

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO LA CORTADA
PAMPLONANORTE SANTANDER**

**MONOGRAFÍA DEL DIPLOMADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y
HERRAMIENTAS APLICADAS EN RECURSOS HÍDRICOS**

KAREN LISETH MARTÍNEZ MARQUINEZ

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER FACULTAD DE
INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA INGENIERÍA CIVIL**

2022

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO LA CORTADA
PAMPLONA NORTE SANTANDER**

**MONOGRAFÍA DEL DIPLOMADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y
HERRAMIENTAS APLICADAS EN RECURSOS HÍDRICOS**

**JULIO ISAAC MALDONADO
DIRECTOR**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER FACULTAD DE
INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA INGENIERÍA CIVIL**

2022

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios sin su amor, misericordia y bondad esto no sería posible gracias por ser la luz que alumbra mi camino, agradezco a mi madre Francia Deyanira Marquínez por sus esfuerzos realizados para que yo pudiera culminar con gran satisfacción esta etapa de mi vida.

Agradezco a mis Abuelos Floralba Angulo y a quien en vida se llamó José Clovis Marquínez, por su gran amor y cariño. Agradezco a mi compañero de vida por haber sido incondicional todos estos años por su amor, paciencia y apoyo durante mi proceso de formación académica.

Agradezco a mi querida hermana Nelly por cada una de sus oraciones y suplicas a favor mío.

Agradezco a la universidad de pamplona por haberme abierto y poder formarme como una profesional para servir a u nuestro

KAREN LISETH MARTÍNEZ

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 13

1. GENERALIDADES 14

1.1 Reseña histórica de los rellenos sanitarios a través del tiempo..... 14

1.2 Marco Teórico 16

1.2.1 Rellenos Sanitarios 16

1.2.2 Tipos De Rellenos Sanitarios 18

1.2.2.1 Relleno sanitario mecanizado 18

1.2.2.2 Semi-mecanizado 18

1.2.2.3 Relleno sanitario manual 19

1.2.3 Componentes de un relleno sanitario 19

1.3.1.1 Diferencia entre relleno sanitario vs botadero..... 22

1.4 Marco legal..... 24

2. LIXIVIADOS 25

2.1 Generación u Origen 25

2.2 Modelo para estimar la cantidad de lixiviados 27

2.3 Composición de los lixiviados 29

2.4 Características de los lixiviados 29

2.5 Clasificación De Los Lixiviados..... 30

2.6 Producción de lixiviado..... 30

2.7 Caudal de lixiviados 32

2.8 Método corenostos 32

2.9 Método Suizo Simplificado: 32

2.10	Método de Eva Roben.....	33
2.11	Método Balance Hídrico	33
2.12	Método Suizo Modificado.....	33
3.	IMPACTOS DE LOS LIXIVIADOS	34
3.1	Impactos en la salud de las personas.....	34
3.1.1	Impactos en el Agua.....	35
3.1.2	Impacto sobre el aire	37
3.1.3	Impacto en Suelo.....	38
3.2	Matriz de calificación de impactos.....	39
4.1	Selección del tipo de tratamiento	41
4.2	Tratamientos específicos	41
4.2.1	Tratamiento Anaerobio	42
4.2.2	Tratamientos Aeróbicos	42
4.2.3	Tratamiento mediante recirculación.....	43
4.2.4	Tratamiento con biorreactores con membrana (MBR)	43
4.2.5	Humedales artificiales.....	44
4.2.6	Tratamiento con osmosis inversa	45
4.2.7	Tratamiento de lodos en digestión aerobia.....	46
4.2.8	Tratamiento de lodos en procesos anaeróbicos	46
4.3	Reactores UASB	46
4.4	Tanques Imhoff	47
4.5	Lagunas Anaerobias	48
4.6	Filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA)	48

4.7	Reactores de Lodos activados	49
5. TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO LA CORTADA		51
PAMPLONA NORTE SANTANDER.....		51
5.1	Descripción general del relleno sanitario.....	51
5.2	Localización	52
5.2	Capacidad operativa	52
5.3	Vida útil del relleno.....	52
5.4	Sistema de Tratamiento de Lixiviados (STL)	53
5.5	Caudal de lixiviado promedio	54
5.6	Descripción de la planta de tratamiento de lixiviados.....	54
5.7	Caudal de lixiviado de diseño planta	56
5.8	Diagrama de flujo del sistema.....	57
5.9	Sistema de bombeo	58
5.10	Pretratamiento	59
5.11	Regulador de caudal	60
5.12	Trampa grasa.....	61
5.13	Presedimentador	62
5.14	Sistema de dosificación de nutrientes	63
5.15	Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB)	63
5.16	Sistema de lodos activados.....	65
5.17	Tanque de aireación	65
5.18	Sistema de suministro de aire.....	66
5.19	Clarificador	67

5.20	Sistema de recirculación	68
5.21	Humedal artificial.....	69
5.22	Sistema de deshidratación de lodos.....	70
5.23	Lecho de secado	70
5.24	Tanque de recirculación	70
	Conclusiones	71
	Bibliografía	73

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Personal de recolección de residuos sólidos a finales de los años 20..... 15

Ilustración 2. Fases del manejo de los residuos sólidos..... 17

Ilustración 3. Método de área..... 22

Ilustración 4. Método trincherero..... 22

Ilustración 5. Cuadro comparativo entre los diferentes sitios de disposición..... 23

Ilustración 6. Vertedero de lixiviados..... 25

Ilustración 7. Arrastre acuoso de lixiviados..... 26

Ilustración 8. Balance hídrico en vertedero. 27

Ilustración 9. Afecciones en la salud debido a los lixiviados. 34

Ilustración 10. Enfermedades relacionadas con el agua y el saneamiento 35

Ilustración 11. Lixiviados provenientes del relleno sanitario municipal de Linares (Nuevo León)
..... 36

Ilustración 12. Contaminación del aire a causa del metano un gas de efecto invernadero
encontrado en vertederos. 38

Ilustración 13. Densidad, pesos específico y molecular de los gases más comunes en los rellenos
sanitarios en condiciones estándares..... 38

Ilustración 14. Contaminación del suelo, absorción de las plantas..... 39

Ilustración 15. Matriz de impacto de los lixiviados..... 40

Ilustración 16. Componentes del tanque Imhoff..... 47

Ilustración 17. Esquema de una laguna anaerobia 48

Ilustración 18. Esquema filtro anaeróbico de flujo ascendente 49

Ilustración 19. Vista área del relleno sanitario (La Cortada) 52

Ilustración 20. Ruta de tratamiento de lixiviado.....	53
Ilustración 21. Registro de caudal.....	54
Ilustración 22. Planta de tratamiento de lixiviados.....	56
Ilustración 23. Sistema de recepción de lixiviados.....	56
Ilustración 24. Caudal de diseño DAG INGENIERA	57
Ilustración 25. Sistema de tratamiento de lixiviados (STL)	58
Ilustración 26. Bomba sumergible	59
Ilustración 27. Zona de pretratamiento	60
Ilustración 28. Dimensiones de la trampa de grasa.....	62
Ilustración 29. Sedimentador primario	63
Ilustración 30. Tanques de preparación y dosificación de nutrientes	63
Ilustración 31. Reactor de lodos activados	66
Ilustración 32. Sistema de aeración	67
Ilustración 33. Caudal de licor de lodos.....	68

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tabla composición de rellenos sanitarios fases acetílicas y metanogénica.....	37
Tabla 2. Lixiviados viejos vs jóvenes.....	40
Tabla 3. Clasificación de lixiviados según el tiempo de operación del relleno sanitario.....	41
Tabla 4. Capacidades de campo	43
Tabla 5. Resultados métodos para la estimación del caudal.....	44

RESUMEN

El desarrollo de esta monografía como trabajo de revisión bibliográfica, tiene por finalidad identificar el impacto de los lixiviados producto de los vertederos en ambientes biótico y abiótico y cual ha sido su manejo a lo largo de los tiempos en materia de tratamiento, en razón al crecimiento poblacional y el afán por el consumismo tenemos un alto índice de residuos sólidos y por ende una elevada producción de lixiviados, estos líquidos peligrosos han ido convirtiéndose en uno de los principales problema de manejo ambiental. Problema que comienza en los hogares y no termina solamente con la recolección y transporte de estos solidos a los rellenos sanitarios como disposición final. Dichos solidos al mezclarse entre sí, empieza la generación del lixiviado este de líquido con un color marrón-negrusco conformados por la mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos que en estado de degradación liberan elementos, compuestos y microorganismos como: nitrógeno, fósforos, patógenos entre otros metales pesados. Con el propósito de dar solución a esta problemática hace varios años se plantearon algunas soluciones y se siguen realizando estudios con tecnologías para el tratamiento y remoción de DQB en los lixiviados. Además, en este trabajo de investigación bibliográfica se plantean los tratamientos más utilizados en los rellenos mediante bioprocesos aerobios y anaerobios, de membrana entre otros, el funcionamiento de las tecnologías que se utilizan en las diferentes alternativas de tratamiento, clasificación, características de los lixiviados y como referencia principal el relleno sanitario la Cortada, localizado en el municipio de Pamplona Norte de Santander, en él se da en detalle la cantidad de residuos que recibe anual, mensual y diariamente, así como el tipo de tratamiento que utilizan, profundidad de la celda entre otros datos importantes.

PALABRAS CLAVES: Lixiviados, Contaminantes, Patógenos, Alternativas, Tratamientos, Impactos, Ambiente, Clasificación, Características, DQO.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad estamos frente una sociedad consumista con un crecimiento acelerado que requiere de rellenos sanitarios que cumplan con la demanda poblacional existente y futura, para la prevención y mitigación de los riesgos ambientales y el riesgo a la salud. Por tal razón a través de la investigación bibliográfica realizada en la presente monografía se conocerá como es el manejo de lixiviados del relleno sanitario La Cortada y las diversas alternativas de tratamiento, generalmente a este relleno sanitario nueve municipios disponen los residuos sólidos entre los que se encuentran Chitagá, Labateca, Toledo, Silos, Cacota, Mutiscua, Cucutilla y el corregimiento de Vetas, de acuerdo con los reportes del año 2020 (Corponor, 2021), Al relleno ingresaron 15.940 ton de residuos, equivalentes a 1.320 ton/mes y a 43,6 ton/día en promedio. El seleccionar y reciclar los residuos sólidos hasta ser transportarlos a su destino final es un proceso muy importante, tanto como el manejo y destino que se le debe dar a los lixiviado residuo líquido que empeora al mezclarse con las aguas lluvia que se infiltran en el depósito que percolan mediante los residuos sólidos, al no ser tratado podrían llegar hacer un potente contaminante, afectando suelos, lagos, ríos y posiblemente pueda llegar al mar, generando en su recorrido un fuerte impacto ambiental, social y económico, afectando la salud de los seres humanos, el habita animal y hasta la calidad del aire.

1. GENERALIDADES

1.1 Reseña histórica de los rellenos sanitarios a través del tiempo

En la prehistoria los primeros humanos se dice que fueron nómadas conformados por pequeños grupos, estos permanecían en lugares diferentes por periodos de tiempo cortos dejando en los sitios de permanencia todo tipo de basura, desechos biodegradables lo cual se descomponían o en efecto eran consumido por animales, además de herramientas hechas empíricamente. Solo en algunas aldeas realizaban apiques cuyo propósito sirvieran como fosas para depositar los desechos; (epm, 2001) aunque en la actualidad el desarrollo tecnológico ha permitido un mejor control frente la disposición final de estos desechos, siguen existiendo comunidades, grupos indígenas cuyos desechos le dan tratabilidad de forma tradicional, desde hace aproximadamente 10.000 años. (epm, 2001)

A principio del siglo XX en unas de las pocas aldeas que estuvo la civilización occidental alrededor de los ríos Tigris y Éufrates, reflexionaron sobre la basura tirada aledaña a los lugares donde habitaban encontrando como principal responsable de las múltiples enfermedades a los residuos sólidos, debido a su capacidad de atraer la presencia de animales carroñeros como ratas, buitres, cuervos entre otros, además del nauseabundo poco tolerable que producían para el hombre (Vanguardia, 2021). En los inicios el tema de la basura no era un gran problema ya que, las aldeas estaban conformadas por grupos pequeños y como primera medida le daban solución a esta problemática enterrando la basura.

Esta problemática aumento en gran manera con la construcción de las primeras grandes ciudades, por ende, este trae consigo alto crecimiento poblacional, que impulsó a lideres, corporaciones, instituciones a replantearse sobre las posibles soluciones. Así es comonace el primer vertedero de la historia atribuida a los griegos en el año 400 a.c implementado en Atenas. (Vanguardia, 2021)

En la Ilustración 1. Se muestra un grupo de personas encargadas de recolectar los residuos en París a finales del siglo 20.

Ilustración 1. Personal de recolección de residuos sólidos a finales de los años 20



Fuente: (Vanguardia, 2021)

Entre los siglos V y XV se les exigía a los Atenienses a no arrojar basura a menos de una milla. Los romanos desde sus viviendas construidas de grandes bloques con pisos altos arrojaban por sus ventanas las basuras a la calle, fue entonces cuando un equipo de hombres con carretas realizaban jornadas de recolección y transporte hasta los vertederos como destino final, localizados especialmente a las afuera de la ciudad (Vanguardia, 2021); otra alternativa que los romanos pusieron en práctica fue soltar cerdos al libre albedrío para que estos se alimentaran de las basuras lo que no se prevía es que dicha práctica no diera los resultados esperados. Fue hasta finales de la edad media que mejoraron las condiciones sanitarias gracias a la pavimentación de las calles y la canalización de las aguas pluviales, surgiendo las primeras herramientas con que dar tratamiento a los residuos urbanos, mediante un método de recolección de residuos totalmente organizados el cual cumpliera con una limpieza sistemática de buen servicio en las calles. (Vanguardia, 2021) Con la revolución industrial en Filadelfia finales del siglo XVIII

nace una iniciativa por parte del expresidente Benjamín Franklin, de iniciar los primeros servicios sanitarios y la compra de pedazos de telas reciclados con el fin de hacer papel. (Vanguardia, 2021)

Otro método alternativo de eliminación fue usar la energía generada por combustión en las incineradoras de desechos, sin embargo, resulta ser costoso controlar los humos y cenizas que produce la combustión. (Vanguardia, 2021)

1.2 Marco Teórico

Se presenta a continuación aspectos teóricos y definiciones importantes para el desarrollo de este documento monográfico.

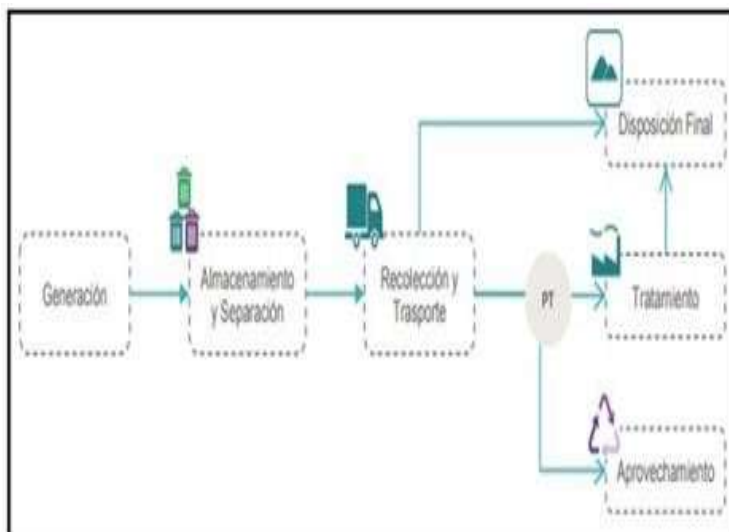
1.2.1 Rellenos Sanitarios

Los rellenos sanitarios son lugares aptos para la disposición final de los residuos sólidos, este se prepara en temas de seguridad y logística para recibir toda la basura que produce el casco urbano y rural de una población. Gracias a esta técnica es posible sacar los residuos de forma segura y confiable, sólidos biodegradables u otros que no se puedan reciclar, además de la generación de lixiviados o líquidos altamente contaminantes con fuertes olores, concentraciones de disoluciones de los compuestos que se generan cuando entran en contacto con el agua, sustancias como pesticidas, productos industriales, hidrocarburos y metales pesados. (Roa Sánchez & Ardila Rodríguez, 2021)

Con el aporte a los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos Regional PGIRS se planea y mantiene un orden específico en beneficio de la limpieza del espacio público y la recolección selectiva. (Roa Sánchez & Ardila Rodríguez, 2021)

En la Ilustración 2 se presenta un esquema estructurado de las fases en el manejo de los residuos sólidos en Colombia.

Ilustración 2. Fases del manejo de los residuos sólidos



Fuente: (Min vivienda, 2017)

1.2.2 Tipos De Rellenos Sanitarios

Actualmente, se encuentran tres tipos de rellenos sanitarios con funciones específicas, diseñados en base a la comunidad, presupuesto, equipos etc. Se menciona los tres tipos de rellenos sanitarios.

1.2.2.1 Relleno sanitario mecanizado

Es aquel relleno donde se implementa maquinaria generalmente, se encargan de la disposición, compresión y cubrimiento de los residuos. Las excavaciones suministran el material de cobertura (Pacheco Tolentino, 2011).

El relleno sanitario mecanizado fue diseñado para ser implementados en ciudades relativamente grandes que produzcan de 40 toneladas de desechos o con una cifra mucho mayor al día. En su operación y funcionamiento se requiere de equipos específicos como los que se indican más adelante y una buena planeación además de tener presente factores como; las dimensiones del terreno, tiempo de operación, tiempo de operación y capacidad de los equipos, gastos de operaciones y mantenimiento (Pacheco Tolentino, 2011).

Los equipos que se emplean son para dar movimientos de tierra, como retroexcavadoras o tractores de orugas siempre que al relleno se transporten más de 40 toneladas al día de residuos equivalentes a ciudades de más de 40.000 habitantes. (Gómez Vásquez, 2018) y además cilindros compactadores pata de cabra para aumentar la densidad de los residuos depositados y reducir los volúmenes ocupados. (Pacheco Tolentino, 2011)

1.2.2.2 Semi-mecanizado

El relleno seno-mecanizado está diseñado para un número de habitantes que dispongan entre 16 y 40 toneladas de basura al día para el funcionamiento de este tipo de relleno se recomienda

utilizar maquinaria pesada con el propósito de reforzar el trabajo manual logrando mejor compactación de los residuos y proyectar para más tiempo el funcionamiento del relleno. (Pacheco Tolentino, 2011)

El proceso de compactación puede hacerse con un equipo eficiente como el tractor y adaptarlo a una hoja topadora o cuchilla o rodillo, además emplear equipos de movimientos de tierra como retroexcavadoras. (Pacheco Tolentino, 2011)

1.2.2.3 Relleno sanitario manual

Utilizado en lugares donde las comunidades son pequeñas que produzcan menos de 15 toneladas de basura al día con una baja probabilidad de adquirir equipos de maquinaria pesada; aquí la maquinaria es el recurso humano, implementar cuadrillas de hombres que tienen costos como consecuencia de costos de operación y mantenimiento (PachecoTolentino, 2011).

1.2.3 Componentes de un relleno sanitario

Está compuesto por una capa de revestimiento inferior, celdas, sistemas de recolección de lixiviados, drenaje de aguas pluviales, sistema de recolección de gases.

a) **Revestimiento inferior:** El revestimiento inferior lo que hace es separar y evitar que los residuos dispuestos y compactados lleguen a tener contacto directo con suelos naturales que subyacen a aguas subterráneas (Rondón *et al.*, 2016).

b) **Celdas:** zona del relleno sanitario en donde se eliminan los desechos, la cual debe contar con la correspondiente reglamentación y aprobación. Su tamaño varía dependiendo de las toneladas de residuos a recibir por día en el relleno (Rondón *et al.*, 2016).

c) **Sistema de recolección de lixiviados:** Este sistema funciona como una barrera, en el que cualquier líquido queda atrapado dentro del relleno sanitario. El lixiviado se

recolecta y es eliminado del relleno. La estructura para la recolección de lixiviados se conforma de un conjunto de tuberías con perforaciones, bolsas de grava y una capa de arena o grava que se ubica en el fondo del relleno sanitario a manera de filtros de drenaje. Después que se retira el lixiviado del sumidero, generalmente este es bombeado o cae por gravedad a un tanque de retención, donde es tratado ya sea en el mismo sitio o siendo transportado fuera de este donde las organizaciones públicas o privadas lo devuelven debidamente tratado a las fuentes hídricas (Rondón *et al.*, 2016).

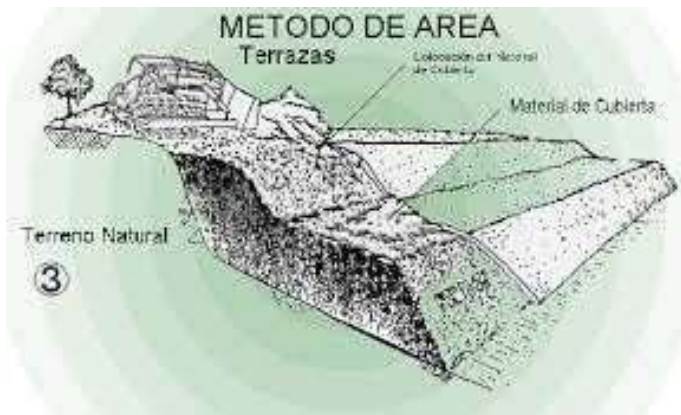
d) **Sistema recolección de gas:** Permite que las bacterias anaerobias que están presente en el relleno sanitario descompongan los residuos sin la presencia de oxígeno. Dicho proceso es 50% de la materia orgánica la cual se convierte en biogases como el metano CH_4 , CO_2 y H_2S . ya que el CH_4 posee un alto porcentaje de quemarse o explotar, es necesario eliminarlo del relleno sanitario (Rondón *et al.*, 2016).

1.3 Método de construcción de los rellenos sanitarios

El relleno sanitario puede construirse con los siguientes métodos: Área, Zanja o en efecto una combinación de los dos, dichos métodos dependen de las características del terreno, topografía del sitio, geología, nivel freático de las aguas subterráneas y cantidad de material con el que se cubre los residuos. (Jaramillo, 2002)

a. **Método de área:** El método de área fue diseñado, para implementarse preferiblemente en terrenos planos y en terrenos no propicios para excavaciones debida a la insuficiencia material de cobertura, el lugar obligatoriamente debe permanecer cubierto con geomembranas que permita a los lixiviados tener mejor fluides. (Jaramillo, 2002)

Ilustración 3. Método de área



Fuente: (Cubillo Betancourt, s.f.)

b. Trinchera: El método de zanja o trinchera es propio de regiones netamente planas está básicamente se logra realizando zanjas con una estimación de dos o tres metros de profundidad, generalmente se trabaja con maquinaria pesada en este caso una retroexcavadora, se excava luego se depositan los residuos dentro de las zanjas y con el mismo material restante de las excavaciones se hace el relleno, luego se debe compactar. (Jaramillo, 2002)

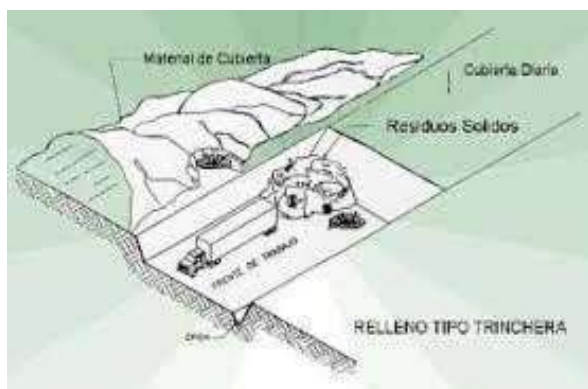


Ilustración 4. Método trincherero.

Fuente: (Cubillo Betancourt, s.f.)

1.3.1.1 Diferencia entre relleno sanitario vs botadero

El botadero tiene una particularidad y es que las basuras que se transportan diariamente se encuentran expuesta al agua, debido a que se mantienen a cielo abierto y no reciben ningún tipo de control de tratamiento de lixiviados y menos compactación. En cambio, el relleno sanitario si cumple con las exigencias permitidas.

Para la disposición final de los residuos, son transportadas con el mayor control hasta ser confinados y compactados con las condiciones adecuadas, se controlan los tipos y cantidades de residuos, la ventilación de los gases evitándose olores, además cuenta con drenaje y tratamiento de los lixiviados generados por las lluvias y la humedad de los residuos sólidos (Conam, 2004). En la Ilustración 5 se muestra las diferencias en medidas técnicas, manejo de lixiviados, manejo del gas de relleno, medidas de operación.

Ilustración 5. Cuadro comparativo entre los diferentes sitios de disposición

	MEDIDAS TÉCNICAS	MANEJO DE LIXIVIADOS	MANEJO DEL GAS DE RELLENO	MEDIDAS DE OPERACION
BOTADEROS SEMI CONTROLADOS	Ninguna	Descarga de contaminantes sin restricción	Ninguno	Pocas, algunos depósitos desperdicios todavía se hacen a mano
BOTADEROS CONTROLADOS	Ninguna	Descarga de contaminantes sin restricción	Ninguno	Registro y compactación de los residuos
RELLENOS CONTROLADOS	Infraestructura y transporte interno	Contenedores y algún tipo de tratamiento de lixiviados	Ventilación pasiva o antorchas de evacuación	Registro y compactación de los residuos, cobertura diaria de desperdicios
RELLENOS SANITARIOS	Sitio apropiado, infraestructura, transporte y tratamiento de lixiviados in situ	Contenedores y tratamiento de lixiviados (usualmente tratamientos biológicos y físico-químicos)	Antorchas de evacuación del biogás	Registro y compactación de los residuos, cobertura diaria de desperdicios, medidas de clausura
RELLENOS SANITARIOS CON SELLOS SUPERIORES	Sitio apropiado, infraestructura, transporte y tratamiento de lixiviados in situ	Entierro	Antorchas de evacuación del biogás	Registro y compactación de los residuos, cobertura diaria de desperdicios,

RELLENO SANITARIO CON CONTROL DE DESCARGA DE CONTAMINANTES	Sitio apropiado, infraestructura, tratamiento de lixiviados en el sitio.	Descarga controlada de lixiviados en el ambiente basado en las propiedades del sitio	Antorchas de evacuación del biogás o ventilación pasiva a través de la cobertura final	medidas de clausura Registro y compactación de los residuos, cobertura diaria de desperdicios, medidas de clausura
---	--	--	--	---

Fuente: (Conam, 2004)

1.4 Marco legal

NORMATIVA	DESCRIPCIÓN
Decreto 1713 de 2002	reglamenta el manejo de los residuos sólidos, responsabilidades, programas de manejo, vigilancia control, y sanciones. Regula el vertimiento de residuos líquidos en alcantarillados y cuerpos de agua superficial.
Decreto 1784 de 2017	Normativa que busca promover y facilitar la planificación, construcción y operación de rellenos sanitarios en el país y los procesos para el tratamiento de residuos sólidos. (Decreto 1594 de 1984, s.f.)
Decreto 631 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.
Ley 99 de diciembre 22 de 1993	El Ministerio de Medio Ambiente reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, <u>SINA</u> y se dictan otras disposiciones.

2. LIXIVIADOS

El lixiviado es el resultado del paso del agua a través de los residuos sólidos y de la lixiviación de componentes, se consideran peligrosos por el gran impacto ambiental que causan, el lixiviado contiene una significativa concentración de NH_4 , material orgánico y sales (Astorga Del Canto, 2018). Se encontró que producto de la biodegradación de los residuos que se filtran en los rellenos resulta el lixiviado un líquido color negruzco o amarillo, olor a ácido y con aspecto denso compuesto por contaminantes de alta toxicidad, que al no ser tratado puede llegar a contaminar en gran manera el ambiente y afectar la salud pública ya que los lixiviados contienen los mayores grupos de contaminación como: contaminación por sustancias tóxicas, por patógenos, por nutrientes y por materia orgánica (Martinez-Lopez, y otros, 2014). En la Ilustración 6 se observa como el aspecto físico del líquido, lixiviado.



Ilustración 6. Vertedero de lixiviados.

Fuente: (Aristegui, 2016)

2.1 Generación u Origen

Se producen por la biodegradación de los residuos sólidos urbanos (RSU), principalmente por materiales orgánicos. Dicha descomposición se da en dos etapas: aerobia y anaerobia, por esto

los lixiviados variaran en su composición dependiendo al tipo de basura, así como a la velocidad de degradación química, las lluvias y demás condiciones presentes en la zona (Youcai, 2018), pero teniendo como variable común su alta carga orgánica (Flórez silva, 2019).

Desde el momento que los residuos sólidos son transportados hasta los rellenos sanitarios, estos entran a una etapa de descomposición por sus procesos químicos y biológico, producto de esto se forman los lixiviados el lixiviado con la percolación se tiende a empeorar ya que las lluvia disuelven sustancias que alcanzan grandes velocidades de arrastre generando partículas con otros compuestos como ácido acético (Flórez silva, 2019), látex o fórmico como se observa en la ilustración 7 todo tipo de residuo donde se mezclan los líquidos hasta filtrarse al suelo

Ilustración 7. Arrastre acuoso de lixiviados



Fuente: (Tecnal)

Para determinar la generación de lixiviado se tienen presente los siguientes factores:

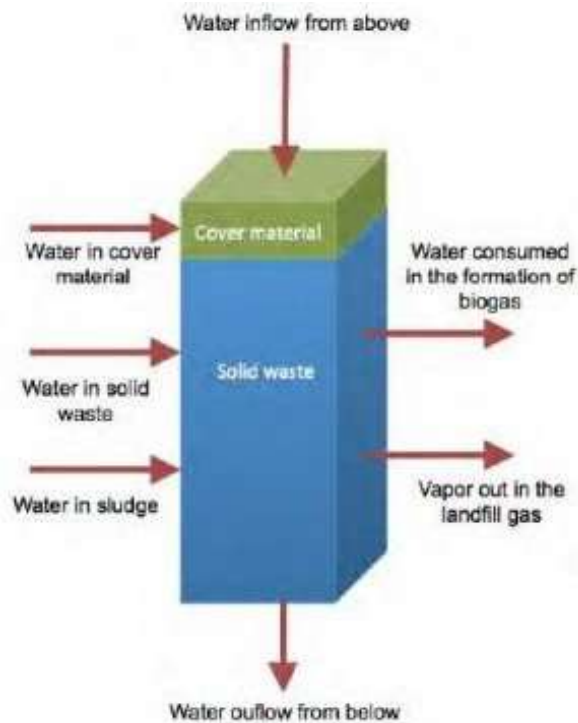
- Cambios climáticos.
- Escorrentía y de nivel freático al relleno.
- Infiltraciones de aguas lluvias.
- características de los residuos y del material de cobertura.

2.2 Modelo para estimar la cantidad de lixiviados

Con el balance hídrico se llega a una estimación cercana de la producción del lixiviado ver modelo en la siguiente ilustración y las variables que lo conforman.

La Ilustración 8 muestra un esquema mediante un dibujo de lo que podría ser un balance de agua en un vertedero.

Ilustración 8. Balance hídrico en vertedero.



Fuente: (Rodrigo Clavero, 2016)

- **Precipitación infiltrada.** en la parte más alta del vertedero, el líquido entrante procedente de la lluvia la cual se infiltra, sin tener en cuenta la evaporación, mediante el material de cobertura. En el nivel inferior, el agua entrante desde arriba proveniente del agua filtrada por los residuos localizados en el nivel considerado.

Cuando el vertedero es sellado, los aportes de la lluvia a la masa de vertido son considerados nulo (Rodrigo Clavero, 2016).

- **Agua contenida en los residuos.** Se considera el contenido de humedad de los residuos una vez que se disponen en el vertedero, dependiendo del origen de los mismos y su tratamiento antes de ser vertidos, siendo esencial caracterizar los residuos para establecer su valor de humedad (Rodrigo Clavero, 2016).

- **Agua que aporta el material de cobertura.** Los valores del líquido aportado por el material de cubrimiento dependen del tipo y la procedencia del mismo (Rodrigo Clavero, 2016).

- **Agua que sale por la parte inferior.** El líquido saliente del nivel superior del vertedero se considera lixiviado. Por otra parte, el agua filtrada en los demás niveles viene del líquido entrante a partir del primer nivel hasta el nivel considerado (Rodrigo Clavero, 2016).

- **Agua que se consume en la generación de biogás.** En la biodegradación anaeróbica de los desechos se consume cierta cantidad de agua, es posible calcular dicha cantidad partiendo de la ecuación estequiométrica que representa la descomposición de la materia orgánica (Rodrigo Clavero, 2016).

- **Agua perdida en la evaporación.** Generalmente, el biogás suele estar saturado de vapor de agua. Las cantidades de vapor de agua generadas en el vertedero se calculan al aplicar la ley de los gases ideales, al suponer que el gas se encuentra saturado (Rodrigo Clavero, 2016).

- **Otras ganancias y pérdidas de líquido.** Durante el vertido de los residuos se podrán presentar pérdidas o ganancias de humedad por evaporación o por lluvias respectivamente, las cuales se pueden despreciar ya que sus cantidades no son grandes. No obstante, depende de las condiciones climáticas de la zona si dichas pérdidas se incluyen o no en el balance hidrológico (Rodrigo Clavero, 2016).

2.3 Composición de los lixiviados

El lixiviado se componen de un gran número de materiales sólidos que en descomposición arrastra sustancias disueltas o en suspensión con elevadascargas orgánicas, su color vario de café grisáceo cuando se encuentra en estado fresco hasta un color negro viscoso por la edad de envejecimiento con concentraciones altamente elevadas hasta 60,000 mg/l de DQO, además de elevadas concentraciones de sales como NaCl, carbonatos y contaminantes como metales pesados (Corena Luna, 2008). basado en estudios realizados, se afirma que su composición varía según: la antigüedad del relleno sanitario, incide en la productividad de los lixiviados y su composición (Flórez Silva, 2019), siendo considerado un relleno joven aquel que no tiene más de un año en operación y un relleno maduro es aquel que cuenta con más de un año de operación. Las composiciones de los lixiviados se representan en los valores registrados para la DBO5, la DQO y los sólidos suspendidos. (Flórez Silva, 2019).

2.4 Características de los lixiviados

Se hace compleja la definición y resumen de las características que poseen los lixiviados debido a la variedad de artículos donde, documentan estas características y suelen ser diferentes dependiendo las condiciones dl relleno sanitario y el lugar. Por esto dichas características cuentan con un amplio margen de variabilidad (Giraldo, 2014).

Las características de los lixiviados dependen de:

- La tasa de filtración del agua lluvia.
- Temperatura.
- Calidad y cantidad del agua entra en contacto con la masa de residuos.
- Composición de los residuos sólidos.
- Edad del relleno.
- Capacidad del suelo para remover contaminantes.
- Contenido de humedad.

2.5 Clasificación De Los Lixiviados

Los lixiviados se clasifican según sea la composición, clasificándose en lixiviados Tipo I o lixiviados jóvenes, tipo II o medios y tipo III o viejos estabilizados. En la tabla 3 se observan las clases de lixiviados dependiendo del tiempo de un relleno sanitario. En los rellenos jóvenes, el tratamiento de los lixiviados es más fácil que en los antiguos, ya que en los rellenos antiguos se encuentran valores promedio de 0.05 y 0.1 en relación de DBO₅/DQO, por causa de la cantidad de ácidos húmicos y fúlvicos. Por otra parte, en lixiviados de un relleno joven dicha relación es mayor, observando una buena biodegradabilidad de los materiales orgánicos (Flórez silva & Pérez Vidal, 2019).

Tabla 3. Categorización del lixiviado

Tipo de lixiviado	Joven	Intermedio	Viejo
Edad (años)	<5	5 - 10	>10
pH	<6,5	6,5 - 7,5	>7,5
DBO ₅ /DQO	>0,5	0,1 - 0,5	<0,1
DQO	>15.000	5.000 - 15.000	<5.000
N - NH ₃ [mg/L]	<400	-	>400
Metales pesados [mg/L]	>2	<2	<2

Fuente: (Astorga, 2018, pág. 12)

2.6 Producción de lixiviado

Una vez que los residuos son mezclados, comienza el proceso de descomposición generando

ciertos elementos contaminantes, esto hace indispensable calcular las cantidades de lixiviado que generan los residuos e implementar métodos de recirculación efectivos además de la información importante para la selección del método de tratamiento más conveniente y lograr tener un control total de ellos. Dicha cantidad es posible de calcular usando el método Corenostos (Rondón *et al.*, 2016).

En la tabla 3 se puede apreciar datos de campo de la preproducción de lixiviados provenientes de distintos vertederos, en donde se observa que la producción de lixiviado alcanza cerca del 20% de las precipitaciones anuales. Los valores de producción del lixiviado dependen del tipo de cobertura y la compactación.

Tabla 4. Capacidades de campo

Tipo de Vertedero	Precipitación(mm/año)	%Precipitación kg/m ³	LixiviadosM ³ /ha d	Observación
Baja compactación	571	31.1	4.9	Cubierto con arcilla limosa
	571	4.4	0.4	
	501-729	25-48.2	5.3-8.3	
	662	582	106	
	632	32.3	5.9	Cubierto y plantado
	565-655	19.9-21.4 39.2-42.0	3.S.3.7 6.1-7.5	
Alta compactación	652	151	27	
	651-998	12.2-29.8	3.2-8.1	Cubierto y plantado
	651-998	16.9-21.6	3.G-5.9	
	632	16.3-18.3	2.S.3.2	
	509	16.8	2.3	
	556-1057	15.6-19.6	2.S.5.1	
770	3.3 7.2	0 7 1.1	Vertedero joven	

Fuente: (Ategrus, 2010)

2.7 Caudal de lixiviados

Para diseñar un sistema para tratar los lixiviados es necesario manejar las situaciones de salida del relleno sanitario al cual se va a complementar L/s.

En la tabla 5 se muestran los caudales de los distintos métodos empleados en un diseño de relleno que ingresan en el sistema de tratamiento.

Tabla 5. Caudales calculados por diferentes metodos.

Método Suizo simplificado	Método de EvaRoben	Método de Balance Hídrico	Método Suizo Modificado	Método Corenostos
Us	Us	Us	Us	Us
1,30	1,98	4,37	0,034 a 0,038	0,025 a 0,132

Fuente: (Davalos Parrga, 2018, pág. 23)

2.8 Método corenostos

Este método se aplica en la simulación de gases y lixiviados productos de la actividad de los residuos que se da en los rellenos, contando con análisis básicos, mensuales y anuales con el fin de obtener datos precisos y ser muy exactos en la realidad. El método se dice que es más complejo debido a que logra realizar simulaciones del proceso del relleno además del volumen de biogás programado a los años de vida útil (Rondón *et al.*, 2016).

2.9 Método Suizo Simplificado:

Se plantea este método de acuerdo a ciertas variables como el área del relleno, las precipitaciones y el coeficiente de proporción de la precipitación el cual puede transformarse en lixiviado, la superficie a utilizar del relleno utilizada depende del avance de la celda diaria y el tiempo de utilidad (Rondón *et al.*, 2016).

2.10 Método de Eva Roben

El método de Eva Roben tiene presente parámetros como precipitaciones, área del relleno, manera de operación y compactación así como los tipos de residuos sólidos y “r” la cual representa el valor de un caudal constante (Rondón *et al.*, 2016).

2.11 Método Balance Hídrico

Aprecia el cambio en el agua que se encuentra disponible en el suelo, su flujo y salida en un área específica. Incorporando variables como lluvia, infiltración, evaporación, escorrentía y cambio en la humedad del suelo, teniendo en cuenta la topografía y relieve de la zona permitiendo determinar los periodos de exceso o escases del agua en el suelo (Rondón *et al.*, 2016).

2.12 Método Suizo Modificado

Este método tiene en cuenta el área superficial a utilizar cada año a diferencia del método simplificado. Con este método se calcula el caudal de lixiviado anual para el tiempo de diseño (Rondón *et al.*, 2016).

3. IMPACTOS DE LOS LIXIVIADOS

Al migrar de la basura, los lixiviados fluyen hacia las masas de agua, afectando negativamente la salud pública y, por supuesto, el medio ambiente. Debido a que estos fluidos no son controlados, capturados, almacenados o tratados, pueden llegar a las aguas subterráneas y penetrar hasta mezclarse con las aguas superficiales y contaminar el suelo. Actualmente la contaminación por el consumo humano excesivo es uno de los problemas ambientales que enfrenta el planeta, dejando grandes cantidades de desechos sólidos. El problema no se limita a transportar los residuos a los rellenos, el objetivo principal del tratamiento es reducir los impactos ambientales negativos y los impactos a la salud humana (Rondón *et al.*, 2016).

3.1 Impactos en la salud de las personas

La emisión de CO₂ por combustión incompleta de residuos de materia orgánica, DQO, carbono orgánico total, metales pesados, compuestos inorgánicos y plaguicidas provocan las siguientes enfermedades a la salud humana: conjuntivitis, problemas del sistema nervioso, bronquiales y cardíacos. (Davalos Parrga, 2018)

Seguidamente, se nombran algunos de los efectos negativos producidos por los lixiviados en la salud humana tomada de un relleno sanitario húmedo.

Ilustración 9. Aficciones en la salud debido a los lixiviados.

Metal	Efecto negativo en:
Arsénico	Sistema cardiovascular, respiratorio, nervioso periférico, reproductivo, daños en el hígado, riñón, cancerígeno; potencialmente teratogénico.
Cadmio	Sistema nervioso central, reproductivo y respiratorio, riñón, probable cancerígeno, teratogénico; embriotóxico.
Cromo	Sistema respiratorio, alergias, irritación en ojos, cancerígeno, probable mutagénico.
Plomo	Sistema nervioso central y reproductivo, en células de la sangre, probable teratogénico.
Mercurio	Sistema nervioso central, cardiovascular y respiratorio, riñón y ojos, teratogénico.
Níquel	Sistema respiratorio, alergias, irritación ojos, piel, hígado, riñón, probables cancerígeno y teratogénico.

Fuente: (Davalos Parrga, 2018)

En la siguiente ilustración 10, se listan las enfermedades y las medidas que se pueden aplicar al control de las enfermedades relacionadas con el agua y el saneamiento.

Ilustración 10. Enfermedades relacionadas con el agua y el saneamiento

ENFERMEDAD	NOMBRE COMÚN	AGENTE PATÓGENO	TRANSMISIÓN PERSONA A PERSONA	DISTRIBUCIÓN	MEDIDAS PREVENTIVAS
Paratuberculosis	Paratuberculosis	Compartimentos de la bacteria Mycobacterium avium	Presencia de paratuberculosis en animales de granja	Presencia de paratuberculosis en animales de granja	Evitar el consumo de leche cruda y productos lácteos hechos con leche cruda. Evitar el contacto con animales de granja.
Leishmaniasis	Leishmaniasis	Parasito que vive en el agua	Presencia de paratuberculosis en animales de granja	Presencia de paratuberculosis en animales de granja	Evitar el consumo de leche cruda y productos lácteos hechos con leche cruda. Evitar el contacto con animales de granja.
Leishmaniasis	Leishmaniasis	Parasito que vive en el agua	Presencia de paratuberculosis en animales de granja	Presencia de paratuberculosis en animales de granja	Evitar el consumo de leche cruda y productos lácteos hechos con leche cruda. Evitar el contacto con animales de granja.
Leishmaniasis	Leishmaniasis	Parasito que vive en el agua	Presencia de paratuberculosis en animales de granja	Presencia de paratuberculosis en animales de granja	Evitar el consumo de leche cruda y productos lácteos hechos con leche cruda. Evitar el contacto con animales de granja.
Leishmaniasis	Leishmaniasis	Parasito que vive en el agua	Presencia de paratuberculosis en animales de granja	Presencia de paratuberculosis en animales de granja	Evitar el consumo de leche cruda y productos lácteos hechos con leche cruda. Evitar el contacto con animales de granja.

Fuente: (Paho.org, 2010)

3.1.1 Impactos en el Agua

La contaminación de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos debido a la falta de oxígeno en provoca la asfixia de los peces jóvenes debido a la acumulación de óxidos de hierro, además de causar cambios en la flora, fauna y la formación de gases de efecto invernadero. (Paho.org, 2010) Dicha contaminación es el resultado de mezclar los lixiviados con altos contenidos de contaminantes debido al proceso de filtración de estas aguas a través del suelo, los lixiviados deben ser almacenados, tratados y disponer adecuadamente (Espinosa Lloréns, y otros, 2010) La contaminación de aguas subterránea por infiltración generados en rellenos sanitarios se puede presentar de distintas formas como, por ejemplo:

- Metales pesados.
- Por el desprendimiento de DBO5 y DQO en los residuos sólidos.
- Aumento de compuestos orgánicos complejos (pesticidas, hidrocarburos, productos

químicos industriales).

- Contaminación por virus y bacterias.
- Agotamiento del OD.
- Incremento en el contenido de minerales (cloros, sulfatos, bicarbonato, sodio y potasio).

La eutrofización de los ecosistemas comienza cuando los nutrientes ingresan al agua, favorecen el crecimiento de materia orgánica, ya sean residuos agrícolas o forestales. Esto acelera el crecimiento plantas que cubren la superficie del agua como algas entre otras. El exceso de nutrientes no orgánicos de la actividad humana, especialmente fósforo y nitrógeno, conduce al crecimiento descontrolado de algas de fitoplancton en los sistemas de agua. (Espinosa Lloréns, y otros, 2010)

Ilustración 11. Lixiviados provenientes del relleno sanitario municipal de Linares (Nuevo León)



Fuente: (León Gómez, Dávila Pórce, Velasco Tapia, & Chapa-Guerrero, 2015)

3.1.2 Impacto sobre el aire

Durante la degradación, los desechos producen malos olores, así como gases como monóxido de carbono, metano, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono entre otros. Dichos gases son una de las causas del efecto invernadero en la tierra, provocan temperaturas altas y son en parte causantes del deshielo en los polos. La descomposición de los desechos sólidos puede ser controlada mediante la disposición profesional de los residuos por incineración técnica, colocación en rellenos sanitarios regulados y/o rellenos especiales. (Sanchez Yañez, Baltierra Trejo, & Márquez Benavides, 2012).

Según varios investigadores, los rellenos sanitarios contienen COV parcialmente biodegradado, ácidos grasos volátiles y otros materiales inorgánicos. Ciertos gases pueden ser quemados bajo ciertos parámetros de control, evitando que estas emisiones sean liberadas a la atmósfera. Otra alternativa dada para el tratamiento de los residuos es utilizar el gas recuperado del vertedero para generar electricidad quemando estos gases en un motor de biogás. (Sanchez Yañez, Baltierra Trejo, & Márquez Benavides, 2012)

La acumulación de gas metano produce biogás, este es explosivo cuando el lixiviado se encuentra en el aire a una concentración de 5-15%, puede estar presente en grandes o pequeñas cantidades, estos gases también son contaminantes en el aire. provoca sequías por cambios de temperatura y aumenta el riesgo de incendios. (Sanchez Yañez, Baltierra Trejo, & Márquez Benavides, 2012).

Ilustración 12. Contaminación del aire a causa del metano un gas de efecto invernadero encontrado en vertederos.



Fuente: (National Geographic, 2021)

Ilustración 13. Densidad, pesos específico y molecular de los gases más comunes en los rellenos sanitarios en condiciones estándares.

Gas	Fórmula	Peso molecular	Densidad (g/l)	Peso específico (kg/m ³)
Aire		28.97	1.2928	1.293
Amoníaco	NH ₃	17.03	0.7708	0.771
Dióxido de carbono	CO ₂	44.00	1.9768	1.977
Monóxido de carbono	CO	28.00	1.2501	1.250
Hidrógeno	H ₂	2.016	0.0898	0.089
Sulfuro de hidrógeno	H ₂ S	34.08	1.5392	1.538
Metano	CH ₄	16.03	0.7167	0.717
Nitrógeno	N ₂	28.02	1.2507	1.251
Oxígeno	O ₂	32.00	1.4289	1.428

Fuente: (ministro del Medio Ambiente, 2008)

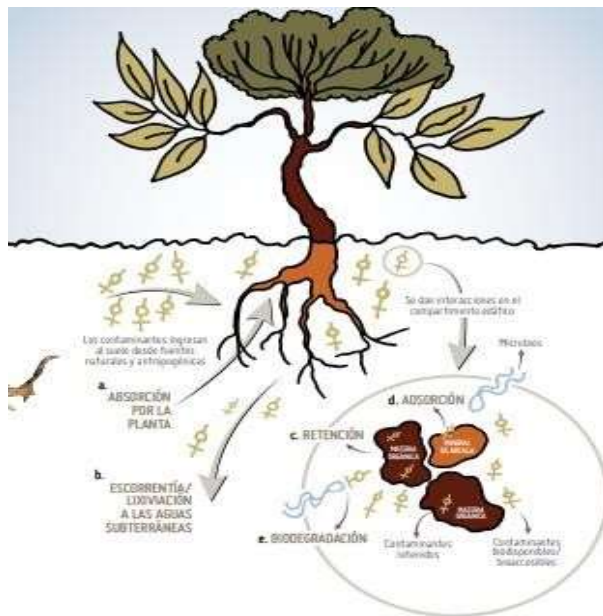
3.1.3 Impacto en Suelo

Una vez que los contaminantes ingresan al suelo, retienen, reducen o descomponen los contaminantes a través de procesos físicos, fisicoquímicos, microbiológicos y bioquímicos. Las

propiedades más significativas del suelo las cuales afectan el comportamiento de los contaminantes incluyen la cantidad de materia orgánica presente en el suelo, humedad, el pH la mineralogía del suelo, la temperatura y el contenido de arcilla. Las características de las impurezas también de gran importancia incluyendo la estructura molecular, la solubilidad, el tamaño molecular, la distribución de carga, etc. (Gevao, Semple y Jones, 2000).

La Ilustración 14 presenta las vías de contaminación en la cadena alimenticia, producida por la transferencia de contaminantes del suelo a través de las plantas.

Ilustración 14. Contaminación del suelo, absorción de las plantas.



Fuente: (Rodríguez Eugenio, McLaughlin, & Pennock, 2019)

3.2 Matriz de calificación de impactos

Como todo proyecto de ejecución debe plantear la matriz de impactos ver figura Factores que intervienen en la producción de lixiviados.

Ilustración 15. Matriz de impacto de los lixiviados.

Componente	Elemento	Impactos	Indicadores
Atmosférico	Calidad del aire	Alteración en la fase gaseosa	Metano (CH ₄), dióxido de Carbono y sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)
		Alteración en la fase sólida	Materia particulada
Geosférico	Ruido	Incremento de los niveles de presión sonora	Niveles de ruido
	Suelos	Aumento de capa fértil del suelo	Volumen de suelo fértil como cobertura final
		Alteración de las características edáficas	Propiedades físicas, químicas y de fertilidad (estructura, macro y micronutrientes del suelo, entre otros)
		Contaminación	Presencia de aceites y grasas, cemento, residuos sólidos, etc.
Geomorfología	Activación de procesos erosivos	Superficie expuesta al arrastre	
	Cambio en las geoformas	Cambio en la topografía	
Calidad de aguas	Aporte de sustancias deletéreas	DBO DQC, sólidos suspendidos totales, conductividad, gases y aceites, pH, turbiedad, oxígeno disuelto y temperatura	
Hidrosférico		Alteración de las características hidráulicas de la microcuenca	Rendimientos, tiempos de concentración de caudales, características morfométricas.

Componente	Elemento	Impactos	Indicadores
Biótico	Hidráulica: Pastaje	Antropización en mosaico	Cuencas visuales Creado de cobertura vegetal
		Mejoramiento de las visuales paisajísticas	Tipo de especies vegetales plantadas Distribución espacial de las especies vegetales
	Vegetación	Cambio en la cantidad de biomasa	Superficie de cobertura vegetal afectada Número de individuos establecidos Superficie sembrada
		Pérdida de especies en la composición florística Alteración de la regeneración por deposición de material particulado	Dominancia Abacaba Cantidad de material sólido volátil por unidad de área.
	Fauna	Fragmentación y pérdida de microhábitats	Conformación de refugios Ausencia de fauna
		Alojamiento temporal de la avifauna Creación de microhábitats	Ausencia de Avifauna Presencia de avifauna.
Socio Económico	Social	Incomodidad	Quejas de la comunidad
		Aumento de accidentalidad	Número de accidentes registrados.
		Generación de expectativas	Solicitudes de empleo
		Mejoramiento en la disposición de los residuos sólidos	Tendencias de residuos dispuestos
	Económico	Cambios en el uso del suelo	Direccionalmente en el uso del suelo
		Afectación de la actividad turística	Disminución de visitas
		Generación de empleos	Número de personas vinculadas al proyecto.
		Demanda de fuerza y servicio	Compra de materias primas y contratación de servicios para la construcción de las obras
Generación de rentas	Ingresos por impuestos		
Cambios en el valor de la tierra	Variación de los precios de la tierra.		

Fuente: (Ministro del Medio Ambiente, 2008)

4. TRATAMIENTOS DE LIXIVIADOS

Se ha encontrado que el lixiviado está altamente contaminado con muchos componentes orgánicos e inorgánicos, entre ellos esta E coli , heces y metales pesados por nombrar algunos. Es necesario eliminar los contaminantes generados en vertederos sanitarios. El tratamiento de lixiviados consiste en realizar una operación o proceso que intenta eliminar la mayor parte de los contaminantes antes de su disposición en las aguas receptoras. (Espinosa Lloréns M. D., López Torres, Fernández García, & Pellón, 2016)

4.1 Selección del tipo de tratamiento

Para el abrochamiento adecuado de un sistema de tratamiento de lixiviados se necesita saber la composición, cantidad, y propiedades de los mismos. Además de conocer el área disponible, las propiedades físicas del sitio y potencial económico para seleccionar, diseñar, el dimensionamiento y uso adecuado de plantas de tratamiento de lixiviados. Por lo tanto, los lixiviados de los rellenos sanitarios deben evaluarse de manera individual y someterse a pruebas de tratamiento con el fin de hallar un sistema adecuado de tratamiento para su manejo (Orozco Barrantes, 2018).

4.2 Tratamientos específicos

Se describe los principales sistemas de tratamientos de lixiviados referenciados en el Mundo:

- Tratamientos Anaerobios
- Tratamientos Aerobios
- Tratamiento mediante recirculación
- Tratamiento con biorreactores con membrana (MBR)
- Humedales artificiales
- Tratamiento con osmosis inversa
- Tratamiento de lodos en digestión aerobia
- Tratamiento de lodos en digestión anaerobia

Descripción general de cada uno de los tratamientos

4.2.1 Tratamiento Anaerobio

El tratamiento anaeróbico, también conocido como digestión anaeróbica, funciona descomponiendo la materia orgánica. Esto lo realizan organismos microscópicos sin la presencia de oxígeno, sub produciendo el llamado biogás, que consiste en 70% de metano y una mezcla de 30% de dióxido de carbono, nitrógeno, hidrógeno, amoníaco y sulfuro de hidrógeno. En el caso de hedores que se produzcan durante la digestión biológica. La digestión anaeróbica se caracteriza por reacciones involucradas en el metabolismo de gran cantidad de organismos microscopicos para convertir los compuestos orgánicos en sustratos simples que pueden ser fermentados por bacterias metanogénicas. (Manual De Biogás, 2011)

En general, las bacterias no pueden alimentarse de sustancias complejas, por lo que las enzimas extracelulares primero hidrolizan las macromoléculas (proteínas, carbohidratos, lípidos) en compuestos más simples (azúcares, aminoácidos, ácidos grasos). (Manual De Biogás, 2011) La hidrólisis ocurre fuera de la bacteria por la acción de un catalizador biológico llamado exoenzima producida por bacterias productoras de ácido o fermentadoras. Después de que la hidrólisis produce moléculas simples, son absorbidas por la pared celular bacteriana y descompuestas internamente por procesos metabólicos. Este proceso de hidrólisis ayuda a absorber las partículas y los polímeros orgánicos que forman el residuo de agua. Puede ser absorbido por bacterias e incorporado a procesos metabólicos.

Entre los tratamientos anaerobios se pueden citar: Reactores UASB, Tanques Imhoff, Lagunas Anaerobias, anaerobios de flujo ascendente. (Manual De Biogás, 2011).

4.2.2 Tratamientos Aeróbicos

En este tipo de tratamiento se utilizan diferentes unidades de tratamiento entre las que se encuentran:

- Reactores de Lodos activados
- Sistema de discos biológicos rotatorios (Biodiscos)
- Reactores de lodos activados
- Lagunas aerobias

4.2.3 Tratamiento mediante recirculación

La recirculación de lixiviados se planteó hace unos años como un proceso alternativo consistente en recircular los lixiviados. Cuando el lixiviado se recircula en el proceso, los compuestos procedentes de la actividad biológica, las reacciones químicas y los procesos físicos que ocurren en él se diluyen y el relleno se debilita. Es decir, los ácidos orgánicos simples que se encuentran en los lixiviados se convierten en CH_4 y CO_2 . Gracias al alto valor de pH del vertedero durante la producción de CH_4 , el metal se asienta y retiene. (Chávez Montes) Recircular el lixiviado aumenta la humedad de los residuos y mejora la tasa de producción de gas metano en el vertedero. Cuando se mecaniza el ácido graso, el pH del lixiviado aumenta y, cuando el pH aumenta, la solubilidad del metal se reduce y el metal en la solución disminuye, este proceso reduce significativamente el DBO.

Finalmente, a estos resultados obtenidos se los considera como altura de enfoque satisfecho de pretratamiento, siendo apremiante determinado individuo de enfoque zaguero el cual depende de los requisitos de los permisos de vertimiento para cada caso.(Chávez Montes) Al utilizar la recirculación de lixiviados como proceso de pretratamiento, se deben tener en cuenta los requisitos relacionados con el mantenimiento, los equipos de geoingeniería del vertedero y, por lo tanto, los sistemas de drenaje, el almacenamiento de líquidos y el gas.

4.2.4 Tratamiento con biorreactores con membrana (MBR)

El tratamiento de lixiviados en un sistema de membranas o biorreactor es una de las técnicas

más desarrollada en los últimos años. La función principal de este sistema es actuar como barrera selectiva. Es decir, solo algunos de los ingredientes están adentro y los demás son retenidos por filtración. Esto separa dos o más componentes del líquido, principalmente en función de las diferencias de tamaño. Forma. En pocas palabras, la membrana se establece como una cerca que impide la transferencia de masa y regula o restringe el paso de una o más especies. (Parra Pinchao & Camilo Gómez, 2021)

Las membranas pueden ser líquidas, sólidas, gaseosas o combinadas para que uno o más componentes se concentren en la etapa de permeado o retención. Los métodos de lodos activados separados por membrana comparten similitudes en la operación con plantas de tratamiento biológico, pero estas son las únicas diferencias en la rotación de sedimentadores.

Los tipos de membranas pueden ser clasificadas de acuerdo con: (Pérez &González, 2011)

- Tipo de membrana: natural o sintética.
- Estructura de la membrana con o sin poros, sus propiedades morfológicas.
- Aplicaciones de la membrana: Separación en fase de gas, gas líquido, líquido líquido, etc.
- Mecanismo de acción de la membrana: adsorción y difusión, intercambio iónico, presión osmótica o no selectivo (inerte).
- La eficiencia del proceso biológico de oxidación del amoníaco para eliminar la DBO. Esta es su principal ventaja.
 - Reducir la capacidad del tanque del reactor biológico
 - La cantidad de biomasa en el reactor aumenta significativamente, pero así mismo es posible que se pierda la eficiencia de transferencia de masa durante la aireación.
 - Los módulos de las membranas son difíciles en cuanto a su operación y mantenimiento en comparación al mantenimiento del clarificador, lo que dificulta la operación del equipo.
 - Mayores costos de energía debido a la operación del reactor.

4.2.5 Humedales artificiales

Se entiende por humedal: extensión de masas de agua o superficies cubiertas por agua de

modo natural o artificial, permanentes o transitorias, estancadas o corrientes, dulces, salobres o salinas. Las principales características de los humedales son la disponibilidad de agua durante varios meses o todo el año y la gran cantidad de especies vegetales. (Morales Rodríguez, 2018) Los humedales de construcción se han utilizado ampliamente en el tratamiento de varias clases de agua residual, agua pluvial, agua residual de tipo industrial así como agrícola, drenaje ácido de minas y lixiviados de vertederos.

Como sistemas de tratamiento natural los humedales artificiales, han demostrado tener capacidades significativas para la recuperación de recursos, así como para el tratamiento de aguas residuales (Morales Rodríguez, 2018).

Los humedales artificiales son una alternativa para tratar los lixiviados, es de fácil y bajo costo en operación y mantenimiento y bajo consumo de energía eléctrica, puede adaptarse a distintos ambientes y niveles de procesamiento. (Cerón, Calvache, Tulande, Alegría, & Juan C. Casas Zapata, 2018).

4.2.6 Tratamiento con osmosis inversa

Este proceso asegura la desalinización física, química y bacteriológica del agua. Se administra mediante una membrana semipermeable de poliamida enrollada en espiral que actúa a través de un filtro que retiene la mayor parte de las sales disueltas con bacterias y virus para conseguir una agua ultrapura (Macías & Beltrán, 2020).

La ósmosis inversa se realiza en varias etapas, comenzando con una solución de baja concentración y aumentando la concentración de la solución en cada etapa. En cada etapa, el agua fluye por la membrana semipermeable. Cuando se aplica una presión mayor que la presión osmótica a la solución más concentrada, el solvente comienza a fluir en la dirección opuesta. (Macías & Beltrán, 2020) El disolvente depende de la presión aplicada. Presión osmótica

aparente y área de membrana de presión.

4.2.7 Tratamiento de lodos en digestión aerobia

Proceso en el que los lodos provenientes del sedimentador primario o de los procesos aeróbicos de tratamiento se someten a aeración extensa en tanques separados y descubiertos. La digestión aeróbica es realizada en un tanque separado, con la aeración prolongada, que se lleva a cabo en el mismo tanque de aeración. La digestión aeróbica se utiliza en la estabilización del exceso de lodos que provienen de los lodos activados, lodos combinados provenientes de plantas pequeñas de tratamiento que no tengan digestión anaeróbica separada para los lodos primarios (Uson, 2014).

4.2.8 Tratamiento de lodos en procesos anaeróbicos

El tratamiento de lodos reduce la cantidad de lodo y biológico para producir fácilmente un material lo suficientemente concentrado para seleccionar en un proceso de disposición final para eliminar toda el agua contenida en el lodo. El tratamiento por lodo deja un residuo compacto que puede ser eliminado de manera aceptable. Lo principal de este tratamiento es la estabilización de los lodos y la reducción de su actividad biológica y tendencia a la putrefacción, así como el contenido de patógenos (Amador Díaz, Veliz Lorenzo, & Bataller Venta, 2015).

4.3 Reactores UASB

Un reactor anaeróbico de flujo ascendente (UASB) con una cubierta de lodos hace posible convertir las aguas residuales cargadas de materia orgánica en biogás y fertilizantes estabilizados. Las aguas residuales entran por el fondo del reactor y ascienden por una gruesa capa de lodos (manto), creando un efecto filtrante. Hay una reducción significativa de materia orgánica y el biogás resultante se puede utilizar para generar energía. (Condorchem Envitech, s.f.)

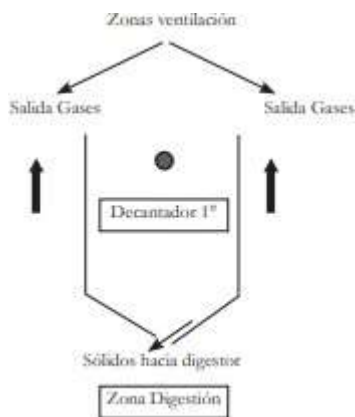
4.4 Tanques Imhoff

Se define como el tratamiento primario para poblaciones tributarias de menos de 5.000 habitantes, cuya finalidad es eliminar los sólidos en suspensión. Este proceso consiste en una sedimentación sólida seguida de una digestión anaeróbica de la materia orgánica y los lodos producidos. (UNATSABAR, 2012).

El tanque Imhoff consta de 3 componentes como se observa en la Ilustración 16

- Zona de ventilación.
- Zona de decantación.
- Zona de digestión.

Ilustración 16. Componentes del tanque Imhoff



Fuente: (León Menacho, 2017)

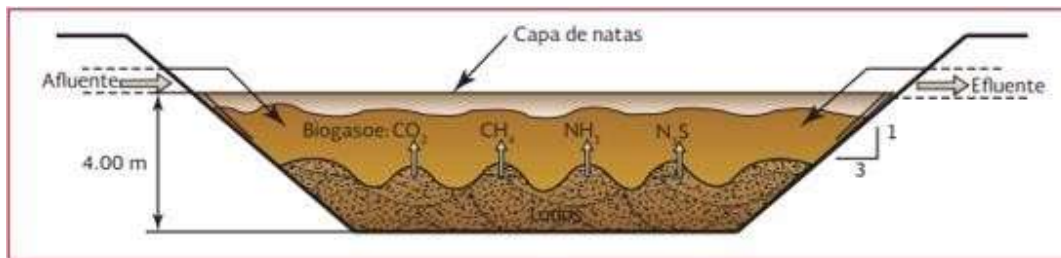
El agotamiento del tanque de digestión está directamente relacionado con la temperatura de digestión de los lodos y su capacidad de almacenamiento, y la OPS asume una temperatura de diseño del tanque de digestión de 15 °C, que no es aceptable en condiciones ambientales. El sistema de tanques Imhoff es defectuoso debido a los muy bajos rendimientos del equipo de purificación primaria y del fermentador. (León Menacho, 2017).

4.5 Lagunas Anaerobias

Las lagunas anaeróbicas se utilizan para tratar aguas residuales que contienen altas concentraciones de material orgánico. Su función es hacer posible la precipitación de sólidos y la remoción de orgánicos en ausencia de oxígeno. Debido a su estructura, los estanques anaeróbicos son estanques con el área más pequeña, la profundidad máxima y el tiempo de permanencia hidráulica son cortos. También tolera cargas orgánicas más grandes que otros tipos de lagunas. Su función principal es remover residuos orgánicos y sólidos en suspensiones. (Tilley, y otros, 2018)

Las lagunas anaeróbicas no funcionan bien cuando la carga de materia orgánica es inadecuada. En ese caso, el color del agua será rojo o rosa (lo que indica la presencia de bacterias fotosintéticas). Por otro lado, el fuerte olor a huevos podridos indica que la laguna anaeróbica está sobrecargada. (Comisión Nacional del Agua, 2015)

Ilustración 17. Esquema de una laguna anaerobia



Fuente: (SINA, 2015)

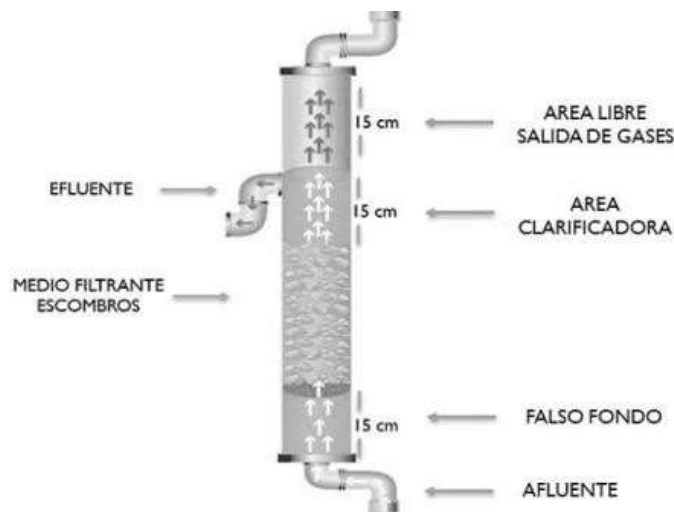
4.6 Filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA)

El filtro anaeróbico aguas arriba (FAFA) ha obtenido buenos resultados en el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales que requieren tratamiento debido a la alta carga contaminante en las aguas residuales y la remoción efectiva. Los factores que pueden afectar de

manera directa labor y la eficacia de remoción es el tiempo de retención hidráulica (TRH), se dice que FAFA logra una remoción de DQO superior al 65% para cargas orgánicas inferiores a 7,32 kg DQO/m³ d a temperaturas entre 20 y 25°C.(Moncayo Loaiza & Grijalba Zarama, 2017)

En la ilustración 18 se observa el filtro anaeróbico de flujo ascendente

Ilustración 18. Esquema filtro anaeróbico de flujo ascendente



Fuente: (Moncayo Loaiza & Grijalba Zarama, 2017)

4.7 Reactores de Lodos activados

En este proceso, los microorganismos aeróbicos forman escamas de lodo activado con partículas orgánico-inorgánicas. Los copos vivos constituyen del 5 al 20 % de todas las bacterias. Los microorganismos presentes en los copos oxidan la materia orgánica para producir polisacáridos y otros polímeros extracelulares que promueven la agregación. Los microorganismos aeróbicos representan una parte importante, cuyo número varía inversamente

con el tamaño de los flóculos. Esto es para dificultar que el oxígeno se difunda en el interior. (Comisión Nacional del Agua, 2015) En los flóculos grandes, el interior es anaeróbico, lo que permite el crecimiento de bacterias anaeróbicas estrictas (como los metanógenos) que sobrevivieron al período de las principales bacterias aeróbicas en las pequeñas bolsas anaeróbicas internas de los flóculos pequeños.

El método convencional de fangos activados consiste en la integración de tanques de fangos activados (reactores biológicos) y una depuración secundaria mediante el reciclado de fangos. Estos tres componentes se pueden utilizar como postratamiento para reactores anaerobios. Si un sistema de lodos activados convencional actúa como postratamiento de aguas residuales anaeróbicas, se utiliza un reactor anaeróbico para reducir la carga de materia orgánica y activar los lodos desde el fondo del dispositivo de depuración secundaria hasta la entrada de lodos activados de la forma habitual. (Comisión Nacional del Agua, 2015)

5. TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO LA CORTADA PAMPLONA NORTE SANTANDER

5.1 Descripción general del relleno sanitario

El vertedero local ha estado en funcionamiento durante unos 11 años desde 2010. En este relleno se atiende a la población del municipio de Pamplona y de 13 municipios más entre los municipios están; Vetas en Santander, Santo Domingo de Silos, Cacota, Cucutilla, Toledo, Chitagá y Labateca en Norte de Santander. Así mismo presta el servicio de disposición final de escombros de las empresas, consorcios y/o uniones temporales: T&J, Autovías 3 y 4, Geengi Solutions, CSS Constructores y Sociedad Minera California. De acuerdo con reportes del año 2020 al relleno ingresaron 15.940 toneladas de residuos sólidos equivalentes a 1.320 t/mes y a 43,6 t/día en promedio (Corponor, 2021).

El relleno en el área es manejado por la empresa de servicios públicos (Empopamplona). Bajo la dirección del director general Klaus FaberMogollon, actualmente existe una planta de tratamiento de lixiviados diseñada para 1 L/s. Cuenta con licencia ambiental otorgada por Coponor por resolución 0222 de 2006 para disposición final de residuos fijos por parte de las prestadoras del servicio público de saneamiento. Los servicios de limpieza, recogida y transporte se proporcionan diariamente durante el día en ubicaciones estratégicas, como en: sitios de acopio, mercados, prisiones, hospitales. (Corponor, 2021)

El servicio de aseo en Pamplona opera de lunes a domingo, los lunes, martes y viernes hay de 6 a 7 rutas, los miércoles y jueves de 4 a 5 rutas y los sábados y domingos una sola ruta. La recolección de residuos domiciliarios se da diariamente de 6:00 PM a 1:00 AM, para lo cual se cuenta con 3 vehículos compactadores. Con los demás municipios solo se presta el servicio de disposición final. Toledo 5 veces por semana, Labateca y Santo Domingo de Silos 3 veces,

Cucutilla y Cacota 2 veces.

5.2 Localización

El vertedero del área (La Cortada) está ubicado en el corregimiento de Chíchira, 3,5 km al noreste de la Carretera Pamplona-Chichira. Su ubicación es 1.307.000 a 1.308.000 al norte, 1.159.000 a 1.160.000 al este (coordenadas MAGNA-SIRAS), y una altitud promedio de 2.375 m.s.n.m. (Corponor, 2021)

Ilustración 19. Vista área del relleno sanitario (La Cortada)



Fuente: (Google Earth)

5.2 Capacidad operativa

El relleno la Cortada cuenta con una capacidad de disposición final máxima de 172936 m³ esta cantidad diaria varía con valores entre 40 y 46 ton/día que recibe actualmente. En 2020, al relleno, ingresaron 15940 toneladas de residuos, equivalentes a 1320 ton/mes y a 43.6 ton/día en promedio (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021).

5.3 Vida útil del relleno

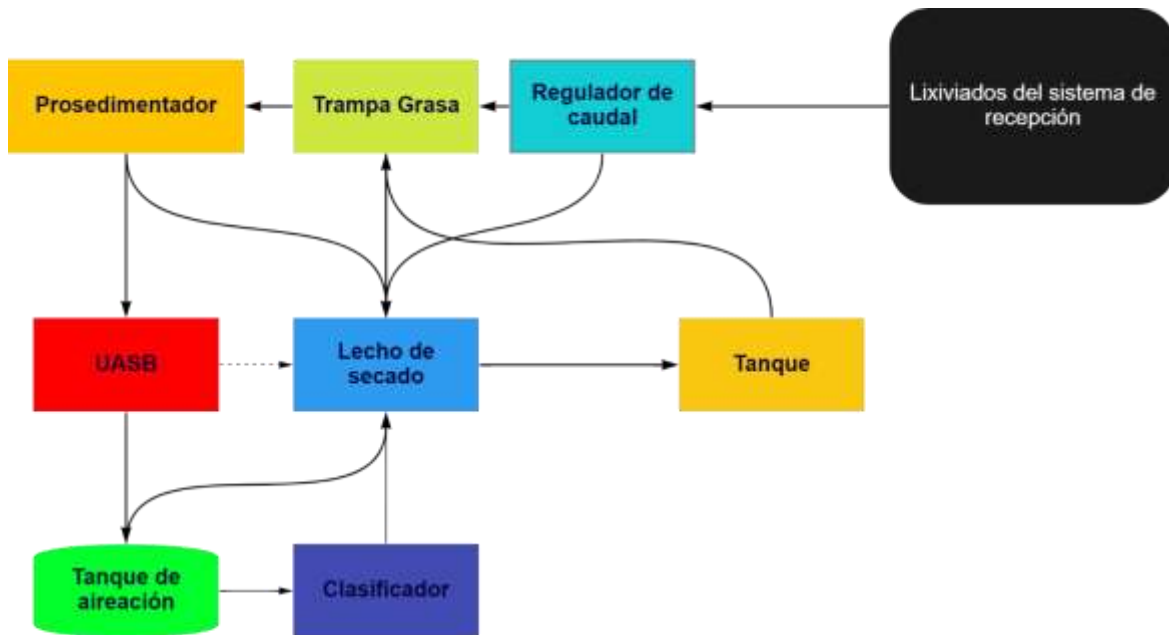
El relleno sanitario se diseñó con un periodo de vida útil de 25 años aproximadamente (2010-2034) actualmente está en el año 11 de operación. Una parte del relleno denominada relleno

viejo ya culminó su vida útil, sin embargo, actualmente se sigue disponiendo en este debido a que se espera la culminación de obras de una nueva celda que se proyecta para 3 a 4 años de uso a partir de la fecha de entrega. (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021)

5.4 Sistema de Tratamiento de Lixiviados (STL)

Las investigaciones muestran que los sistemas STL consisten en pretratamiento, tratamiento biológico, tratamiento anaeróbico y tratamiento aeróbico. Primero se agrupan la unidad de control de flujo, separador de grasas y dispositivo de explicación preliminar, luego se llega al reactor UASB, donde se lleva a cabo la reacción anaerobia del sistema, y finalmente se llega a la barra colectora, ventilación y depuración hasta los lodos perlados. Sistema aeróbico Para hacer. un estanque y una bomba de circulación de lodo, como se observa en la Ilustración 20.

Ilustración 20. Ruta de tratamiento de lixiviado



En los diferentes procesos el lixiviado pasa a un área donde es tratado. Estas áreas se encargan de reducir los sólidos suspendidos (SST) y lixiviados. Al finalizar el proceso de tratamiento, estas aguas son devueltas a un río o fuente de agua cercana.

miro

Fuente: Elaboración Propia

5.5 Caudal de lixiviado promedio

Para validar el caudal que ingresa al sistema, se realizan mediciones al ingreso y salida de la unidad de regulación. Este procedimiento es realizado cada vez que hay bombeo, se utiliza un balde de 12 L, una probeta de 1 L y cronómetro. Se mide el tiempo que tarda en llenarse el recipiente seleccionado obteniendo el caudal mientras la bomba está encendida, así mismo, se mide el tiempo que la bomba permanece encendida y apagada, de tal forma se estima el porcentaje de tiempo que bombea lixiviado y por ende el volumen que ingresa al sistema por día, se mide el caudal que ingresa al sistema mientras la bomba está encendida al menos 4 veces por día, se promedia los valores obtenidos para tener mayor precisión y exactitud en las mediciones. (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021) se presentan las mediciones de caudal regulado, que es el que ingresa al sistema, bombeado que es el que proviene del sistema de recepción y el de exceso que es el que regresa a dicho sistema.

Valores desde la estabilización del sistema 01 de junio al 26 de junio del 2021			
Promedio (m3/día)	14.47	11.75 (0.14 l/s)	2.72
Máximo (m3/día)	34.56	29.62 (0.34 l/s)	7.71
Mínimo (m3/día)	7.6	6.58 (0.08 l/s)	0.09

Ilustración 21. Registro de caudal

Fuente; (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021)

Con el sistema trabajando en continuo se tiene un caudal promedio de 11.75 m³/día (0.14 l/s), que puede variar de acuerdo con las condiciones climáticas debido a que no existe una buena separación del lixiviado del agua lluvia.

5.6 Descripción de la planta de tratamiento de lixiviados

El sistema comienza con la recepción de lixiviados el cual inicia en el tanque 1 termina en el

tanque 4, a continuación, se explican los procesos que pasan los lixiviados para su tratamiento en cada uno de los tanques:

- **Tanque 1:** Recibe el lixiviado proveniente del relleno viejo y nuevo, las dimensiones son alto 2.20m, ancho 2.50m y largo 2.50m, posee un espesor de pared de 0.26m. (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021) Desde el borde del tanque hasta la tubería que conecta con el Tanque 2 hay 0.32m. La tubería en PVC tiene un diámetro de 6 pulgadas.
- **Tanque 2:** Recibe el lixiviado del Tanque 3, se conecta mediante tubería en PVC de 6 pulgadas con el Tanque 1. Las dimensiones son: Alto 2.16m, ancho 2.50m y largo 2.50m, espesor de pared de 0.26m.
- **Tanque 3:** Recibe el lixiviado del relleno viejo y del antiguo botadero, la infiltración de las aguas lluvias se recolecta mediante un canal. (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021) Las dimensiones de este tanque son: Alto 0.9m, ancho 2m y largo 2m con un espesor de pared de 0.18m. Tanque4: Se conecta con tubería PVC de 6” con el Tanque 1. Las dimensiones son: Alto 2.58m, ancho 4m y largo 5.55m, espesor de pared de 0.27m. Laguna: Se conecta con él.
- **Tanque 4** y recibe los excesos del agua lluvia junto con los filtros perimetrales del lixiviado de la zona a clausurar.

Ilustración 22. Planta de tratamiento de lixiviados



Fuente: (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021)

Ilustración 23. Sistema de recepción de lixiviados



Fuente: (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021)

5.7 Caudal de lixiviado de diseño planta

El sistema de tratamiento de lixiviados fue diseñado por la consultora DAG INGENIERIA para tratar un caudal de 1 l/s, se estableció este caudal de diseño basados en el procesamiento de información existente del relleno suministrada por Empopamplona, con los documentos. Esta información permitió tener un estimado del caudal promedio de lixiviado que se generaba durante la fase del diseño del sistema, con valores reportados en un rango entre 5 y 8 l/min. DAG INGENIERIA implementa dos metodologías para determinar el caudal de diseño del sistema de

tratamiento, tiene en cuenta factores como condiciones climáticas, parámetros de diseño y operación, etapa de funcionamiento y composición de los residuos. Estas metodologías son el método suizo que tiene en cuenta la precipitación, el grado de compactación y capacidad del campo, y el método Borzacconi que utiliza un balance hídrico con condiciones específicas de diseño y operación del relleno sanitario. (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021)

Después de establecer la metodología a utilizar, determinan las variables necesarias para calcular el caudal total de lixiviado, dando como resultado los caudales aportados por el relleno viejo y nuevo.

Ilustración 24. Caudal de diseño DAG INGENIERA

Área de aporte	Caudal de lixiviado l/s
Relleno viejo	0.54
Relleno Nuevo	0.38
Total	0.92

Fuente: (Corponor, 2021)

5.8 Diagrama de flujo del sistema

La planta de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario (La Cortada) cuenta con un sistema de tratamiento biológico, caracterizado por un pretratamiento donde se retiran sólidos sedimentables del sistema (consta de una trampa grasa y un presedimentador) y un sistema secundario correspondiente a un Reactor UASB y un Reactor de Lodos Activados (RLA). En la ilustración 25 una fotografía de la planta de tratamiento en donde se observan las partes del sistema. (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021)

Ilustración 25. Sistema de tratamiento de lixiviados (STL)



Fuente: (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021)

5.9 Sistema de bombeo

El bombeo desde el sistema de recepción de lixiviados hasta el STL está compuesto por una bomba sumergible PEDROLLO TOP MULTI 2, con capacidad de bombeo entre 10-80 l/min, profundidad máxima de uso de hasta 10 m, temperatura máxima del fluido de hasta 40 °C y nivel de vaciado máximo de hasta 35 mm del fondo, requiere una potencia de 0.75 HP, está fabricada en tecnopolímero cargado con fibra de vidrio, noryl y acero inoxidable AISI 304 y 401 (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021) La bomba opera de manera intermitente, con ciclos de apagado y encendido acorde a un flotador que define el volumen máximo de llenado del Tanque 1; donde se ubica la bomba, de ahí la bomba se conecta con tubería PVC a presión de 1 ½” y se amplía a 2” para conducir el lixiviado desde el Tanque 1 hasta el STL a la unidad de regulación de caudal. La bomba descrita se observa en la Ilustración 26.

Ilustración 26. Bomba sumergible

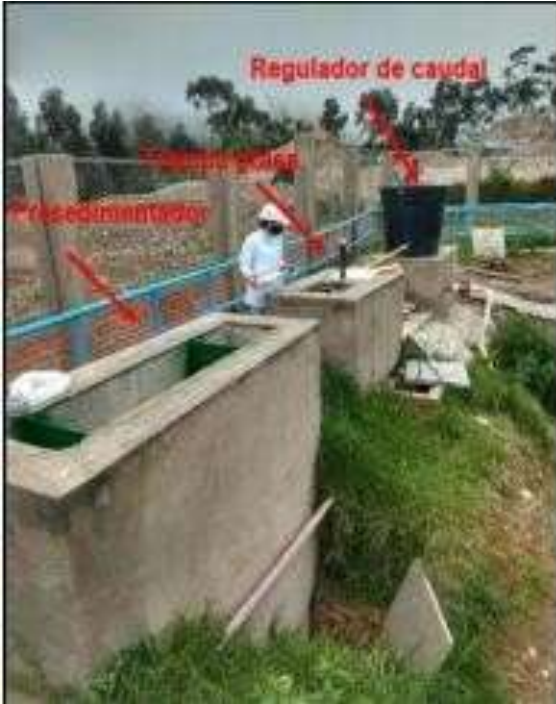


Fuente: (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021)

5.10 Pretratamiento

La zona de pretratamiento está compuesta por un regulador de caudal, trampa grasa y presedimentador, esta parte del STL garantiza que el caudal que ingresa al STL sea máximo de 1 l/s y a su vez remover la mayor cantidad de grasas, aceites y sólidos sedimentables que facilitan el tratamiento biológico, en esta zona del STL también se remueven SST llegando a remociones hasta del 12.2%, (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021) en cuanto a DQO se obtiene remociones hasta del 9% y para la DBO5 se llega a remociones hasta del 9.3% que se pueden sedimentar fácilmente. En la Figura 10 se observan las 3 unidades que conforman la zona de pretratamiento en el STL.

Ilustración 27. Zona de pretratamiento



Fuente: (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021)}

5.11 Regulador de caudal

Esta unidad consta un tanque de polietileno de 500 litros y una zona de evacuación de lodos. El caudal que es bombeado desde el Tanque 1 ingresa a la parte superior del tanque por medio de una tubería PVC a presión de 2". Los excesos de lixiviado bombeado son evacuados mediante tubería sanitaria PVC de 2" ubicada a 33.5 cm de la base del tanque devuelta al sistema de recepción de lixiviados. (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021) El caudal es regulado debido a que pasa a través de un orificio de 1 ½" y la columna de agua de lixiviado es constantemente de 15cm de altura, garantizando un caudal máximo de 1 l/s. Los lodos del tanque

de regulación de caudal son descargados por tubería PVC a presión de 1", se acciona una válvula de bola de 1" para descargar al tanque. Desde este punto, los lodos son conducidos en tubería sanitaria PVC de 3" hasta el lecho de secado, se descarga mediante válvula PVC lisa de 3".

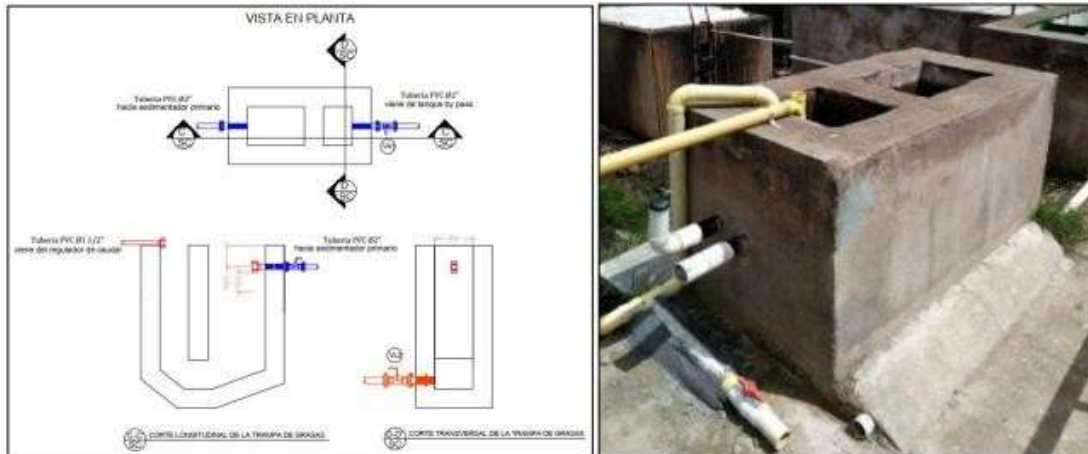
Para la medición diaria de caudal, se utiliza un recipiente plástico en el cual se mide un volumen de lixiviado captado de la tubería en un tiempo contabilizado, de esta forma se obtiene el caudal al dividir el volumen entre el tiempo, se debe realizar el procedimiento de medición al menos tres veces y promediar los resultados obtenidos para obtener un valor medio, siempre y cuando la variación no sea significativa (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021) (los valores medidos deben diferir en menos de un 5% del valor promedio de las mediciones), de esta forma se obtiene un resultado confiable de caudal, este procedimiento se realiza a la entrada y salida del regulador para determinar el caudal que es bombeado desde el sistema de recepción de lixiviados y el caudal que ingresa al STL.

5.12 Trampa grasa

La trampa de grasas está compuesta por un tanque con una pantalla divisoria interna en concreto, esta unidad recibe lixiviado proveniente del regulador de caudal mediante una tubería en PVC de 1 ½", también recibe el lixiviado filtrado y recirculado del lecho de secado. La finalidad de esta unidad es la retención de sólidos flotantes y grasas presentes en el lixiviado (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021). La salida del sistema posee una tubería en forma de T en PVC sanitaria de 2" que evita el arrastre de las grasas a la siguiente unidad, en esta unidad pueden ocurrir fenómenos de sedimentación por tal motivo presenta en la parte inferior un sistema de evacuación de lodos de 3" de diámetro con una válvula tipo bola del mismo tamaño que conduce los lodos hasta el lecho de secado. Ilustración 28 se presentan

las dimensiones de la trampa de grasa y una imagen en campo.

Ilustración 28. Dimensiones de la trampa de grasa

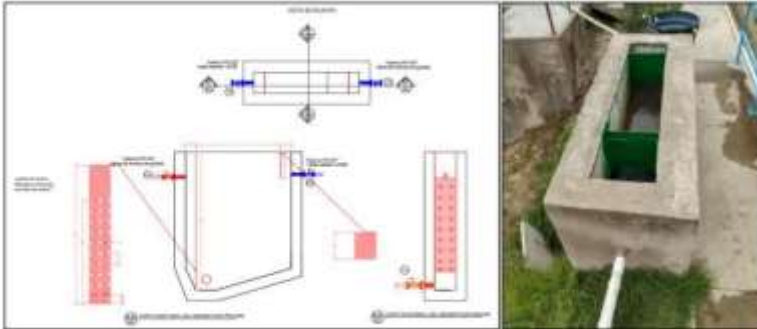


Fuente: (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021)

5.13 Presedimentador

El sedimentador primario posee un ordenador de flujo a 0.2 m de la entrada y un desnatador ubicado a 0.2 m de la salida del tanque. De esta manera esta unidad se divide en tres zonas, entrada que va desde la tubería de ingreso hasta el ordenador de flujo, zona de sedimentación comprendida entre el ordenador de flujo y el desnatador y la salida, su principal función es la remoción de sólidos sedimentables, en la parte inferior de la unidad hay un sistema de evacuación de lodos de 3 pulgadas de diámetro con una válvula tipo bola del mismo tamaño que conduce los lodos hasta el lecho de secado, observado en la Ilustración 29.

Ilustración 29. Sedimentador primario



Fuente: (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021)

5.14 Sistema de dosificación de nutrientes

Este sistema está conformado por dos tanques de polietileno de 250 litros y dos bombas de diafragma con caudal de 0.0025 l/s. En manguera de ½” se conducen los nutrientes hasta la salida de la trampa grasa. En la Ilustración 30 se muestran los tanques para la preparación y dosificación de nutrientes.

Ilustración 30. Tanques de preparación y dosificación de nutrientes



Fuente: (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021)

5.15 Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB)

Esta unidad está compuesta por un único reactor, el ingreso del lixiviado se da mediante dos canales ubicados en la parte superior, en estos se disponen vertederos que permiten una

distribución homogénea del fluido que ingresa al reactor mediante tuberías de 2" de diámetro, un canal posee 4 vertederos y el otro 3. (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021) En la zona baja del reactor, el lixiviado tiene contacto con los lodos biológicos (bacterias) que mediante reacciones enzimáticas de diversos tipos generan los procesos de hidrólisis, acetogénesis y metanogénesis. En la fase de hidrólisis los sustratos orgánicos complejos se descomponen por acción de enzimas extracelulares originadas por microorganismos hidrolíticos. Los sustratos orgánicos son: los polisacáridos que son los carbohidratos con gran peso molecular constituidos por unidades monoméricas, las proteínas constituidas por aminoácidos y los lípidos que son moléculas de ácidos grasos unidos por un enlace éster a una molécula de glicerol.

Con los compuestos orgánicos intermediarios producto de la degradación de los polisacáridos a alcoholes y azúcares, las proteínas a aminoácidos y los lípidos a ácidos grasos se inicia la fase acidogénica, en la cual mediante fermentación alcohólica, láctica y acética el material orgánico se convierte en acetato, ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, NH_3 , H_2S , H_2 y CO_2 y subproductos como Ácidos Grasos Volátiles AGV. (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021) Un aumento en la producción de los AGV indica una disminución en el pH, debido a que consumen gran cantidad de la alcalinidad disponible del sistema, lo que puede dar como resultado a una acidificación del reactor, por lo tanto, se debe realizar monitoreo del pH.

La siguiente fase es la acetogénica donde los subproductos AGV, alcoholes, ácidos grasos de bajo peso molecular y aromático son transformados en acetato e hidrogeno para ser usados como sustrato de las bacterias metanogénicas. Por último, en la fase metanogénica se utilizan los sustratos formados en la acidogénesis y la acetogénesis para ser convertidos en metano.

En el UASB mediante las reacciones mencionadas, se favorece la formación de ácido acético, Ácidos Grasos Volátiles (AGV) y gas metano, el gas sale por las tres chimeneas ubicados en la

parte superior del reactor. (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021) En la base del UASB hay un sistema interno de evacuación de lodos fabricado en tubería de 3", este conecta con tubería al exterior y se regula con una válvula de tipo bola del mismo diámetro que conduce los lodos hacia el lecho de secado.

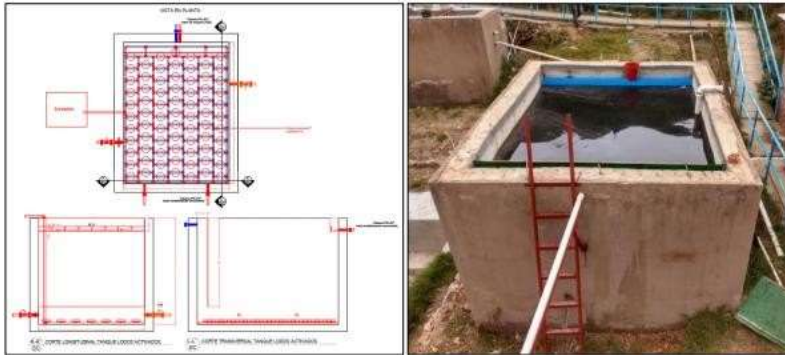
5.16 Sistema de lodos activados

Este sistema está conformado por un tanque de aireación, un sistema de suministro de aire, un clarificador y un sistema de recirculación, esta zona del STL es el encargado de la biodegradación del material orgánico, presente en el lixiviado mediante oxidación y reacciones aerobias.

5.17 Tanque de aireación

Esta unidad también llamada Reactor de Lodos Activados (RLA), consiste en un tanque de concreto con un baffle ubicado a 0.3 m de la entrada del lixiviado, para forzar que el lixiviado ingrese hasta la parte baja del tanque, para evitar cortos hidráulicos. Además, tiene un sistema de aireación con 75 difusores conectados mediante una red de distribución de aire a un soplador para mantener el sistema entre 2 y 4 mg/l de Oxígeno Disuelto (OD). (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021) El lixiviado proveniente del UASB ingresa al tanque pasando la parte inferior del baffle lo que garantiza un mayor tiempo de contacto entre el OD, el lixiviado y las bacterias en la zona de aireación, el lixiviado aireado es evacuado mediante un vertedero ubicado a 0.36 m del borde superior del tanque, el lixiviado ingresa al vertedero para después ser conducido mediante tubería de PVC de 2" a presión hasta la entrada del clarificador. En la parte baja del tanque existe el drenaje de lodos a través de tubería de 3" que conecta al lecho de secado y es controlado por una válvula de tipo bola del mismo diámetro. En la Ilustración 31 se presenta el reactor de lodos activados.

Ilustración 31. Reactor de lodos activados



Fuente: (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021)

Para garantizar que el OD dentro del tanque se mantenga en el rango óptimo de funcionamiento 2 a 4 mg/l se establecen dos ciclos de funcionamiento; 7.5 min de encendido y 15 min de apagado para lixiviado con alta carga contaminante DQO >3500 mg/l y 7.5 min de encendido y 20 min de apagado para lixiviado con DQO < 3000 mg/l.

5.18 Sistema de suministro de aire

Este sistema consiste en 75 difusores conectados mediante una red de distribución de aire a un soplador con una capacidad máxima de 620 m³/h de aire. El soplador es controlado por medio de un tablero de control que permite establecer la configuración manual o automática de tiempos de encendido y apagado del equipo optimizando el consumo de electricidad. En la Ilustración 32 se observa el sistema de aireación.

Ilustración 32. Sistema de aeración

Fuente: (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021)

La red de distribución de aire se conecta con el blower industrial MAXFLOW en tubería de acero galvanizado para aumentar la transferencia de calor al medio, evitando un aumento elevado en la temperatura de la tubería con un máximo de 55°C. La tubería de acero es de 3" de diámetro, a 80 cm de la salida se ubica una válvula de alivio para liberar sobrepresión del sistema, después se encuentra un cheque para evitar que el fluido ingresa al equipo. La tubería galvanizada tiene una longitud de 3 m desde la salida del aireador, la distribución de aire continúa en PVC a presión de 3" de diámetro hasta el interior del tanque donde se conecta con la red de distribución de los difusores mediante tubería de 1 ½" de diámetro (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021). El sistema de aireación es esencial para el funcionamiento del sistema, por tanto, en caso de contingencia se cuenta con un sistema de aireación alternativo conformado por 9 difusores de burbuja fina conectados con una red de distribución de aire de 4 sopladores regenerativos de ¼ HP, estos son encendidos mediante el tablero eléctrico.

5.19 Clarificador

El clarificador o sedimentador secundario tiene un baffle a 0.2 m de la entrada que fuerza al fluido a pasar por debajo hasta llegar a la zona de sedimentación formada por 76 placas inclinadas con un ángulo de 60° con la horizontal. A 0.12 m por encima de las placas inclinadas

se ubica el canal que recolecta el clarificado y pasa a una tubería PVC sanitaria de 2” de diámetro para su descarga. (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021) Los lodos de esta unidad son drenados a una recámara contigua al clarificador que hace parte del sistema de recirculación, en la Figura 20 se muestra el plano y una fotografía de la unidad.

5.20 Sistema de recirculación

El sistema de recirculación se conecta en la parte baja del clarificador mediante tubería PVC sanitaria de 3” de diámetro, controlada por una válvula tipo bola de igual diámetro. Esta unidad consiste en una recámara contigua al clarificador, en el interior de esta se ubica una bomba sumergible PEDROLLO TOP MULTI 2 (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021), se conecta en tubería PVC a presión de 1 ¼” hasta una válvula tipo bola del mismo diámetro, después se dispone de tubería sanitaria de 1 ¼” hasta la entrada del RLA. se presenta la unidad descrita.

La bomba instalada en el tanque funciona de forma automática con un flotador como sensor de nivel. La bomba se activa cuando el nivel del lixiviado en el tanque es de 0.18 m desde el borde superior de la recámara, y se apaga cuando el nivel es de 0.34 m, así el volumen de lixiviado que se bombea es de 0.0424 m³. (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021) El tiempo de llenado de la recámara depende de la apertura de la válvula de 3” que conecta con el clarificador, se estableció con una apertura del 10%.

Ilustración 33. Caudal de licor de lodos

	Caudal Recirculado (m³/día)
Promedio	1.07
Máximo	1.7
Mínimo	0.59

Fuente: (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021)

5.21 Humedal artificial

El humedal es la unidad final del sistema de tratamiento, consta de tres canales de 17 m de largo por 1.67 m de ancho cada uno, tiene una altura de 0.75 m en forma de V, se rellenan con grava de 2" hasta una altura aproximada de 0.45 m, el lixiviado tratado proveniente del clarificador se conecta mediante tubería de 4" con el humedal, una vez ingresa el lixiviado la grava actúa como filtro removiendo la mayor cantidad de SST posibles, en la superficie se puede plantar una o más especies de plantas acuáticas apta para humedales (género typha o similares) que se adhieren a la grava y crecen con los nutrientes aportados por el lixiviado (Nitrógeno y fósforo), contribuyendo a la remoción de estos compuestos, debido a los tiempos largos de retención en esta unidad también es posible la remoción de patógenos del lixiviado y en general, este sistema puede ayudar a tratar el lixiviado si alguna de las unidades anteriores al humedal no cumple con las remociones esperadas, dando una mayor seguridad al cumplimiento normativo global del sistema.

5.22 Sistema de deshidratación de lodos

Está conformado por un lecho de secado y un tanque de recolección de lixiviado filtrado en el proceso de deshidratación de los lodos, dicho lixiviado es recirculado a la trampa grasa, y los lodos deshidratados son evacuados hacia el relleno.

5.23 Lecho de secado

A esta unidad se conectan todas las unidades del STL mediante tubería PVC sanitaria de 3" de diámetro, se encarga de recibir los lodos generados en dichas unidades. El lecho de secado está conformado por un conjunto tuberías de PVC de 2" con perforaciones cada 0.2 m con arreglo tipo espina de pescado, ubicadas en la parte inferior del tanque, por encima hay 0.5 m de arena, ladrillo y geotextil. La purga de lodos llega al lecho de secado, en la unidad se separa la fracción líquida del lodo y los sólidos sedimentables. (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021)

5.24 Tanque de recirculación

Este tanque conecta mediante tubería PVC sanitaria de 3" con el lecho de secado. El paso hacia el tanque es controlado por una válvula tipo bola del igual diámetro de la tubería. (BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S, 2021) Una vez el tanque se encuentre lleno el lixiviado filtrado es bombeado mediante una bomba sumergible hacia la trampa grasa.

Conclusiones

En esta monografía se exponen algunas investigaciones, artículos y estudios que dan a conocer la importancia del control de los residuos (lixiviados) y el riesgo que toma el ser humano al tratar este problema de saneamiento, se exponen algunas leyes que mitigan el riesgo de la contaminación en los rellenos sanitarios. Los avances tecnológicos y el desarrollo de civilización incrementan el problema de residuos sólidos. En esta monografía se exponen forma de tratamientos, técnicas y aspectos existen para el manejo de lixiviados.

La clasificación de los lixiviados depende al periodo de almacenamiento, el lixiviado viejo en teoría es el que presenta problemas debido al periodo largo en el que se mantiene sin tratamiento, si este presenta periodos de almacenamiento mayores a cinco años, la concentración de DQO es más difícil de tratar debido a que las cantidades de materia orgánica biodegradable son bajas. Lo contrario sucede en el lixiviado de menor edad, mantienen valores considerables de DQO y DBO⁵.

El relleno sanitario (La Cortada), lleva 11 años en funcionamiento con una vida útil proyectada de 25 años, fue diseñada para tratar un caudal de 1L/s, hasta hace unos años, esto se debe al incremento poblacional y a que este relleno esta ya culminando su vida útil, se hizo necesario uno nuevo capaz de soportar y de tratar mayores cantidades de caudal, aproximadamente 3.38 l/s en total de caudal de lixiviado 0.92 l/s lo cual representa mayor cantidad de agua tratada. La Planta de Tratamiento de Lixiviados del Relleno Sanitario (La Cortada) trabaja con un sistema de tratamiento biológico, a través de un proceso inicial de pretratamiento, donde se retiran los sólidos sedimentables del sistema (consta de una trampa grasa y un presedimentador) y un sistema secundario correspondiente a un Reactor UASB y un Reactor de Lodos Activados

Según la normativa vigente la resolución 0631 2015 indica que la planta del relleno sanitario (La Cortada) cumple con unos parámetros fisicoquímicos, límites máximos permisibles los cuales se mantienen dentro del rango del PH, DQO, SST, DBO⁵.

(UAT) es la unidad principal de tratamiento biológico para la descomposición de la materia orgánica, en el relleno sanitario La Cortada se trabajaba con una DQO por encima de 15.000 mg/l y se alcanzó a la salida del UAT 4.000 mg/l.

La eficiencia en los sistemas de tratamientos radica en la remoción de contaminantes de lixiviados en rellenos, las distintas alternativas de sistemas de tratamientos cumplen funciones de acuerdo con su capacidad y principalmente su objetivo es remover las cargas orgánicas.

Los procesos Anaerobios en tratamiento de lixiviados en rellenos sanitarios resultan ser ventajoso ya que en materia de energía y de operación no son costosos; utilizándose cuando se quiere obtener bajas concentraciones de DBO. Los procesos aerobios así mismo han sido estudiados ampliamente en el tratamiento lixiviados cuando se requiere obtener bajas concentraciones de DBO.

Bibliografía

Amador Díaz, A., Veliz Lorenzo, E., & Bataller Venta, M. (2015). Revista CENIC. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1816/181642434003.pdf>

Aristegui. (2016). aristegui. Obtenido de <https://www.aristegui.info/los-lixiviados-caracteristicas-y-actuaciones/>

Astorga Del Canto, C. F. (2018). Obtenido de TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE UN RELLENO SANITARIO: PROPUESTA Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES:

<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/152920/Tratamiento-de-lixiviados-de-un-relleno-sanitario-Propuesta-y-evaluaci%C3%B3n-de-un-sistema.pdf?sequen>

Ategrus. (2010). Curso ATEGRUS sobre Introducción a la gestión de vertederos. Obtenido de https://www.ategrus.org/images/stories/residuos/vertederos/ategrus_lixiviados_11_JUN_2010.pdf

BES SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S. (2021). MANUAL DE OPERACIÓN Y TRATAMIENTO DEL RELLENO SANITARIO REGIONAL LA CORTADA EN EL MUNICIPIO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER. Pamplona, Norte de

Santander, Norte de santander.

Cerón, Y. F., Calvache, L. I., Tulande, C. F., Alegría, H. M., & Juan C. Casas Zapata, C. A. (2018). TROPICAL, TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS UTILIZANDO HUMEDALES CONSTRUIDOS Y DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDADES HIDRÁULICAS EN

CLIMA. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v21n2/0123-4226-rudca-21-02-00543.pdf>

Chávez Montes, W. M. (s.f.). Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la

Cd.de Chihuahua, Méx. Obtenido de

<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/858/1/Wendy%20Margarita%20Ch%C3%A1vez%20Montes%20MCTA.pdf>

Comisión Nacional del Agua. (2015). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.

Obtenido de

https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%202015b.%20Manual%20Lagunas%20de%20Estabilizaci%C3%B3n%2047.pdf

Conam. (2004). Guía técnica para la clausura y conversión de botaderos de residuos sólidos.

Obtenido de

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/417387/-429230710554760046120191106-32001-jw7e68.pdf>

Corena Luna, M. D. (2008). repositorio.unisucre.edu.co. Obtenido de

<https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/handle/001/304/628.44564C797.pdf;jsessionid=4DDDB7B091D0F0D58F05DE84AD43BC2B8?sequence=2>

Corponor. (2021). OPTIMIZACIÓN DEL RELLENO SANITARIO LA CORTADA, EN

PAMPLONA. Obtenido de corponor.gov.co:

<https://corponor.gov.co/web/index.php/2021/03/11/se-entregaron-obras-de-optimizacion-del-relleno-sanitario-la-cortada-en-pamplona/> Cubillo Betancourt, P. (s.f.).

<https://repositorio.espe.edu.ec/>. Obtenido de

<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/722/2/T-ESPE-025114-2.pdf>

Davalos Parrga, J. V. (2018). “DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LIXIVIADOS DEL CANTÓN LA CONCORDIA DE LA PROVINCIA DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/234586861.pdf>

Decreto 1594 de 1984. (s.f.). Obtenido de funcionpublica:

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=18617> epm, G. (2001).

HISTORIA DE LOS RELLENOS SANITARIOS A NIVEL MUNDIAL. Obtenido de Grupo-epm: https://www.grupo-epm.com/site/Portals/1/biblioteca_epm_virtual/tesis/capitulo1.pdf

Espinosa Lloréns, M. D., López Torres, M., Fernández García, A., & Pellón, A. (2016).

Lixiviados de Vertederos de Residuos Sólidos Urbanos. Monografía. Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/303677305_Lixiviados_de_Vertederos_de_Residuos_Solidos_Urbanos_Monografia

Espinosa Lloréns, M. d., López Torres, M., Pellón Arrechea, A., Gutiérrez Navarrete, J., León Hernández, Y., Álvarez Llaguno, Y., . . . González. (2010). CARACTERIZACIÓN DE LOS LIXIVIADOS DEL VERTEDERO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS “CALLE

100”, CIUDAD DE LA HABANA, CUBA. Obtenido de redalyc:

<https://www.redalyc.org/pdf/4435/443543719005.pdf>

Flórez Silva, P. A. (2019). Manejo y tratamiento de lixiviados provenientes de residuos.

Obtenido de

<https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/4586/MANEJO%20Y%20TRATAMIENTO.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Flórez silva, P. A. (2019). Manejo y tratamiento de lixiviados provenientes de residuos sólidos urbanos. Obtenido de

<https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/4586/MANEJO%20Y%20TRATAMIENTO.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Flórez silva, P. A., & Pérez Vidal, A. s. (2019). Manejo y tratamiento de lixiviados provenientes de residuos. Obtenido de

<https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/4586/MANEJO%20Y%20TRATAMIENTO.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

RATAMIENTO.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Giraldo, E. (2014). ArticlePDF Available. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/291213041 Tratamiento De Lixiviados De Rellenos Sanitarios Avances Recientes](https://www.researchgate.net/publication/291213041_Tratamiento_De_Lixiviados_De_Rellenos_Sanitarios_Avances_Recientes)

Gómez Vasquez, E. (2018). Afectaciones ambientales de los lixiviados generados en los rellenos sanitarios sobre el recurso agua. Obtenido de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2018/173184.pdf>

Jaramillo, J. (2002). GUÍA PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS MANUALES. Obtenido de redrrss: <https://redrrss.minam.gob.pe/material/20090128200240.pdf>

León Gómez, H. C., Dávila Pórce, R. A., Velasco Tapia, F., & Chapa-Guerrero, J. R. (2015). Impacto del lixiviado generado en el relleno sanitario municipal de Linares (Nuevo León) sobre la calidad del agua superficial y subterránea. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742015000300514

León Menacho, V. A. (2017). Evaluación del tanque Imhoff en el tratamiento de las aguas residuales en el Municipio de Colmenar, Málaga. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/328973630 Evaluacion del tanque Imhoff en](https://www.researchgate.net/publication/328973630_Evaluacion_del_tanque_Imhoff_en_el_tratamiento_de_las_aguas_residuales_en_el_Municipio_de_Colmenar_Malaga)

[_el_tratamiento_de_las_aguas_residuales_en_el_Municipio_de_Colmenar_Malaga](https://www.researchgate.net/publication/328973630_Evaluacion_del_tanque_Imhoff_en_el_tratamiento_de_las_aguas_residuales_en_el_Municipio_de_Colmenar_Malaga) LUNA, C. (s.f.). Obtenido de <https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/handle/001/304/628.44564C797.pdf;jsessionid=4DDB7B091D0F0D58F05DE84AD43BC2B8?sequence=2>

Macías, A. R., & Beltrán, M. C. (2020). DESARROLLO DE UNA ALTERNATIVA PARA EL PRETRATAMIENTO DE LA CORRIENTE DE ALIMENTACIÓN AL PROCESO DE ÓSMOSIS INVERSA EN EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO DE

DOÑA JUANA. Obtenido de

<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7778/1/6151462-2020-1-IQ.pdf>

Manual De Biogás. (2011). Obtenido de <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>

Martinez-Lopez, A., Padrón-Hernández, W., Rodríguez-Bernal, O. F., Chiquito-Coyotl, O., EscarolaRosas, M. A., Hernández-Lara, J., . . . Tinoco-Magaña, J. (2014). Alternativas actuales del manejo de lixiviados. Obtenido de Alternativas actuales del manejo de lixiviados:

<https://www.redalyc.org/pdf/933/93330767005.pdf>

Ministro del Medio Ambiente. (2008). Rellenos Sanitarios. Obtenido de

<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/005574/cartillas/rellenossanitarios/Rellenossanitarios1.pdf>

Minvivienda. (2017). Guía de Planeación, estrategia para el manejo de residuos sólidos de pequeños municipios en Colombia. Obtenido de <https://www.minvivienda.gov.co/>:
<https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/2020-07/guia-de-manejo-de-residuos-2017.pdf>

Moncayo Loaiza, M. M., & Grijalba Zarama, D. (2017). EFICIENCIA DE FILTROS ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE EN AGUAS RESIDUALES DE LA GRANJA

EXPERIMENTAL BOTANA. Obtenido de

<https://sired.udenar.edu.co/5448/1/EFICIENCIA%20DE%20FILTROS%20ANAEROBIOS%20DE%20FLUJO%20ASCENDENTE%20EN%20AGU.pdf>

Morales Rodríguez, K. P. (2018). ESPECIALISTA EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL DE RECURSOS NATURALES. Obtenido de

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/20092/MoralesRodr%C3%A1guezPaola2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

National Geographic. (2021). www.ngenespanol.com. Obtenido de <https://www.ngenespanol.com/ecologia/metano-el-gas-de-efecto-invernadero-34-veces-mas-potente-que-el-dioxido-de-carbono/>

Orozco Barrantes, V. (2018). Determinación de lixiviados de relleno sanitario de San Ramón y selección de su sistema de tratamiento. Obtenido de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11164/determinacion_lixiviados_relleno_sanitario.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pacheco Tolentino, N. (abril de 2011). Desarrollo de las bases de diseño para un relleno sanitario manual para el municipio de FCO.I. MADERO. Obtenido de <http://repositorio.uaaan.mx/>: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2612/NOEMI%20PACHECO%20TOLENTINO.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El%20relleno%20sanitario%20mecanizado%20es,Hern%C3%A1ndez%20y%20Collazos%2C%201992>).

Paho.org. (2010). Ambiente y salud. Obtenido de <https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2010/Sanemiento-Capitulo1.pdf>

Parra Pinchao, E. A., & Camilo Gómez, M. D. (2021). COMPARACIÓN DE LAS DIVERSAS ESTRATEGIAS EN EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS, PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE LOS EFLUENTES EN LOS RELLENOS SANITARIOS. Obtenido de <https://repositorio.uniautonoma.edu.co/bitstream/handle/123456789/618/T%20IA-M%20113%202021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

PeñaMartínez, G. M. (s.f.).

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/26014/u295865.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Obtenido de

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/26014/u295865.pdf?sequence=1&isA%20lloved=y>

Pérez, J., Aldana, G., & Cárdenas, C. (2012). Upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB) performance through sludge age load and kinetic coefficients. Obtenido de <https://produccioncientificaluz.org/index.php/tecnica/article/download/6823/6811/>

Pérez, V., & González, R. S. (2011). Obtenido de <https://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol24num3/articulos/membrana/>

Roa Sánchez, J. M., & Ardila Rodríguez, J. Y. (2021). Propuesta de recirculación de lixiviado como práctica para disminuir el caudal que alimenta la planta de tratamiento de lixiviado en el relleno sanitario Doña Juana. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10983/25948>

Rodrigo Clavero, M. E. (2016). BIOLEACH: un modelo matemático para la evaluación conjunta de la producción de lixiviados y biogás en vertederos de RSU. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/74687/Rodrigo%20-%20BIOLEACH:%20un%20modelo%20matem%C3%A1tico%20para%20la%20evaluaci%C3%B3n%20conjunta%20de%20la%20producci%C3%B3n%20de%20lixiviad. pdf?sequence=2>

Rodríguez Eugenio, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2019). Contaminación del suelo una realidad oculta. Obtenido de <https://www.fao.org/3/i9183es/i9183es.pdf>

Rondón Toro, E., Szantó Narea, M., Pacheco, J. F., Contreras, E., & Gálvez, A. (2016). Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios. Obtenido de Manuales de la CEPAL: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40407/1/S1500804_es.pdf

Sanchez Yañez, J. M., Baltierra Trejo, E., & Márquez Benavides, L. (2012). El efecto de los gases de relleno sanitario en el crecimiento vegetal . Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3978313.pdf>

Tecnal. (s.f.). tecnal.com.br. Obtenido de https://tecnal.com.br/es/blog/233_residuos_solidos_procedimiento_para_la_obtencion_de_l_extracto_de_lixiviados

Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., & Zurbrügg, C. (2018). Laguna de estabilización. Obtenido de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/tratamiento-semi-centralizado/laguna-de-estabilizaci%C3%B3n>

UNATSABAR. (2012). GUÍA PARA EL DISEÑO DE TANQUES SÉPTICOS, TANQUES IMHOFF Y LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN. Obtenido de [https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005.%20Gu%C3%A](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005.%20Gu%C3%A9%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20tanques%20s%C3%A9pticos.pdf)
[Da%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20tanques%20s%C3%A9pticos.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005.%20Gu%C3%A9%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20tanques%20s%C3%A9pticos.pdf)

Uson. (2014). <http://tesis.uson.mx/>. Obtenido de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/4314/Capitulo6.pdf>

Vanguardia, L. (2021). La historia de la humanidad contada a través de la basura. Obtenido de <https://www.lavanguardia.com/historiayvida/20210220/6255806/historia-humanidad-contada-traves-basura.html>

ANEXOS

ANÁLISIS FÍSICO- QUÍMICO QUEBRADA ZIPACHA						
FECHA	14-sep-21	29-sep-21	5-oct-21	12-oct-21	20-oct-21	16-nov-21
PARAMETRO	UNIDADES	UNIDADES	UNIDADES	UNIDADES	UNIDADES	UNIDADES
DQO [mg/l]		0	0	190	210	390
COLOR [UPC]	144,2	199	349	395,5	448	1323
TURBIDAS [UNT]	10,1	12,5	47,6	34,75	31,9	105
CONDUCTIVIDAD [µm/Cm]	166,9	181,6	176,6	353,7	530	
ALCALINIDAD [PPM CaCO3]	51,5	56	50,4	117,05	183,7	607,6
DUREZA [PPM CaCO3]	85,5	94,7	99,7	106,2	116,7	337,7
CLORURO [PPM Cl]	12,5	26,59	17,49	25,479	31,46	220,11
NITRÓGENO TOTAL	-	< 10	0,3	3,75	19	3,18
FOSFORO	-	0	0,02	0,76	1,5	1,3
NITRITO [mg/L]	-	4	16	67	118	74
HIERRO	-	0,192	0,272	0,3505	0,429	3,18
NITRATO [mg/L]	-	< 44	2,3	34,65	67	342
AMONIO	-	< 12	0,6	9,3	18	189
OROS [mg/L]	-	-	-	-	-	73
PH	7	7,23	8	8,35	8,7	9,14
SST [mg/l]			100			250

Datos punto de descarga

Fecha	23/11/2021	24/11/2021	25/11/2021	Limite Maximo Permisible, Según la Resolución 0631 del 17 de marzo del 2015
Caudal Real Diario (L/s)	0,05759	0,2974	0,3189	
PH	8,804	8,876	8,733	6 - 9 Ph
DQO	2300	2800	2430	2000
SST	300	350	400	400
FOSFORO	22	> 32,6	> 32,6	Reportar y analizar
NITROGENO TOTAL	1112	1056	1200	Reportar y analizar
NITRATO	4888	4640	> 5312	Reportar y analizar
AMONIO	1336	1272	> 1456	Reportar y analizar

Datos de la planta

