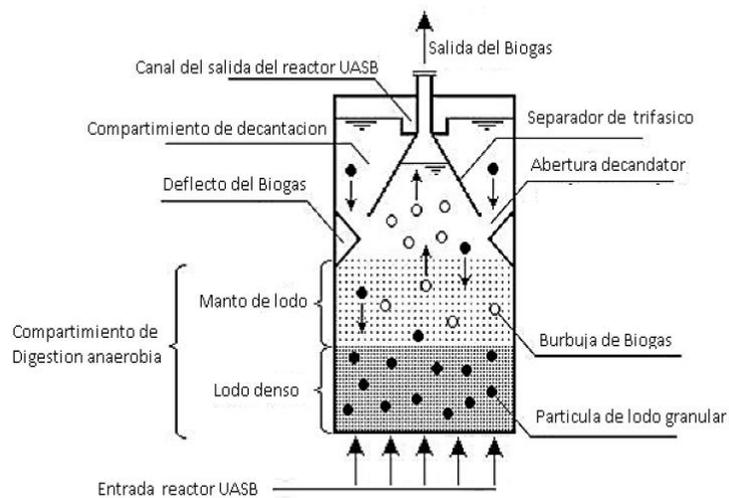


Figura 6. Esquema del funcionamiento de un reactor UASB.

(González Hoyos, 2017)

En aguas residuales, como los lixiviados, no es necesaria la adición de inóculos a los reactores anaerobios, ya que las colonias de bacterias requeridas son aportadas en la corriente a tratar, debido a los procesos anaeróbicos que ocurren dentro del relleno sanitario durante la descomposición de los residuos sólidos.

Por esta razón, para un correcto arranque y estabilización de los reactores, es necesario el control en las variaciones de producción de metano. Una disminución de este, se relaciona con disminución de la tasa de crecimiento microbiano, lo cual puede ser ocasionada por factores operacionales tales como sobrecargas hidráulicas y/o aumentos de la carga contaminante a tratar. Otros factores que afectan la actividad microbiana son: la temperatura, la falta de nutrientes y alteraciones del medio biótico por sustancias inhibidoras. (Fernández & Seghezzo, 2015)

Los reactores anaerobios presentan una ventaja económica sobre los reactores aerobios, los cuales requieren de energía para llevar a cabo la aireación. Esto, unido a la capacidad de manejar altas cargas, ha hecho que la aplicación de estos sistemas para el tratamiento de aguas residuales complejas, sea cada vez mayor.

5.3.3. Recolección de lixiviados

El monitoreo de los lixiviados generados, el vertimiento y el sistema receptor se efectuará de acuerdo con lo definido en la tabla 6, incluyendo como mínimo los parámetros relacionados en la misma. (Álvarez, y otros, RAS 2015)

Tabla 6. *Parámetros y frecuencia del monitoreo de lixiviados*

Parámetros	Frecuencia			
	Mayor de 200,1 Mg/día	Entre 70,1 y 200,1 Mg/día	Entre 15,1 y 70,1 Mg/día	Menor o igual a 15 Mg/día
PH	Semanal	Cada 4 meses	Semestral	Anual
Oxígeno Disuelto	Semanal	Cada 4 meses	Semestral	Anual
Metales pesados	Semanal	Cada 4 meses	Semestral	Anual
DQO	Semanal	Cada 4 meses	Semestral	Anual
DBO	Semanal	Cada 4 meses	Semestral	Anual
SST	Semanal	Cada 4 meses	Semestral	Anual

(Álvarez, y otros, RAS 2015)

Para la medición de caudales es necesario tener registros, con el fin de observar una tendencia para determinar las causas de disminuciones excesivas en los caudales de lixiviado en un relleno sanitario. En caso de obedecer a una obstrucción del sistema de drenaje deben tomarse las acciones necesarias para evitar la acumulación de líquidos dentro del relleno. El programa de monitoreo y control de biogás y lixiviados debe extenderse hasta un periodo en el cual se garantice que los residuos sólidos depositados en el relleno sanitario estén estabilizados, asegurando que todos los contaminantes generados en este tiempo sean controlados. (Álvarez, y otros, RAS 2015)

La gestión de los residuos sólidos urbanos constituye hoy el mayor problema ambiental, económico y social a nivel mundial, principalmente porque el volumen de residuos crece más rápido que la población mundial. El manejo y la eliminación de residuos sólidos domésticos son problemas críticos en las áreas urbanas de América Latina. En Colombia, por lo general, el destino

final de estos residuos es su disposición en rellenos sanitarios. Aunque los rellenos que existen en la actualidad poseen diversidad de problemas operativos, encontrándose con mayor frecuencia el inadecuado tratamiento de los lixiviados. (Cardenaz, 2012)

5.4. Marco legal

A continuación, se relacionan los principales documentos de Política y el marco jurídico representado por las leyes, decretos y resoluciones que aplican al manejo de residuos sólidos.

Tabla 7. Normativa aplicable para el manejo de residuos sólidos

Norma	Descripción
Decreto 2981 de 2013 El cual deroga los Decretos 1713 de 2002, 1140 de 2003 y 1505 de 2003 y el Capítulo I del Título IV del Decreto 605 de 1996	Establece el Programa para la Prestación del Servicio de Aseo y ajusta las actividades del servicio público de aseo en (1) la Recolección, (2) el Transporte, (3) el Barrido, limpieza de vías y áreas públicas, (4) Corte de césped, poda de árboles en las vías y áreas públicas, (5) Transferencia, (6) Tratamiento, (7) Aprovechamiento, (8) Disposición final, y (9) Lavado de áreas públicas.
Decreto 838 de 2005	Establece los procedimientos para la planeación, construcción y operación de los sistemas de disposición final de residuos, con tecnología de relleno sanitario, como actividad complementaria del servicio público de aseo. Estableció la relación con el ordenamiento territorial para definir las áreas factibles para la ubicación de rellenos sanitarios, los criterios, metodología y restricciones específicos para identificar y evaluar dichas áreas; así como determina los instrumentos de control y monitoreo técnicos para la operación de los rellenos sanitarios.

<p>Resolución 1390 del 2005. Resoluciones 1684 de 2008, 1822 de 2009, 1529 de 2010. Resolución 1890 de 2011</p>	<p>Establece directrices y pautas para el cierre, clausura y restauración o transformación técnica a rellenos sanitarios y se fortalecen medidas de control sobre formas no adecuadas de disposición final.</p>
<p>Decreto 2436 de 2008</p>	<p>Promueve la regionalización de los rellenos sanitarios y determino que las autoridades ambientales, las personas prestadoras del servicio público de aseo y de la actividad complementaria de disposición final de residuos sólidos o las entidades territoriales, según el caso, no podrán imponer restricciones injustificadas para el acceso a los rellenos sanitarios y/o estaciones de transferencia de residuos sólidos.</p>
<p>Ley 388 de 1997 y sus modificaciones</p>	<p>Entre otros aspectos, establece la evaluación de la factibilidad económica, social y ambiental de un área geográfica específica para que se convierta en un predio para la disposición final en rellenos sanitarios.</p>
<p>Decreto 2820 de 2010</p>	<p>Especifica los proyectos y actividades que requieren de Licencia Ambiental y establece las competencias entre la Autoridades de orden Nacional o Regional. Establece trámites y procedimientos. Define el contenido de los estudios de evaluación de alternativas-EEA, del estudio de Impacto Ambiental-EIA y las condiciones de los Planes de Manejo Ambiental.</p>
<p>Decreto 948 de 1995 y sus modificaciones</p>	<p>Establece las normas generales en términos de protección atmosférica, incluidas las consideraciones específicas para establecer niveles de emisiones, vertidos, niveles de ruido y olores. El decreto también establece permisos de emisiones, monitoreo y mecanismos de aplicación para el control de la contaminación del aire.</p>

Decreto 1594 de 1984	Sobre la calidad de los efluentes determina las normas mínimas para los efluentes que se vierten en los cursos de agua y sirve como guía para el control del tratamiento de lixiviado y efluentes finales, si los hubiese.
Decreto 3930 de 2010 y sus modificatorios.	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones". Se establecen los lineamientos relacionados con la gestión de vertimientos, en caso que estos se presentarán, y se establecen los parámetros para la formulación de los Planes de Reversión a Tecnologías Limpias en Gestión de Vertimientos.

(Marco de gestión ambiental y social)

5.4.1. Resolución 0631 de 2015

Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

Sector: actividades asociadas con servicios y otras actividades

Artículo 14. Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas - ARnD de actividades asociadas con servicios y otras actividades.

Los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas - ARnD de las actividades de servicios y otras actividades a cumplir, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 8. Parámetros fisicoquímicos y monitoreo

PARAMETRO	UNIDADES	GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS	RECICLAJE DE MATERIALES PLÁSTICOS Y SIMILARES	RECICLAJE DE TAMBORES
Generales					
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	200,00	2.000,00	500,00	1.000,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	150,00	800,00	200,00	600,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	100,00	400,00	200,00	150,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	5,00	5,00	1,00	1,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00	50,00	20,00	20,00
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	mg/L		Análisis y Reporte		
Fenoles	mg/L	0,20	0,20	0,20	0,20
Formaldehido	mg/L			Análisis y Reporte	
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Hidrocarburos					
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	10,00	10,00	10,00	10,00
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/L		Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	mg/L		Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Compuestos Orgánicos Halogenados-Absorbibles (AOX)	mg/L		Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Compuestos de Fósforo					
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Ortofosfatos (PO ₄ ³⁻)	mg/L		Análisis y Reporte		
Compuestos de Nitrógeno					
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	mg/L		Análisis y Reporte		
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	mg/L		Análisis y Reporte		
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L		Análisis y Reporte		
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Iones					
Cianuro Total (CN ⁻)	mg/L		0,50	1,00	1,00
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	250,00	500,00		Análisis y Reporte
Sulfatos (SO)	mg/L	250,00	600,00		Análisis y Reporte
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L		Análisis y Reporte		
Metales y Metaloides					
Aluminio (Al)	mg/L		3,00		
Arsénico (As)	mg/L	0,50	0,10		0,10
Bario (Ba)	mg/L		2,00		
Berilio (Be)	mg/L		Análisis y Reporte		
Boro (B)	mg/L		Análisis y Reporte		
Cadmio (Cd)	mg/L	0,10	0,05	0,10	0,10
Cinc (Zn)	mg/L	3,00,	3,00	3,00	3,00
Cobalto (Co)	mg/L		Análisis y Reporte		
Cobre (Cu)	mg/L	1,00	1,00	1,00	1,00
Cromo (Cr)	mg/L	0,50	0,50	0,50	0,50

Estaño (Sn)	mg/L		Análisis y Reporte	2,00	2,00
Hierro (Fe)	mg/L	1,00		3,00	3,00
Litio (Li)	mg/L		Análisis y Reporte		
Manganeso (Mn)	mg/L		Análisis y Reporte		
Mercurio (Hg)	mg/L	0,005	0,01	0,02	0,02
Molibdeno (Mo)	mg/L		Análisis y Reporte		
Níquel (Ni)	mg/L	0,50	0,50	0,50	0,50
Plata (Ag)	mg/L			0,20	0,20
Plomo (Pb)	mg/L	0,50	0,20	0,20	0,20
Selenio (Se)	mg/L		0,20		
Vanadio (V)	mg/L		1,00		
Otros Parámetros para Análisis y Reporte					
Acidez Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Cálctica	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real (Medidas de absorbencia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm)	m ⁻¹	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

(MIniAmbiente, 2015)

5.5. Estado del arte

A continuación, se presentan una serie de investigaciones relacionadas con sistemas de tratamiento de lixiviados.

5.5.1. Referencias internacionales

En primera instancia podemos reseñar el trabajo de grado realizado por Jaime Andres Rodriguez Lopez, “Estudio y diseño de la planta de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Loja”. Trabajo de Grado para obtener el título de Ingeniero Civil. Ecuador: Universidad Católica de Loja. En esta publicación se hizo un diagnóstico y caracterización de los lixiviados y se realizó un estudio de alternativas en función de los resultados obtenidos de los diferentes análisis ejecutados, presentando dos alternativas de tratamiento desde el punto de vista técnico, social, ambiental y económico. (Lopez, 2014)

Otro trabajo para tener en cuenta es “Diseño de una planta de tratamiento de lixiviados para el botadero de Curgua del Cantón Guaranda provincia de Bolívar”. Trabajo de Grado Ingeniería Química. Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de ciencias, Escuela de ingeniería química. Elaborado por Nelly Marisol Tibanlombo Chisag, en el cual se realizaron las pruebas de caracterización físico-químicas y microbiológicas del lixiviado, a partir de estos análisis se diseñó la planta de tratamiento de lixiviados con procesos y operaciones unitarias. (Tibanlombo, 2014)

De igual forma se tuvo en cuenta el trabajo de Oscar Primo Martínez, sobre mejoras en el tratamiento de lixiviados de vertedero de RSU mediante procesos de oxidación avanzada. Trabajo para optar el título de doctor en la universidad de Cantabria, escuela técnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicaciones, departamento de ingeniería química y química inorgánica, en donde se hace un análisis del tratamiento de 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. (Martínez, Septiembre de 2008)

Es importante reseñar el estudio de Rosa Bermúdez, Suyén Rodríguez, Mirna Martínez y Adis Terry, sobre las ventajas del empleo de reactores UASB en el tratamiento de líquidos residuales para la obtención de biogás del Centro de Estudios de Biotecnología Industrial, Universidad de Oriente, en donde se emplearon prototipos de laboratorios de reactores UASB, desarrollando estudios de selección de inóculos, adaptación del mismo y seguimiento de estrategias de tratamiento, con el fin de poder seleccionar las mejores condiciones para una mayor producción de biogás, lo que se corresponde con una mejor descontaminación. (Rodríguez, Martínez, & Terry, 2015)

5.5.2. Referencias Nacionales

También se tiene en cuenta el trabajo de Eugenio Giraldo sobre avances recientes en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios, de la Universidad de los Andes, en donde se hace una presentación de las principales características de los lixiviados desde el punto de vista del tratamiento que se pretende hacer, luego se hace una presentación crítica de las tecnologías que se han desarrollado recientemente para el tratamiento de los lixiviados de rellenos sanitarios. (Giraldo E.)

Además, se encuentran trabajos como el de Mironel De Jesús Corena Luna, sobre sistemas de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios, de la universidad de Sucre, en esta publicación se describió y estudió 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. (Corena, 2008)

También se tiene en cuenta el trabajo de Alejandra María Ipuz González y María Angélica Reyes Cárdenas, “Diseño, construcción y arranque de un Reactor Anaerobio de flujo a Pistón (RAP) con guadua como medio de soporte, para el tratamiento de agua residual doméstica de un campamento

de trabajadores de una piscícola”, de la universidad de la Salle, en el cual se construyó un sistema de tratamiento compuesto por una canastilla para la retención de sólidos gruesos, un sedimentador con la función de remover grasas y sólidos sedimentables, un Reactor Anaerobio de flujo a Pistón (RAP) con guadua como medio de soporte para la remoción de materia orgánica, y un sedimentador secundario para retener los sólidos provenientes del tratamiento biológico, con el fin de mejorar la calidad de los vertimientos de agua residual doméstica realizados a la represa de Betania por Coolfish, una agroindustria del sector piscícola. (Ipuz & Reyes, 2015)

Otro trabajo para tener en cuenta es el de Francisco Caicedo y Juan Molina, “Remoción de materia orgánica de lixiviados del relleno sanitario La Esmeralda por medio de un reactor U.A.S.B”, de la Universidad Nacional de Colombia- Sede Manizales, Facultad de ingenierías y arquitectura, departamento de ingeniería química. En este trabajo se investiga la aplicación de la tecnología U.A.S.B para la remoción de materia orgánica de los lixiviados provenientes del relleno sanitario La Esmeralda. (Caicedo & Molina, Noviembre de 2003)

Se tiene en cuenta el estudio de Haiber Fabián Cubillos de la universidad de la Salle, Facultad de ingeniería ambiental y sanitaria, “Puesta en marcha y evaluación de un reactor anaerobio de flujo a pistón para el manejo de lixiviados del relleno sanitario de Villavicencio “Don Juanito””, en donde se evalúa el comportamiento de un reactor anaerobio de flujo a pistón (RAP), para el tratamiento de los lixiviados del relleno sanitario Don Juanito de la ciudad de Villavicencio. (Cubillos, 2006)

5.5.2.1. Referencias regionales

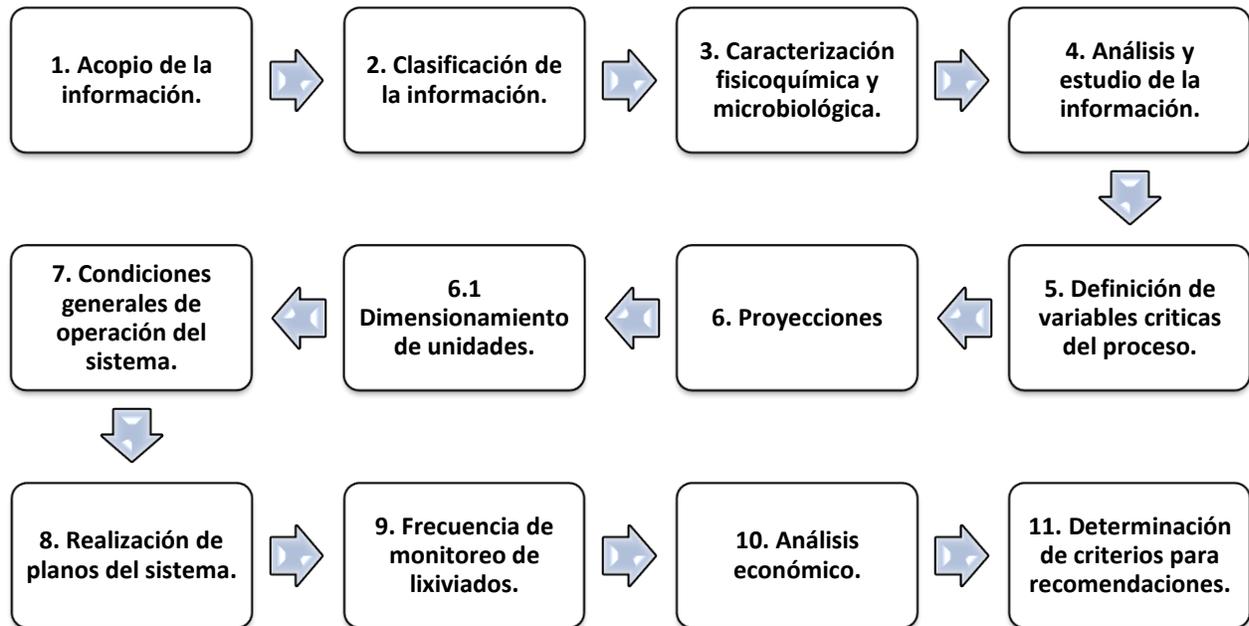
En el municipio de Santander se encuentran estudios como el de Diana Jaimes y María Pico sobre el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales y de producción evaluando las diferentes alternativas nacionales y extranjeras. Trabajo para obtener el título de ingenieras de petróleo, en la universidad industrial de Santander, con el fin de darle un tratamiento optimo a el agua residual producto del campo Colorado. (Jaimes & Pico, 2009)

Otro estudio que se tiene en cuenta es el de Oscar Guarín Villamizar y Sandra Milena Gómez de la universidad de Santander UDES, sobre la caracterización e implementación de un método fisicoquímico para el tratamiento del lixiviado proveniente del relleno sanitario el carrasco. En este trabajo se presenta una alternativa viable y de alta eficiencia, planteando un tratamiento físico-químico para el lixiviado proveniente del sitio de disposición final de residuos sólidos Los resultados a escala de laboratorio muestran que es posible mitigar el impacto ambiental negativo de este líquido percolado para los recursos hídricos cercanos. (Villamizar & Gómez, 2013)

En fin, se encuentran diferentes trabajos relacionados con el tema de interés, en donde se observa que el conocimiento de las variables y parámetros de diseño son los puntos más importantes a tratar, los trabajos encontrados y estudiados se enfatizan en el diseño de sistemas para el tratamiento de lixiviados, el cual es nuestro objetivo.

6. Metodología

La metodología empleada para el cumplimiento de los objetivos propuestos en el presente proyecto, se desarrolló en las etapas que se describen a continuación.



- Se realizaron visitas a la planta de residuos sólidos, en donde se evaluaron los procedimientos realizados en este lugar, el estado de las maquinas que intervienen en los procesos de picado, compactación y aglutinamiento, la cantidad de residuos sólidos procesados en el mes, el área de disposición final de residuos y el sistema de recolección. Esto se hizo con el fin de dar cumplimiento a el objetivo de Realizar un diagnóstico técnico preliminar del estado actual de la planta de residuos sólidos del municipio de El Playón, que permita Identificar los principales contaminantes en los lixiviados.
- Se recolectaron tres muestras de lixiviado en botellas de vidrio, en la planta de residuos sólidos, cada una de estas muestras se refrigeraron y se enumeraron, para su posterior

traslado a la ciudad de pamplona, con el fin de evaluar la variación en la composición de los lixiviados, comparando la caracterización actual con las realizadas con anterioridad.

- La caracterización del lixiviado se llevó a cabo analizando los siguientes parámetros:

Tabla 9. Parámetros caracterizados

INDICADOR	MÉTODO
PH	Electrométrico
Oxígeno Disuelto	Electrométrico
Conductividad	Electrométrico
Dureza	EDTA volumétrico
Alcalinidad	Volumétrico
Acidez	Volumétrico
Cloruros	Volumétricos
Nitritos	Espectrofotometría
Sulfatos	Espectrofotometría
Fosfatos	Espectrofotometría
DQO	Directo
DBO ₅	Oxidación con dicromato
Plomo	Espectrofotometría de abs atómica
Cadmio	Espectrofotometría de abs atómica
Cobre	Espectrofotometría de abs atómica
Hierro	Espectrofotometría de abs atómica

Zinc	Espectrofotometría de abs atómica
------	-----------------------------------

También se evaluaron los siguientes parámetros microbiológicos:

- Coliformes totales
- Coliformes Fecales

Para el diseño del sistema de tratamiento de lixiviados se realizaron las siguientes proyecciones:

- Población futura del casco urbano del playón Santander, esta proyección se llevó a cabo utilizando el método aritmético y geométrico.
- La producción total de residuos.
- La producción de lixiviado a 20 años.

Se ejecutaron los cálculos para el dimensionamiento del sistema de tratamiento de lixiviados, teniendo en cuenta:

- ✓ Una revisión de la documentación existente sobre criterios de diseño aplicables utilizando la metodología establecida en el Título E del RAS 2000 y el Título F del RAS 2015.
- ✓ Los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del lixiviado.
- ✓ La producción diaria de residuos sólidos a disponer
- ✓ El método de disposición final a utilizar
- ✓ la capacidad de campo del relleno sanitario
- ✓ El caudal máximo de lixiviado

- ✓ Las características físicas del lugar y las posibilidades económicas del municipio para la adquisición de una tecnología.
- Después de recopilar los datos necesarios para elegir un tratamiento adecuado se procedió a realizar el dimensionamiento de los equipos que intervienen en el proceso, utilizando formulas y parámetros establecidos en el Titulo E del RAS 2000.
- Se realizaron dos planos del sistema:
 - 1.Plano del sistema con dimensiones reales realizado en AUTOCAD.
 - 2.Plano PFD del sistema diseñado.
- Se estipuló una frecuencia de monitoreo establecida en el titulo F de RAS 2015.
- Se realizó un análisis económico de cada una de las unidades que intervienen en el sistema de tratamiento.

7. Resultados y análisis

A continuación, se muestran los resultados correspondientes de la metodología descrita anteriormente.

7.1. Diagnostico técnico preliminar del estado actual de la planta de residuos sólidos del municipio del Playón-Santander

El municipio de El Playón maneja los residuos sólidos a través de la Alcaldía, por medio de la Oficina de Servicios Públicos. El Playón cuenta con una población total de 6.285 habitantes en el casco urbano que generan mensualmente 132,6 toneladas de residuos sólidos, por lo tanto, se estima que se genera 0,7035 kg/habitante-día en promedio.



Figura 7. Vista externa de la planta de aprovechamiento

(Autor)

En la figura anterior se observa la vista externa de la planta de aprovechamiento que cuenta con área de clasificación y disposición de residuos sólidos para realizar los procesos de reciclaje en residuos inorgánicos y compostaje de residuo orgánico.

Dentro del municipio se tienen establecidas dos rutas que atiende 1.401 usuarios, la recolección se efectúa de la siguiente manera; la ruta uno (1) es realizada por la volqueta municipal y la ruta dos (2) es realizada por una turbo de propiedad particular. No se cuenta con vehículo propio para la recolección de los residuos sólidos del municipio.

7.1.1. Clasificación de residuos reciclables

Una vez los residuos reciclables son llevados a la planta son clasificados manualmente por el personal encargado para el proceso de reciclaje.

En las figuras 8 y 9 se exponen los materiales y la compresión de los mismos en la maquina compactadora.



Figura 8. Áreas de clasificación de residuos (Autor)



Figura 9. Máquina compactadora. (Autor)

La cantidad de residuos aprovechables son mostrados en la tabla 10, donde se evidencia mayor acumulación de vidrio y cartón.

Tabla 10. Cantidad de residuos aprovechables por tipo de material.

Residuos aprovechables	
Tipo de residuo	Peso (Ton/mes)
Archivo	0,5905
Cartón	1,7277
Pliega	0,1125
Pasta gruesa	0,3797
Pasta color	0,2327
Vidrio	1,0452

Gaseoso	0,4265
Periódico	0,0963
Canastilla	0,0025
Pasta silla	0,0105
Chatarra	0,1527
Aluminio	0
Total	4,7652

Fuente: [Autor]

Los residuos como el caucho y los plásticos gruesos son llevados a la aglutinadora, ésta máquina derrite y aglutina los polímeros de alta densidad por medio del centrifugado y el calor, el resultado se usa para la fabricación de mangueras de acueductos rurales entre otros. Ésta máquina actualmente no está en funcionamiento, debido a que no se cuenta con el personal calificado para su operación.

7.1.2. Residuos orgánicos

La materia orgánica en general es llevada al área de picado donde una maquina con banda transportadora pica los residuos y homogeniza la mezcla como se observa en la figura 10, esto se hace para acelerar la deshidratación y descomposición de la biomasa, la cual es llevada a un espacio donde se extiende para que inicialmente se seque al aire libre. Allí la materia orgánica es dejada aproximadamente 15 días para su posterior compostaje.



Figura 10. *Maquina picadora y espacio de secado*

(Autor)

En la tabla 11 se puede observar la cantidad de residuos que producen los habitantes del Playón Santander.

Tabla 11. *Cantidad de residuos (Autor)*

Tipo de residuo	Mes (Ton)	Día (Ton)	Ppc (Kg)
Orgánico	79,586	2,6529	0,4221
aprovechable	33,1608	1,1053	0,1759
inerte	19,8965	0,6632	0,1055
Total	132,6433	4,4214	0,7035

La materia orgánica parcialmente descompuesta es transportada en carretas a la sección de compostaje mostrada en la figura 11, en donde se colocan tubos para la liberación de gases, y los lixiviados son drenados a un tanque plástico. Este proceso toma alrededor de 15 días y se tiene que aplicar volteo con pala cada 3 a 5 días.



Figura 11. Área de disposición final.

(Autor)

Finalmente, la biomasa descompuesta es llevada a tamizar a la maquina cernidora donde se obtiene abono orgánico usado en cultivos agrícolas. Los residuos grandes que permanecen en el tamiz son llevados nuevamente al proceso de picado y secado al aire libre.

No se tiene un pesaje puntual de la cantidad de biomasa que llega a la planta mensualmente, ya que está sujeta a variaciones según el consumo mensual de los habitantes de El playón, se estima que aproximadamente se recogen 79 ton/mes de materia orgánica fresca, de las cuales el 40% se convierte en abono orgánico, es decir, 31, 6 ton/mes debido a que el peso restante es humedad.

7.1.3. Residuos sólidos especiales

El municipio de El Playón no cuenta con un programa de residuos sólidos especiales. Los pocos residuos generados de tipo especial son llevados al relleno sanitario El Carrasco de la ciudad de Bucaramanga.

7.1.4. Residuos de demolición y construcción

El municipio de El Playón no cuenta con un sistema de gestión de residuos sólidos de demolición y construcción (RCD), estos residuos son manejados de manera independiente por el usuario que los genera.

7.1.5. Gestión de residuos en el área rural

La Secretaria de Servicios Públicos del municipio El Playón realiza la recolección de los residuos inertes y reciclables en el área rural los días martes y jueves cada 15 días; en los cuales se realiza dicha recolección en los centros poblados de: Barrio Nuevo, SENA, El Pino, Betania, San Pedro y la Tigra.

7.2. Evaluación del comportamiento de la composición de la materia orgánica e inorgánica.

El lixiviado posee una composición muy variable y en efecto no es apropiado generalizar en los tratamientos para su manejo, se requiere de un estudio individual y un tratamiento específico de acuerdo a sus características. Para obtener un panorama más amplio del comportamiento y la composición de la materia orgánica e inorgánica del lixiviado se llevó a cabo una caracterización fisicoquímica y microbiológica.

7.2.1. Análisis fisicoquímico y microbiológico

Para esta caracterización se tomaron 3 muestras de lixiviado los días lunes o viernes que son los días de recolección de residuos orgánicos en el municipio, la recolección se realizó en estos días, debido a que actualmente en la planta el lixiviado no posee ningún tipo de tratamiento y su disposición final es en el relleno sanitario el carrasco de la ciudad de Bucaramanga.

Las tres muestras se recolectaron en las horas de la tarde, en botellas de vidrio con capacidad de 2 litros, selladas y numeradas, posteriormente se refrigeraron y se transportaron al laboratorio de control de calidad de la universidad de Pamplona para realizarles sus respectivos análisis.

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados se describen en las tablas 12, 13 y 14.



Figura 12. Análisis de muestras en el laboratorio [Autor]

Tabla 12. Caracterización Fisicoquímica del lixiviado. (Autor)

Parámetros	Unidades	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Valores permisibles Según resolución 0631 de 2015	Cumple/ No cumple
PH		4,51	4,18	4,69	6-9	No
Oxígeno Disuelto	mg/L	5,5	5,18	5,3	>4	Si
Conductividad	ms/cm	2,22	2,10	2,12	3,5	Si
Dureza	mg/L	18000	16200	17400	Análisis y reporte	----
Alcalinidad	mg/L	14000	13500	13700	Análisis y reporte	-----
Acidez	mg/L	8100	6750	7800	Análisis y reporte	-----
Cloruros	mg/L	675	621	684	500	No
Nitritos	mg/L	2,583	3,357	3,825	Análisis y reporte	-----
Sulfatos	mg/L	819	864	873	600	No
Fosfatos	mg/L	913,5	982,8	803,7	Análisis y reporte	-----
DQO	mg/L	16540	13804	18790	2000	No
DBO ₅	mg/L	10140	8450	11460	800	No
DBO ₅ / DQO		0,6131	0,6121	0,6098		

Tabla 13. Análisis de metales en el lixiviado (Autor)

Metales pesados					
Parámetros	Unidad	Resultado	Resultado	Valores Permisibles	Cumple/ No cumple
Plomo	mg/L	0,2422	0,2736	0,2	No
Cadmio	mg/L	ND	ND	0,05	Si
Cobre	mg/L	0,7305	0,7312	1	Si
Hierro	mg/L	24,138	24,027	-----	-----
Zinc	mg/L	0,585	0,581	3	Si

En los análisis fisicoquímicos se identificó que el pH, cloruros, sulfatos, DQO, DBO₅ y plomo no cumplen con los máximos permisibles según la Resolución 0631 del 17 de marzo del 2015 “Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a sistemas de alcantarillado público, y se dictan otras disposiciones” del Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Según lo anterior, es necesario diseñar un sistema para el tratamiento de lixiviados, para la remoción de la materia orgánica e inorgánica.

La calidad de los lixiviados varía según el tiempo, temperatura, humedad y composición del residuo; en la planta de residuos sólidos de El Playón, no se cuenta con un pretratamiento de lixiviados, de esta manera las muestras analizadas son de un lixiviado altamente contaminado, denominado lixiviado joven.

La relación DBO / DQO para un lixiviado joven es alta, lo que indica una buena biodegradabilidad, mientras que para un lixiviado viejo es baja, indicando una pobre biodegradabilidad de la materia orgánica. (Giraldo E. , 2001)

Diferentes estudios indican que los procesos biológicos son los tratamientos propios para lixiviados jóvenes, cuya relación de demanda bioquímica de Oxígeno y demanda química de Oxígeno (DBO5/DQO) es mayor a 0,4, Con lo anterior se puede afirmar que el lixiviado analizado posee una alta biodegradabilidad ya que la relación DBO / DQO es de aproximadamente 0,6, lo que indica se optará por un tratamiento biológico aerobio o anaerobio.

El pH bajo en estas muestras interfiere directamente con el funcionamiento de numerosas tecnologías, por ejemplo, la volatilización del amoníaco, para la cual se requieren pH básicos, o con algunos procesos biológicos como la nitrificación, o químicos como la oxidación del hierro.

Tabla 14. Análisis microbiológico.

Análisis Microbiológico			
Parámetros	Unidad	muestra	Valores permisibles
Coliformes Totales	NMP de coliformes totales/100 mL	24000	-----
Coliformes Fecales	NMP de coliformes fecales/100 mL	16000	-----

(Lab de control de calidad universidad de pamplona)

De los análisis microbiológicos depende la relación entre calidad y salud humana, ya que están directamente relacionados con el concepto de microbiología, lo que quiere decir que se debe tener en cuenta la presencia de organismos microscópicos en el agua, los efectos que causan en las distintas especies acuáticas y en el medio ambiente en general, de esto depende la posibilidad de aplicar tecnologías de desinfección a la hora de realizar los diferentes procesos.

Debido a que en la resolución 0631 de 2015 no se tienen fijados los parámetros microbiológicos, no se opta por una unidad de desinfección en el sistema.

7.3. Prueba de jarras



Figura 13. Prueba de jarras

(Autor)

Se realizó la prueba de jarras a una muestra de lixiviado utilizando sulfato de aluminio al 1% como coagulante, se llevó al turbidímetro durante 1 minuto a 100 rpm, posteriormente se redujo la velocidad a 30 rpm y luego se dejó 20 minutos sin agitación para permitir la sedimentación de los flocs, arrojando los siguientes resultados:

Tabla 15. Dosificación de la prueba de Jarras

JARRA	Dosis $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mL)	pH	NTU
1	1	4,65	2988
2	2	4,67	1810
3	4	4,73	1548
4	6	4,77	1188

5	8	4,82	1080
6	10	4,9	850

En el test de jarras se observó que a medida que aumentaba la dosis del coagulante, disminuían los niveles de turbidez del lixiviado y aumentaba el PH de la muestra, lo que es un modelo favorable en el tratamiento que se va a realizar. En los resultados no se disminuyó potencialmente el material suspendido en el lixiviado, pero se evidenció que causa una reducción propicia, teniendo en cuenta que a esta muestra de lixiviado no se le aplica ningún tipo de tratamiento previo.

Tabla 16. Dosis optima de Cal

Prueba de Jarras				
Parámetro	Resultados obtenidos		unidades	Valores de referencia
	Iniciales	Finales		
PH	4,2	7,1	Unidades de pH	6,5-9,0
Dosis adicionadas: 8,6 kg/m ³				

Se realizó una última prueba de jarras para elegir la dosis optima de cal en la etapa de neutralización, como se observa en los resultados de la tabla 16, reportando como dosis optima 8,6 kg/m³.

7.4. Diseño del sistema de tratamiento de lixiviados procedentes de la planta de residuos sólidos El Resodo

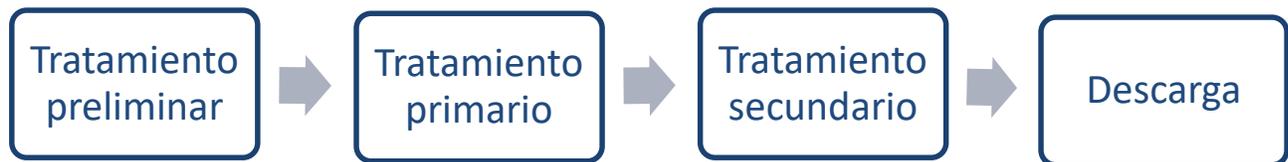
Este proyecto tiene como propósito el diseño de un sistema de tratamiento de lixiviados, procedentes de la planta de residuos sólidos el Resodo de El Playón Santander, con el fin de contribuir con la gestión ambiental del municipio y mejorar la calidad de vida de los Playoneros;

cumpliendo con los estándares que exigen las normas del marco legal colombiano del proceso actual.

7.4.1. Generalidades

Los lixiviados se producen por la disolución de uno o más compuestos de los residuos sólidos, en contacto con un disolvente líquido o por la propia dinámica de descomposición de los residuos. Contienen una gran cantidad de sólidos en suspensión y materia orgánica altamente contaminante. Su generación está directamente relacionada con las condiciones climatológicas, propiedades del suelo, humedad de los residuos y la metodología de trabajo en la planta de residuos.

Para el diseño del sistema de tratamiento de lixiviados se tendrán en cuenta las siguientes etapas:



7.4.2. Parámetros de diseño

A continuación, se definen los parámetros de diseño que se tuvieron en cuenta para desarrollo del diseño del sistema de tratamiento de lixiviados.

7.4.2.1. Estimación de la población

Se realizó una proyección de la población futura del casco urbano del playón Santander, esta proyección se llevó a cabo utilizando el método aritmético y geométrico, de acuerdo a lo establecido en el numeral F1.4.1.2 del RAS 2000

Tabla 18. Datos poblacionales DANE

DATOS POBLACIONALES DEL CENSO DANE	
AÑO	POBLACIÓN
1993	4821
2005	5498

Tabla 17. Crecimiento poblacional

AÑO	METODO ARITMETICO	METODO GEOMETRICO	PROMEDIO
P(2018)	6231	6339	6285
P(2019)	6288	6409	6348
P(2020)	6344	6479	6412
P(2021)	6401	6551	6476
P(2022)	6457	6623	6540
P(2023)	6514	6696	6605
P(2024)	6570	6770	6670
P(2025)	6626	6844	6735
P(2026)	6683	6919	6801
P(2027)	6739	6996	6867
P(2028)	6796	7073	6934
P(2029)	6852	7151	7001
P(2030)	6908	7229	7069
P(2031)	6965	7309	7137
P(2032)	7021	7389	7205
P(2033)	7078	7471	7274
P(2034)	7134	7553	7343
P(2035)	7191	7636	7413
P(2036)	7247	7720	7484
P(2037)	7303	7805	7554
P(2038)	7360	7891	7625

Se calculó la proyección de la población futura a 20 años, con base en los estudios definidos en el capítulo 6 del RAS 2015 según el Literal F.6.6.3.1, como se evidencia en la tabla 17.

7.4.2.2. *Proyección de la producción total de residuos sólidos*

Se calculó la producción per-cápita mediante la siguiente fórmula:

$$Ppc = \frac{\text{Peso diario de residuos kg}}{\text{Numero de habitantes}}$$

Tabla 19. Producción de residuos

Tipo de residuo	Mes (Ton)	Día (Ton)	Ppc (Kg)
Orgánico	79,586	2,6529	0,4221
aprovechable	33,1608	1,1053	0,1759
inerte	19,8965	0,6632	0,1055
Total	132,6433	4,4214	0,7035

Se estima que la producción per cápita aumentará en 1% anual.

Tabla 20. Proyección de la producción de residuos

Año	Población	Ppc	Producción de residuos sólidos kg/día	Producción de residuos sólidos Ton/año
P(2018)	6285	0,7035	4421,6811	1613,9136
P(2019)	6348	0,7105	4510,7373	1646,4191
P(2020)	6412	0,7176	4601,4082	1679,5140
P(2021)	6476	0,7248	4693,7229	1713,2089
P(2022)	6540	0,7321	4787,7114	1747,5147
P(2023)	6605	0,7394	4883,4038	1782,4424
P(2024)	6670	0,7468	4980,8311	1818,0034
P(2025)	6735	0,7542	5080,0248	1854,2090

P(2026)	6801	0,7618	5181,0168	1891,0711
P(2027)	6867	0,7694	5283,8398	1928,6015
P(2028)	6934	0,7771	5388,5272	1966,8124
P(2029)	7001	0,7849	5495,1127	2005,7161
P(2030)	7069	0,7927	5603,6309	2045,3253
P(2031)	7137	0,8006	5714,1170	2085,6527
P(2032)	7205	0,8087	5826,6068	2126,7115
P(2033)	7274	0,8167	5941,1369	2168,5150
P(2034)	7343	0,8249	6057,7443	2211,0767
P(2035)	7413	0,8332	6176,4671	2254,4105
P(2036)	7484	0,8415	6297,3438	2298,5305
P(2037)	7554	0,8499	6420,4138	2343,4510
P(2038)	7625	0,8584	6545,7172	2389,1868

7.4.2.3. Cálculo de la generación del lixiviado

Para determinar el volumen de lixiviado producido, se tiene en cuenta que en la planta de residuos sólidos se almacena el lixiviado en un tanque en el cual se recolectan 10 mil litros mensuales, como se observa en la figura 14.



Figura 14. *Recolección de lixiviados*

(Autor)

7.4.2.4. **Estimación de la generación de lixiviado**

En la siguiente tabla se observa la estimación de la producción de lixiviado en L/h, de acuerdo a los datos anteriormente descritos.

Tabla 21. *Estimación de la generación de lixiviado*

Año	Población	Producción de residuos sólidos kg/día	Producción de lixiviado, volumen L/h
P(2018)	6285	4421,6811	13,88888889
P(2019)	6348	4510,7373	14,1686221
P(2020)	6412	4601,4082	14,45342723
P(2021)	6476	4693,7229	14,74339605
P(2022)	6540	4787,7114	15,03862203
P(2023)	6605	4883,4038	15,33920038
P(2024)	6670	4980,8311	15,64522811
P(2025)	6735	5080,0248	15,95680404

P(2026)	6801	5181,0168	16,27402884
P(2027)	6867	5283,8398	16,59700507
P(2028)	6934	5388,5272	16,9258372
P(2029)	7001	5495,1127	17,26063169
P(2030)	7069	5603,6309	17,60149696
P(2031)	7137	5714,1170	17,94854352
P(2032)	7205	5826,6068	18,30188391
P(2033)	7274	5941,1369	18,66163282
P(2034)	7343	6057,7443	19,02790709
P(2035)	7413	6176,4671	19,40082576
P(2036)	7484	6297,3438	19,78051013
P(2037)	7554	6420,4138	20,16708377
P(2038)	7625	6545,7172	20,5606726

7.5. Diseño Conceptual

Para el sistema del tratamiento de lixiviados se diseñaron:

7.5.1. Rejillas

Es la primera operación unitaria obligada en el tratamiento de lixiviados, reduce los sólidos en suspensión de distintos tamaños que trae consigo el influente y evita la obstrucción de los conductos.

Las rejillas son diseñadas para remover sólidos gruesos en suspensión, como cuerpos flotantes.

Para el diseño del tratamiento de lixiviados se eligió un tipo de rejilla de limpieza manual, debido a que estas son utilizadas en instalaciones pequeñas y para retirar materiales gruesos.

Por recomendación del RAS se eligió un espaciamiento entre barras de 30 mm y para garantizar un área de acumulación adecuada, la velocidad de aproximación a las rejillas es de 0,3 m/s y una velocidad entre barras de 0.6 m/s

7.5.1.1. Dimensionamiento

Área de la rejilla:

$$\frac{Q_{max}}{V_{max}} = \frac{0,08}{0,6} = 0,13 \text{ m}^2$$

- Largo: 0,5 m
- Ancho: 0,26 m
- Espesor: 0,03
- Espaciamiento entre barras: 0,03 m
- Ángulo de inclinación de respecto a la horizontal: 45 °

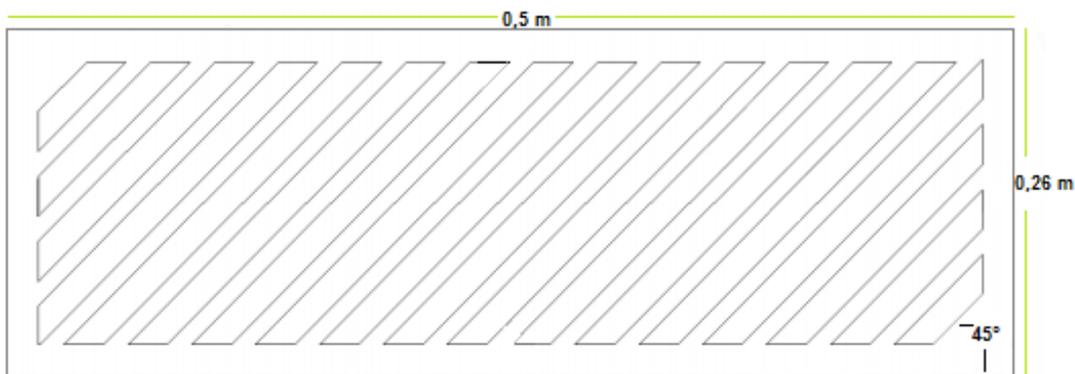


Figura 15. Rejillas

[Autor]

7.5.2. Tanque de almacenamiento

El objeto de este tratamiento es básicamente la remoción de los sólidos suspendidos y DBO en las aguas residuales, mediante el proceso físico de asentamiento en tanques. (MinDesarrollo, RAS 2000)

Se escogió un tanque de almacenamiento y sedimentación para eliminar los sólidos fácilmente sedimentables, material flotante y controlar el caudal de entrada al reactor.

7.5.2.1. Volumen del tanque de almacenamiento

En el tanque se almacenará un volumen de 2500 L, para posteriormente controlar el caudal de entrada al reactor.

$$V = 2,5 \text{ m}^3$$

Donde:

V = Volumen sedimentador (m^3)

7.5.2.2. Área del tanque de almacenamiento

Para el área del tanque se estimó que el caudal de salida de este sería de $2 \text{ m}^3/\text{h}$

$$As = \frac{Q}{So}$$

$$As = \frac{2 * 24}{33} = 1,45 \text{ m}^2$$

So: Tasa de sobre flujo (m/s)

Q: Caudal

As: Área superficial m^2

Para caudal medio utilizar una tasa de sobre flujo de $33 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{dia}$ Titulo E del RAS 2000

7.5.2.3. *Dimensionamiento del tanque*

Se tomó la relación longitud: ancho equivalente a 2:1, teniendo en cuenta el rango para tanques sedimentadores rectangulares expresado en el RAS Título E.4.5.1.1.

- Ancho

$$W = \sqrt{\frac{A}{2}} = \sqrt{\frac{1,45}{2}} = 0,9 \text{ m}$$

Donde:

W= Ancho (m)

- Largo

$$L = W * 2 = 0,9\text{m} * 2 = 1,8\text{m}$$

7.5.2.4. *Altura efectiva del tanque*

$$He = \frac{V}{A}$$

$$He = \frac{2,5\text{m}^3}{1,45\text{m}^2} = 1,72 \text{ m}$$

Donde:

He= Altura efectiva del tanque de almacenamiento (m)

7.5.2.5. *Altura Total del tanque de almacenamiento*

$$H = He + Bl$$

$$H = 1,72 \text{ m} + 0,30\text{m} = 2 \text{ m}$$

Donde:

H= Altura Total del sedimentador (m)

Bl= Borde libre (m)

7.5.3. Diseño del vertedero triangular

Se eligió un vertedero triangular porque el caudal utilizado para la entrada del reactor no es muy grande.

El uso de canaleta Parshall es únicamente para plantas de medianas a grandes. Otro sistema utilizado es el canal con cambio de pendiente, este se adecúa a cualquier rango de caudal, los vertederos rectangulares y triangulares son apropiados en caudales pequeños; el último, preferiblemente a caudales menores de 30 L/s.

En la unidad de mezcla, la aplicación del coagulante debe ser constante y distribuirse de manera uniforme en toda la sección. Por esto en este sistema se usa un vertedero triangular, para que exista una fuerte turbulencia y mezcla del coagulante y masa de agua se dé en forma instantánea. La mezcla rápida puede realizarse aprovechando la turbulencia provocada por dispositivos hidráulicos o mecánicos. (Mezcladores)

Para neutralizar el pH del lixiviado antes de entrar al reactor, se utiliza un vertedero triangular ya que esta unidad se usa para descargas pequeñas, en donde se debe cuidar que la cabeza (H) mínima sea de 6 cm y la máxima de 60 cm, según lo establecido en la guía de monitoreo de vertimientos IDEAM.

7.5.3.1. Cabeza y borde libre del vertedero

$$h = 0,06m$$

$$\frac{h}{p} = 0,2$$

$$p = 0,3 m$$

Borde libre del vertedero= 0,2 m

7.5.3.2. Altura total del vertedero

$$AltV = p + h + bl$$

$$AltV = 0,56 m$$

7.5.3.3. Ancho del vertedero

$$\frac{h}{B} = 0,1$$

$$B = 0,6 m$$

7.5.3.4. Longitud

$$l = 0,6 * 2 = 1,2 m$$

7.5.3.5. Abertura y Angulo

Para un vertedero contraído parcialmente se utiliza un ángulo θ de 90°

Abertura del vertedero = 0,3m

Bordes libres de abertura= 0,15m

Para aguas con bajo nivel de alcalinidad, se recomienda aumentar el pH añadiendo hidróxido de calcio (Ca(OH)_2). (MinDesarrollo, RAS 2000)

Para aumentar el pH del lixiviado antes de la entrada al reactor U.A.S.B se suministrará una dosis de Ca(OH)_2 de $8,6 \text{ kg/m}^3$ para llevar el pH de 4,2 a 7,1 debido a que cuando hay valores de pH menores a 6,2 la población bacteriana metanogénica disminuye. Esta concentración de Ca(OH)_2 se tomó gracias a los estudios realizados a una prueba de lixiviado.

7.5.4. Diseño del Reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB).

Analizando las caracterizaciones obtenidas y teniendo en cuenta nuestro objetivo sobre el tratamiento de lixiviados, se procede a diseño de un tratamiento lixiviados empleando un reactor UASB.

Los reactores del tipo UASB presentan una serie de ventajas sobre los sistemas aerobios convencionales, la inversión principalmente es menor (costos de implantación y manutención), menor producción de lodos excedentes, consumo bajo de energía eléctrica y simplicidad del funcionamiento. (Rodríguez, Martínez, & Terry, 2015)

Para el diseño del reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB) se utilizó un caudal de $2 \text{ m}^3/\text{h}$.

7.5.4.1. Tiempo de retención hidráulico del reactor

Se debe fijar un TRH, que garantice la hidrólisis, la acetogénesis y la metanogénesis, por lo anterior se tiene en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 22. Tiempos de retención en función de la temperatura en reactores UASB.

Rango de Temperatura	Valores de TRH (horas)		
	Promedio diario	Máximo durante 4-6 horas	Pico aceptable durante 2-6
16-19	>10-14	>7-9	>3-5
22-26	>7-9	>5-7	>3
> 26	>6	>4	>2.5

(MinDesarrollo, RAS 2000)

Teniendo en cuenta los datos de la tabla 22, se calcularon los parámetros para la operación del reactor UASB, a una temperatura de operación 25° C por ende un tiempo de retención hidráulica (TRH) promedio de 8 horas.

7.5.4.2. Dimensiones del reactor UASB

Para el dimensionamiento del reactor hay dos opciones a tener en cuenta: cúbico (rectangular) o cilíndrico. La elección de la forma depende de factores como costo, tamaño, disponibilidad local del inóculo y de materiales, experiencias anteriores, espacio físico disponible, etc.

Los reactores pequeños, de hasta aproximadamente 300 m³, pueden ser cilíndricos. Para volúmenes que exceden este valor, los reactores cilíndricos son menos atractivos económicamente. Los reactores más grandes son generalmente rectangulares por razones de facilidad de construcción.

Para el diseño del reactor U.A.S.B. se puede optar por hacerse en forma rectangular o cilíndrica. Se eligió la forma cilíndrica, ya que esta ofrece ventajas hidrodinámicas como:

- Menor posibilidad de formación de zonas muertas, además del tamaño, volumen, carga y caudal que se propuso manejar.

7.5.4.2.1. Carga Orgánica

Para determinar la carga orgánica se utilizó la DQO promedio obtenida de la caracterización, menos el porcentaje de remoción en la etapa de sedimentación en el tanque de almacenamiento que cita la tabla E.4.2 del RAS 2000.

Tabla 23. Eficiencias típicas de remoción

Unidades de tratamiento	DBO	DQO
Rejillas	desp.	desp.
Desarenadores	0-5	0-5
Sedimentación primaria	30-40	30-40
Lodos activados (convencional)	80-95	80-95
Filtros percoladores	65-80	60-80
Alta tasa, roca	65-85	65-85
Súper tasa, plástico		
Cloración	desp.	desp.
Reactores UASB	65-80	60-80
Reactores RAP	65-80	60-80
Filtros anaerobios	65-80	60-80

(MinDesarrollo, RAS 2000)

$$L = Q * DQO$$

L= Carga Orgánica (Kg DQO/día)

Q= Caudal medio promedio (m^3/h), obtenido del muestreo inicial

DQO = DQO promedio (mg/L), obtenida de la caracterización inicial, menos el 30% de remoción en la etapa inicial.

$$L = 2 \frac{m^3}{h} * 16378 \frac{mgDQO}{L} * \frac{1000L}{1m^3} * \frac{24h}{1d} * \frac{1 Kg}{1 * 10^6 mg} = 786,144 \frac{Kg DQO}{día}$$

Menos el 30% de la remoción inicial.

$$L = 550,3 \frac{Kg DQO}{día}$$

7.5.4.2.2. Carga orgánica volumétrica

Para la carga orgánica volumétrica se tiene en cuenta el tiempo de retención hidráulico en el reactor.

COV= Carga Orgánica (Kg DQO/ m^3 día)

Q= Caudal medio promedio (m^3/h), obtenido del muestreo inicial

V= Volumen del reactor

$$COV = \frac{DQO * Q}{V}$$

$$COV = 11,5 \frac{Kg DQO}{m^3 día}$$

7.5.4.2.3. Carga orgánica superficial

COS= Carga Orgánica ($Kg DQO/m^2 día$)

Q= Caudal medio promedio (m^3/h).

A= Área superficial del reactor

$$COS = \frac{DQO * Q}{A}$$

$$COS = 45,86 \frac{Kg DQO}{m^2 día}$$

7.5.4.2.4. Remoción de DQO

Para cumplir con la resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible se estableció la eficiencia total del sistema de un 80% de remoción en cuanto a la DQO.

Efectividad de un reactor UASB= 80%

$$R_{DQO} = DQO * (1 - E)$$

$$R_{DQO} = 11464,6 * (1 - 0,8) = 2293 \frac{mg}{L}$$

7.5.4.3. Volumen del reactor

Tiempo de retención hidráulica= 8 horas

$$Vr = TRH * Q$$

THR: Tiempo de retención hidráulico (h)

Q: Caudal (m³/h)

Vr: Volumen del reactor (m³)

$$Vr = 8h * 2 \frac{m^3}{h} = 16m^3$$

7.5.4.4. *Diámetro del reactor*

$$\text{Radio del reactor} = \sqrt{\frac{V}{\pi * H}}$$

$$Rr = \sqrt{\frac{16}{\pi * 4}} = 1,13m$$

$$Dr = 2,3 m$$

7.5.4.1. *Área del reactor*

En el título E del RAS 2000, recomiendan una altura mínima de 4m, la cual se utilizó para cumplir los requerimientos exigidos.

$$AR = \frac{Vr}{H}$$

$$AR = 4 m^2$$

7.5.4.2. *Velocidad ascensional del reactor*

$$Vasc = \frac{H}{TRH}$$

$$V_{asc} = \frac{4m}{8h} = 0,5 \text{ m/h}$$

Vasc = velocidad ascensional (m/h). Se recomienda que no exceda 1 m/h.

7.5.4.3. *Carga Hidráulica superficial*

$$CHS = \frac{Q}{AR}$$

CH: Carga hidráulica

Q: m³/h

AR: Área del reactor (m²)

$$CHS = \frac{2 \text{ m}^3/\text{h}}{4 \text{ m}^2} = 0,5 \text{ m/h}$$

CHS debe ser (≤ 1.5 m/h) (MinDesarrollo, RAS 2000)

7.5.5. **Diseño de la Campana del Reactor UASB.**

El diseño de la campana o separador de gas, líquido y sólidos, es fundamental para lograr un buen funcionamiento del reactor UASB, estas son utilizadas para:

- Separar y descargar el biogás del reactor.
- Impedir el lavado de la materia bacterial.
- Permitir que el lodo resbale dentro del compartimento del digestor.
- Servir como una especie de barrera para la expansión rápida del manto de lodos dentro del sedimentador.
- Impedir el lavado del lodo granular flotante. (MinDesarrollo, RAS 2000)

7.5.5.1. *Velocidad de flujo de campana*

Se calcula mediante la ecuación:

$$V_{fc} = 4CHS$$

Datos:

V_{fc} : Velocidad de flujo en la campana (m/h)

CH: Carga hidráulica superficial

$$V_{fc} = 4 * 0,5 \text{ m/h} = 2 \text{ m/h}$$

7.5.5.2. *Área de abertura*

$$A_{abertura} = \frac{Q}{V_{fc}}$$

$$A_{abertura} = \frac{2 \text{ m}^3/\text{h}}{2 \text{ m/h}} = 1 \text{ m}^2$$

7.5.5.3. *Área de la sección de la campana*

$$ASC = AR - A_{abertura}$$

$$ASC = 4 - 1 = 3 \text{ m}^2$$

7.5.5.4. *Radio mayor de la campana*

$$ASC = \pi R_c^2$$

$$R_c = \sqrt{\frac{3}{\pi}}$$

$$R_c = 0,98 \text{ m}$$

7.5.5.5. *Ancho de la abertura*

$$W_A = R_R - R_c$$

$$W_A = 1,15 - 0,98 = 0,17m$$

7.5.5.6. *Angulo de inclinación de la campana*

Se recomienda un ángulo de 60° en las campanas, para favorecer la sedimentación y la separación trifásica.

7.5.5.7. *Altura de la campana*

Para el cálculo de la altura máxima de la campana se supone que R_c es igual a WG' y este su vez es la base total para un ángulo recomendado de 60° .

$$WG' = R_c$$

$$HG = WG' * \tan\alpha$$

$$HG = WG' * \tan 60^\circ$$

WG' = longitud de la base de la campana (m).

HG = altura de la campana.

$$HG = 0,98 * \tan 60 = 1,7 m$$

7.5.5.8. *Altura y longitud del recolector de gases*

$$Ht = 0,3 * HG$$

Ht = altura de recolector de gases

$$Ht = 0,3 * 1,7 = 0,51 m$$

La longitud del colector de gases tiene la misma longitud que la altura de campana de gases.

$$Wt=Ht$$

7.5.5.9. *Cálculo de la distancia entre la base de la campana y el recolector de gases*

$$WG=Rc-Wt$$

WG = longitud de la base de la campana que debe estar sumergida (m).

$$WG=0,98-0,51= 0,47$$

7.5.5.10. *Traslapo*

Se refiere a la distancia que debe existir para que los deflectores puedan dirigir los gases producidos hacia la campana y que ocurra la separación de fases (gas-líquido).

$$Tv = \frac{2}{3} * Wa$$

$$Tv = \frac{2}{3} * 0,17 = 0,11m$$

7.5.5.11. *Ancho del deflector*

$$Wd=Tv+Wa$$

$$Wd=0,11+0,17= 0,28 \text{ m}$$

7.5.5.12. *Longitud de los deflectores*

Se recomienda que el ángulo de los reflectores sea de 45°.

$$Ld=2*Wd*\tan\beta$$

$$Ld=2*0,28*\tan45^\circ= 0,56m$$

7.5.5.13. Distancia entre el deflector y la base de la campana

$$L_t = \frac{1}{2} * H_t$$

L_t = distancia entre el vértice del deflector y la base de la campana.

$$L_t = \frac{1}{2} * 0,51 = 0,26m$$

7.5.5.14. Producción de biogás

La producción de biogás en el reactor se puede estimar partiendo de la siguiente relación: 1 kg

DQO Removido= (0.35 m³ de CH₄)

$$\text{Biogás producido} \left(\frac{m^3 CH_4}{\text{día}} \right)$$

$$= \text{DQO Removido} * 0.35m^3 \text{ de } CH_4 * \text{corrección de presión y temperatura}$$

Corrección de presión y temperatura

$$\text{Corrección} = \frac{759,8mmHg}{760 mmHg} * \frac{298^\circ K}{(273 + 26)^\circ K} = 0,996$$

$$\text{Biogás producido} = 110,6 \frac{Kg DQO}{\text{día}} * 0,35m^3 CH_4 * 0,996 = 38,4 \frac{m^3 CH_4}{\text{día}}$$

7.5.6. Sistema de bombeo

Para que el flujo de lixiviado ingrese por la parte inferior del reactor se adecuó una bomba de 1 hp de fuerza, para bombear un caudal de 2 m³/h, para la recolección de lodos se adecuaron bombas con la misma potencia.

7.5.7. Diseño del lecho de secado de lodo

Se diseñó un lecho de secado para el manejo de los lodos residuales provenientes del tanque de almacenamiento y el reactor, teniendo en cuenta que están compuestos por sólidos y agua, por lo tanto, su función es deshidratarlos, disminuyendo al máximo su humedad.

La producción de lodos en un sistema de tratamiento es un aspecto importante en el cual se debe hacer énfasis, ya que el adecuado manejo de éstos llevará a mejor disposición de los mismos.

Según Luis Giraldo e Isabel Restrepo por cada mg/L de DBO₅ se producen 0,053 mL de lodos.

Se diseñará un lecho de secado con capacidad de almacenamiento de lodos de un mes.

7.5.7.1. Volumen del lecho de secado de lodos

$$0,053 \frac{\text{mL de lodos}}{\text{kg de DBO}} * 1017 \frac{\text{mg DBO}}{\text{L lix}} = 53,5 \frac{\text{ml lodos}}{\text{L lix}}$$

Tiempo de retención de lodos= 30 días

$$53,5 \frac{\text{ml lodos}}{\text{L de lix}} * 14832 \frac{\text{L lix}}{\text{mes}} = 793,5 \text{ L lodos/mes}$$

$$\text{Vol LS} = 0,8 \text{ m}^3$$

7.5.7.2. Altura del lecho de secado según el RAS

Espesor de la capa de grava= 330mm

Espesor de la capa de arena= 380 mm

Borde libre por encima de la arena= 0,7 m

$$\text{Altura total} = 1,41 \text{ m}$$

7.5.7.3. *Área del lecho de secado*

$$A = \frac{v}{h}$$

$$A = \frac{0,8 \text{ m}^3}{1,41 \text{ m}} = 0,57 \text{ m}^2$$

7.5.7.4. *Ancho del lecho de secado*

$$w = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

$$w = \sqrt{\frac{0,57}{2}} = 0,53$$

7.5.7.5. *Longitud del lecho de secado*

$$l = w * 2$$

$$l = 0,53 \text{ m} * 2 = 1,1 \text{ m}$$

El sistema de lixiviados elegido consta de las anteriores unidades dimensionadas, para el diseño de este sistema se emplearon esencialmente los títulos E y F del RAS 2000 y 2015 respectivamente, ya que son los reglamentos vigentes especiales que especifican los parámetros y características generales de diseño que se deben tener en cuenta en los sistemas de tratamiento de aguas residuales y aseo urbano.

8. Plano del proceso del sistema de tratamiento

El diseño del plano del proceso de tratamiento de lixiviados, es mostrado en el la Figura 16, donde se presenta un dimensionamiento real de cada una de las unidades que intervienen en el tratamiento.

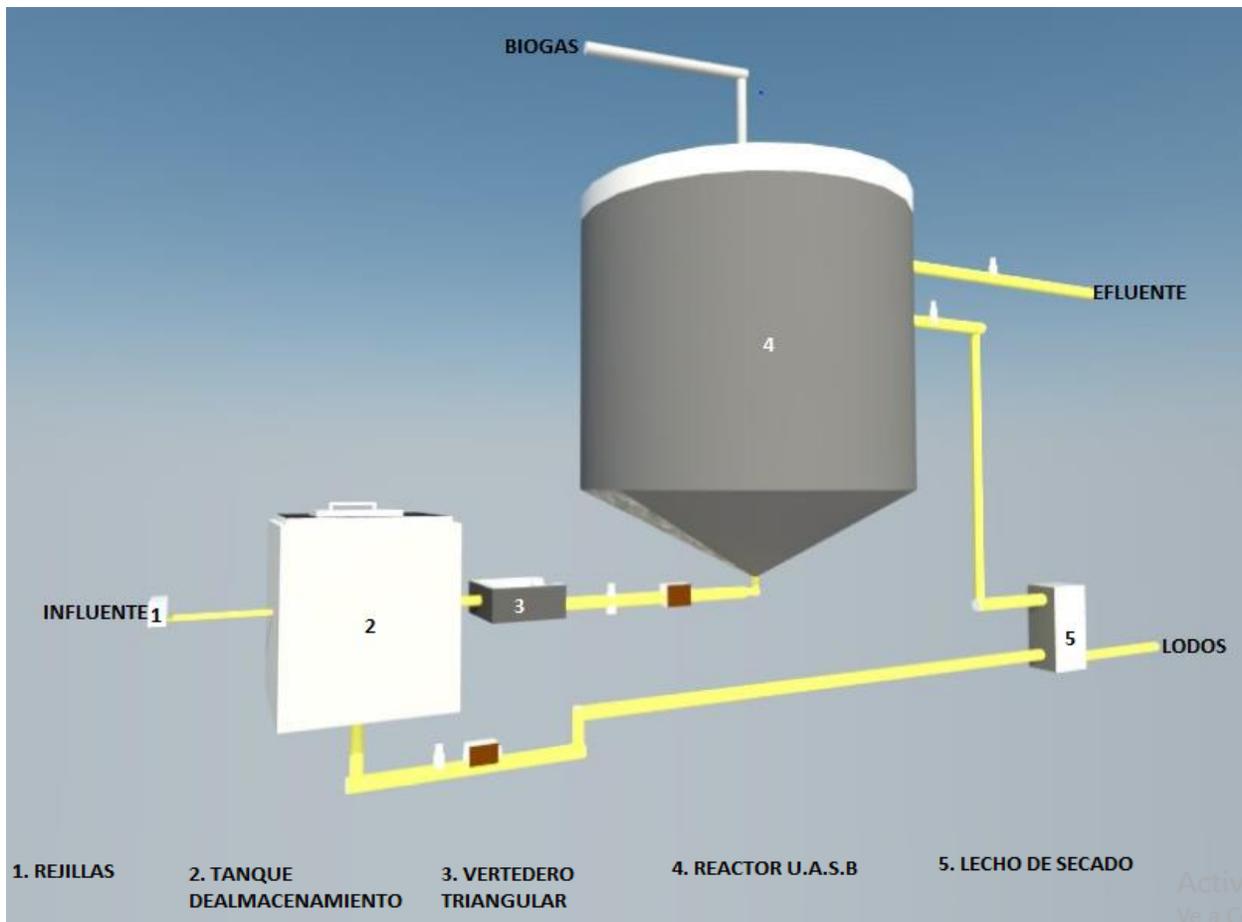


Figura 16. Plano del proceso

Tabla 24. Corrientes del proceso

Corrientes						
1. Entrada al tanque	2. Salida del tanque y vertimiento	3. Salida del efluente del reactor	4. Salida de Biogás	5. Salida de Lodos del tanque de almacenamiento	6. Lodos del reactor U.A.SB	7. Salida de lodos
0,08 m ³ /h	2 m ³ /h	1 m ³ /h	38,4 m ³ CH ₄ /día	0,24 m ³ /mes	0,56 m ³ /mes	0,8 m ³ /mes

El sistema diseñado para el tratamiento de lixiviados precedentes de la planta de residuos sólidos de el Playón, cumple con los requerimientos del título E y F del RAS, así como con la disminución de los parámetros excedidos inicialmente en el muestreo.

8.1. Variables de diseño calculadas para el tratamiento de lixiviados

8.1.1. Rejillas

Tabla 25. Dimensionamiento de rejillas

Parámetro	Valor
Largo	0,5 m
Ancho	0,26 m
Espaciamiento entre barras	0,03 m
Espesor	0,03 m

8.1.2. Tanque de almacenamiento de lixiviados

Tabla 26. Dimensionamiento del tanque de almacenamiento

Parámetro	valor
Volumen	2,5 m ³
Área	1,45 m ²
Ancho	0,9 m
Largo	1,8 m
Altura total	2 m

8.1.3. Vertedero triangular

Tabla 27. Dimensionamiento del vertedero triangular

Parámetro	valor
Altura total	0,56 m
Ancho	0,6 m

Largo	1,2 m
Abertura	0,3 m
Bordes libres de abertura	0,15 m

8.1.4. Reactor U.A.S.B

Tabla 28. Dimensionamiento del Reactor UASB

Parámetro	valor
Volumen	16 m ³
Área	4 m ²
Diámetro	2,3 m
Altura	3 m

8.1.5. Campana del reactor

Tabla 29. Dimensionamiento de la campana del reactor

Parámetro	valor
Área de abertura	1 m ²
Radio mayor	0,98 m
Ancho de abertura	0,17 m
Altura	1,7 m
Longitud y altura del colector de gases	0,15 m
Radio de la campana	0,98 m

8.1.6. Lecho de secado

Tabla 30. Dimensionamiento del lecho de secado

Parámetro	valor
Volumen	0,8 m ³
Área	0,57 m ²
Ancho	0,53 m

Largo	1,1 m
Altura	1,4 m

9. Monitoreo de lixiviados

El monitoreo de los lixiviados generados, el vertimiento y el sistema receptor se efectuará de acuerdo con lo definido en la tabla 31 relacionados en la misma.

Este monitoreo inicialmente se realizará según lo establecido en el RAS 2015 (tabla F.6.2), debido a que el lixiviado es joven y no se ha realizado un tratamiento previo se hará semanalmente para la mayoría de parámetros, para establecer las mejorías en cada uno de ellos.

Tabla 31. Monitoreo de lixiviados

Parámetro	Frecuencia
pH	Semanal
Oxígeno disuelto	Anual
Metales pesados	Anual
DQO	Semanal
DBO	Semanal
SST	Semanal

Deben tenerse registros semanales de medición de caudales. Disminuciones excesivas de los caudales de lixiviado con respecto a la tendencia observada deben investigarse cuidadosamente para determinar su causa. En caso de obedecer a una obstrucción del sistema de drenaje deben tomarse las acciones necesarias para evitar la acumulación de líquidos dentro del relleno. El programa de monitoreo y control de biogás y lixiviados debe extenderse hasta un periodo en el

cual se garantice que los residuos sólidos depositados en el relleno sanitario se han estabilizado, asegurando que todos los contaminantes generados en este tiempo sean controlados. (Álvarez, y otros, RAS 2015)

10. Análisis económico

Para el análisis económico se diseñó un plano del diagrama de flujo del proceso, con las unidades que intervienen en él, su dimensionamiento y material elegido, como se muestra en la siguiente figura:

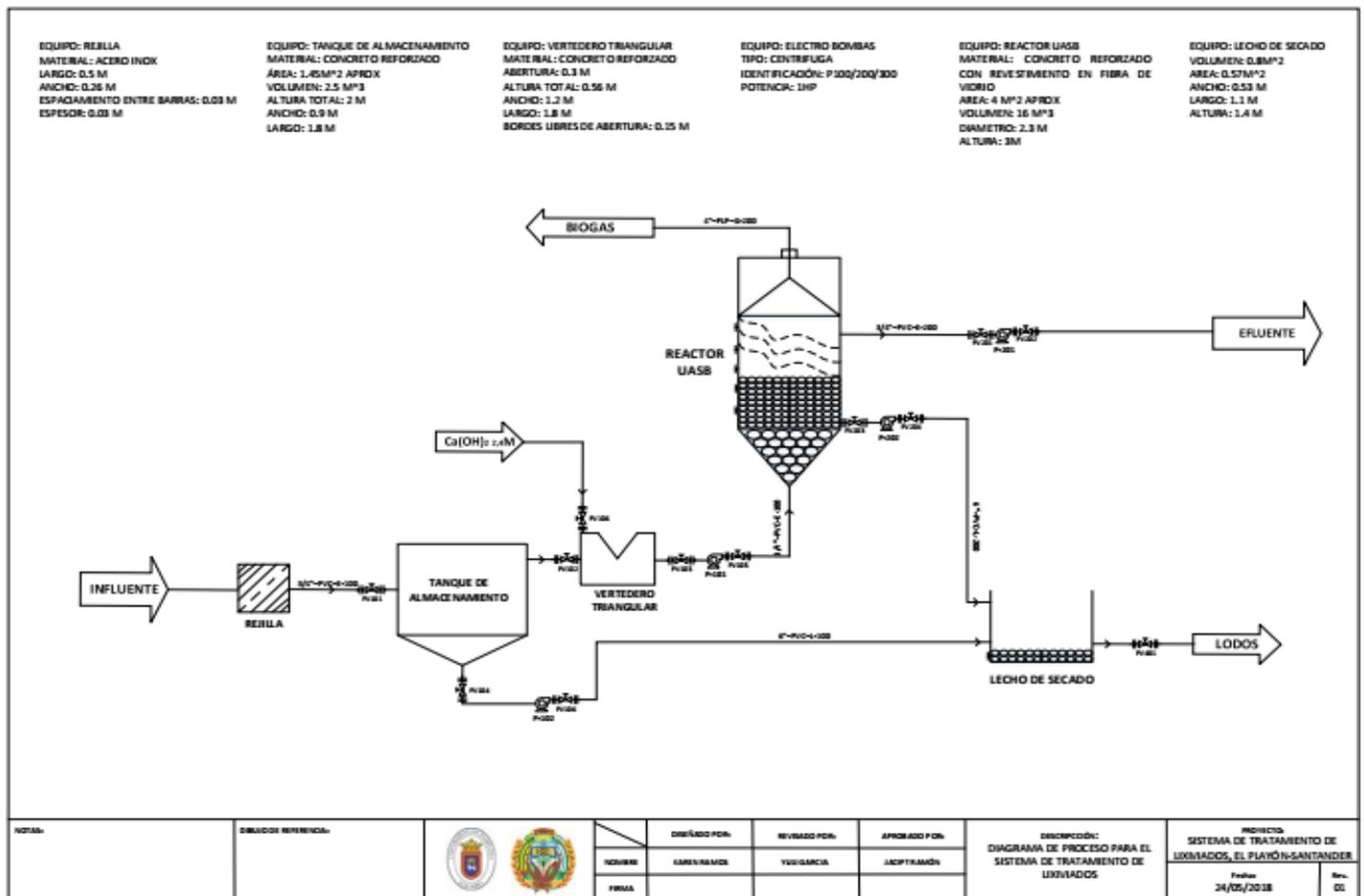


Figura 17. PFD del proceso

La comparación de este análisis con estudios previos de implementación de sistemas de tratamientos de lixiviados, fue desarrollado teniendo en cuenta la tabla 32, estos costos serán ajustados en la medida en que se limite la calidad final del lixiviado tratado.

Tabla 32. Análisis Económico

Equipo	Material	Costo
Rejillas	Acero inoxidable	300.000
Tanque de almacenamiento	Concreto reforzado	1.060.000
Reactor	Concreto reforzado con revestimiento de fibra de vidrio	2.734.000
Campana del reactor	Fibra de vidrio	1.500.000
Vertedero triangular	Concreto reforzado	214.000
Lecho de lodos	Concreto reforzado	330.000
Tubería y accesorios	PVC sanitario Polipropileno	1.500.000
Bombas	Bombas centrifuga de 1 hp	2.500.000
Obra civil	-----	10.000.000
Otros gastos	-----	2.000.000
Total		22.138.000

La tabla 32, arroja un costo final de \$ 22.138.000 con un porcentaje de error aproximado de 20 %.

Se solicitó formalmente dicha cotización.

Se evidencia que la implementación de la planta de tratamiento de lixiviados es viable para el municipio del Playón- Santander a corto plazo. De igual manera se evidencia que no tratar el lixiviado ni operar la planta de residuos sólidos requiere un costo adicional de manejo de residuos.

La implementación del sistema de tratamiento de lixiviados en la planta de residuos sólidos traerá varios beneficios a los habitantes y a el municipio de El Playón.

11. Conclusiones

- ✓ En el diagnostico técnico preliminar del estado de la planta de residuos sólidos, se determinó que los habitantes del casco urbano del playón- Santander generan 132,6 toneladas mensuales de residuos, con un porcentaje elevado de residuos sólidos aprovechables entre cartón y vidrio, también se observó que las maquinas que realizan el proceso de picado y compactación requieren una adecuación inmediata para que funcionen efectivamente, actualmente la planta no cuenta con un sistema de gestión de residuos sólidos especiales y de construcción y demolición.
- ✓ Una vez obtenidos los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos del lixiviado procedente de la planta de residuos sólidos de El playón, Santander, se identificó que los parámetros que exceden los valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales, según la Resolución 0631 del 17 de marzo del 2015, son el pH, cloruros, sulfatos, DQO, DBO₅ y plomo.
- ✓ Para el diseño del sistema de tratamiento de Lixiviados se emplearon variables como la población futura, proyección de residuos sólidos, caudal de diseño y opciones de

tratamientos, teniendo en cuenta las recomendaciones de diseño del Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS).

- ✓ El diseño del sistema de tratamiento de lixiviados constó de un tanque de almacenamiento, un vertedero triangular, un reactor anaerobio tipo U.A.S.B con campana o separador de gas, líquido y sólidos y finalmente un lecho de secado de lodos, cumpliendo con las especificaciones reportadas en el título E y F del RAS 2000 y 2015 respectivamente.
- ✓ Este diseño fue realizado para beneficiar a la administración municipal y principalmente a los habitantes del municipio de El playón, ya que la disposición final de lixiviados se podrá realizar en el municipio, disminuyendo así los gastos de transporte y manejo en el Carrasco de Bucaramanga, de esta manera se contribuye al desarrollo de la ciudadanía y a la disminución de la contaminación ambiental.

12. Recomendaciones

- ✓ Se recomienda hacer las implementaciones necesarias para que la planta de residuos sólidos opere con efectividad.
- ✓ Después de realizar los estudios necesarios se recomienda ejecutar este proyecto, pues la planta de residuos sólidos El Resodo no cuenta con un sistema de tratamiento de Lixiviados, provocando una alta tasa de contaminación ambiental y generando molestias y enfermedades en los habitantes del sector.

- ✓ Diseñar un manual de mantenimiento y operación de la planta de residuos sólidos de El Playón-Santander, teniendo en cuenta las recomendaciones del título F del RAS 2015, para optimizar los procesos de recolección y compostaje en la planta.

- ✓ Realizar el monitoreo de los lixiviados generados y los registros semanales de medición de caudales, para estar alerta ante una obstrucción del sistema de drenaje.

13. Referencias bibliográficas

Acevedo, J. M. (s.f.). Manual de Hidraulica. Sao Pablo: Edgard Blucher LTDA.

Adeniran, A., Nubi, A., & Adelojo, A. (2017). Solid waste generation and characterization in the University of Lagos. *Science and Technology*, 2-8.

Alobaid, F., Al-Maliki, W. A., Lanz, T., Haaf, M., Brachthäuser, A., Epple, B., & Zorbach, I. (2018). Dynamic simulation of a municipal solid waste incinerator. *Energy*, 3-55.

Álvarez, C., Cruz, M., Ovalle, L., Peñuela, A., Rincón, J., Rivera, M., & Vargas, A. (RAS 2015). Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico-RAS. En C. y. Ministerio de Vivienda, *Titulo F- Sistemas de aseo urbano* (pág. 264). Bogota D.C.

Ambiental, G. d. (2013). Parámetros fisicoquímicos.

Bennett, A. (2016). The hidden problem of landfill leachate. *Feature*, 2-6.

Bojaca, R. d. (2005). Determinación de alcalinidad por potenciometria. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales .

- CAICEDO MESSA, F. J. (2006). Diseño, construcción y arranque de un reactor U.A.S.B. piloto. *Especialización en ingeniería ambiental – área sanitaria*. Manizales: Universidad nacional de Colombia.
- Caicedo, F. J. (2006). Diseño, construcción y arranque de un reactor UASB piloto para el tratamiento de lixiviados (Trabajo de grado). En U. N. Colombia.. Manizales, Colombia.
- Caicedo, F., & Molina, J. (Noviembre de 2003). Remoción de materia orgánica de lixiviados del relleno sanitario La Esmeralda por medio de un reactor U.A.S.B. En *Universidad Nacional*. Manizales.
- Cardenaz, A. C. (2012). *Evaluación del desempeño de humedales construidos con plantas nativas tropicales para el tratamiento de lixiviado de rellenos sanitarios*. Universidad de Sevilla, Sevilla, España.
- Castañeda, R. (10 de junio de 2016). Construcción de un relleno sanitario.
- Corena, M. D. (2008). *Sistema de tratamientos para lixiviados generados en rellenos Sanitarios*. Universidad de Sucre, Sucre, Sincelejo.
- Cubillos, H. F. (2006). Puesta en marcha y evaluación de un reactor anaerobio de flujo a pistón para el manejo de lixiviados del relleno sanitario de Villavicencio “Don Juanito”. Bogotá.
- Davalos, R. A., & Tuny, F. C. (2011). Determinación de la eficiencia para diferentes THR en un reactor U.A.S.B. Lima, Perú.
- Davis, M., & Masten, S. (2005). *Ingeniería y ciencias ambientales*. México: McGraw-Hill.
- Enciclopedia Medioambiental-Aguas*. (2015). Obtenido de El Porta profesional del medio ambiente: ambientum.com

- Fernández, F., & Seghezzo, L. (2015). Diseño de reactores upflow anaerobic sludge blanket (UASB). En *Cuaderno tecnológico n°15. Delegación de la Comisión Europea en Argentina e Instituto Nacional de Tecnología Industrial.*, Buenos Aires, Argentina.
- Giraldo, E. (14 de Noviembre de 2001). Tratamiento De Lixiviados De Rellenos Sanitarios: Avances Recientes. *Revista de Ingeniería.*
- Giraldo, E. (s.f.). Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: avances recientes. *Universidad de los Andes.*
- González Hoyos, N. d. (2017). Arranque de un reactor anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de una corriente de lixiviados proveniente de un reactor UASB. Manizales, Caldas, Colombia.
- González, A. M., & Cárdenas, M. A. (2015). Diseño, construcción y arranque de un Reactor Anaerobio de flujo a Pistón (RAP) con guadua como medio de soporte, para el tratamiento de agua residual doméstica de un campamento de trabajadores de una piscícola. En *universidad de la Salle.* Bogota.
- H., N., J, C., J., F., & Rojas-Valencia, M. (2009). Caracterización y tratamiento fisicoquímico de lixiviados maduros producidos en el sitio de disposición final de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, MÉXICO. Mexico, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Escuela de Ing. Ambiental.
- Hernandez, A. M. (2007). Solidos suspendidos totales secados a 103 – 105 °C. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Inforeciclaje.* (27 de Enero de 2017). Obtenido de <http://www.inforeciclaje.com/residuos-solidos.php>.

- Ipuz, A. M., & Reyes, M. A. (2015). Diseño, construcción y arranque de un Reactor Anaerobio de flujo a Pistón (RAP) con guadua como medio de soporte, para el tratamiento de agua residual doméstica de un campamento de trabajadores de una piscícola. En *Universidad de la Salle*. Bogota.
- Jaimes, D., & Pico, M. (2009). diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales y de producción evaluando las diferentes alternativas nacionales y extranjeras. . En *Universidad Industrial de Santander*. Bucaramanga.
- Jaramillo, J. (2002). *Una solución para la disposición final de residuos solidos municipales en pequeñas poblaciones*. Universidad de Antioquia, Antioquia, colombia. Obtenido de <https://www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=1903>
- Kiss G, F. M. (1998). Generación de materias contaminantes en rellenos sanitarios de residuos sólidos municipales. *Ingeniería y ciencias ambientales*, 38:6 -9.
- Köfalusi, G. K., & Aguilar, G. E. (2006). Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final. *Gaceta Ecológica*, 39-51.
- Lecca, E. R., & Lizama, E. R. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda Bioquímica de Oxígeno. *Revista de Facultad de ingeniería industrial*, 4-80.
- Lettinga, G., Van Velsen, A., Hobma, S., De Zeew, W., & KLaowijk, A. (1980). use of the upflow sludge blanket (UASB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment. En *Biotechnology and Bioengineering* (Vol. Vol 22, págs. 699-734.).
- Lima, R. M., Santos, A. H., Pereira, C. R., Flauzino, B. K., Pereira, A. C., Nogueira, F. J., & Valverde, J. A. (2017). Spatially distributed potential of landfill biogas production and electric power generation in Brazil. *Waste Management*, 1-12.

- Lopez, A. (2014). *Estudio y diseño de la planta de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Loja*. Universidad Católica de Loja, Loja, Ecuador.
- Lothe, A. G., & Sinha, A. (2016). Development of model for prediction of Leachate Pollution Index (LPI) in absence of leachate parameters. *Waste Management*, 1-10.
- Madigan, M., Martinku, J., & Parker, J. (1997). *Biología de los microorganismos* (octava ed.). Madrid: Prentice Hall.
- Manahan, S. E. (2007). *Introducción a la química ambiental*. Mexico, D.F: Reverté.
- Marco de gestión ambiental y social. (s.f.). *Co-programa nacional para el manejo de residuos sólidos*.
- Maria, F. D., & Sisani, F. (2017). A life cycle assessment of conventional technologies for landfill leachate treatment. *Environmental Technology & Innovation*, 2-19.
- Martínez, O. P. (Septiembre de 2008). Mejoras en el tratamiento de lixiviados de vertedero de RSU mediante procesos de oxidación avanzada. Cantabria, España.
- Martinez-Lopez, A., Padrón-Hernández, W., Rodríguez-Bernal, O. F., Chiquito-Coyotl, O., Escarola-Rosas, M. A., Hernández-Lara, J., . . . Martínez-Castillo, J. (2014). Alternativas actuales del manejo de lixiviados. *Avances en química*, 1-12.
- Méndez R, P. J. (2010). Assesment of the optimal dose of Fenton reagent in a leachate treatment by Fenton–adsorption. *Revista internacional de la contaminación ambiental*, 26 (3).
- Mezcladores. (s.f.). Diseño de plantas con tecnología apropiada . En *Capitulo 2*.
- MinDesarrollo. (RAS 2000). Reglamento tecnico del sector de agua potable y saneamiento basico. En *Titulo E, Tratamiento de aguas residuales*. Bogota D.C.

MIniAmbiente. (2015). *Resolución 0631*.

Municipal, A. (2015). Plan de gestión integral de residuos. El Playón.

Novelo, R. I. (2007). Tratamiento fisicoquímico de lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Mérida. Mérida, Yucatán, México.

Putz, P. (2010). Eliminación y determinación de fosfato.

R, M., J, P., B, S., M, S., G, G., & E., G. (2010). Assesment of the optimal dose of Fenton reagent in a leachate treatment by Fenton–adsorption. *Revista internacional de la contaminación ambiental*, 26 (3).

Renou, S., Givaudan, J., Poulain, S., Dirassouyan, F., & Moulin, P. (2008). Landfill leachate treatment: review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, 468-493.

Reyes, M. M. (2015). *Lixiviados en plantas de residuos. Una contribución para la selección del proceso de tratamiento*. Pontificia Universidad Javeriana, Valencia, España.

Rivera, N. L. (2009). *Propuesta de un programa para el manejo de los residuos sólidos en la plaza de mercado de Cerete – Córdoba*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogota, Colombia.

Rodríguez Hernandez, P. D. (2010). Calidad de las fuentes de agua de la Estación Experimental Monterrico, Taxisco, Santa Rosa. En *Universidad de San Carlos de Guatemala*.

Rodríguez, A. (s.f.). Deficiencias en rellenos sanitarios. *Victoria.MX*.

Rodríguez, R. B., Martínez, M., & Terry, A. (2015). Ventajas del empleo de reactores UASB en el tratamiento de líquidos residuales para la obtención de biogás . Santiago de Cuba.

- Rubio, D. I., Calderon, R. A., Gualtero, A. P., Rodriguez, D., & Rojas, I. J. (2015). Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales. *Revista ingeniería y región*, 2-18.
- Sears, K., Alleman, J. E., Barnard, J. L., & Oleszkiewicz, J. A. (2006). Density and Activity Characterization of Activated Sludge Floccs. *Journal of Environmental Engineering*.
- Sitio oficial de El Playón en Santander, Colombia*. (16 de julio de 2016). Obtenido de <http://www.elplayon-santander.gov.co/index.shtml?apc=I-xx--1365219&x=1364286>
- SOCIAL, M. D. (s.f.). Banco Mundial – República de Colombia. *Co-programa nacional para el manejo de residuos sólidos*.
- Tibanlombo, N. (2014). *Diseño de una planta de tratamiento de lixiviados para el botadero de Curgua del Cantón Guaranda provincia de Bolívar*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Total de bacterias coliformes*. (s.f.). Obtenido de http://www.bvsde.paho.org/cd-gdwq/docs_microbiologicos/Indicadores%20PDF/bacterias%20coliformes.pdf
- Triana, M. d. (2010). *Química ambiental*. Bogotá.
- Valles Chavez, A. M. (2013). Tratamiento fisicoquímico y biológico de lixiviado. En *Centro de investigación en materiales avanzados*. Chihuahua.
- Villamizar, O. G., & Gómez, S. M. (2013). Caracterización e implementación de un método fisicoquímico para el tratamiento del lixiviado proveniente del relleno sanitario el carrasco. *Innovaciencia*, 8.
- Yao, P. (2013). Perspectives on technology for landfill leachate. *King Saud University*, 2-8.

