UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ

Facultad de Ciencias Técnicas

Carrera de Ingeniería Civil

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del título de
INGENIERO CIVIL

TEMA:

“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE TRATAMIENTO DEL SISTEMA DE LIXIVIADOS DEL VERTEDERO DE RESIDUOS DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO”

Autor:

Bustos Pasquel Nelson Alexander

Tutor:

Ing. Pablo Arturo Gallardo Armijos

Jipijapa - Manabí -Ecuador

2018

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

ING. PABLO ARTURO GALLARDO ARMIJOS

Certifica:

En mi calidad de tutor del presente Trabajo de Titulación de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, certifico:

Haber dirigido y realizado el proyecto de Investigación cuyo tema versa: **"Evaluación de la eficiencia de tratamiento del sistema de lixiviados del vertedero de residuos de la ciudad de Portoviejo,** siendo el autor: **Bustos Pasquel Nelson Alexander**, considero que el mencionado trabajo de titulación cumple con los requisitos de acuerdo a las normas vigentes de la Universidad y tiene los méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del jurado examinador.

Es cuanto puedo certificar en honor a la verdad

Ing. M.SC. Pablo Arturo Gallardo Armijos
TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN

Proyecto de titulación sometido a consideración de la comisión de titulación de la Carrera de Ingeniería Civil- Facultad de Ciencias Técnicas de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, como requisito principal para obtener el título de Ingeniero Civil.

TEMA: "EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE TRATAMIENTO DEL SISTEMA DE LIXIVIADOS DEL VERTEDERO DE RESIDUOS DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO"

APROBADO POR EL TRIBUNAL EXAMINADOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

ING. Byron Baque Campozano

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ING. Martha Álvarez Álvarez

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

ING. Jaime Peralta Delgado

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

ING. Glider Parrales Cantos

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

La vida nos enseña muchas cosas, todos los días se aprenden yo sabía que el camino era largo y difícil pero nunca me sentí apresurado por recorrerlo, hoy después de cinco años me siento tranquilo al ver en la persona que me he convertido sin conformarme con nada y trabajando duro. Le pedí a Dios todo en la vida y me dio la vida para tenerlo todo.

Estos pequeños párrafos se lo dedico a Dios por darme la oportunidad de estar donde estoy a mí padre **Edwin Bustos Olivo** que nunca me dio lujos ni tampoco una mansión porque se gastó el dinero en mi salud, en mi educación, en comida y en criar a mis hermanas junto a la mejor del mundo mí Madre **Maribel Pasquel Cruz** que fue, es y será el mejor regalo que Dios me pudo dar, el pilar fundamental en mi vida, le doy las gracias totales a ella por haber creído en mí, gracias a ella me encuentro en instancias finales de culminar mi carrera profesional.

A mis abuelos paternos **+Nelson Bustos Peña** y **America Carolina del Pilar Olivo**, mis abuelos maternos **+Segundo Pasquel** y **Daira Cruz Cruz**, ellos siempre fueron en mi la voz de la experiencia en todo sentido, son los que influyeron en mi viaje a esta ciudad para formar mi conocimiento y ser una persona de bien.

A todos mis familiares y compañeros de la universidad que de una manera u otra me han ayudado a formarme como profesional y como persona desde que iniciamos y culminamos la Universidad siempre sinceros eso nos ayudó a conservar una buena amistad.

Nelson Alexander Bustos Pasquel

RECONOCIMIENTO

A **DIOS** porque me abrió puertas para alcanzar este propósito y muchos más que he logrado.

A mis padres hermanos y tíos que con sus palabras de motivación a seguir adelante

A mi alma mater la **Universidad Estatal del Sur de Manabí** en particular a la carrera de **Ingeniería civil** y a los docentes que la integran quienes me formaron durante el tiempo de estudios.

A mi tutor el Ing. **Pablo Arturo Gallardo Armijos** quien me acompaño y encaminó para terminar con éxito este trabajo.

A mis familiares y amigos por su apoyo

Nelson Alexander Bustos Pasquel

RESUMEN

El propósito de esta investigación es evaluar los porcentajes de remoción en condiciones de operación de cada uno de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales emitidas por el vertedero de residuos de la ciudad de Portoviejo.

Se realizó una campaña de caracterización física, química y bacteriológica de los lixiviados, a fin de evaluar la eficiencia de remoción en el tanque sedimentador, piscina de retención. Los parámetros evaluados fueron DBO5, pH, Sólidos Suspendidos, Sólidos Sedimentables y Sólidos Totales, los cuales fueron elegidos para establecer la presente evaluación.

Se plantea un método de tratamiento económico como es la recirculación del lixiviado, esto funciona como un circuito cerrado, se infiltra nuevamente al vertedero bajando notoriamente su carga orgánica.

SUMMARY

The purpose of this investigation is to evaluate the removal percentages under operating conditions of each of the wastewater treatment systems emitted by the waste dump in the city of Portoviejo.

A campaign of physical, chemical and bacteriological characterization of the leachate was carried out, in order to evaluate the removal efficiency in the sedimentation tank, holding pool. The evaluated parameters were BOD5, pH, Suspended Solids, Sedimentable Solids and Total Solids, which were chosen to establish the present evaluation.

An economic treatment method is proposed, such as the recirculation of the leachate, this works as a closed circuit, infiltrates again to the landfill, lowering its organic load noticeably.

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR ii

CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN iii

DEDICATORIA iv

RECONOCIMIENTO v

RESUMEN vi

SUMMARY vii

1. INTRODUCCIÓN. 1

2. OBJETIVOS 2

2.1. OBJETIVO GENERAL 2

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 2

3. MARCO TEORICO DE LA INVESTIGACIÓN 3

3.1. RELLENO SANITARIO 3

3.2. PRODUCCIÓN DE LIXIVIADOS 6

3.2.1. METODOLOGÍA 7

3.2.2. DETERMINACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN MENSUAL POTENCIAL CORREGIDA 9

3.2.3. BALANCE HÍDRICO DE LA CUBIERTA DIARIA Y FINAL DEL VERTEDERO 10

3.2.4. CÁLCULO DE LA HUMEDAD POTENCIAL DE INFILTRACIÓN MENSUAL 12

3.3. CALIDAD DE LOS LIXIVIADOS 13

3.3.1. CLASIFICACIÓN DE LAS SUSTANCIAS CONTAMINANTES 13

3.3.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS LIXIVIADOS 14

3.3.2.1. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO) 14

3.3.2.2. SÓLIDOS....15

3.3.2.3. TEMPERATURA....16

3.3.2.4 pH....17

3.3.2.5. COLIFORMES....18

3.3.2.6. MATERIA ORGÁNICA....20

3.3.3. VALORES TÍPICOS DE LOS LIXIVIADOS....20

3.3.4. MONITOREO DE LOS LIXIVIADOS....24

3.3.5. TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS....24

3.3.5.1. TRATAMIENTO AEROBIO....27

3.3.5.2. TRATAMIENTO ANAEROBIO....27

3.3.5.3. TRATAMIENTO TERCIARIO O AVANZADO....28

3.3.6. EFICIENCIA Y REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL LIXIVIADO....29

3.3.7. RECIRCULACIÓN DE LOS LIXIVIADOS....29

3.4. PRE-TRATAMIENTO (DECANTACIÓN)....33

4. METODOS....38

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS....39

5.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO....39

5.2. DESCRIPCIÓN DEL MUESTREO.....40

5.2.1. EQUIPOS Y MATERIALES USADOS EN MUESTREO....40

5.2.2. EQUIPOS Y MATERIALES USADOS EN ENSAYOS FÍSICO-QUÍMICO....43

5.2.3. TABLAS DE RESULTADOS....51

5.3. CÁLCULO DE CAUDALES 56

5.4. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA EXISTENTE 66

5.4.1. SISTEMA DE DRENAJE DE LIXIVIADOS 67

5.4.2. CÁMARAS DE INSPECCIÓN (POZOS DE REVISIÓN) 67

5.4.3. TANQUE SEDIMENTADOR O DECANTADOR 68

5.4.4. PISCINAS DE ALMACENAMIENTO, RETENCIÓN Y DOSIFICACIÓN 69

5.5. CARACTERÍSTICAS DEL LIXIVIADO A TRATAR 70

5.5.1 TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS IMPLEMENTADO 71

5.6. REVISION DE PROCESOS UNITARIOS DE REMOCIÓN 71

5.6.1. TANQUE DECANTADOR 71

5.6.2. PISCINAS DE ALMACENAMIENTO, RETENCIÓN Y DOSIFICACIÓN 75

5.7. REMOCIÓN DE CARGAS CONTAMINANTES 79

6. CONCLUSIONES 83

7. RECOMENDACIONES 84

8. BIBLIOGRAFÍA 85

9. ANEXOS 88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores medios ($\bar{x}$) y máximos (max.) del algunos parámetros en la fase de la "fermentación ácida" y de la "fermentación metanogénica" (en paréntesis valores de deferentes rellenos) mínimo. 21

Tabla 2. Criterios de calidad de usos de agua, descargas y lixiviados. Fuente: (Gallardo, 2017) 23

Tabla 3. Principales ventajas y desventajas de la recirculación del lixiviado a través del relleno sanitario. 31

Tabla 4. Puntos de muestreo de lixiviados en el vertedero de la ciudad de Portoviejo. 41

Tabla 5. Identificación de los análisis tabulados. Tanque desarenador 2 y Reactor. 41

Tabla 6. Identificación de los análisis tabulados. Piscina de retención 1 y Tanque desarenador 1.....42

Tabla 7. Identificación de los análisis tabulados. Piscina de retención y Tanque desarenador 3. 42

Tabla 8. Caracterización de lixiviado DBO. 51

Tabla 9. Caracterización de lixiviado pH. 52

Tabla 10. Caracterización de lixiviado Sólidos Totales.....53

Tabla 11. Caracterización de lixiviado Sólidos Disueltos. 54

Tabla 12. Caracterización de lixiviado Sólidos Sedimentables. 55

Tabla 13. Tabla de intensidades - Tiempo de duración. Fuente: (Bustos Pasquel, 2018) 57

Tabla 14. Parámetros meteorológicos INAMHI (1972 - 2016), valores promedio mensuales. 58

Tabla 15. Cálculo de la evapotranspiración potencial ajustada. 60

Tabla 16. Cálculo de la evapotranspiración real. 61

Tabla 17. Infiltración de aguas lluvias y producción de lixiviados, Residuos sólidos sin cobertura diaria. 63

Tabla 18. Infiltración de aguas lluvias y producción de lixiviados, Residuos sólidos con cobertura diaria. 64

Tabla 19. Monitoreo de lixiviados en el botadero de Portoviejo. 70

Tabla 20. Parámetros utilizados en la decantación primaria. 71

Tabla 21. Parámetros utilizados para el volumen de decantación. 73

Tabla 22. Parámetros utilizados para el volumen de digestión de decantación primaria. 74

Tabla 23. Parámetros utilizados para volumen del tanque de decantación primaria. 75

Tabla 24. Parámetros utilizados para utilizados para el volumen de digestión. 76

Tabla 25. Parámetros utilizados para calcular el área de la laguna. 76

Tabla 26. Parámetros utilizados para el volumen de digestión de la piscina. 77

Tabla 27. Parámetros utilizados para calcular el volumen de remoción de la piscina. 78

Tabla 28. Diagrama de porcentajes de remoción de DBO, valores teóricos y de campo. 79

Tabla 29. Diagrama de porcentajes de remoción de solidos sedimentables, valores teóricos y de campo. 81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales. Fuente: (Noyola, Morgan-Sagastume, & Güereca, 2013) 25

Figura 2. Clasificación esquemática de los procesos para el tratamiento de las aguas residuales. Fuente: (Noyola, Morgan-Sagastume, & Güereca, 2013) 26

Figura 3. Columna de sedimentación y curvas de igual eliminación porcentual para partículas floculentas. Fuente: (Gallardo Armijos P. A., 2018) 35

Figura 4. Curva de caracterización de DBO. Fuente: (Bustos Pasquel, 2018) 51

Figura 5. Curva de caracterización de pH. Fuente: (Bustos Pasquel, 2018).....52

Figura 6. Curva de caracterización de Sólidos Totales. Fuente: (Bustos Pasquel, 2018).....53

Figura 7. Curva de caracterización de Sólidos Disueltos. Fuente: (Bustos Pasquel, 2018) 54

Figura 8. Curva de caracterización de Sólidos Sedimentables. Fuente: (Bustos Pasquel, 2018) 55

Figura 9. Curvas de Intensidad (mm/h) vs Tiempo de duración (min). Fuente: (Bustos Pasquel, 2018) 58

Figura 10. Curvas de Infiltración de aguas lluvias y producción de caudales de lixiviados de los residuos sólidos sin cobertura diaria. Fuente: Autor 65

Figura 11. Curvas infiltración de aguas lluvias y producción de caudales de lixiviados, Residuos sólidos con cobertura diaria. Fuente: Autor 65

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1. Método de trinchera para construir un relleno sanitario. Fuente: (Jaramillo, Jorge;Francisco Zepeda, 1991) 4

Foto 2. Método de área para construir un relleno sanitario. Fuente: (Jaramillo, Jorge;Francisco Zepeda, 1991) 4

Foto 3. Método de área para rellenar depresiones. Fuente: (Jaramillo, Jorge;Francisco Zepeda, 1991) 5

Foto 4. Combinación de ambos métodos para construir un relleno sanitario. Fuente: (Jaramillo, Jorge;Francisco Zepeda, 1991) 5

Foto 5. Imagen satelital de Google Eart. Fuente: Autor 39

Foto 6. Imagen satelital de Google Eart. Fuente: Autor 40

Foto 7. Cooler. Fuente: (Bustos Pasquel, 2018) 43

Foto 8. Guantes de látex. Fuente: (Bustos Pasquel, 2018) 44

Foto 9. Mandil. Fuente: (Bustos Pasquel, 2018) 44

Foto 10. Recipiente Plástico. Fuente: (Bustos Pasquel, 2018) 45

Foto 11. GPS. Fuente: (Bustos Pasquel, 2018) 45

Foto 12. PHmetro. Fuente: (Bustos Pasquel, 2018) 46

Foto 13. Buffer. Fuente: (Bustos Pasquel, 2018) 46

Foto 14. Materiales graduados. Fuente: (Bustos Pasquel, 2018) 47

Foto 15. Balanzas de precisión. Fuente: (Bustos Pasquel, 2018) 47

Foto 16. Incubadora de 20° C, botellas DBO Trak. Fuente: (Bustos Pasquel, 2018) 48

Foto 17. Conos Imhoff. Fuente: (Bustos Pasquel, 2018) 48

Foto 18. Cápsulas de porcelana. Fuente: (Bustos Pasquel, 2018) 49

Foto 19. Aparato de Baño María. Fuente: (Bustos Pasquel, 2018) 49

Foto 20. Mufla. Fuente: (Bustos Pasquel, 2018) 50

Foto 21. Equipo de Filtración. Fuente: (Bustos Pasquel, 2018) 50

Foto 22. Balance hídrico en el cierre técnico: Fuente (Gallardo Armijos P. , 2014).....56

Foto 23. Esquema de recirculación de los lixiviados en el botadero de Portoviejo. Fuente: (Bustos Pasquel, 2018).....66

Foto 24. Implantación de la red de drenaje de fondo. Fuente: (Gallardo, 2017) 67

Foto 25. Dren colector de lixiviados de la celda emergente. Fuente: (Gallardo, 2017) 67

Foto 26. Obras de inspección (pozos de revisión). Fuente: (Bustos Pasquel, 2018) 68

Foto 27. Tanque sedimentador o decantador del vertedero de residuos de Portoviejo. Fuente: (Bustos Pasquel, 2018).....68

Foto 28. Piscina de lixiviados del vertedero de residuos de Portoviejo. Fuente: (Gallardo, 2017) 69

Foto 29. Piscina de lixiviados del vertedero de residuos de Portoviejo. Fuente: (Bustos Pasquel, 2018) 69

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cantidad de lixiviados generados. Fuente: (Gallardo Armijos P. , 2014) 8

Ecuación 2. Evapotranspiración potencial mensual ajustada (mm). Fuente: (Gallardo Armijos P. , 2014).....9

Ecuación 3. Coeficiente de corrección. Fuente: (Gallardo Armijos P. , 2014).....9

Ecuación 4. Evapotranspiración potencial mensual sin corregir (mm). Fuente: (Gallardo Armijos P. , 2014).....10

Ecuación 5. Índice térmico anual (sumatoria de los índices mensuales de calor tomando meses de 30 días con 12 horas diarias de sol, adimensional). Fuente: (Gallardo Armijos P. , 2014) 10

Ecuación 6. Coeficiente que está en función de la sumatoria de los índices mensuales de calor, adimensional. Fuente: (Gallardo Armijos P. , 2014) 10

Ecuación 7. Cantidad de agua almacenada por unidad de área de cobertura del vertedero. Fuente: (Gallardo Armijos P. , 2014).....10

Ecuación 8. Balance hídrico de la infiltración mensual. Fuente: (Gallardo Armijos P. , 2014) 12

Ecuación 9. Porcentaje Remoción. Fuente: (Luna, y otros, 2007) 29

Ecuación 10. Cantidad de fangos extraídos por el decantador. Fuente: Autor.....37

Ecuación 11. Volumen diario de fangos primarios (m3/d). Fuente: Autor 37

1. INTRODUCCIÓN.

La disposición definitiva de los residuos sólidos es uno de los problemas más importantes que afectan en la actualidad a la sociedad en muchos ámbitos. El acelerado crecimiento demográfico de las ciudades ocasiona un incremento en la demanda de servicios básicos, así como la generación grandes cantidades de residuos sólidos.

Para la disposición final de éstos actualmente se utiliza lo que se llama un relleno sanitario, que es un sitio seleccionado adecuadamente para depositar todos los residuos generados por la sociedad, evitando así su dispersión y ocasionando focos de infección.

Las aguas residuales y su tratamiento es un tema de vital importante en la actualidad ya que debido al incremento de los desechos sólidos hay que buscar alternativas para mejorar los líquidos que percolan dentro del vertedero de basura.

De los rellenos sanitarios se desprende gases, así como también contaminantes a través de los líquidos que migran del relleno hacia el suelo conocidos como lixiviados, para evitar que estos entren en contacto con el suelo y afecten diferentes fuentes de aguas subterráneas se coloca una geomebrana.

Los lixiviados son efluentes que se caracteriza por tener color oscuro debido a la descomposición del material orgánico y el agua, que se encuentra al interior del relleno sanitario por la precipitación, los cuales pueden fluir, disolviendo y arrastrando las partículas o sustancias contenidas en los residuos.

Ya que, debido a la peligrosidad de estas aguas emitidas por el relleno sanitario, por su gran contaminación que ocasionan al ambiente en su totalidad y a los propios habitantes de la ciudad, se propone la evaluación de la eficiencia de tratamiento del sistema del lixiviado del vertedero de residuos en la ciudad de Portoviejo.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluación de la eficiencia de tratamiento del sistema de lixiviados del vertedero de residuos de la ciudad de Portoviejo.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Realizar una caracterización física y química de los lixiviados.
- ✓ Calcular los caudales de lixiviados generados en el relleno bajo condiciones operativas reales mediante un balance hidrológico de la zona del proyecto.
- ✓ Analizar los procesos de remoción y eficiencia para DBO5 y sólidos suspendidos del lixiviado.

3. MARCO TEORICO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. RELLENO SANITARIO

El Relleno Sanitario es una técnica de eliminación final de los desechos sólidos en el suelo, que no causa molestia ni peligro para la salud y seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más pequeña posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos en el Relleno, por efecto de la descomposición de la materia orgánica. (Jaramillo, Jorge;Francisco Zepeda, 1991)

La construcción de un relleno sanitario se puede realizar por tres métodos:

- Método de trinchera o zanja.- Este método se utiliza en regiones planas y consiste en excavar periódicamente zanjas de dos o tres metros de profundidad, con el apoyo de una retroexcavadora o excavadora hidráulica. Se debe tener cuidado en época de lluvias dado que las aguas pueden inundar las zanjas. Por lo tanto, se deben construir canales perimetrales para captarlos y desviarlas e incluso proveerlas de drenajes internos. En algunos casos puede requerirse el bombeo del agua acumulada. La excavación de zanjas exige condiciones favorables tanto en lo que respecta a la profundidad del nivel freático como al tipo de suelo. Los terrenos con nivel freático alto o muy próximo a la superficie del suelo no son apropiados por el riesgo de contaminar el acuífero. Los terrenos rocosos tampoco lo son debido a las dificultades de excavación. (Jaramillo, Jorge;Francisco Zepeda, 1991)

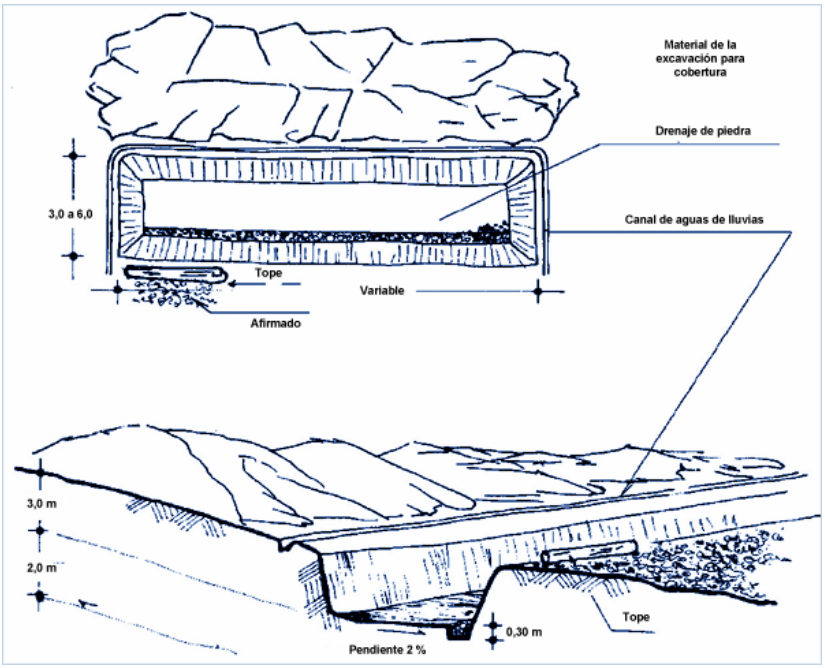


Foto 1. Método de trinchera para construir un relleno sanitario. Fuente: *(Jaramillo, Jorge;Francisco Zepeda, 1991)*

- Método de área.- En áreas relativamente planas, donde no sea factible excavar fosas o trincheras para enterrar las basuras, éstas pueden depositarse directamente sobre el suelo original, elevando el nivel algunos metros. (Jaramillo, Jorge;Francisco Zepeda, 1991). Suele utilizarse para sitios donde el nivel freático es alto.

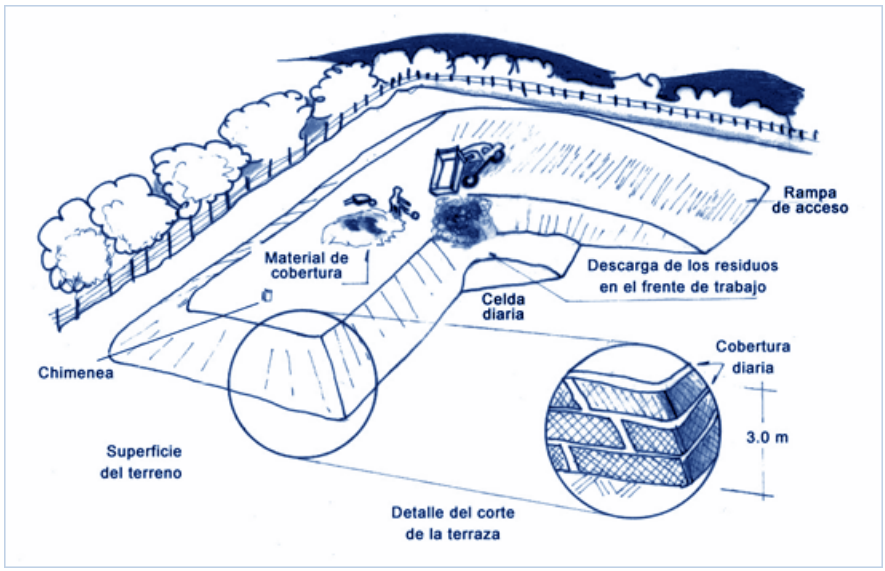


Foto 2. Método de área para construir un relleno sanitario. Fuente: *(Jaramillo, Jorge;Francisco Zepeda, 1991)*

- Método de depresión o quebradas.- Se adapta también para rellenar depresiones naturales o canteras abandonadas de algunos metros de profundidad. La operación de descarga y construcción de las celdas debe iniciarse desde el fondo hacia arriba.

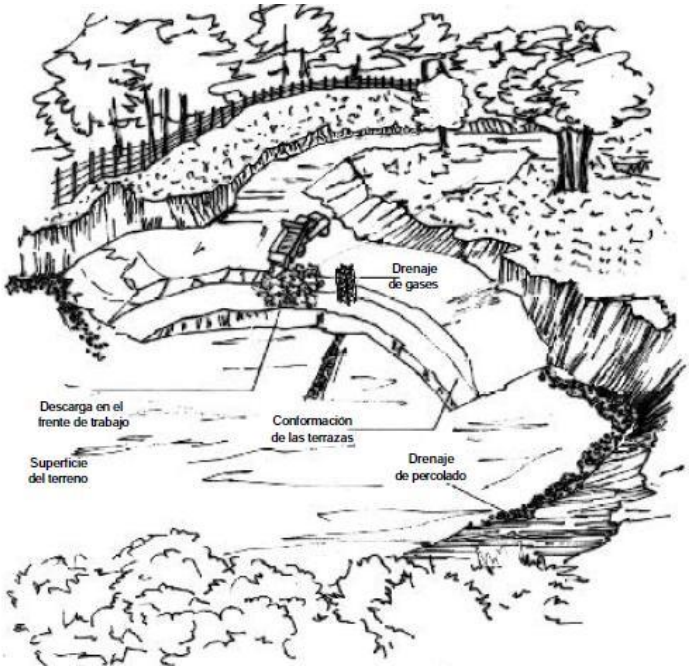


Foto 3. Método de área para rellenar depresiones. Fuente: *(Jaramillo, Jorge;Francisco Zepeda, 1991)*

También se pueden combinar los tres métodos anteriores. Los métodos de construcción de un relleno sanitario tienen técnicas similares de operación y pueden combinarse para lograr un mejor aprovechamiento del terreno y del material de cobertura.

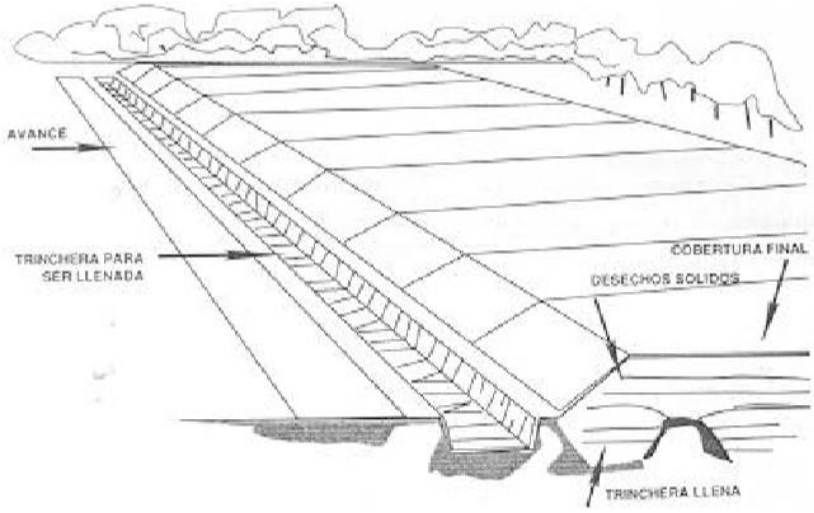


Foto 4. Combinación de ambos métodos para construir un relleno sanitario. Fuente: *(Jaramillo, Jorge;Francisco Zepeda, 1991)*

3.2. PRODUCCIÓN DE LIXIVIADOS

El lixiviado o percolado es un líquido maloliente de color negro que se produce por la descomposición o putrefacción natural de la basura, parecido a las aguas residuales domésticas (aguas servidas) pero mucho más contaminante.

Las aguas de lluvias que atraviesan las capas de basura, aumentan su volumen en una proporción mucho mayor que la que produce la misma humedad de los desechos. De ahí la importancia de interceptar y desviar las aguas de escorrentía antes del inicio de la operación. Si no es así, los volúmenes de lixiviado producido aumentan y pueden causar no sólo problemas en la operación del relleno, sino también contaminación cuando estos migran hacia el ambiente. (Jaramillo, Jorge;Francisco Zepeda, 1991)

Por tanto, los lixiviados se generan principalmente por la percolación de las aguas lluvias a través de la masa de residuos. Sin embargo, los residuos pueden en ciertos casos contener cantidades de agua suficientes para generar lixiviados, aun sin la entrada de agua lluvia.

Cuanto más agua percola a través de los desechos, mayor será la cantidad de lixiviado generado y mayor la dilución de los contaminantes presentes en los residuos. (Robles Martínez, 2005)

Los lixiviados arrastran y disuelven uno o más compuestos contenidos en los residuos sólidos urbanos, cuando estos entran en contacto con el agua. También se liberan sustancias disueltas y suspendidas provenientes de reacciones químicas y biológicas de propia descomposición de los residuos. (Álvarez Contreras & Suárez Gélvez, 2006)

El lixiviado generado en un relleno sanitario es función de múltiple factores, tales como: composición de la basura, edad del relleno, balance de agua, diseño y operación del relleno sanitario, solubilidad de los desechos, procesos de conversión microbiológico y química, y la interacción del lixiviado con el medio ambiente.

También el caudal generado y la composición varían de acuerdo al estado de avance y el tipo de operación del relleno. (Álvarez Contreras & Suárez Gélvez, 2006)

Otros contribuyentes son: el contenido de humedad propia de los desechos, el agua de la descomposición y la infiltración de aguas subterráneas. (Jaramillo, Jorge;Francisco Zepeda, 1991)

La metodología utilizada para determinar el balance hídrico y el cálculo de la cantidad de lixiviados en rellenos sanitarios, se describe a continuación (Gallardo, 2017):

3.2.1. METODOLOGÍA

La metodología utilizada establece una relación entre los principales parámetros hidrológicos superficiales y subterráneos, donde las variaciones en la cantidad de agua en el suelo vienen determinadas por la diferencia entre las entradas y salidas de todas las fuentes posibles que tengan injerencia en el balance.

Como entradas, se consideran las precipitaciones pluviales mensuales promedio. Así mismo, como salidas, se incluyen las evapotranspiraciones mensuales obtenidas a partir de las temperaturas promedio mensuales y la capacidad que el suelo tiene para retener humedad antes de lixiviarla (capacidad de campo del suelo). Además, la fracción de la precipitación pluvial que se pierde por escurrimiento sobre el suelo, es también considerada como pérdida o salida. El balance hidrológico también debe considerar el consumo de agua por reacciones bioquímicas internas del vertedero, el vapor de agua que sale en el biogás, la humedad de los residuos sólidos y material de cubrición, el agua contenida en los fangos (si se permite su evacuación), la irrigación de las superficies del vertedero para la minimización de polvo, la escorrentía y la evapotranspiración real.

En términos generales, la cantidad de lixiviado será la cantidad de agua en exceso sobre la capacidad de retención de humedad que poseen los materiales depositados en el vertedero. La ecuación simplificada para estimar la generación de lixiviados es la siguiente:

$$Lx = (P + P^*) + (AS + PA) + (HC + HR) + (SC + SR) - CA - R - ETr$$

Ecuación 1. Cantidad de lixiviados generados. Fuente: *(Gallardo Armijos P. , 2014)*

Donde:

Lx = Cantidad de lixiviados generados

P = Precipitación caída en el interior del sitio

P^* = Precipitación caída en los exteriores del sitio

AS = Flujo de aguas subterráneas

PA = Producción de agua

HC = Humedad de la cobertura final

HR = Humedad de los residuos sólidos

SC = Agua retenida en la cobertura final

SR = Agua retenida en los residuos sólidos

CA = Consumo de agua en la formación de biogás

R = Escorrentía

ETr = Evapotranspiración real

La producción de agua (PA) solo ocurre en procesos aeróbicos, pero durante poco tiempo. A los 5 años es aproximadamente 0,1 toneladas de $H_2O/ton\ seca$ de basura depositada, pero a mediano y largo plazo su valor es insignificante. En cambio, predominan los procesos de degradación anaeróbica, los cuales consumen agua en la formación del biogás. Durante la descomposición anaerobia de la parte orgánica de los residuos sólidos, la masa de agua consumida es $0{,}165\ kg\ H_2O/kg$ de residuos sólidos rápidamente biodegradables (residuos de comida, papel, cartón, residuos de jardín).

El flujo de aguas subterráneas (AS) es igual a cero, condición válida para el botadero de Portoviejo considerando sus características hidrogeológicas locales.

La metodología, que expresa lo indicado anteriormente, se presenta a continuación.

3.2.2. DETERMINACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN MENSUAL POTENCIAL CORREGIDA

La evapotranspiración se interpreta como una pérdida de humedad en el suelo por evaporación (debido a la radiación solar) y por transpiración de los vegetales que lo recubren. Se toma como salida de agua hacia la atmósfera, causada principalmente por las temperaturas alcanzadas en el lugar. La evapotranspiración potencial que se genera en la zona se puede calcular tomando como base la temperatura mensual.

El cálculo de la evapotranspiración potencial mensual corregida se realiza utilizando la siguiente ecuación:

$$ETp = Kc \times ETp^*$$

Ecuación 2. Evapotranspiración potencial mensual ajustada (mm). Fuente: *(Gallardo Armijos P. , 2014)*

Donde:

$Kc =$ Coeficiente de corrección.

$ETp^* =$ Evapotranspiración potencial mensual sin corregir (mm).

$ETp =$ Evapotranspiración potencial mensual ajustada (mm).

El coeficiente de corrección (Kc) toma en cuenta la duración real del mes y el número máximo de horas de sol, según la latitud del lugar estudiado. Se aplica la expresión siguiente:

$$Kc = \left(\frac{N}{12}\right) \times \left(\frac{d}{30}\right)$$

Ecuación 3. Coeficiente de corrección. Fuente: *(Gallardo Armijos P. , 2014)*

Donde:

$N =$ Duración máxima de insolación (horas/día) en función de la latitud.

$d =$ Número de días en el mes.

La evapotranspiración potencial mensual sin ajuste (ETp^*) se calcula con la siguiente expresión:

$$ETp^* = 1{,}6\left(\frac{10T}{I}\right)^a$$

Ecuación 4. Evapotranspiración potencial mensual sin corregir (mm). Fuente: *(Gallardo Armijos P. , 2014)*

$$i = \left(\frac{T_j}{5}\right)^{1{,}514}$$

$$I = \sum_{j=1}^{12} i_j$$

Ecuación 5. Índice térmico anual (sumatoria de los índices mensuales de calor tomando meses de 30 días con 12 horas diarias de sol, adimensional). Fuente: *(Gallardo Armijos P. , 2014)*

$$a = 0{,}49239 + 1.792 \times 10^{-5} I - 771 \times 10^{-7} I^2 + 675 \times 10^{-9} I^3$$

Ecuación 6. Coeficiente que está en función de la sumatoria de los índices mensuales de calor, adimensional. Fuente: *(Gallardo Armijos P. , 2014)*

Donde:

ETp^* = Evapotranspiración potencial mensual sin corregir (mm).

T_j = Temperatura media mensual (°C).

I = Índice térmico anual (sumatoria de los índices mensuales de calor tomando meses de 30 días con 12 horas diarias de sol, adimensional).

I_j = Índice mensual de calor, adimensional.

a = Coeficiente que está en función de la sumatoria de los índices mensuales de calor, adimensional.

j = Número del mes considerado.

3.2.3. BALANCE HÍDRICO DE LA CUBIERTA DIARIA Y FINAL DEL VERTEDERO

Normalmente se estima la filtración del agua de lluvia a través de la capa de suelo utilizando un balance hidrológico con la siguiente expresión:

$$SC = P - R - ETp - INF_C$$

Ecuación 7. Cantidad de agua almacenada por unidad de área de cobertura del vertedero. Fuente: *(Gallardo Armijos P. , 2014)*

Donde:

$SC =$ Cantidad de agua almacenada por unidad de área de cobertura del vertedero

$P =$ Cantidad de precipitación atmosférica por unidad de área

$R =$ Cantidad de escorrentía por unidad de área

$ETp =$ Cantidad de agua perdida mediante evapotranspiración por unidad de área

$INF_C =$ Cantidad de agua que se filtra a través de la unidad de área de la cobertura del vertedero y que entra en los residuos sólidos

Para estimar la evapotranspiración real (ETr) se utiliza los siguientes conceptos:

1. $P - ETp. -$ Es la diferencia entre los valores de precipitación y evapotranspiración potencial (Columna 4).
2. $Neg.\ Acum. -$ Es la sumatoria de los valores negativos acumulados de la diferencia $P - ETp$, desde el primer mes del período de estiaje $P - ETp < 0$. Cada mes tendrá un valor negativo sumando el negativo acumulado del mes anterior, hasta el último mes de estiaje (Columna 5).
3. $S. -$ Es el almacenamiento o reserva útil de agua (Columna 6). Este valor varía de $0\ a\ 100\ mm$. Se lo obtiene para el período de estiaje, usando los valores de $Neg.\ Acum.$ a la izquierda de la siguiente tabla. El máximo valor de $S\ es\ 100\ mm.$
4. $Alt.\ S. -$ Es la alteración del almacenamiento del agua en el suelo (Columna 7). Se calcula en función de la variación de S (Columna 6), substrayendo algébricamente el almacenamiento del mes considerado menos el mes anterior.
5. $ETr. -$ Es la evapotranspiración real (Columna 8), igual a ETp si $P - ETp > 0$ y cuando $P - ETp < 0$, es la suma de P con el valor absoluto de $Alt.\ S$.
6. $DEF. -$ Es la deficiencia de agua en el suelo (Columna 9), igual a la diferencia de ETp (Columna 3) menos ETr (Columna 8).

7. $EXC.-$ Es el excedente de agua (Columna 10), igual a cero cuando S (Columna 6) es menor que $100\ mm$. En los otros casos es la diferencia entre $P - ETp$ (Columna 4) y $Alt.\ S$ (Columna 7).
8. Si $P < ETp$, la evapotranspiración real (ETr) consume totalmente dicha precipitación y genera un déficit, que se suple con las reservas de agua del terreno (S) hasta su agotamiento. Por tanto, la diferencia $P - ETp < 0$ se cubre con la reserva de agua utilizable. El valor máximo que permite esta reserva es $100\ mm$.
9. Si $P > ETp$, en la cubierta del terreno hay exceso de aporte de agua, que al ser absorbido incrementa la reserva de agua almacenada en el propio terreno (S). Es decir, la diferencia $P - ETp > 0$ añadirá más agua a la reserva utilizable del suelo, pero como la reserva de agua utilizable sólo puede alcanzar un valor máximo de $100\ mm$, se agrega solamente lo que le falte completar hasta su valor máximo. Una vez que la $ETp = ETr$, habrá un excedente. Por lo tanto, si la reserva es suficiente para satisfacer la deficiencia, la evapotranspiración real es igual a la potencial ($ETr = ETp$), entonces no hay déficit. Pero, si la reserva del suelo es insuficiente ETr queda ligada a P, la cual se agota. El almacenamiento de agua en el suelo genera un déficit.

3.2.4. CÁLCULO DE LA HUMEDAD POTENCIAL DE INFILTRACIÓN MENSUAL

La ecuación que representa el balance hídrico de la infiltración mensual es la siguiente:

$$INFj = P - R - ETp$$

$$INFj = P - (P \times Ke) - ETp$$

$$INFj = P(1 - Ke) - ETp$$

Ecuación 8. Balance hídrico de la infiltración mensual. Fuente: *(Gallardo Armijos P. , 2014)*

Donde:

$Ij =$ Infiltración mensual, en mm.

$P =$ Precipitación mensual, en mm.

$R =$ Escorrentía, en mm.

$Ke =$ Coeficiente de escurrimiento, adimensional.

$ETp =$ Evapotranspiración potencial mensual, en mm

El coeficiente de escurrimiento adoptado estará en función de 5 factores operativos: 1) tipo de suelo utilizado en la cobertura, 2) espesor de la cobertura y pendiente de la superficie; 3) grado de compactación de la cobertura, 4) drenajes principales y auxiliares al exterior e interior de la celda emergente y 5) características topográficas, tipo de suelo y vegetación de las superficies adyacentes al vertedero. Se asume un coeficiente de escorrentía (Ke) igual a 60%, considerando la adecuada atención de los factores antes mencionados, por parte del operador de la celda emergente.

3.3. CALIDAD DE LOS LIXIVIADOS

3.3.1. CLASIFICACIÓN DE LAS SUSTANCIAS CONTAMINANTES

Según el origen los contaminantes se pueden clasificar en:

Materiales de origen natural

Materiales degradables

Materiales no degradables

Productos y residuos industriales

Sustancias degradables

Residuos no degradables

Las sustancias de origen natural están presentes en el suelo que se usa para la cobertura de los residuos sólidos en rellenos sanitarios, y son disueltas y movilizadas por los lixiviados.

Los lixiviados de depósitos de escombros de construcción igualmente no contienen otra cosa que sales minerales que han sido disueltas, siempre y cuando los escombros no hayan sido depositados en forma conjunta con productos químicos u otra clase de desechos

peligrosos. Los lixiviados de depósitos de escombros están contaminados principalmente con calcio y sulfatos.

Los desechos domésticos contaminan el agua con residuos orgánicos descompuestos. Estas sustancias se caracterizan mediante la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), la demanda química de oxígeno (DQO) y el contenido de sales solubles.

Las sustancias orgánicas de fácil degradación en las aguas lixiviadas están compuestas de ácidos orgánicos, que contaminan el agua en una proporción de 50 veces mayor que las aguas servidas domésticas (por ejemplo 20.000 mg/l).

3.3.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS LIXIVIADOS

Existen numerosas caracterizaciones de los lixiviados en donde se hace énfasis en su alto poder contaminante. Se concluye usualmente que los lixiviados contienen toda característica contaminante principal, es decir, alto contenido de materia orgánica, alto contenido de nitrógeno y fósforo, presencia abundante de patógenos e igualmente de sustancias tóxicas como metales pesados y constituyentes orgánicos. Estas características son importantes en cuanto nos indican qué es lo que toca removerle a los lixiviados durante su tratamiento, sin embargo, desde el punto de vista de la selección de la tecnología existen otras características que, sin ser necesariamente contaminantes, pueden afectar el funcionamiento de los procesos de tratamiento. (Giraldo, 2001)

3.3.2.1. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)

Cantidad de oxígeno, expresada en mg/l, necesaria para la degradación biológica de la materia orgánica contenida en el agua natural o residual. Es un indicador del grado de contaminación de un agua por compuestos orgánicos.

La demanda bioquímica de oxigeno es la cantidad de oxigeno que requieren los microorganismos para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. Cuando se refiere a la DBO necesaria para oxidar todo el material orgánico

carbonáceo biodegradable, se denomina demanda bioquímica última de oxigeno carbonácea (DBOUC). En condiciones normales de laboratorio, esta demanda se cuantifica a 20°C, el ensayo estándar se realiza a cinco días de incubación y se conoce convencionalmente como DBO, con valores numéricos expresados en $mg/L\ -O_2$. (Romero Rojas, 2004)

La DBO es el parámetro más usado para medir la calidad de aguas residuales y superficiales, para determinar la cantidad de oxigeno requerido para estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, para diseñar unidades de tratamiento biológico, para evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y para fijar las cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras. (Romero Rojas, 2004)

3.3.2.2. SÓLIDOS

El contenido de sólidos de un agua afectada directamente la cantidad de lodo que se produce en el sistema de tratamiento o disposición. Se considera como Sólidos Totales de un agua el residuo de evaporación y secado a 103 – 105°C.

Los Sólidos Sedimentables son una medida de volumen de sólidos asentados al fondo de un cono Imhoff, en un período de una hora, y representan la cantidad de lodo removible por sedimentación simple; se expresan comúnmente en mL/L.

Los Sólidos disueltos representan el material soluble y coloidal, el cual requiere usualmente, para su remoción, oxidación biológica o coagulación y sedimentación. Los Sólidos Suspendidos o no disueltos constituyen la muestra filtrada. En la práctica los Sólidos Disueltos son aquellos con tamaño menor a 1,2µm y los suspendidos los que tienen tamaño mayor de 1,2µm, tamaño nominal de poros correspondiente a los filtros de fibra de vidrio usados para hacer la separación. (Romero Rojas, 2004)

Los sólidos volátiles son, básicamente, la fracción orgánica de los sólidos o porción de los sólidos que se volatiliza a temperatura de 550 ± 50°C. Su determinación es muy importante en lodos activados, lodos crudos y lodos digeridos. El residuo de la calcinación se conoce

como sólidos fijos y constituye la porción inorgánica o mineral de los sólidos. (Romero Rojas, 2004)

En tratamiento biológico de aguas residuales se recomienda un límite de sólidos disueltos de 16.000bmg/L. (Romero Rojas, 2004)

3.3.2.3. TEMPERATURA

Es un parámetro importante en aguas residuales por su efecto sobre las características del agua, sobre las operaciones y procesos de tratamiento, así como sobre el método de disposición final. En general, las aguas residuales son más cálidas que las de abastecimiento y, en aguas de enfriamiento, la polución térmica es significativa. (Romero Rojas, 2004)

La temperatura afecta y altera la vida acuática, modifica la concentración de saturación de oxígeno disuelto y la velocidad de las reacciones químicas y de la actividad bacterial. La tasa de sedimentación de sólidos en aguas cálidas es mayor que en aguas frías, por el cambio en la viscosidad del agua. En general los tiempos de retención para tratamiento biológico disminuyen a mayor temperatura y los parámetros de diseño son función de ella. (Romero Rojas, 2004)

Como el calor específico del agua es mayor que el del aire, la temperatura del agua residual es mayor que la temperatura ambiente en períodos fríos y menor que la temperatura ambiental en períodos cálidos. (Romero Rojas, 2004)

Se considera que en el rango de temperatura que va de 10 a 50°C, la actividad microbiana aumenta el doble con cada incremento de 10°C. Sin embargo la metanogénesis y generalmente el crecimiento de los microorganismos anaerobios son relativamente lentos a temperaturas inferiores a 20°C. Según **Graindorge (1990),** la temperatura óptima de la mayoría de las células se sitúa entre 45 y 50°; para **Hartz et al. (1982),** la temperatura mesófila óptima para la degradación de los residuos se sitúa en 41°C. **Gendebien et al. (1992)** consideran que para la metanogénesis, las temperaturas óptimas en la zona mesófila se

encuentran entre 30 y 37°C y para la zona termófila entre 50 a 65°C. Por su parte **Demeyer et al. (1981),** señalan que varios autores reportan que la producción de biogás presenta dos óptimos que corresponden a dos microflaras diferentes: el primero, alrededor de 35-40°C (zona mesófila) y el segundo, en el rango de 55-60°C (zona termófila). (Robles Martínez, 2005)

La temperatura es un factor determinante para el desarrollo de microorganismos, pero hay que tomar en cuenta que el cambio de esta puede ser también una consecuencia de la actividad microbiana aerobia. De esta forma, durante una buena degradación aerobia la temperatura puede alcanzar fácilmente entre 50 y 60°C. Cabe señalar también que la generación de calor por la actividad microbiana depende a su vez de la humedad del sustrato. En el caso de la degradación anaerobia, un aumento de la temperatura se ve reflejado en un aumento de la temperatura se ve reflejado en un aumento del vapor de agua y del CO_2 en el biogás, en detrimento del porcentaje de metano presente en el mismo biogás. (Robles Martínez, 2005)

Normalmente, la temperatura al interior de los rellenos sanitarios en operación se encuentra entre 20 y 35°C **(Bigemer y Crutzen, 1987),** sin embargo, puede ser más elevada en rellenos sanitarios jóvenes en donde los residuos no son compactados. Por el contrario, la temperatura es baja en las zonas donde se instalan condiciones de anaerobiosis, es decir, en las celdas más viejas o en las capas más profundas. (Robles Martínez, 2005)

La temperatura óptima para la actividad bacterial es de 25°C a 35°C. La digestión aeróbica y la nitrificación se suspenden cuando la temperatura alcanza los 50°C. Cuando la temperatura es menor de 15°C la digestión metanogénica es muy lenta, y a temperaturas de 5°C la bacteria autotrófica nitrificante deja de operar. (Romero Rojas, 2004)

3.3.2.4 pH

Escala de la acidez o la alcalinidad de las soluciones, expresada como el logaritmo de las concentraciones de iones de hidrógeno (H´). El pH de siete es neutral, las cifras menores

indican aumento en la acidez y las mayores un incremento en la alcalinidad. Cada unidad a partir de siete es diez veces superior a la anterior.

La mayor parte de bacterias se desarrollan óptimamente a pH cercano a la neutralidad, son las bacterias acetogénicas las cuales se desarrollan de una manera óptima a pH de 7 a 7.4. Sin embargo, también existen bacterias que trabajan a pH menor a 6 y se adaptan relativamente fácil a medios con pH próximo a 4, tal es el caso de las bacterias acidogénicas. En lo que respecta a los hongos, estos se desarrollan mejor en un rango entre pH de 5 y 6; estos microorganismos pueden participar activamente en la fase hidrolítica.

Las poblaciones microbianas más sensibles a las variaciones de pH son las bacterias acetogénicas (con pH óptimo de 7.2) y las Archaea metanogénicas (pH óptimo entre 7 y 8), es por esta razón que estos microorganismos son inhibidos de forma total a un pH inferior a 6, lo que puede traer como consecuencia una acumulación de ácidos orgánicos. Es importante señalar que los microorganismos que participan en la digestión termófila son más sensibles a los cambios de pH que aquellas que participan en rangos mesófilos.

Los cambios de pH son atenuados de forma natural por el efecto regulador del medio (efecto buffer), que depende esencialmente de la concentración de carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^{2-}) y CO_2 disueltos, así como de los iones amonio presentes en el medio. Estos últimos, son producidos durante la degradación anaerobio de las proteínas. Por últimos, los ácidos orgánicos y sus sales formadas durante las fases de acidogénesis y acetogénesis, también contribuyen en el efecto regulador de pH. (Robles Martínez, 2005)

3.3.2.5. COLIFORMES

Los organismos patógenos que pueden existir en las aguas residuales son, generalmente, pocos y difíciles de aislar e identificar. Por esta razón se prefiere utilizar a los coliformes como organismo indicador de contaminación o, en otras palabras, como indicador de la existencia de organismos productores de enfermedad. (Romero Rojas, 2004)

El hombre arroja diariamente, en sus excrementos, entre 10^9 y $4x10^{11}$ coliformes; por lo tanto, su presencia puede detectarse con facilidad y utilizarse como norma de control sanitario. (Romero Rojas, 2004)

Las bacterias coliformes son bacilos gram-negativos, aerobios y facultativos anaerobios, no formadores de esporas, que fermentan la lactosa con producción de gas en 48 ± 3 h a 35 o 37°C. El grupo de coliformes totales, grupo coli-aerogentes, incluye los géneros Escherichia y Aerobacter. En general, se considera el género Escherichia, especie E. coli, como la población de bacterias coliformes más representativa de contaminación fecal. El género Aerobacter y algunas Escherichia pueden crecer en el suelo, lo cual implica que la presencia de coliformes no necesariamente representa la existencia de contaminación fecal humana. (Romero Rojas, 2004)

El ensayo de coliformes fecales (CF) se estableció con base en la capacidad de las bacterias coliformes fecales, E. coli, de producir gas, en medio EC, al ser incubadas a 44,5 ± 0,2°C durante 24 ± 2 horas. También se usa la capacidad de las bacterias coliformes fecales para producir gas en medio A-1 al ser incubadas por tres horas a 35 ± 0,5°C y por 21 ± 2 horas a 44,5 ± 0,2°C. (Romero Rojas, 2004)

En la remoción de coliformes tienen efecto principal el tiempo de retención, la temperatura, la radiación ultravioleta, la concentración algar y el consumo por protozoos, rotíferos y dafnias. (Romero Rojas, 2004)

Con excepción de algunas cepas de coliformes fecales enteropatógenos que causan diarrea, los coliformes no son patógenos para el hombre. Sin embargo, los coliformes pueden aceptar y trasferir genes resistentes a las drogas, por lo cual hacen necesaria su eliminación. (Romero Rojas, 2004)

3.3.2.6. MATERIA ORGÁNICA

Los sólidos suspendidos de una agua residual pueden contener un 75% de materia orgánica; los sólidos disueltos un 40%. La materia orgánica de las aguas residuales es una combinación de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno (CHON) principalmente; con las proteínas (40 – 60%), los carbohidratos (25 – 50%) y las grasas y aceites (10%) como grupos más importantes. Concentraciones grandes de materia orgánica, en aguas residuales, se miden mediante la DBO, la DQO y el COT. Concentraciones pequeñas de materia orgánica, del orden de trazas, 10^{-12} a 10^{-3} mg/L, se cuantifican por cromatografía de gases y espectroscopia de masa. (Romero Rojas, 2004)

3.3.3. VALORES TÍPICOS DE LOS LIXIVIADOS

En el caso de valores absolutos bajos de la DBO_5 y la DQO, un valor alto (>0.4) puede estar indicando la entrada de aguas externas. Ya que las altas concentraciones de DQO y DBO_5 durante la "fermentación ácida" representan ácidos grasos menores en los lixiviados, disminuye al mismo tiempo el valor de pH. Las diferentes condiciones ambientales de ambas fases de la degradación anaeróbica producen también diferencias en la solubilidad de algunos metales, cuyo rango de concentración se correlaciona estrechamente con los parámetros orgánicos. La solubilidad se ve influida adicionalmente, entre otros, por la formación de complejos, quelatos y sulfuro. En la figura 3 se presentan los rangos de la concentración de algunos parámetros de un relleno a modo de ejemplo, rangos que exponen claramente el paso entre ambas fases. (Jurgen Ehrig, 1992)

Tabla 1. Valores medios ($\bar{x}$) y máximos (max.) del algunos parámetros en la fase de la "fermentación ácida" y de la "fermentación metanogénica" (en paréntesis valores de deferentes rellenos) mínimo.

	"Fermentación ácida"		**"Fermentación metanogénica"**	
	$(\bar{x})$	max.	$(\bar{x})$	max.
pH (-)	6.1	5.5[1]	8.0	8.5
$\boldsymbol{DBO_5/DQO}$	0.58	-	0.06	-
$\boldsymbol{DQO}$ $(\boldsymbol{mg/l})$	22000	38100	3000	4340
$\boldsymbol{DQO_5}$ $(\boldsymbol{mg/l})$	13000	30425	180	383
$\boldsymbol{Fe}$ $(\boldsymbol{mg/l})$	925	2120	15	29.3 (282)
$\boldsymbol{Ca}$ $(\boldsymbol{mg/l})$	1300	2480	80	575
$\boldsymbol{Mg}$ $(\boldsymbol{mg/l})$	600	1130	250	534
$\boldsymbol{Mn}$ $(\boldsymbol{mg/l})$	24	65.5	0.65	1.73 (43.5)
$\boldsymbol{Zn}$ $(\boldsymbol{mg/l})$	5.6	68.4 (113)	0.64	3.78
$\boldsymbol{Sr}$ $(\boldsymbol{mg/l})$	7.2	14.7	0.94	7.25
$\boldsymbol{SO_4}$ $(\boldsymbol{mg/l})$	-	1745	-	884

Fuente: *(Jurgen Ehrig, 1992)*

La mayor parte de las sustancias inorgánicas no muestra modificaciones al cambiar las fases de degradación, por el contrario, muestra márgenes de variación a menudo grandes. En el caso de algunos parámetros se observa un aumento ligero al aumentar la edad del relleno, lo cual puede explicarse en virtud de mejores condiciones de solubilidad como consecuencia del material sometido a degradación bioquímica. Los parámetros conductividad, cloruro, amonio, potasio y sodio muestran una estrecha correlación. Por lo general, los valores de nitrato y fósforo para lixiviados son menores de 10 mg/l. (Jurgen Ehrig, 1992)

Se desprende que las concentraciones medidas de metales pesados de los lixiviados son bajas y que no es de esperar que se den influencias negativas de los procesos bioquímicos. En general, un buen índice de ello es una degradación anaeróbica profunda en el relleno, ya que

las bacterias metanogénicas que participan son muy sensibles a las influencias del medio. (Jurgen Ehrig, 1992)

Para el tratamiento de los lixiviados sería oportuno disminuir la duración de la "fermentación ácida" con las altas cargas orgánicas. Según los conocimientos que se tienen hasta ahora esto es posible modificando la técnica de operación.

Se manifiesta que, con una disposición altamente compactada en capas delgadas o en capas de dos metros, con la recirculación de los lixiviados en la superficie se logra la "fermentación metanogénica" mucho más rápido. Este efecto puede lograrse también con un composteo inicial de la basura, mediante el cual mejoran las condiciones para la fermentación metanogénica posterior, ya que la producción espontánea de ácidos orgánicos se ve inhibida en buena medida. Por lo general bastará con el composteo de las capas inferiores de un relleno, ya que en una capa de basura que se encuentre en la fase de fermentación metanogénica también se degradan las cargas orgánicas superiores de las capas que se encuentran encima. (Jurgen Ehrig, 1992)

Tabla 2. Criterios de calidad de usos de agua, descargas y lixiviados.

			Usos (1)			Descargas (1)		Agua residual doméstica (2)	Lixiviado (3)	
Parámetro	**Unidad**	**Expresado como**	**Consumo humano y doméstico**	**Riego agrícola**	**Preservación vida acuática (agua dulce)**	**Alcantarillado público**	**Cuerpo receptor (agua dulce)**		**Vertedero nuevo (<2 años)**	**Vertedero maduro (>10 años)**
Color	Color real	$Pt - Co^{25}$	75					Gris	Negro	Marrón
Olor								Séptico	Séptico	Séptico
pH			6-9	6-9	6,5-9	6-9	6-9	6,8-8,2	4,5-7,5	6,6-7,5
Temperatura	°C					< 40		10-21		
Sol. totales	mg/L					1.600	1.600	1.200		
Sol. suspendidos	mg/L	SST				220	130	350	200-2.000	100-400
Sol. Sedimentables	mg/L	SSD				20		20		
DBO5	mg/L		<2		20	250	100	400	2.000-30.000	100-200
DQO	mg/L		<4		40	500	200	1.000	3.000-60.000	100-500
Nitratos	mg/L	NO3	50		13			-	5-40	5-10
Nitritos	mg/L	NO2	0,2	0,5	0,2			-		
Fósforo	mg/L	P				15	10	15	5-100	5-10
Alcalinidad	mg/L	CaCO3						200	1.00-10.000	200-1.000
Hierro	mg/L	Fe	1	5	0,3	25	10		50-1.200	20-200
Cobre	mg/L	Cu	2		0,005	1	1			
Plomo	mg/L	Pb	0,01	5	0,001	0,5	0,2			
Mercurio	mg/L	Hg	0,006	0,001	0,0002	0,01	0,005			
Cromo (hexavalente)	mg/L	Cr^{+6}	0,05	0,1		0,5	0,5			
Zinc	mg/L	Zn		2	0,03	10	5			
Arsénico	mg/L	As	0,1	0,1	0,05	0,1	0,1			
Bario	mg/L	Ba	1	0,05	1					
Cadmio	mg/L	Cd	0,02	0,05	0,001	0,2	0,02			
Cianuro	mg/L	CN	0,1		0,01	1	0,1			
Col. totales	NMP/100ml	NMP						$10^7 - 10^9$		
Col. fecales	NMP/100ml	NMP	1.000				2.000			

Fuente: *(Gallardo, 2017)*

3.3.4. MONITOREO DE LOS LIXIVIADOS

Para la evaluación de la eficiencia del tratamiento de lixiviados es necesario realizar un programa de análisis o campaña de monitoreo, el cual debe estar integrado principalmente por parámetros característicos y que vaya más al detalle en los lugares en los que se dé esta necesidad, a consecuencia de los citados parámetros.

Las muestras deberán ser tomadas en los lugares donde exista una variación de los parámetros guía utilizando envases evacuadores o con tomadores de prueba especiales. Si las variaciones de los parámetros guía se dan en varios lugares, se deberán tomar muestras en cada uno de estos lugares.

3.3.5. TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS

Las alternativas de tratamiento de lixiviados se pueden clasificar de acuerdo a diferentes características como por ejemplo, de acuerdo a los niveles de tratamiento que se logren con cada una de ellas, o por el tipo de contaminación que puedan remover.

Los lixiviados contienen todos los mayores grupos de contaminación conocidos como son: la contaminación por patógenos, por materia orgánica, la contaminación por nutrientes, y por sustancias tóxicas. En algunos casos la remoción de uno de los grupos de contaminación se ve impedido por la presencia del otro grupo como es el caso de la remoción de la materia orgánica y los metales pesados. (Martinez-Lopez, y otros, 2014)

El grado de tratamiento requerido para un agua residual depende fundamentalmente de los límites de vertido para el efluente.

Los métodos usados para el tratamiento de aguas residuales municipales se denominan operaciones unitarias y procesos unitarios.

Las operaciones unitarias incluyen remoción de contaminantes por fuerzas físicas, mientras que los procesos unitarios consisten en reacciones biológicas y/o químicas.

Un sistema de tratamiento está compuesto por una combinación de operaciones y procesos unitarios diseñados para reducir ciertos constituyentes del agua residual a un nivel aceptable. Se pueden hacer muchas combinaciones de operaciones y procesos unitarios.

Un esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales se presenta en la **Figura 1.** El objetivo de depurar un agua residual se logra mediante la integración de operaciones físicas y procesos químicos y biológicos unitarios, que serán seleccionados en función de las características del agua residual a tratar y de la calidad deseada del agua tratada.

Figura 1. Esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales. Fuente: *(Noyola, Morgan-Sagastume, & Güereca, 2013)*

En la **Figura 2** se esquematiza un abanico de posibilidades tecnológicas para integrar un tren de tratamiento de aguas residuales. En esta figura se resalta la división en dos grandes grupos, los tratamientos fisicoquímicos y los biológicos. (Noyola, Morgan-Sagastume, & Güereca, 2013)

Los primeros hacen uso, como su nombre lo indica, de procesos físicos (uso de la gravedad, filtración por retención física, atracción electrostática, etc.) y de procesos químicos

(coagulación, absorción, oxidación, precipitación, etc.). El segundo tipo involucra la degradación o transformación del material orgánico por medio de microorganismos.

Los sistemas de tratamiento de agua residual generan lodos que hay que tratar para poder disponer de ellos adecuadamente. En la Figura N6 se señalan cinco sistemas de tratamiento de lodos (biológicos y fisicoquímicos) los cuales deben ser integrados con los sistemas de tratamiento de agua residual dentro de lo que se denomina el tren integral de tratamiento de aguas residuales (tratamiento de agua y lodos).

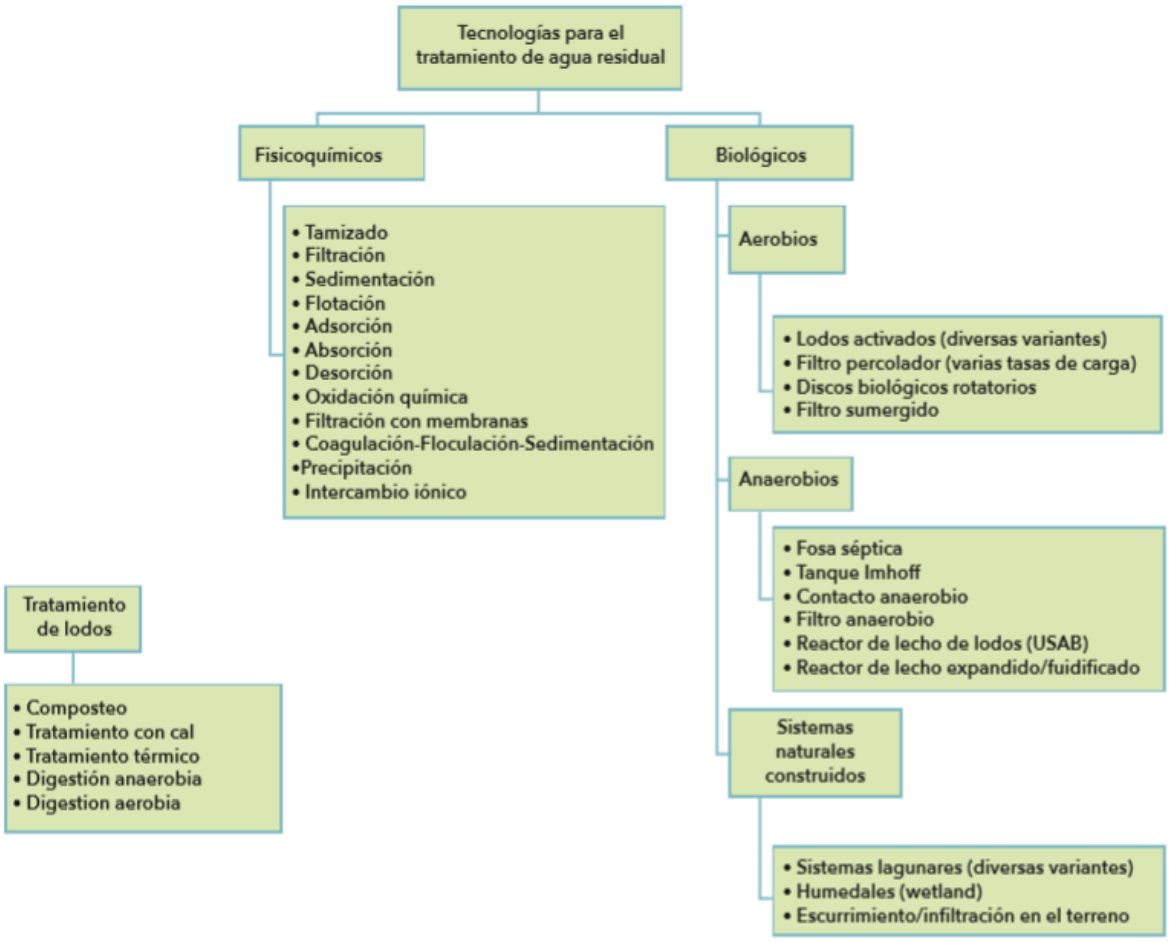


Figura 2. Clasificación esquemática de los procesos para el tratamiento de las aguas residuales. Fuente: *(Noyola, Morgan-Sagastume, & Güereca, 2013)*

El nivel de tratamiento para un agua residual depende del uso o disposición final que se le quiera dar al agua tratada, lo que puede estar determinado por alguna normatividad. A continuación se describen someramente los distintos niveles de tratamiento. (Noyola, Morgan-Sagastume, & Güereca, 2013)

3.3.5.1. TRATAMIENTO AEROBIO

Sistemas aerobios (requieren oxígeno molecular disuelto) (Noyola, Morgan-Sagastume, & Güereca, 2013), este tipo tratamiento consiste en la depuración de los compuestos orgánicos presentes en el lixiviado por microorganismos en presencia de oxígeno y agitación, para evitar condiciones de anaerobiosis dentro de los tanques de depuración. Durante esta degradación se forman sólidos decantables que se separan con facilidad de la fracción líquida. Estos sistemas requieren de ciertas condiciones estables de funcionamiento, carga orgánica, concentración de nutrientes, de pH, etc.

Se puede llegar a aplicar un tratamiento aerobio mediante el uso de lagunas aireadas, sistemas de lodos activados, sistemas biológicos de discos rotatorios (biodiscos), filtros percoladores, etc.

Usualmente los lixiviados tienen valores altos de DBO, por lo que aplicando este tipo de tratamiento se podrán tener porcentajes de remoción arriba del 90%. Sin embargo, la DBO remanente puede ser mayores a 1000 mg/l. (Martinez-Lopez, y otros, 2014)

3.3.5.2. TRATAMIENTO ANAEROBIO

Este tratamiento se basa en el mismo principio de depuración vía aerobia, pero esta vez es mediante una población bacteriana en condiciones de ausencia de oxígeno, lo que lo hace ser un proceso más simple que genera menor cantidad de lodos.

Sin embargo, se deben tener muchas consideraciones en la operación, como por ejemplo, los altos contenidos de amoníaco y de minerales disueltos pueden generar problemas de toxicidad para los microorganismos, lo que hará necesario una remoción previa del amoníaco, o la aplicación de cargas de trabajo reducidas dado las limitaciones en la actividad microbiana por toxicidad. Otro problema que se ha detectado en la marcha es la acumulación de material inorgánico precipitado dentro de los reactores que termina por formar incrustaciones que

limitan el volumen activo del reactor, limitan la actividad de los lodos y taponan los sistemas de conducción de los reactores, lo cual genera un colapso del sistema de tratamiento.

Se han reportado trabajos aplicando este tipo de tratamiento con diversos sistemas, que van desde los más sencillos como lagunas anaerobias, hasta los más sofisticados como sistemas de lecho fluidizado, filtros anaerobios y reactores anaerobios de flujo ascendente (UASB). Estos sistemas soportan altas velocidades de carga con tiempos de retención bajos, sobrecarga y arranques rápidos tras períodos sin operación, todo ello sin detener las operaciones depuradoras de la flora bacteriana. Dentro de la revisión bibliográfica, se encontraron más trabajos de investigación relacionados al tratamiento biológico de lixiviado vía anaerobia que por tratamiento aerobio. Torres et al.6 encontraron que utilizando un reactor anaerobio tipo UASB a escala laboratorio (5 L) era posible alcanzar eficiencias de remoción de DQO mayores al 90%, mediante un ajuste de pH y la concentración de fósforo en el sustrato. (Martinez-Lopez, y otros, 2014)

3.3.5.3. TRATAMIENTO TERCIARIO O AVANZADO

El tratamiento terciario o avanzado remueve los nutrientes para mejorar la calidad del efluente secundario con el fin de adecuar el agua para su reúso. (Qasim, 2000), su objetivo fundamental es la eliminación de contaminantes que no se eliminan con los tratamientos biológicos convencionales. (Ramalho, 1990)

Esta etapa procede a eliminar compuestos tales como sólidos suspendidos, nutrientes y la materia orgánica remanente no biodegradable. Por lo general, el tratamiento terciario es necesario cuando deben cumplirse condiciones de descarga estrictas (remoción de nutrientes) o cuando el agua tratada está destinada a un uso en específico.

En tal caso, el arreglo de tratamiento terciario debe ser el necesario para alcanzar esa calidad específica, lo cual implica una gran diversidad de posibles combinaciones de operaciones y procesos unitarios. (Noyola, Morgan-Sagastume, & Güereca, 2013)

3.3.6. EFICIENCIA Y REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL LIXIVIADO

El porcentaje de eficiencia del sistema de tratamiento de lixiviados está determinado por el diseño, implementación y funcionamiento de cada uno de los procesos unitarios implementados. En general, la variación de la DBO, la producción de metano, el crecimiento microbiano, la presencia de patógenos, entre otros parámetros, son monitoreados con respecto al tiempo para determinar la eficiencia del tratamiento del lixiviado.

Las condiciones óptimas de operación de cada proceso unitario depende de varios parámetros como: el tiempo de retención hidráulica (TRH), velocidad de alimentación del afluente, tasa de alimentación orgánica, tiempo de retención de lodo (TRHL), temperatura de operación y la presencia de factores inhibidores, entre otros. Un cambio en cualquiera de estos parámetros afecta la eficiencia de degradación de la materia orgánica presente en el sistema.

La eficiencia de remoción fue obtenida usando la ecuación (3), donde Ci y Cf representan la concentración inicial y final en mg/L, respectivamente.

$$\%remoción = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

Ecuación 9. Porcentaje Remoción. Fuente: *(Luna, y otros, 2007)*

3.3.7. RECIRCULACIÓN DE LOS LIXIVIADOS

La recirculación de los lixiviados se ha propuesto desde hace varios años como una alternativa de tratamiento. Más recientemente se conoce su uso como la tecnología del relleno bioreactor, que en la actualidad se está estudiando en detalle en los Estados Unidos con apoyo de la EPA. La idea es utilizar el relleno sanitario como un gran reactor anaerobio de tal manera que dentro del mismo relleno se logre la conversión a metano de los ácidos grasos que están presentes en el lixiviado.

Al recircular los lixiviados se logran un aumento en la humedad de los residuos depositados, que a su vez genera un aumento de la tasa de producción de gas metano en el relleno. Una vez los ácidos grasos han sido metanizados, el pH del lixiviado aumenta, y al

aumentar el pH la solubilidad de los metales disminuye de tal forma que se logra una disminución de los metales en solución que son transportados por el lixiviado. De esta manera se logra una reducción significativa tanto de la DBO como de los metales que finalmente arrastra el lixiviado. Las experiencias indican que entre 3 y 10 años se debe recircular un lixiviado para generar los efectos de tratamiento requeridos. (Giraldo, 2001)

La recirculación de los lixiviados tiene otros beneficios adicionales como son: el aumento en las tasas de producción de biogás en el relleno sanitario, maximización de la producción de gas por tonelada de residuo dispuesta, aumento de las tasas de estabilización y asentamientos en el relleno. Esta última a su vez genera ventajas como son el aumento de la capacidad del relleno por la ganancia asociada de volumen, y la disminución en las actividades de post-clausura del relleno. (Giraldo, 2001)

Durante la recirculación de lixiviados, estos son retornados al relleno por reinfiltración dentro de los residuos dispuestos. Este método es considerado de control porque los lixiviados están continuamente fluyendo a través del relleno tratándose por medio de procesos biológicos, precipitación y adsorción. Estos procesos son benéficos para los rellenos sanitarios por el aumento del contenido de humedad, el cual incrementa la tasa de degradación biológica en los residuos, la estabilidad biológica y la tasa de recuperación del metano producido en el relleno (Salazar & Saavedra, 2009)

Entre los métodos de recirculación de lixiviados se tienen:

- Aplicación directa de los lixiviados a los residuos durante su disposición: a estos procesos se le suma en la entrada de los residuos el descargue, depósito y compactación. El problema con este método es la producción de olores, riesgo a la salud debido a la exposición, riesgo por el equipo y la maquinaria, el arrastre de los residuos por migración de los lixiviados. Este método también requiere facilitar la acumulación de lixiviados por periodos cuando se presenten vientos fuertes, épocas

de invierno y cuando la producción de lixiviados se suspenda y estos ya no puedan ser aplicados.

- Rociado por irrigación en la superficie del relleno: el lixiviado es aplicado en la superficie del relleno de igual forma como los métodos utilizados en la irrigación de agua para los cultivos. Este método permite que los lixiviados puedan ser aplicados a una gran porción del relleno, pues el volumen de los lixiviados se reduce por evaporación. (Martinez-Lopez, y otros, 2014)

Aplicación subsuperficial: se relaciona con la instalación de un pozo de recarga vertical, o bien un desagüe horizontal dentro de los residuos sólidos. Para tal efecto, se debe realizar una gran excavación y construir una obra con este método. (Martinez-Lopez, y otros, 2014)

Tabla 3. Principales ventajas y desventajas de la recirculación del lixiviado a través del relleno sanitario.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
a) La recirculación de los lixiviados dentro del relleno sanitario experimenta una disminución en la concentración de estos. Estas reducción en la cantidad de lixiviados es necesario para el tratamiento y por eso los costos también se reducen.	**a)** los lixiviados producidos en un relleno sanitario son heterogéneos se deben hacer distintos canales por donde ellos deben pasar. Esto dificulta garantizar que los lixiviados reaccionen con todos los residuos y sean totalmente tratados
b) El incremento del contenido de humedad dentro de los residuos sólidos mejora las condiciones del sistema para el desarrollo en la descomposición biológica de la materia orgánica en el relleno.	**b)** Existe el riesgo de exposición ambiental cuando los lixiviados son aplicados a la superficie del relleno
c) La materia orgánica en el relleno, la cual requiere tratamiento fuera de este, tiene	

la posibilidad de recircularse constantemente durante el tratamiento del relleno, esto reduce los costos del tratamiento.	
d) Reducción ambiental dentro del relleno por la remoción de inorgánicos en los lixiviados a través de la precipitación y adsorción.	
e) La recirculación de los lixiviados permite estabilidad biológica al sistema y esto reduce las amenazas ambientales en el relleno, y así mismo reduce la cantidad de monitoreos requeridos en la posclausura.	
f) Este método incrementa la tasa a la cual se descomponen los residuos y esto incrementa la tasa en la producción de metano. Esto hace que se pueda recuperar el metano más fácilmente para aprovecharlo en la generación de energía de combustión.	
g) La recirculación de lixiviados es un método de manejo de lixiviados que resulta ser relativamente simple y de bajo costo.	

Fuente: *(Salazar & Saavedra, 2009)*

3.4. PRE-TRATAMIENTO (DECANTACIÓN)

El objetivo de la decantación primaria es la mayor eliminación posible de sólidos en suspensión presentes en las aguas residuales, la retirada de estos sólidos es muy importante, ya que en caso contrario originarían fuertes demandas de oxígeno en el resto de las etapas de tratamiento, en esta etapa utiliza exclusivamente la gravedad. Por tanto, sólo se eliminarán sólidos sedimentables y materias flotantes. (Gallardo Armijos P. A., 2018)

Tipos de Decantadores.

En función de la planta de los Decantadores, estos pueden ser rectangulares o circulares.

Según la forma del decantador varían los sistemas de alimentación y de evacuación de efluentes decantados:

- Decantadores rectangulares: la alimentación se realiza por uno de sus lados menores y la recogida del agua decantada se efectúa por el lado contrario a la entrada del lixiviado.
- Decantadores circulares: la alimentación suele realizarse por el centro y la evacuación de las aguas decantadas se realiza por un canal periférico.

Almacenamiento de los fangos: las zonas de almacenamiento de los fangos arrastrados por las barrederas consisten generalmente en pocetas dispuestas en la solera del decantador. Las disposiciones básicas de estas pocetas según el tipo de decantador son:

- Decantadores rectangulares: la poceta se dispone a lo ancho del decantador y en la zona de entrada de las aguas.
- Decantadores circulares: la poceta se ubica en el centro del decantador y, en ocasiones, se equipa al sistema de rasquetas con paletas de espesamiento en la poceta central, al objeto de aumentar la concentración de los fangos antes de su extracción.

Dimensionamiento

Los parámetros de diseño de la etapa de Decantación Primaria son:

- Velocidad ascensional o carga superficial: se determina dividiendo el caudal de aguas residuales por la superficie del decantador. En el caso de la decantación de partículas discretas (Desarenado) este es el único parámetro de diseño.
- Tiempo de retención: se determina dividiendo el volumen del decantador por el caudal de aguas residuales. Este parámetro influye en la probabilidad de encuentro (floculación) de las partículas que van decantando.

Existen dos formas básicas para el diseño de la etapa de Decantación Primaria:

- Diseño a partir de ensayos de laboratorio
- Diseño basado en la experiencia

Los ensayos que se realizan a nivel laboratorio para el diseño de la decantación primaria son discontinuos y consisten en introducir una muestra del agua residual a decantar en un depósito cilíndrico vertical, equipado con tomas de muestras a distintas alturas. El depósito debe tener una altura como mínimo igual que la altura del decantador que se vaya a aplicar realmente. Con relación al diámetro, se han obtenido buenos resultados con columnas de 15 cm de diámetro.

Tras el llenado del depósito, se procede a la homogeneización de su contenido, que posteriormente se deja reposar. A intervalos regulares de tiempo se procede a la toma de muestras a distintas alturas. A las muestras tomadas se les determina su contenido en sólidos en suspensión y a partir de estos datos se calcula el rendimiento de eliminación de sólidos con relación a los que presenta el agua residual. (Gallardo Armijos P. A., 2018)

Los rendimientos de eliminación se representan en una gráfica en función de la profundidad (ordenada) y del tiempo en que se han tomado las muestras (abscisa). Una vez dibujados los puntos se trazan las curvas que pasan por los puntos que representan un mismo porcentaje de eliminación de sólidos (curvas de isorrendimiento o isorreducción).

Para tener en cuenta el hecho de que las operaciones en las que se desarrolla la decantación en la realidad no son las óptimas, la velocidad de sedimentación, o carga superficial que realmente se adopta se obtiene multiplicando los valores teóricos por un factor correctivo de 1,25 – 1,75. Por su parte, los tiempos de retención reales se obtienen de los teóricos multiplicado por un factor que oscila entre 1,25 - 1,5. (Gallardo Armijos P. A., 2018)

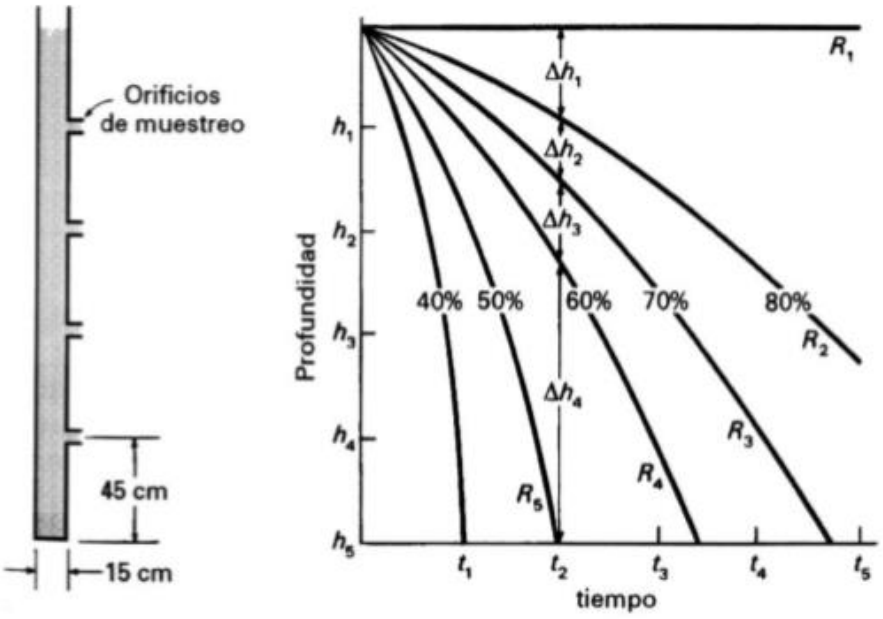


Figura 3. Columna de sedimentación y curvas de igual eliminación porcentual para partículas floculentas. Fuente: *(Gallardo Armijos P. A., 2018)*

En el diseño basado en la experiencia se hace uso de los valores de los parámetros de dimensionamiento obtenidos a lo largo del tiempo, en aplicaciones reales de decantadores primarios.

Velocidad ascensional:

- a Caudal medio: < 1,3 m/h
- a Caudal máximo: < 2,5 m/h

Tiempo de retención:

- a Caudal medio: > 2 h
- a Caudal máximo: > 1 h

Carga en vertedero:

- a Caudal máximo: < 40 m3/h.ml

Velocidad de las rasquetas:

- decantadores rectangulares: < 60 m/h
- decantadores circulares < 120 m/h

Tiempo de retención de fangos: < 5 h

Reducción de Sólidos en Suspensión:

- > 65 %

Factores constructivos.

Pendiente de la solera:

- Decantadores rectangulares: 1%
- Decantadores circulares: 2 - 8 %

Altura bajo vertedero:

- 2 – 3, 5 m

Relaciones dimensionales:

Decantadores rectangulares:

- relación longitud / altura: 4 - 35
- relación longitud / anchura: 1,5 – 7,5

Decantadores circulares:

- relación radio / altura: 2,5 – 8

Potencia para el accionamiento de las rasquetas:

- Decantadores rectangulares: 0,01 CV por m2 de superficie de decantación
- Decantadores circulares: 0,001 CV por m2 de superficie de decantación

Campana tranquilizadora o corona de reparto de los Decantadores circulares:

- diámetro de la campana = 0,05 - 0,20 veces el diámetro del decantador
- altura de la campana = 1/3 a 1/5 de la profundidad máxima del decantador

Producción de fangos.

La cantidad de fangos que se extrae en los Decantadores Primarios viene dada por la cantidad de sólidos en suspensión que se eliminan en el proceso, de acuerdo con la expresión:

$$C = Q.SS.\eta^{-5}$$

Ecuación 10. Cantidad de fangos extraídos por el decantador. Fuente: Autor

Donde:

C = cantidad de fangos extraída diariamente (kg materia seca/d)

Q = caudal de tratamiento (m3/d)

SS = concentración de sólidos en suspensión en el agua residual influente (mg/l)

η = rendimiento de eliminación de sólidos en suspensión en la Decantación Primaria (%).

Aceptando que la densidad de los fangos extraídos es igual a la del agua, el volumen que se genera de fangos primarios viene dado por:

$$V = \frac{C}{10X}$$

Ecuación 11. Volumen diario de fangos primarios (m3/d). Fuente: Autor

Siendo:

V = volumen diario de fangos primarios (m3/d)

X = concentración de los fangos primarios (%).

La concentración de los fangos primarios suele estar comprendida entre el 3 y el 8%.

Los fangos primarios desprenden malos olores, presentan una elevada patogenicidad y son putrescibles, como consecuencia de su elevado contenido en materia orgánica, lo que hace necesaria su estabilización. (Gallardo Armijos P. A., 2018)

4. METODOS

Para el desarrollo de este trabajo se utilizaron los métodos descritos a continuación:

Bibliográfico

Este método se utilizará en la fase de recopilación de libros, internet, que contenga información del tema, para la elaboración del presente Proyecto.

El método bibliográfico es esencialmente una recopilación de información de diversos autores citados que tienen amplio contenido literario sobre el tema pudiéndose tomar de una manera confiable para el desarrollo del presente trabajo, el cual basa la fundamentación en el observar y comparar para posteriormente aplicar al desarrollo hecho en este trabajo.

Método lógico deductivo

Se iniciará de una Hipótesis la misma que estará sujeta a comprobación, este se aplican los principios de análisis Físico-Químico que se encuentran en la bibliografía.

Analítico- Sintético

Mediante el análisis de cada uno de los parámetros de los que están compuesto los lixiviados y los factores que puedan ayudar a su caracterización de acuerdo a esto se puede determinar los porcentajes de remoción en cada uno de los procesos utilizando formulas dadas.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

✓ **Objetivo 1:** Realizar una caracterización física y química de los lixiviados.

5.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El sitio de análisis corresponde al sistema de recirculación de lixiviados existente en el Relleno Sanitario de la ciudad de Portoviejo, ubicado a 3 km de la urbe y en las siguientes coordenadas UTM:

- Este 563390.08 m E
- Norte 9885194.23 m S

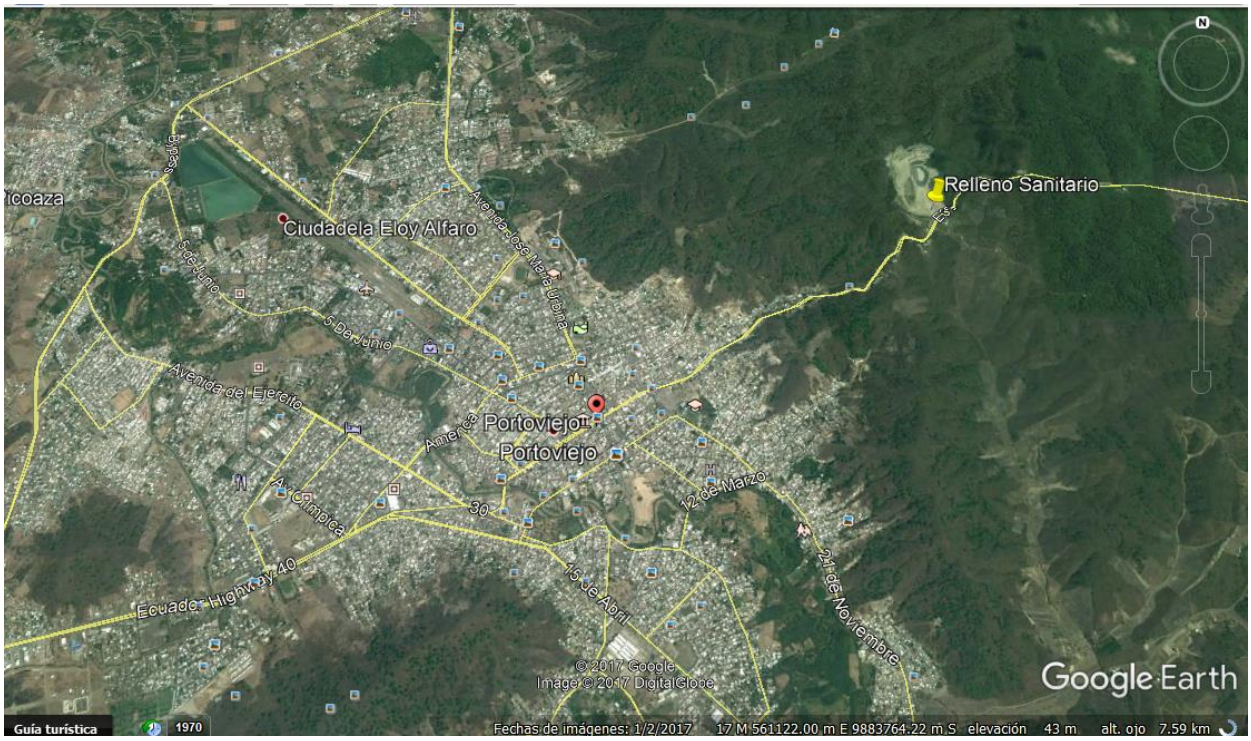


Foto 5. Imagen satelital de Google Eart. Fuente: Autor

Foto 6. Imagen satelital de Google Eart. Fuente: Autor

5.2. DESCRIPCIÓN DEL MUESTREO.

5.2.1. EQUIPOS Y MATERIALES USADOS EN MUESTREO

Fecha: 28/07/2017

Para establecer la calidad de los lixiviados que son generados en este sitio, se escogió los siguientes parámetros físicos, químicos y bacteriológicos:

- Ph (potencial de hidrógeno)
- DBO (demanda bioquímica de oxígeno)
- Solidos Totales(ST)
- Sólidos disueltos (SD), y
- Sólidos sedimentables (SS)

Los lixiviados fueron colectados en 6 puntos de muestreo, como lo detalla la siguiente tabla:

Tabla 4. Puntos de muestreo de lixiviados en el vertedero de la ciudad de Portoviejo.

PUNTOS	DESCRIPCION
P1	Ingreso al tanque desarenador
P2	2da cámara del tanque desarenador
P3	3er cámara del tanque desarenador
P4	Inicio piscina de retención
P5	Salida piscina de retención
P6	Tanque de recarga

Fuente: (Bustos Pasquel, 2018)

Para la toma de muestras se utilizó envases de plástico de 1 litro (ver foto 12), y luego se procedió al etiquetado y conservación de la muestra en un "cooler". El procedimiento de muestro fue realizado por la Universidad Estatal de Guayaquil, mediante certificación No. OAE-LE-C-08-003. Para ello, se usó las respectivas normas de seguridad laboral al momento de la toma de muestras. El análisis de lixiviados fue realizado en los laboratorios de la *Universidad Estatal de Guayaquil, Unidad de Control de Calidad Aguas Petróleo y Medio Ambiente,* dando como resultado los valores que se detallan en la tabla 5, 6 y 7. (ver anexo 1).

Tabla 5. Identificación de los análisis tabulados. Tanque desarenador 2 y Reactor.

IDENTIFICACIÓN DE LOS ANÁLISIS TABULADOS	
A: MUESTRA AGUA RESIDUAL (Tanque desarenador 2).	TIPO DE MUESTRA: PUNTUAL
B: MUESTRA AGUA RESIDUAL (Tanque de recarga).	FECHA DE MUESTREO: 2017/07/27

Parámetros	**Expresado como**	**Unidad**	**Resultados**		**incert. U (k=2)**	**Límites Máximos Permisibles**	**Método**
			A	**B**			
Potencial de Hidrogeno	pH		8.14	8.28	± 0.19	6 – 9	4500-H*B PEE/UCC/LA/02
***Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)**	D.B.O.5	mg/l	680	940	-	100	DBO TRAK
****Sólidos totales**		mg/l	4 480	4 405	-	1 600	2540 B PEE/UCC/LA/O7

****Sólidos disueltos**		mg/l	4 200	4 205	-	-	2540 B PEE/UCC/LA/O8
****Sólidos Sedimentables**		mg/l	0.3	0.7	-	-	2540 F

Fuente: Laboratorios Universidad Estatal de Guayaquil, Unidad de Control de Calidad Aguas Petróleos y Medio Ambiente, 2017

Tabla 6. Identificación de los análisis tabulados. Piscina de retención 1 y Tanque desarenador 1

IDENTIFICACIÓN DE LOS ANÁLISIS TABULADOS	
A: MUESTRA AGUA RESIDUAL (Piscina de retención 1).	TIPO DE MUESTRA: PUNTUAL
B: MUESTRA AGUA RESIDUAL (Tanque desarenador 1).	FECHA DE MUESTREO: 2017/07/27

Parámetros	Expresado como	Unidad	Resultados		incert. U (k=2)	Límites Máximos Permisibles	Método
			A	B			
Potencial de Hidrogeno	pH		8.15	8.32	± 0.19	6 – 9	4500-H*B PEE/UCC/LA/02
***Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)**	D.B.O.5	mg/l	320	500	-	100	DBO TRAK
****Sólidos totales**		mg/l	4 445	4 400	-	1 600	2540 B PEE/UCC/LA/O7
****Sólidos disueltos**		mg/l	3 370	4 050	-	-	2540 B PEE/UCC/LA/O8
****Sólidos Sedimentables**		mg/l	0.8	0.7	-	-	2540 F

Fuente: Laboratorios Universidad Estatal de Guayaquil, Unidad de Control de Calidad Aguas Petróleos y Medio Ambiente, 2017

Tabla 7. Identificación de los análisis tabulados. Piscina de retención y Tanque desarenador 3.

IDENTIFICACIÓN DE LOS ANÁLISIS TABULADOS	
A: MUESTRA AGUA RESIDUAL (Piscina de retención 2).	TIPO DE MUESTRA: PUNTUAL
B: MUESTRA AGUA RESIDUAL (Tanque desarenador 3).	FECHA DE MUESTREO: 2017/09/18

Parámetros	Expresado como	Unidad	Resultados		incert. U (k=2)	Límites Máximos Permisibles	Método
			A	B			
Potencial de Hidrogeno	pH		8.37	8.41	± 0.19	6 – 9	4500-H*B PEE/UCC/LA/02
***Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)**	D.B.O.5	mg/l	200	380	± 46 ± 67	100	5210D PEE/UCC/LA/09
****Sólidos totales**		mg/l	4 425	4 895	-	1 600	2540 B PEE/UCC/LA/O7

****Sólidos disueltos**		mg/l	3 940	4 045	-	-	2540 C PEE/UCC/LA/O8
****Sólidos Sedimentables**		mg/l	1	5	-	-	2540 F

Fuente: Laboratorios Universidad Estatal de Guayaquil, Unidad de Control de Calidad Aguas Petróleos y Medio Ambiente, 2017

5.2.2. EQUIPOS Y MATERIALES USADOS EN ENSAYOS FÍSICO-QUÍMICO

Fecha: 28/07/2017

Los equipos utilizados para la toma de muestra fueron los siguientes:

- Cooler: Consiste en un recipiente cerrado y fabricado de polietileno, por sus partes laterales que tiene dos asas laterales para facilitar su traslado, fue utilizado para mantener las muestras en estado óptimo para el día siguiente proceder a ser evaluadas sin ningún tipo de alteraciones.

Foto 7. Cooler. Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

- Guantes de látex: los guantes son un elemento esencial para la protección a la hora de tomar las muestras hay que tomar en cuenta que su uso protege de las sustancias químicas que pueden ser perjudiciales para la salud.

Foto 8. Guantes de látex. Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

- Ropa de Protección: el mandil es una prenda cuyo uso, además de identificar nuestra ocupación sirve como medio de protección para la ropa y la piel de las sustancias químicas que puedan derramarse o puedan producir salpicadura, debe llevarse siempre abrochada y cubrir hasta debajo de la rodilla

Foto 9. Mandil. Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

- Recipiente plástico: los recipientes de plástico deben ser de polietileno, policarbonato o teflón si se requiere, el uso de botellas de pastico es remendado para la toma de muestras.

Foto 10. Recipiente Plástico. Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

- GPS: Sistema de posicionamiento global, es un sistema de navegación basado en satélites la precisión del GPS puede llegar a determinar los puntos de posición con errores mínimos.

Foto 11. GPS. Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

Los equipos utilizados para los respectivos ensayos fueron los siguientes:

- PHmetro: este instrumento tiene un sensor el cual es utilizado para medir el pH de una disolución. Quiere decir que junto con los electrodos, el voltímetro será sumergido en la sustancia haciendo que genere una corriente eléctrica, es así que la concentración de iones de hidrógeno presenta la solución en la corriente

eléctrica, esto se da por medio de membrana de vidrio que tiene el pH metro la cual obtiene la sensibilidad y selectividad de las dos soluciones de concentración. El pH (potencial de hidrógeno) es la medida de acidez o de alcalinidad de sustancias, es decir que es la concentración de iones de hidrógeno y ácidos débiles los cuales van a formar una valoración numérica. Por ejemplo, los números a partir del 0 a 7 indican las soluciones acidas y del 7 al 14 son las soluciones alcalinas. Por lo tanto, una sustancia es más ácida su pH cercano será 0 y si es más alcalina su pH estará cerca al número 14.

Foto 12. PHmetro. Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

- Buffer pH: cada sistema buffer tiene su propio rango efectivo de pH, el cual dependerá de la constante del ácido o base empleado. Rango 4-7, 7-10.

Foto 13. Buffer. Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

- Probetas, vasos precipitados: son instrumentos de laboratorio que se utilizan, sobre todo en el análisis químico, para contener o medir volúmenes de líquidos de una forma graduada.
- Pipeta volumétrica: se usan para la dosificar líquidos, tiene una marcación para un volumen definido, es decir la cantidad de líquido vertida corresponde al volumen impreso.

Foto 14. Materiales graduados. Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

- Balanzas de precisión: es un instrumento de pesaje que utiliza la acción de la gravedad para determinación de la masa.

Foto 15. Balanzas de precisión. Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

- Incubadora de 20° C: refrigerado diseñado especialmente para la incubación de botellas DBO Trak.

Foto 16. Incubadora de 20° C, botellas DBO Trak. Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

- Conos Imhoff: Recipiente graduado en forma de cono usado para medir el volumen de sólidos sedimentables en líquidos provenientes de aguas residuales durante distintos tiempos de sedimentación.

Foto 17. Conos Imhoff. Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

- Cápsula de porcelana: Permite carbonizar sustancias y compuestos químicos, resiste elevadas temperaturas. Sirve para calentar o fundir sustancias solidas o evaporar líquidos.

Foto 18. Cápsulas de porcelana. Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

- Baño maría: Este tiene el fin de elevar y mantener una muestra a una temperatura específica.

Foto 19. Aparato de Baño María. Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

- Mufla: Es un horno destinado para secado de sustancias, fundición, etc. Para los respectivos ensayos se mantuvo a una temperatura de 104°C.

Foto 20. Mufla. Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

- Equipo de Filtración: Es una técnica muy común en el laboratorio para separar sólidos y líquidos es el filtrado, se usa para determinar sólidos suspendidos y sólidos disueltos.

Foto 21. Equipo de Filtración. Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

5.2.3. TABLAS DE RESULTADOS.

El análisis de los resultados del laboratorio, nos permite concluir algunos aspectos, que a continuación se indican.

Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO)

Los valores reportados por el laboratorio (ver tabla 5,6 y 7) se encuentra dentro del rango establecido para lixiviados de una etapa de fermentación metanogénica (ver tabla 1). También se puede concluir que los valores de la DBO son bajos, debido a la incorporación de bacterias durante la operación de las celdas diarias y en la piscina de retención de lixiviado.

Tabla 8. Caracterización de lixiviado DBO.

PUNTO	DESCRIPCIÓN	DBO (mg/L)
1	INGRESO DESARENADOR	500,0
2	2da CÁMARA DESARENADOR	680,0
3	3ra CÁMARA DESARENADOR	200,0
4	INICIO PISCINA RETENCIÓN	320,0
5	SALIDA PISCINA RETENCIÓN	380,0
6	TANQUE DE RECARGA	940,0

Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

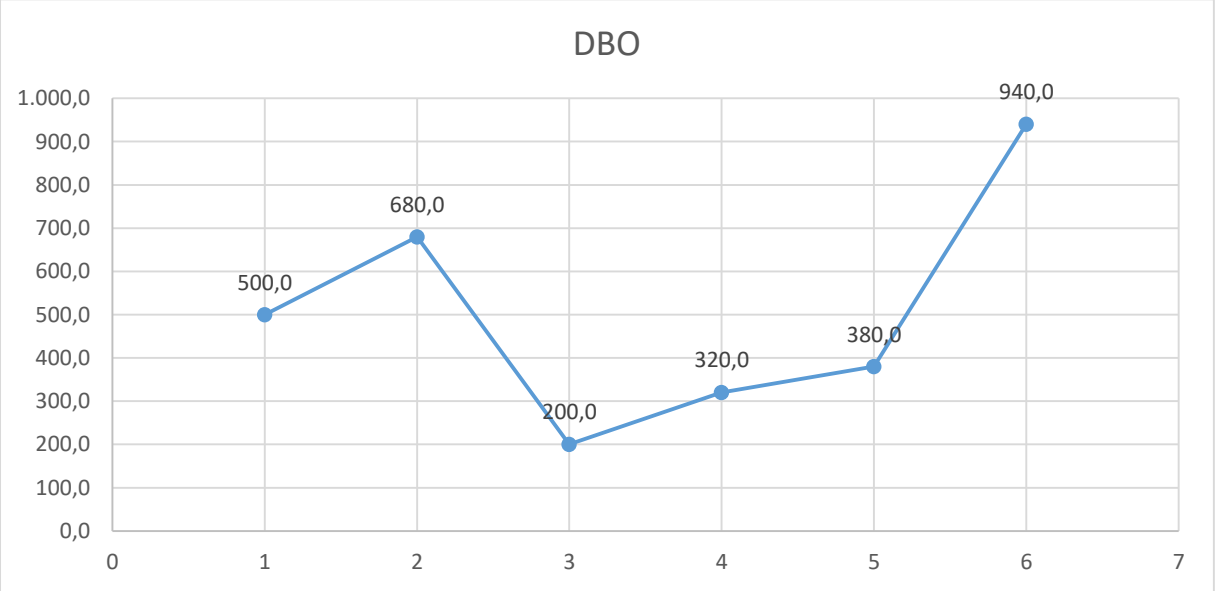


Figura 4. Gráfica de caracterización de DBO. Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

Potencial de Hidrogeno (pH)

Los valores reportados por el laboratorio (ver tabla 5,6 y 7) indica que el lixiviado proviene de una etapa de fermentación metanogénica producida en la basura (ver tabla 1). Adicionalmente estos valores también pueden ser originados por presencia de sales minerales, como excesiva presencia de cobertura diaria y cal.

Tabla 9. Caracterización de lixiviado pH.

PUNTO	DESCRIPCIÓN	pH
1	INGRESO DESARENADOR	8,32
2	2da CÁMARA DESARENADOR	8,14
3	3ra CÁMARA DESARENADOR	8,41
4	INICIO PISCINA RETENCIÓN	8,15
5	SALIDA PISCINA RETENCIÓN	8,37
6	TANQUE DE RECARGA	8,28

Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

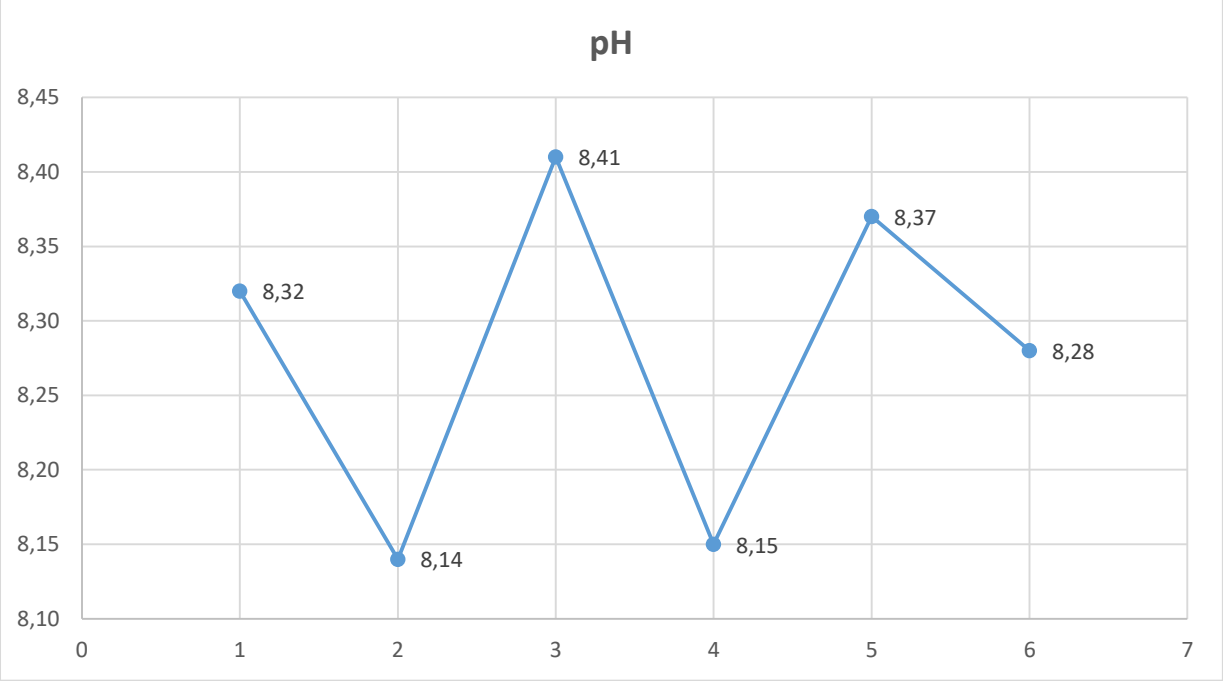


Figura 5. Gráfica de caracterización de pH. Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

SÓLIDOS TOTALES (ST)

Según (Álvarez Contreras & Suárez Gelvez, 2006), los valores reportados en el lixiviado de Portoviejo para los sólidos totales, son bajos (ver tabla 5,6 y 7). Esto se debe a que los sólidos totales incluyen materia sólida, tanto orgánica como inorgánica, que para el caso de Portoviejo la DBO sigue resultando baja.

Tabla 10. Caracterización de lixiviado Sólidos Totales.

PUNTO	DESCRIPCIÓN	ST (mg/L)
1	INGRESO DESARENADOR	4.400
2	2da CÁMARA DESARENADOR	4.480
3	3ra CÁMARA DESARENADOR	4.895
4	INICIO PISCINA RETENCIÓN	4.445
5	SALIDA PISCINA RETENCIÓN	4.425
6	TANQUE DE RECARGA	4.405

Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

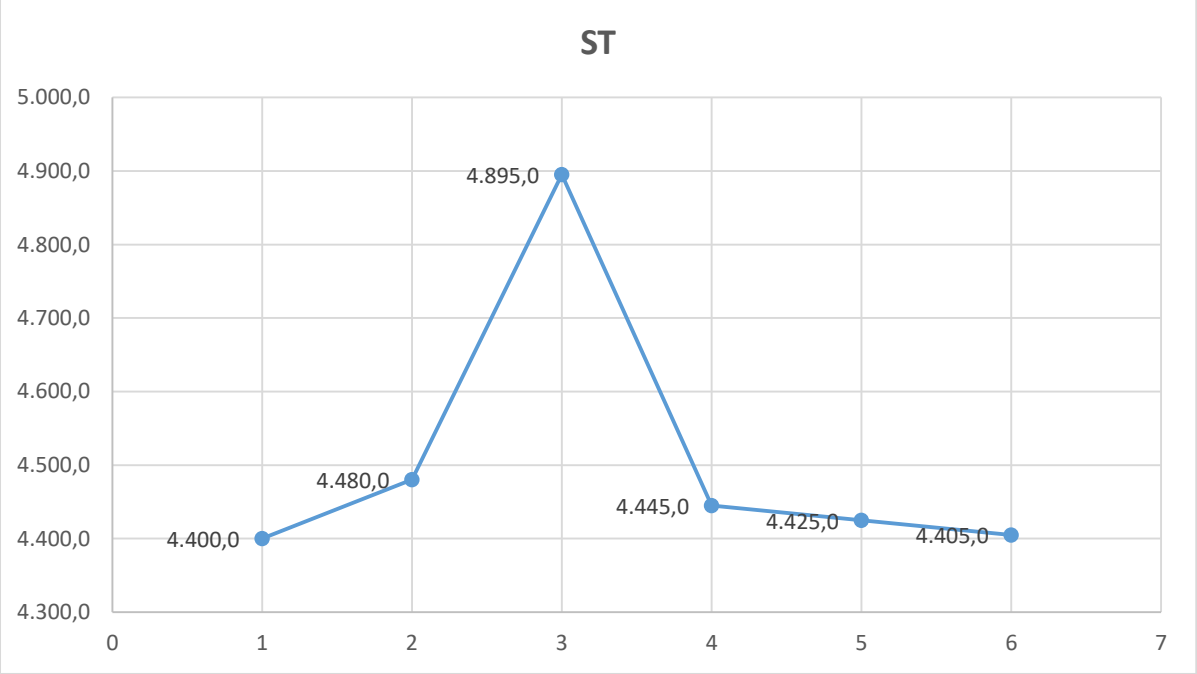


Figura 6. Gráficas de caracterización de Sólidos Totales. Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

SÓLIDOS DISUELTOS (SD)

En el caso de los sólidos disueltos, (Méndez Novelo R. , y otros, 2004) reporta valores de SD bajos para valores de DBO también bajos. Igual comportamiento se observa para los valores de SD encontrados en el lixiviado de Portoviejo

Tabla 11. Caracterización de lixiviado Sólidos Disueltos.

PUNTO	DESCRIPCIÓN	SD (mg/L)
1	INGRESO DESARENADOR	4.050
2	2da CÁMARA DESARENADOR	4.200
3	3ra CÁMARA DESARENADOR	4.045
4	INICIO PISCINA RETENCIÓN	3.370
5	SALIDA PISCINA RETENCIÓN	3.940
6	TANQUE DE RECARGA	4.205

Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

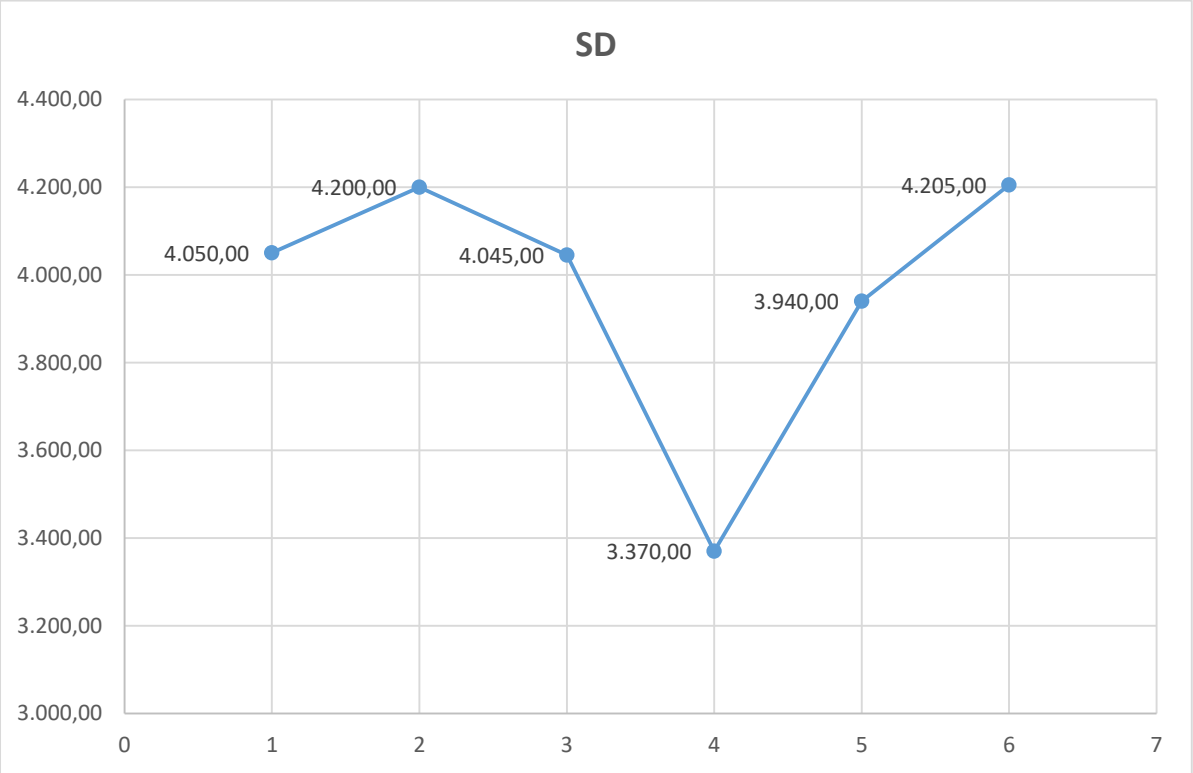


Figura 7. Gráficas de caracterización de Sólidos Disueltos. Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

SÓLIDOS SEDIMENTABLES (SS)

Los valores de SS del lixiviado de Portoviejo, según (Álvarez Contreras & Suárez Gelvez, 2006), se encuentran en el rango establecido, con tendencia a incrementarse. Esto seguramente se debe, como se indicó anteriormente, a la presencia de excesos en la capa de cobertura diaria de las celdas de residuos sólidos.

Tabla 12. Caracterización de lixiviado Sólidos Sedimentables.

PUNTO	DESCRIPCIÓN	SS (mg/L)
1	INGRESO DESARENADOR	0,7
2	2da CÁMARA DESARENADOR	0,3
3	3ra CÁMARA DESARENADOR	5,0
4	INICIO PISCINA RETENCIÓN	0,8
5	SALIDA PISCINA RETENCIÓN	1,0
6	TANQUE DE RECARGA	0,7

Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

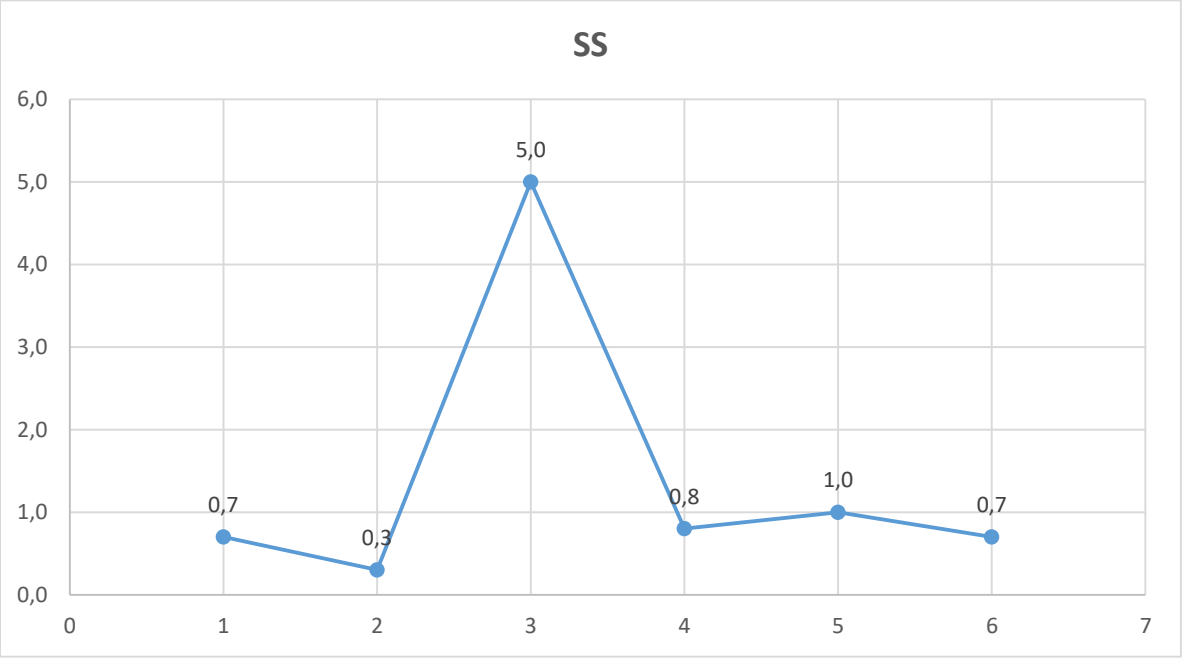


Figura 8. Gráfica de caracterización de Sólidos Sedimentables. Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

Objetivo 2: Calcular los caudales de lixiviados generados en el relleno bajo condiciones operativas reales mediante un balance hidrológico de la zona del proyecto

5.3. CÁLCULO DE CAUDALES

La cantidad de lixiviados que produce, se puede obtener mediante el método de desarrollado por C. W. Thornthwaite, el cual se describe a continuación:

$$Lx = (P + P^*) + (AS + PA) + (HC + HR) + (SC + SR) - CA - R - ETr$$

Donde:

Lx = Cantidad de lixiviados generados

P = Precipitación caída en el interior del sitio

P^* = Precipitación caída en los exteriores del sitio

AS = Flujo de aguas subterráneas

PA = Producción de agua

HC = Humedad de la cobertura final

HR = Humedad de los residuos sólidos

SC = Agua retenida en la cobertura final

SR = Agua retenida en los residuos sólidos

CA = Consumo de agua en la formación de biogás

R = Escorrentía

ETr = Evapotranspiración real

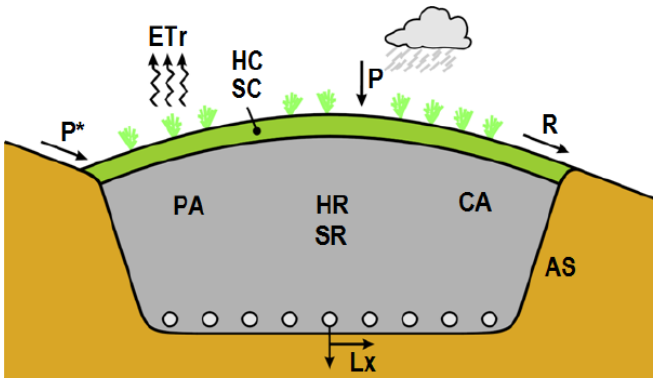


Foto 22. Balance hídrico en el cierre técnico: Fuente *(Gallardo Armijos P. , 2014)*

El modelo hidrológico aplicado al vertedero de Portoviejo se ha simplificado al análisis de 5 variables climatológicas que son: 1) precipitación, 2) evaporación, 3) evo transpiración, 4) heliofanía y 5) temperatura.

Para el caso de precipitaciones se utilizó la base estadística registrada por el INAHMI perteneciente a la estación meteorológica M005 de Portoviejo, en un periodo de 45 años (1972 – 2016). En base a esta información se fabricó la curva de intensidad frecuencia respectiva que tiene la siguiente forma. Donde:

I = Intensidad de precipitación (mm/hr)

T = Periodo de Retorno (años)

t = Tiempo de duración de precipitación (min)

$$I = \frac{237{,}6526 * T^{0{,}230386}}{t^{0{,}61639}}$$

$$I = \frac{237{,}6526 * 2^{0{,}230386}}{5^{0{,}61539}}$$

$$I = 103{,}39\ mm/hr$$

Obteniendo la siguiente tabla de intensidades de lluvia.

Tabla 13. Tabla de intensidades - Tiempo de duración.

Frecuencia (años)	**Duración en minutos**											
	5	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**35**	**40**	**45**	**50**	**55**	**60**
2	103,39	67,44	52,53	43,99	38,34	34,26	31,16	28,70	26,69	25,01	23,58	22,35
5	127,69	83,29	64,87	54,33	47,35	42,32	38,48	35,44	32,96	30,89	29,12	27,60
10	149,79	97,71	76,10	63,74	55,55	49,64	45,14	41,58	38,66	36,23	34,17	32,38
25	185,00	120,68	93,99	78,72	68,60	61,31	55,75	51,35	47,75	44,75	42,20	39,99
50	217,03	141,57	110,26	92,35	80,48	71,93	65,41	60,24	56,02	52,50	49,50	46,92
100	254,61	166,08	129,36	108,34	94,42	84,38	76,73	70,67	65,72	61,59	58,07	55,04
500	368,90	240,64	187,42	156,97	136,80	122,26	111,17	102,39	95,22	89,23	84,14	79,75

Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

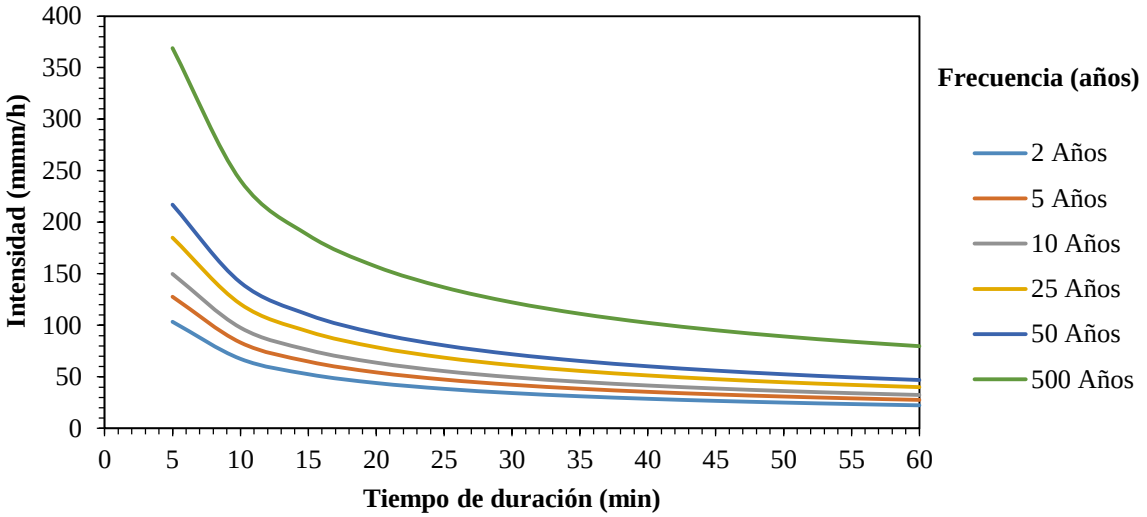


Figura 9. Curvas de Intensidad (mm/h) vs Tiempo de duración (min). Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

Para efectos del modelo hidrológico también se analizó las precipitaciones medias mensuales, temperatura y la Heliofania, registradas por el INAMHI y que constan en el anexo 3. En la siguiente tabla se presenta el resumen de valores promedios mensuales para estas variables, en el periodo de 1972 y 2016.

Tabla 14. Parámetros meteorológicos INAMHI (1972 - 2016), valores promedio mensuales.

ESTACIÓN:	INAMHI M005, UTM-PORTOVIEJO	**ALTITUD:**	46 M.S.N.M.
TIPO:	AGROMETEOROLÓGICA	**UBICACIÓN:**	17 M; 560110,5 m E; 9885319,82 m S

MES	**Precipitación (mm)**	**Evaporación (mm)**	**Heliofania (horas)**	**Temperatura (°C)**	**Humedad relativa (%)**	**Nubosidad (Octas)**
ENE	99,3	117,1	87,2	26,1	77,6	7,0
FEB	142,2	103,7	91,1	26,2	82,1	7,0
MAR	132,9	129,8	134,1	26,6	80,9	6,7
ABR	77,4	129,2	138,8	26,6	79,4	6,2
MAY	31,6	126,7	119,4	26,0	78,2	6,4
JUN	18,1	113,2	98,9	25,1	78,3	6,4
JUL	8,1	122,7	109,2	24,5	77,6	6,4
AGO	3,1	138,9	130,9	24,4	76,3	6,1
SEP	4,0	143,7	129,3	24,5	75,6	5,9

OCT	3,3	142,9	118,4	24,6	76,0	6,4
NOV	7,3	139,9	118,2	25,0	74,6	6,2
DIC	26,7	137,8	108,4	25,7	74,4	6,6
PROM.	46,2	128,8	115,3	25,4	77,6	6,4
MAX.	142,2	143,7	138,8	26,6	82,1	7,0
MIN.	3,1	103,7	87,2	24,4	74,4	5,9

Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

Aplicando las ecuaciones del modelo propuestos por C. W. Thornthwaite se calculó los valores de evapotranspiración potencial y real, para las condiciones climatológicas presentes en el vertedero de Portoviejo. Para el ejemplo se utiliza el mes de Enero:

Kc = Coeficiente de corrección:

$$N = \frac{Heliofania}{d} \qquad Kc = \left(\frac{N}{12}\right) * \left(\frac{d}{30}\right)$$

$$N = \frac{87,2}{31} \qquad Kc = \left(\frac{2,8}{12}\right) * \left(\frac{31}{30}\right)$$

$$N = 2,8 \qquad Kc = 0,24$$

i = índice mensual de calor, adimensional

I= índice térmico anual (sumatoria de los índices mensuales de calor tomando meses de 30 días con 12 horas diarias de sol, adimensional).

j = número del mes considerado.

$$i = \left(\frac{T_j}{5}\right)^{1,514} \qquad I = \sum_{j=1}^{12} i_j$$

$$i = \left(\frac{26,1}{5}\right)^{1,514} \qquad I = 140,83$$

$$i = 12,19$$

a = coeficiente que está en función de la sumatoria de los índices mensuales de calor, adimensional.

$$a = 0,49239 + 1.792 \times 10^{-5} I - 771 \times 10^{-7} I^2 + 675 \times 10^{-9} I^3$$

$$a = 0{,}49239 + 1.792 \times 10^{-5}(140{,}83) - 771 \times 10^{-7}(140{,}83)^2 + 675 \times 10^{-9}(140{,}83)^3$$

$$a = 3{,}372$$

La evapotranspiración potencial mensual sin ajuste (ETp*) se calcula con la siguiente expresión:

$$ETp * = 1{,}6\left(\frac{10T}{I}\right)^a$$

$$ETp * = 1{,}6\left(\frac{10 \times 26{,}1}{140{,}83}\right)^{3{,}372}$$

$$ETp * = 127{,}8\, mm$$

El cálculo de la evapotranspiración potencial mensual corregida se realiza utilizando la siguiente ecuación:

$$ETp = Kc \times ETp *$$

$$ETp = 0{,}24 \times 127{,}8$$

$$ETp = 31{,}0\, mm$$

En la siguiente tabla se presenta el resumen de resultados del modelo hidrológico propuesto.

Tabla 15. Cálculo de la evapotranspiración potencial ajustada.

CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL AJUSTADA								
MES	T	i	Heliofania	d	N	Kc	ETp*	ETp
ENE	26,1	12,19	87,2	31	2,8	0,24	127,8	31,0
FEB	26,2	12,25	91,1	28	3,3	0,25	129,2	32,7
MAR	26,6	12,53	134,1	31	4,3	0,37	135,8	50,6
ABR	26,6	12,53	138,8	30	4,6	0,39	135,8	52,3
MAY	26,0	12,14	119,4	31	3,9	0,33	126,6	42,0
JUN	25,1	11,51	98,9	30	3,3	0,27	112,4	30,9
JUL	24,5	11,10	109,2	31	3,5	0,30	103,7	31,5
AGO	24,4	10,99	130,9	31	4,2	0,36	101,4	36,9
SEP	24,5	11,11	129,3	30	4,3	0,36	104,0	37,3
OCT	24,6	11,16	118,4	31	3,8	0,33	105,1	34,6
NOV	25,0	11,41	118,2	30	3,9	0,33	110,3	36,2
DIC	25,7	11,92	108,4	31	3,5	0,30	121,5	36,6
	I = Σij =	140,83						
	a =	3,372						

Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

Así mismo se puede calcular los volúmenes de infiltración de aguas lluvias con el procedimiento descrito en el numeral 3.2.3. Del marco teórico, cuyos resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 16. Cálculo de la evapotranspiración real.

CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MES	P (mm)	Etp (mm)	P-Etp (mm)	Neg. Acum.	S (mm)	Alt. S	ETr	DEF.	EXC.
ENE	99,3	31,0	68,3		100,0	85,0	31,0	0,0	-16,7
FEB	142,2	32,7	109,5		100,0	0,0	32,7	0,0	109,5
MAR	132,9	50,6	82,3		100,0	0,0	50,6	0,0	82,3
ABR	77,4	52,3	25,0		100,0	0,0	52,3	0,0	25,0
MAY	31,6	42,0	-10,4	-10,4	89,0	-11,0	42,6	-0,6	0,0
JUN	18,1	30,9	-12,8	-23,2	79,0	-10,0	28,1	2,8	0,0
JUL	8,1	31,5	-23,3	-46,6	62,0	-17,0	25,1	6,3	0,0
AGO	3,1	36,9	-33,8	-80,4	44,0	-18,0	21,1	15,8	0,0
SEP	4,0	37,3	-33,3	-113,7	31,0	-13,0	17,0	20,3	0,0
OCT	3,3	34,6	-31,2	-144,9	23,0	-8,0	11,3	23,2	0,0
NOV	7,3	36,2	-29,0	-173,8	17,0	-6,0	13,3	23,0	0,0
DIC	26,7	36,6	-9,9	-183,8	15,0	-2,0	28,7	7,9	0,0
ANUAL=	553,8	452,5	101,4	-776,8			353,7	98,8	200,1

Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

El cálculo de la infiltración considera los siguientes aspectos.

Donde:

$Ij =$ Infiltración mensual, en mm.

$P =$ Precipitación mensual, en mm.

$R =$ Escorrentía, en mm.

$Ke =$ Coeficiente de escurrimiento, adimensional.

$ETp =$ Evapotranspiración potencial mensual, en mm

- Residuos Sólidos sin cobertura diaria. RS (sin MC)

$$INF_j = P - R - ETp$$

$$INF_j = P - (P \times Ke) - ETp$$

$$INF_j = P(1 - Ke) - ETp$$

$$INF_j = 99{,}3 \times (1 - 0{,}0) - 0{,}0$$

$$INF_j = 99{,}3\ mm$$

- Residuos sólidos con cobertura diaria. RS (RSU + MC)

$$INF_j = P - R - ETp$$

$$INF_j = P - (P \times Ke) - ETp$$

$$INF_j = P(1 - Ke) - ETp$$

$$INF_j = 99{,}3 \times (1 - 0{,}50) - 31{,}0$$

$$INF_j = 18{,}4\ mm$$

Finalmente se presenta dos escenarios bajo los cuales se ha determinado los caudales de lixiviados generados, que son 1) vertedero sin cobertura diaria y 2) vertedero con cobertura o clausurado. El primer escenario corresponde a trabajos no planificados donde los eventos de lluvias no pueden ser controlados por las condiciones de operación diaria; mientras el segundo escenario corresponde a una planificación diaria durante épocas de lluvia. De lo anterior se muestra en las siguientes tablas el resume de los valores mensuales.

Tabla 17. Infiltración de aguas lluvias y producción de lixiviados, Residuos sólidos sin cobertura diaria.

									Área de drenaje =	**19.261,0 m²**	
MES	**P (mm)**	**d (días)**	**RS (sin MC)**								
			Ke	**R**	**Etr (mm)**	**Inf. (mm)**	**Vol. Lix. (m^3)**	**Inf. Acum. (mm)**	**Vol. Acum. (m^3)**	**q (L/s)**
ENE	99,3	31	0,0	0,0	0,0	99,3	1.911,7	99,3	1.911,7	0,71
FEB	142,2	28	0,0	0,0	0,0	142,2	2.738,7	241,4	4.650,3	1,92
MAR	132,9	31	0,0	0,0	0,0	132,9	2.559,5	374,3	7.209,9	2,69
ABR	77,4	30	0,0	0,0	0,0	77,4	1.490,1	451,7	8.700,0	3,36
MAY	31,6	31	0,0	0,0	0,0	31,6	608,3	483,3	9.308,2	3,48
JUN	18,1	30	0,0	0,0	0,0	18,1	347,7	501,3	9.656,0	3,73
JUL	8,1	31	0,0	0,0	0,0	8,1	156,5	509,4	9.812,5	3,66
AGO	3,1	31	0,0	0,0	0,0	3,1	59,2	512,5	9.871,7	3,69
SEP	4,0	30	0,0	0,0	0,0	4,0	77,9	516,6	9.949,6	3,84
OCT	3,3	31	0,0	0,0	0,0	3,3	64,4	519,9	10.014,0	3,74
NOV	7,3	30	0,0	0,0	0,0	7,3	140,0	527,2	10.154,0	3,92
DIC	26,7	31	0,0	0,0	0,0	26,7	513,4	553,8	10.667,3	3,98
ANUAL =	553,8	365		0,0	0,0	553,8	10.667,3		**Máximo (L/s) =**	**3,98**
									Medio (L/s) =	**3,23**

Fuente: (Bustos Pasquel, 2018)

Tabla 18. Infiltración de aguas lluvias y producción de lixiviados, Residuos sólidos con cobertura diaria.

							Área de drenaje =		**19.261,0 m²**	
MES	**P (mm)**	**d (días)**	**RS (con MC)**							
			Ke	**R**	**Etr (mm)**	**Inf. (mm)**	**Vol. Lix. (m^3)**	**Inf. Acum. (mm)**	**Vol. Acum. (m^3)**	**q (L/s)**
ENE	99,3	31	0,50	49,9	31,0	18,4	355,2	18,4	355,2	0,13
FEB	142,2	28	0,50	71,4	32,7	38,1	733,0	56,5	1.088,2	0,45
MAR	132,9	31	0,50	66,8	50,6	15,6	300,0	72,1	1.388,3	0,52
ABR	77,4	30	0,50	38,9	52,3	0,0	0,0	72,1	1.388,3	0,54
MAY	31,6	31	0,50	15,9	42,6	0,0	0,0	72,1	1.388,3	0,52
JUN	18,1	30	0,50	9,1	28,1	0,0	0,0	72,1	1.388,3	0,54
JUL	8,1	31	0,50	4,1	25,1	0,0	0,0	72,1	1.388,3	0,52
AGO	3,1	31	0,50	1,5	21,1	0,0	0,0	72,1	1.388,3	0,52
SEP	4,0	30	0,50	2,0	17,0	0,0	0,0	72,1	1.388,3	0,54
OCT	3,3	31	0,50	1,7	11,3	0,0	0,0	72,1	1.388,3	0,52
NOV	7,3	30	0,50	3,7	13,3	0,0	0,0	72,1	1.388,3	0,54
DIC	26,7	31	0,50	13,4	28,7	0,0	0,0	72,1	1.388,3	0,52
ANUAL =	553,8	365		278,2	353,7	72,1	1.388,3		**Máximo (L/s) =**	**0,54**
									Medio (L/s) =	**0,49**

Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

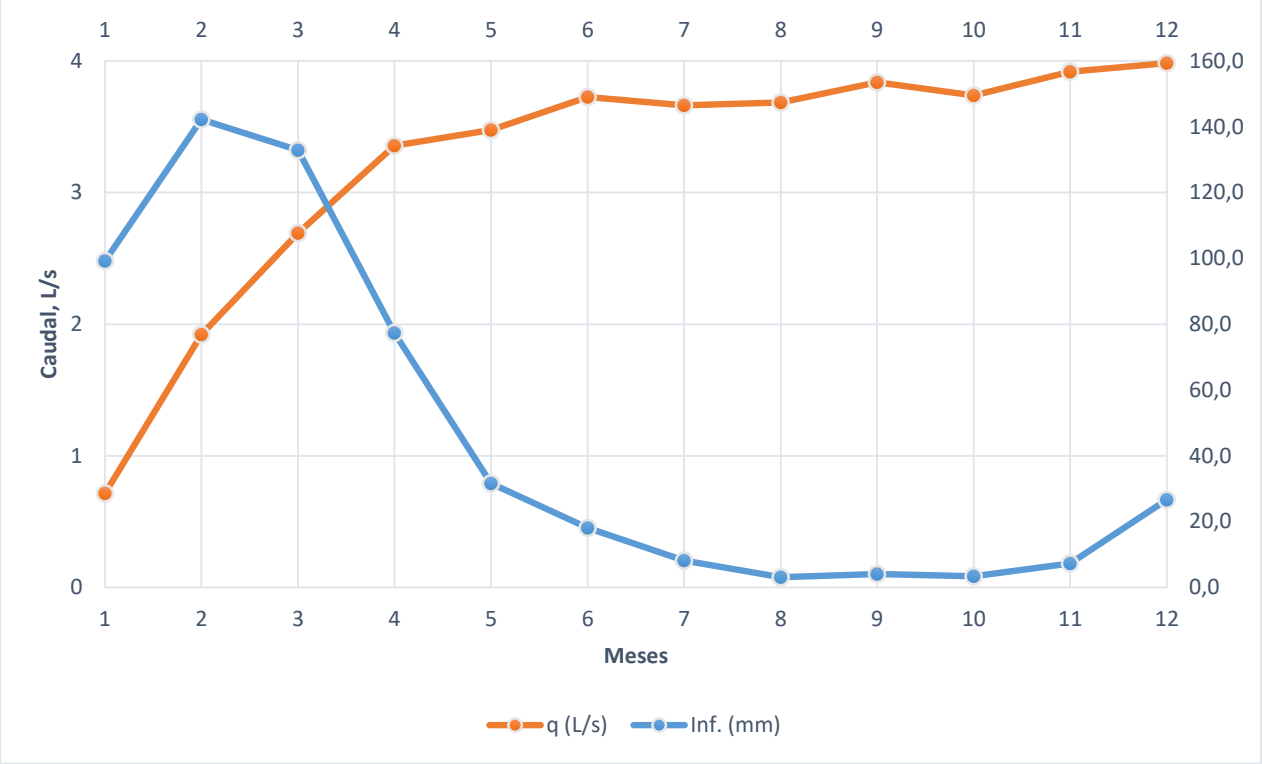


Figura 10. Curvas de Infiltración de aguas lluvias y producción de caudales de lixiviados de los residuos sólidos sin cobertura diaria. Fuente: Autor

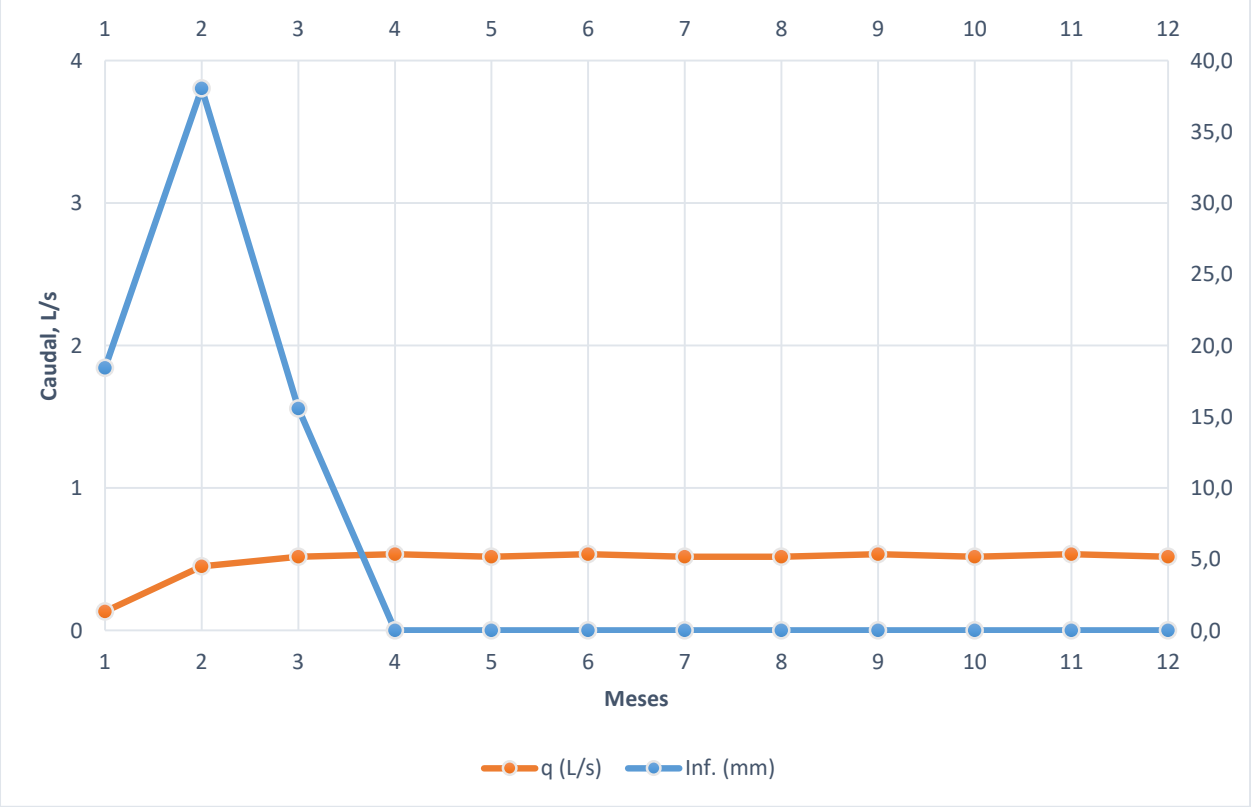


Figura 11. Curvas infiltración de aguas lluvias y producción de caudales de lixiviados, Residuos sólidos con cobertura diaria. Fuente: Autor

Objetivo 3: Analizar los procesos de remoción y eficiencia para DBO5 y sólidos suspendidos del lixiviado.

5.4. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA EXISTENTE

La celda emergente de residuos sólidos ha previsto un sistema de recirculación que consiste en las siguientes obras y procesos unitarios:

- (1) Sistema de drenaje de lixiviado
- (3) Cámaras de inspección (pozos de revisión)
- (1) Tanque sedimentador o decantador
- (1) Piscinas de almacenamiento, retención y dosificación
- (1) Tanque de recarga

En el siguiente diagrama se puede observar estos procesos que permiten el tratamiento de los lixiviados en el relleno:

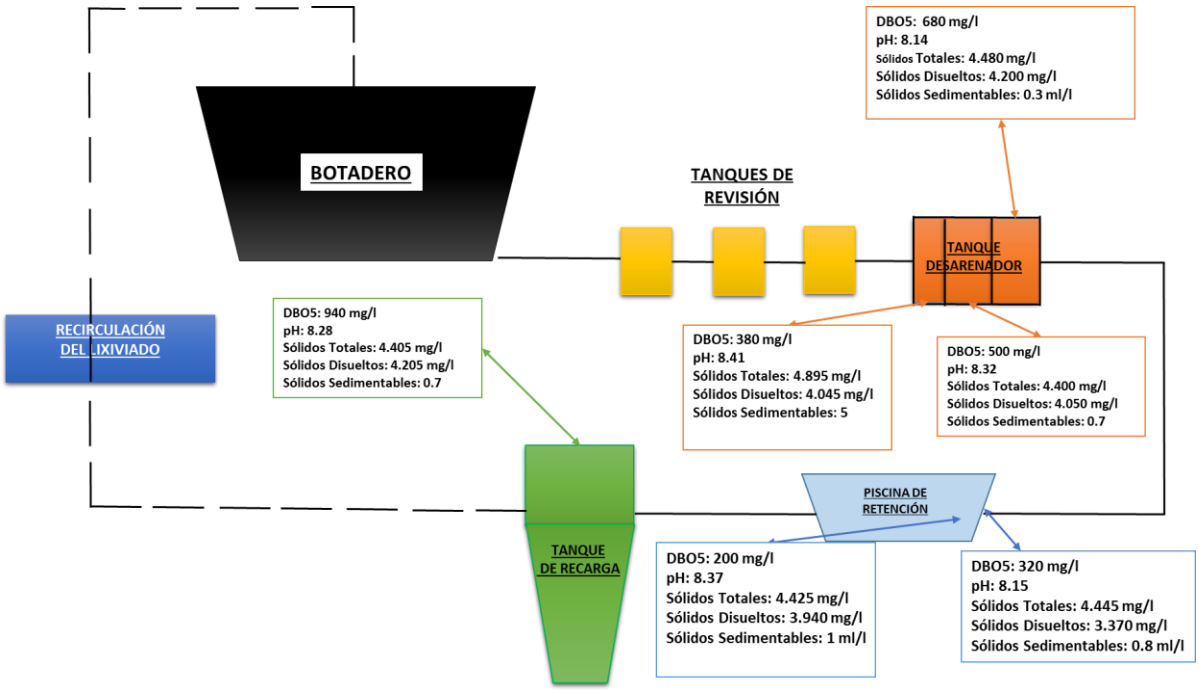


Foto 23. Esquema de recirculación de los lixiviados en el botadero de Portoviejo. Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

5.4.1. SISTEMA DE DRENAJE DE LIXIVIADOS

El sistema de drenaje consiste en tubería PEHD perforada de 200 mm de diámetro para el dren colector principal y de 160 mm para los drenes secundarios. El área asumida será de 0,01 m2 que corresponde a un diámetro nominal de 113mm. Se considera un factor de mayorización de 4. Debido a las siguientes razones: 1) el dren conduce un fluido con alto contenido orgánico, alto nivel de espuma, gases y fango producto de la digestión anaeróbica de los residuos y 2) riesgo de sobresaturación y obstrucción del dren durante la etapa de recirculación del lixiviado.

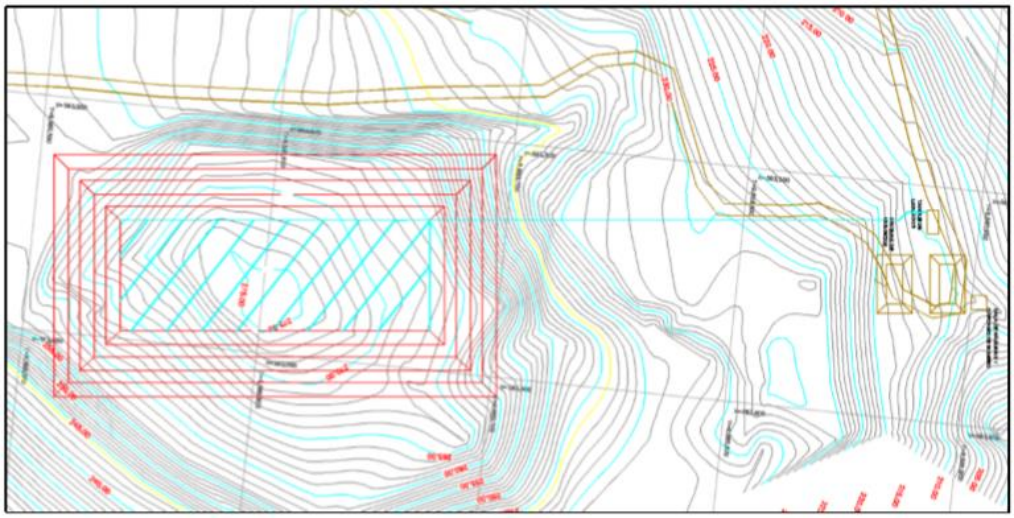


Foto 24. Implantación de la red de drenaje de fondo. Fuente: *(Gallardo, 2017)*

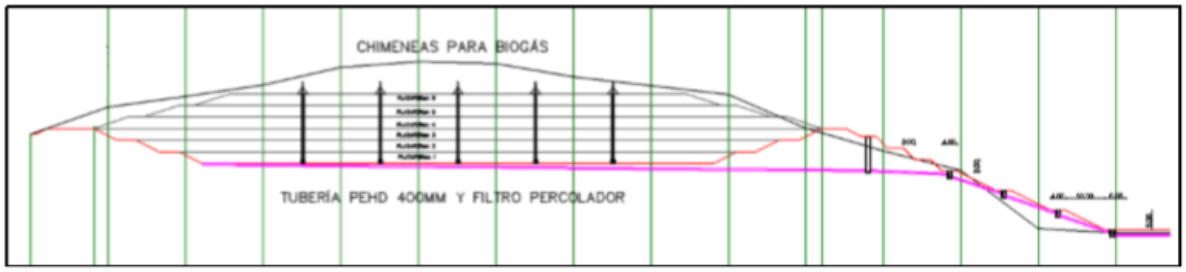


Foto 25. Dren colector de lixiviados de la celda emergente. Fuente: *(Gallardo, 2017)*

5.4.2. CÁMARAS DE INSPECCIÓN (POZOS DE REVISIÓN)

Los pozos de inspección tienen como finalidad facilitar la revisión, mantenimiento y limpieza del colector principal en caso de obstrucción, debido a que la pendiente del terreno es del orden del 25%, el colector principal se conecta a un pozo de revisión y luego a varias

cajas disipadoras, con el fin de reducir la velocidad del lixiviado. En términos generales, las pendientes existentes en el sitio garantizan un adecuado flujo de los líquidos percolados y evita exageradas excavaciones cuando la longitud del dren es extensa.

Foto 26. Obras de inspección (pozos de revisión). Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

5.4.3. TANQUE SEDIMENTADOR O DECANTADOR

El tanque de almacenamiento decantador recibirá los lixiviados generados en la celda emergente, botadero clausurado y futuro relleno sanitario. Su función es retener el material sobrenadante (espuma y materiales ligueros) y permitir la sedimentación de sólidos y gruesos contenidos en el lixiviado. Su capacidad máxima es de 104,17 m3 con dimensiones de 5 m de ancho x 10 m de largo y 2 m de profundidad, es de hormigón estructural y acero de refuerzo.

Foto 27. Tanque sedimentador o decantador del vertedero de residuos de Portoviejo. Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

5.4.4. PISCINAS DE ALMACENAMIENTO, RETENCIÓN Y DOSIFICACIÓN

La piscina tiene un volumen máximo de 617,50 m3, de dimensiones 7 x 17 m de base inferior, 15 x 25 m de base superior y 2,5 m de profundidad. El fondo está recubierto con geomembrana del HDPE de 1 mm con el fin de proteger el suelo de posibles infiltraciones de lixiviado.

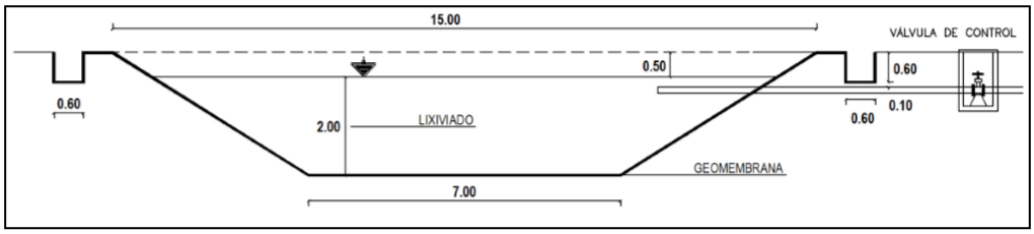


Foto 28. Piscina de lixiviados del vertedero de residuos de Portoviejo. Fuente: *(Gallardo, 2017)*

Foto 29. Piscina de lixiviados del vertedero de residuos de Portoviejo. Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

5.5. CARACTERÍSTICAS DEL LIXIVIADO A TRATAR

Se ha podido identificar que las características del lixiviado presentan variaciones considerables. Según (Gallardo Armijos P. , 2014), para los puntos de monitoreo A1, A2 y A3 el lixiviado presenta las siguientes propiedades:

Tabla 19. Monitoreo de lixiviados en el botadero de Portoviejo.

Parámetro	Unidad	A1	A2	A3
Color	-	Negro	Negro	|Negro
Olor	-	Séptico	Séptico	Séptico
pH	-	8,53	8,13	8,35
Temperatura	°C	27,9	28,2	28,3
Sólidos totales	mg/l	19.710	17.706	28.416
Sólidos sedimentables	mg/l	7,00	8,00	300,00
DBO5	mg/l	3.579	5.411	13.088
DQO	mg/l	8.949	7.740	20.130
Arsénico	mg/l	0,200	0,136	0,281
Cadmio	mg/l	<0,20	0,02	0,070
Mercurio	mg/l	<2,00	<2,00	6,31
Níquel	mg/l	1,43	1,00	1,70
Plomo	mg/l	0,310	0,240	0,760
Zinc	mg/l	1,050	0,750	6,750
Coliformes totales	UFC / 100ml	>80.000	>80.000	>80.000
Coliformes fecales	UFC / 100ml	>60.000	>60.000	>60.000

Fuente: *(Gallardo Armijos P. , 2014)*

5.5.1 TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS IMPLEMENTADO

El municipio de Portoviejo en la actualidad ha utilizado la adición de microrganismos con una bacteria denominada DECON[1], que actúa de manera simultánea en diversos aspectos para la eliminación de agentes patógenos, decantación y degradación de desechos orgánicos e inorgánicos, eliminación de metales pesados y purificación del agua.

Este tratamiento fue contratado para un problema puntual que fue el exceso de aguas lluvias dentro de la celda emergente, ya que para lograr evacuar estás aguas a una fuente cercana tienen que cumplir con ciertos parámetros se rigen en normas ambientales en el país.

En los meses de mayo, junio y julio se realizó el tratamiento con las bacterias DECON, en el mes de mayo se descargaba un tanquero 3 veces a la semana, en el mes de junio se disminuyó la frecuencia de aplicación a solo 2 veces por semana en la descarga. En julio se registró solo una vez por semana. Se utilizó una dosificación de 18 kilos por cada 8.000 litros de agua, que fueron divididos de la siguiente manera, la mitad del tanquero cisterna fue destinado a las celdas diarias y la otra mitad distribuida entre los lixiviados y las celdas hospitalarias.

5.6. REVISION DE PROCESOS UNITARIOS DE REMOCIÓN

5.6.1. TANQUE DECANTADOR

En este proceso unitario el lixiviado es sometido a un proceso de decantación primaria para remover o eliminar los sólidos sedimentables contenidos en el efluente. Los parámetros adoptados para dicho propósito son los siguientes.

Tabla 20. Parámetros utilizados en la decantación primaria.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Teórico	Campo
Caudal medio	Qm	L/s	0,49	0,49
Caudal máximo	Qmax	L/s	0,54	0,54
Sólidos sedimentables entrada	SSo	mg/L	300,00	300,00
DBO5 entrada	So	mg/L	13.088,00	500,00
Rendimiento remoción de SS	n1	%	100,0%	98,3%

[1] Recuperado de: http://www.migadari.com/descripcion-de-decon/

Rendimiento remoción de DBO5	n2	%	9,0%	24,0%
Temperatura media mes más frío	T	°	24,35	
Tiempo de retención hidráulica	Tr	min	90,00	
Tiempo de digestión de fango	Td	meses	6,00	
Carga de materia orgánica percápita	C	gr DBO5/he.día	60,00	
Volumen de digestión unitario	Vu	m3/h.e.	0,07	

Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

La tabla muestra los valores teóricos del diseño original del tanque y las variables correspondientes a los valores encontrados en campo. Para el caso de la DBO5, las concentraciones encontradas por el laboratorio acreditado revelaron que el influente de lixiviado tiene una carga de 500,00 mg/l de materia orgánica, y como efluente de la tercera cámara se obtuvo un valor de 380,00 mg/l de materia orgánica. Esto significaría una reducción de la carga contaminante es del 24,0% de eficiencia en DBO, es decir:

$$r = \frac{500{,}00 mg/l \ - 380{,}00 mg/l}{500{,}00 mg/l} * 100$$

$$r = 24{,}00\%$$

Así mismo la carga de solidos sedimentables obtenidas al inicio y salida del tanque decantador es de 300,00 mg/l y 5,00 mg/l respectivamente, de lo cual el rendimiento en la remoción es:

$$r = \frac{300{,}00 \frac{mg}{l} - 5{,}00 \frac{mg}{l}}{300{,}00 \frac{mg}{l}} * 100$$

$$r = 98{,}3\%$$

Esto significa que el tanque decantador cumple su objetivo de retener los sólidos sedimentables. Esto sucede debido a que el tiempo de retención hidráulica es mayor que el valor recomendado (1,5 horas). Sabiendo que el volumen de la primera cámara del tanque es igual 32,9m^3, el tiempo de retención hidráulica se puede calcular de la siguiente formula

$$Tr = \frac{V}{Qmax} = \frac{32{,}9\ m^3}{1{,}93 \frac{m^3}{h}} = 17{,}06h$$

Lo antes indicado se expone en la siguiente tabla:

Tabla 21. Parámetros utilizados para el volumen de decantación.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor	Campo
Caudal medio	Qm	L/s	0,49	0,49
		m^3/h	1,75	1,75
		$m^3/día$	42,01	42,01
Caudal máximo	Qmax	L/s	0,54	0,54
		m^3/h	1,93	1,93
		$m^3/día$	46,28	46,28
Tiempo de retención hidráulica	Tr	min	90,00	1.023,79
		hora	1,50	17,06
Volumen de la zona de decantación =	Vd	m^3	2,89	32,90

Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

Para determinar el volumen de lodos primarios retenidos en el tanque decantador se asumen los porcentajes de remoción de 24,4% y 98,3% para la DBO y sólidos sedimentables respectivamente. Estos porcentajes generan 13,65 kg de materia orgánica por día, es decir:

Para los sólidos sedimentables:

$$Cantidad\ de\ lodos = (300{,}00 - 5{,}00)\frac{mg}{l} * \frac{1000l}{1m^3} * \frac{1kg}{1000000mg} * Qmax$$

$$Cantidad\ de\ lodos = 295{,}00\frac{mg}{l} * \frac{1000l}{1m^3} * \frac{1kg}{1000000mg} * 46{,}28\frac{m^3}{día}$$

$$Cantidad\ de\ lodos = 13{,}65\frac{kg}{día}$$

De igual forma para la DBO tenemos:

$$Cantidad\ de\ lodos = (500{,}00 - 380{,}00)\frac{mg}{l} * \frac{1000l}{1m^3} * \frac{1kg}{1000000mg} * Qmax$$

$$Cantidad\ de\ lodos = 120{,}00\frac{mg}{l} * \frac{1000l}{1m^3} * \frac{1kg}{1000000mg} * 46{,}28\frac{m^3}{día}$$

$$Cantidad\ de\ lodos = 5{,}5\frac{kg}{día}$$

Por tanto la cantidad de lodos producidos es:

$$Cantidad\ de\ lodos = 13{,}65\,\frac{kg}{día}$$

Lo antes indicado se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 22. Parámetros utilizados para el volumen de digestión de decantación primaria.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor	Campo
Sólidos sedimentables				
Entrada	SSo	mg/L	300,00	300,00
		kg/m^3	0,30	0,30
		kg SS/día	13,88	13,88
Salida	SSf	mg/L	0,00	5,00
		kg/m^3	0,00	0,01
		kg SS/día	0,00	0,23
DBO$_5$				
Entrada	So	mg/L	13.088,00	500,00
		kg/m^3	13,09	0,50
		kg DBO$_5$/día	605,65	23,14
Salida	Sf	mg/L	11.910,08	380,00
		kg/m^3	11,91	0,38
		kg DBO$_5$/día	551,14	17,58
Total de lodos primarios				
SS		kg SS/día	13,88	13,65
DBO$_5$		kg DBO$_5$/día	54,51	5,55
Cantidad de lodos		kg MO/día	54,51	13,65
Carga de materia orgánica percápita		gr MO/he.día	60,00	60,00
		kg MO/he.día	0,06	0,06
Habitantes equivalentes		h.e	908,47	227,52
Volumen de digestión unitario		m^3/h.e.	0,07	0,07
Volumen de digestión		m^3	63,59	15,93

Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

Asumiendo una carga de materia orgánica percápita de 60 gr / he*día, para aguas residuales domésticas, podemos obtener el número de habitantes equivalentes (he) asociados a la carga de materia orgánica contenida en el lixiviado:

$$he = 13{,}65\frac{kgMO}{día} * \frac{1000g}{kg} * \frac{he\ día}{60gMO} = 227{,}52habitantes$$

Siendo el volumen de digestión unitario en fosas sépticas igual a 0,07 $\frac{m^3}{he}$, podemos calcular el volumen de digestión del tanque donde se depositan los lodos, es decir

$$V = 0{,}07\frac{m3}{he} * 227{,}52he$$

$$V = 15{,}93m^3$$

Este volumen de lodos se suma al volumen requerido para el proceso de decantación ($32{,}90m^3$) de donde se obtiene el volumen total de 48,83 m^3. Este último volumen se compara con el volumen total del tanque actualmente construido ($67{,}90m^3$), pudiendo concluir que el tanque decantador cumple con su función de retener el 99,8% de sólidos sedimentables y remover el 24,4% de DBO.

Tabla 23. Parámetros utilizados para volumen del tanque de decantación primaria.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor	Campo
Volumen total (remoción)	Vr	m^3	66,49	48,83
Volumen tanque existente				
Vol. 1ra. Cámara (1,4 x 5,0 x 4,7)	V1	m^3	32,90	32,90
Vol. 2ra. Cámara (1,4 x 5,0 x 4,0)	V2	m^3	28,00	28,00
Vol. 3ra. Cámara (1,4 x 5,0 x 1,0)	V3	m^3	7,00	7,00
Total	Vt	m^3	67,90	67,90

Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

5.6.2. PISCINAS DE ALMACENAMIENTO, RETENCIÓN Y DOSIFICACIÓN

La piscina de lixiviados sirve como un sitio de almacenamiento, regulación de caudales, futuro lugar de mezclas de aditivos y/o ubicación de difusores de oxígeno. No obstante la piscina actual funciona como una laguna anaerobia para la remoción de la DBO remanente

del tanque decantador. Los parámetros teóricos de la piscina de lixiviados se muestran en la siguiente tablas.

Tabla 24. Parámetros utilizados para utilizados para el volumen de digestión.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Teórico	Campo
Caudal medio	Qm	L/s	0,49	0,49
Caudal máximo	Qmax	L/s	0,54	0,54
Sólidos sedimentables entrada	SSo	mg/L	0,00	5,00
DBO_5 entrada	So	mg/L	11.910,08	380,00
Rendimiento remoción de SS	n1	%	100,0%	80,0%
Rendimiento remoción de DBO_5	n2	%	50,0%	47,4%
Temperatura media mes más frío	T	°	24,35	24,35
Carga volumétrica	Λv	g DBO_5/m^3.d	300,00	300,00
Altura de la lámina de lixiviado	H	m	2,00	2,00
Carga de materia orgánica percápita	C	gr DBO_5/he.día	60,00	60,00
Volumen de digestión unitario	Vu	m^3/h.e.	0,07	0,07

Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

Conociendo la DBO de entrada (Li), la carga volumétrica (Cv) que soporta la piscina y la altura de la lámina libre de lixiviado (h), podemos calcular el área de la piscina anaerobia (A) para el caudal máximo (Qmax), de la siguiente forma:

$$A = \frac{Li * Qmax}{Cv * h} = \frac{380{,}00\frac{mg}{l} * 46{,}28\frac{m^3}{día}}{300{,}00\frac{grDBO}{m^3.día} * 2{,}00m} = 29{,}31m2$$

Lo antes indicado se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 25. Parámetros utilizados para calcular el área de la laguna.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor	Campo
Caudal medio	Qm	L/s	0,49	0,49
		m^3/h	1,75	1,75
		m^3/día	42,01	42,01
Caudal máximo	Qmax	L/s	0,54	0,54
		m^3/h	1,93	1,93
		m^3/día	46,28	46,28
DBO_5 entrada	So	mg/L	11.910,08	380,00
Carga volumétrica	Λv	g DBO_5/m^3.d	300,00	300,00
Altura de la lámina de lixiviado	H	M	2,00	2,00
Área de la laguna	A	m^2	918,57	29,31

Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

La piscina de lixiviados es también un proceso de decantación secundaria de la DBO remanente. Por lo tanto, la producción de lodos puede calcularse de igual forma como en el caso del decantador primario, es decir.

$$Cantidad\ de\ lodos = (380{,}00 - 200{,}00)\frac{mg}{l} * \frac{1000l}{1m^3} * \frac{1kg}{1000000mg} * Qmax$$

$$Cantidad\ de\ lodos = 180{,}00\frac{mg}{l} * \frac{1000l}{1m^3} * \frac{1kg}{1000000mg} * 46{,}28\frac{m^3}{día}$$

$$Cantidad\ de\ lodos = 8{,}33\frac{kgDBO}{día}$$

La siguiente tabla contiene los cálculos antes descritos.

Tabla 26. Parámetros utilizados para el volumen de digestión de la piscina.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor	Campo
Sólidos sedimentables				
Entrada	SSo	mg/L	0,00	5,00
		kg/m^3	0,00	0,01
		kg SS/día	0,00	0,23
Salida	SSf	mg/L	0,00	1,00
		kg/m^3	0,00	0,00
		kg SS/día	0,00	0,05
DBO_5				
Entrada	So	mg/L	11.910,08	380,00
		kg/m^3	11,91	0,38
		kg DBO_5/día	551,14	17,58
Salida	Sf	mg/L	5.955,04	200,00
		kg/m^3	5,96	0,20
		kg DBO_5/día	275,57	9,26
Total de lodos primarios				
SS		kg SS/día	0,00	0,19
DBO_5		kg DBO_5/día	275,57	8,33
Cantidad de lodos		kg MO/día	275,57	8,33
Carga de materia orgánica percápita		gr MO/he.día	60,00	60,00
		kg MO/he.día	0,06	0,06
Habitantes equivalentes		h.e	4.592,84	138,83
Volumen de digestión unitario		m^3/h.e.	0,07	0,07
Volumen de digestión		m^3	321,50	9,72

Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

Finalmente se puede obtener el tiempo de retención hidráulica de lixiviado en la piscina de la siguiente manera:

$$V = \frac{\left(Ab + At + \sqrt{Ab * At}\right) * h}{3}$$

$$Tr = \frac{V}{Qmax}$$

Las dimensiones reales de la piscina se pueden tomar de la Foto 28. Para este caso, la longitud de la piscina es 25m y 15m de ancho en el espejo de agua, obteniendo un área de At=375m^2. En el fondo de la piscina se tiene una longitud de 17m de largo y 7m de ancho, obteniendo un área de Ab=119m^2. Con una altura de lámina libre de 2m de lixiviado el volumen de la piscina es:

$$V = \frac{\left(119m^2 + 375m^2 + \sqrt{119m^2 * 375m^2}\right) * 2m}{3} = 470{,}16m3$$

$$Tr = \frac{V}{Qmax} = \frac{1{,}93m3}{46{,}28\frac{m^3}{día}} = 10{,}16\ días$$

Los resultados antes indicados se observan en la siguiente tabla:

Tabla 27. Parámetros utilizados para calcular el volumen de remoción de la piscina.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor	Campo
Volumen total (remoción)	Vr	m^3	321,50	9,72
Dimensiones piscina existente				
Largo	L	M	21,00	21,00
Ancho	A	M	11,00	11,00
# Piscinas	#	#	2,00	1,00
Área total	A	m^2	462,00	231,00
Altura de la lámina de lixiviado	h	M	2,00	2,00
Volumen tanque existente	Vt	m^3	924,00	462,00
Tiempo de retención hidráulica	Tr	día	19,97	9,98

Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

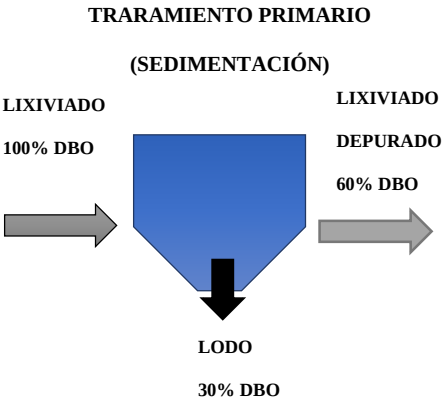
5.7. REMOCIÓN DE CARGAS CONTAMINANTES

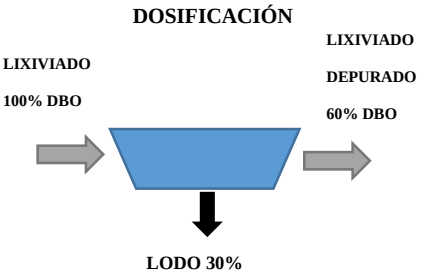
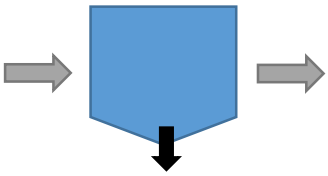
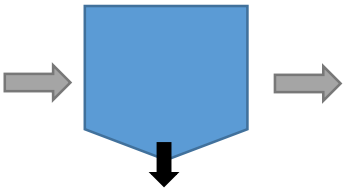
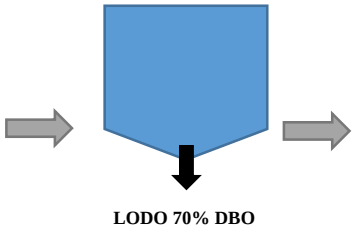
Con base a la información recabada en la campaña de monitoreo, referente a los parámetros de DBO, solidos totales, solidos sedimentables, solidos disueltos, en las tablas 5, 6, 7, se resumen los niveles de eficiencia en la remoción de sus respectivos contaminantes: El tratamiento primario remueve alrededor del 60% de los sólidos suspendidos mediante procesos de sedimentación. (Qasim, 2000), en este nivel de tratamiento, una porción de sólidos y materia orgánica suspendida es removida del agua residual utilizando la fuerza de gravedad como principio. Las cifras de remoción comúnmente alcanzadas en aguas lixiviadas son del 60% en sólidos suspendidos y de 30% en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) (Noyola, Morgan-Sagastume, & Güereca, 2013).

Estos porcentajes pueden ser asumidos considerando un tiempo de retención hidráulica para el decantador de 90 minutos (1,5 horas). Este tiempo puede ser calculado conociendo el caudal y el volumen del tanque, es decir: T = V/Q.

En los siguientes cálculos de la eficiencia del sistema se ha considerado un caudal máximo de lixiviado de 1,93 m3/h, es decir 0,54 l/s.

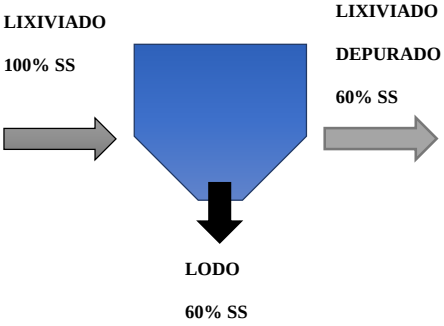
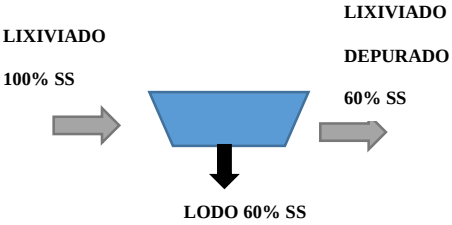
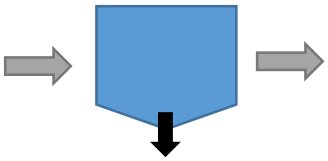
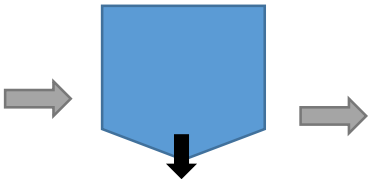
Tabla 28. Diagrama de porcentajes de remoción de DBO, valores teóricos y de campo.

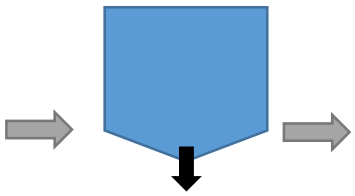
	Diagrama de DBO (Indica % remoción teórico)	**Carga entrada (mg/l)**	**Carga salida (mg/l)**	**% Remoción real**	**Observación**
ACONDICIONAMIENTO DEL LIXIVIADO		13.088	9161,6	30%	Calculado
		500	380	24%	Obtenido con resultados de laboratorio en campaña de monitoreo

	TRARAMIENTO PRIMARIO	9161,6	6413,12	30%	Calculado
	(ALMACENAMIENTO SEDIMENTACIÓN Y DOSIFICACIÓN 	320	200	38%	Obtenido con resultados de laboratorio en campaña de monitoreo
REACTOR ANAEROBIO	**TRARAMIENTO PRIMARIO (SEDIMENTACIÓN)** 	6413,12	4489,18	30%	Calculado
	TRARAMIENTO BIOLÓGICO (RAFA) 	4489,18	1346,75	60-80%	Calculado (Asumido 70%)
	TRARAMIENTO BIOLÓGICO (BIOPELÍCULA) 	1346,75	404,025	70%	Calculado

Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

Tabla 29. Diagrama de porcentajes de remoción de solidos sedimentables, valores teóricos y de campo.

	Diagrama de Sólidos Sedimentables (Indica % remoción teórico)	Carga entrada (mg/l)	Carga salida (mg/l)	% Remoción real	Observación
ACONDICIONAMIENTO DEL LIXIVIADO	TRARAMIENTO PRIMARIO (SEDIMENTACIÓN) 	300	120	60%	Calculado
		0,7	5,0	N/A	Obtenido con resultados de laboratorio en campaña de monitoreo
	TRARAMIENTO PRIMARIO (ALMACENAMIENTO SEDIMENTACIÓN Y DOSIFICACIÓN 	120	48	60%	Calculado
		0,7	1,0	N/A	Obtenido con resultados de laboratorio en campaña de monitoreo
REACTOR ANAEROBIO	TRARAMIENTO PRIMARIO (SEDIMENTACIÓN) 	48	33,6	30%	Calculado
	TRARAMIENTO BIOLÓGICO (RAFA) 	33,6	10,08	60-80%	Calculado (Asumido 70%)

	TRARAMIENTO BIOLÓGICO **(BIOPELÍCULA)**  **LODO 70% DBO**	10,08	3,02	70%	Calculado

Fuente: *(Bustos Pasquel, 2018)*

N/A = Cálculo no aplica

Los rendimientos definidos como N/A son valores que no pudieron ser calculados por la variación de concentraciones entre el afluente y efluente. La aplicación de esta situación se indica en el numeral. 5.2.3

6. CONCLUSIONES

1) El lixiviado producido en el relleno de acuerdo a los valores reportados por el laboratorio se encontró un valor máximo de 940,00 mg/l y 200,00 mg/l en DBO que de acuerdo a la teoría se encuentran dentro del rango establecido para lixiviados de una etapa de fermentación metanogénica. Por lo tanto los valores de la DBO son bajos, debido a la incorporación de bacterias durante la operación de las celdas diarias y en la piscina de retención de lixiviado.

   En todas las muestras se puede notar que hay un incremento de la alcalinidad por estar por encima de la neutralidad. Ya que la mayor parte de las bacterias se desarrollan óptimamente a pH cercano a la neutralidad que es 7 en todas las celdas se rigen un patrón de 8 que es óptimo. Cabe recalcar que no están recirculando adecuadamente el lixiviado.

   En los sólidos totales existe la posibilidad de que la capa de cobertura diaria sea muy grande y haya incorporación de cal en las celdas diarias de basura.

2) Realizado el balance hídrico podemos concluir durante todo el año tenemos una producción de lixiviados de 0,52 a 0,54 l/s, considerando situaciones operativas normales, esto significa la existencia permanente de una adecuada cobertura de tierra, niveles de compactación óptimos, y drenajes perimetrales para el desvió de aguas lluvias. Por otro lado, el mismo análisis hidrológico revelo que estos caudales puede incrementarse hasta valores de 3,98 l/s (7 veces más, si el relleno sanitario funciona sin cobertura).

3) El tanque decantador cumple su objetivo de retener los sólidos sedimentables. Esto sucede debido a que el tiempo de retención hidráulica es mayor que el valor recomendado (1,5 horas). La piscina existente remueve el 47,4% de DBO5 como material sedimentable (bibliografía 50 - 60%)

7. RECOMENDACIONES

1) Capacitar a todos los trabajadores del vertedero de residuos de la ciudad de Portoviejo dado que el agua que ingresa en el vertedero durante su operación básicamente depende de las condiciones climatológicas y de las características del material que se utilice como cobertura final, ya que al ser extremadamente gruesa esta cobertura final puede estar ocupando lugar que está destinado para la basura.

2) En la celda emergente se debe tener la topografía a la mano, ya que se deben preparar para el escurrimiento del agua pluvial, las pendientes deberán prepararse de tal forma que el escurrimiento de dichas aguas sea total y a su vez evitar encharcamientos.

3) Es recomendable que se utilice la técnica de recirculación de lixiviados, debido a que el incremento de humedad dentro de los residuos sólidos mejora las condiciones del sistema para el desarrollo en la descomposición biológica de la materia orgánica, se disminuyen las cantidades excesivas de líquidos percolados y por eso los costos también disminuyen.

4) Se recomienda el diseño y la construcción del tanque anaerobio para garantizar un mejor pretratamiento del lixiviado y disminución de su carga contaminante.

8. BIBLIOGRAFÍA

Álvarez Contreras, A., & Suárez Gélvez, J. H. (2006). TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE LIXIVIADOS DE RELLENOS SANITARIOS. *Revista Respuestas - Universidad Francisco de Paula Santander*.

Álvarez Contreras, A., & Suárez Gelvez, J. h. (2006). *Tratamiento biológico del lixiviado generado en el relleno sanitario "El Guayabal" de la ciudad San José de Cúcuta.* Ingeniería y Desarrollo.

Borzacconi, L., López, I., Arcia, E., Cardelino, L., Castagna, A., & Viñas, M. (1996). Comparación de tratamientos aerobios y anaerobios aplicados a lixiviado de relleno sanitario. *XXV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, México*, 1-8.

Bustos Pasquel, N. A. (2018). *Evaluación de la eficiencia de tratamiento del sistema del lixiviados del vertedero de residuos de la ciudad de Portoviejo.* Jipijapa: Proyecto de titulación para el grado de Ingeniero Civil. Universidad Estatal del Sur de Manabí.

Gallardo Armijos, P. (2014). *Estudios de Diseño Definitivo para el Cierre Técnico del Botadero y Celda Emergente del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Portoviejo, Provincia de Manabí.* Portoviejo.

Gallardo Armijos, P. A. (2018). *Apuntes en clases - Tratamiento de aguas urbanas.* Jipijapa: Universidad Estatal Del Sur De Manabí.

Gallardo, P. (2017). *Diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios - Gestión de lixiviados.* Portoviejo.

Giraldo, E. (2001). Tratamiento de Lixiviados de Rellenos Sanitarios: Avances Recientes. *Revista de Ingeniería Universidad de los Andes, 14*, 44-45.

Jaramillo, J. (2002). GUÍA PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS MANUALES. *Una solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en pequeñas poblaciones*. Antioquia, Colombia.

Jaramillo, Jorge;Francisco Zepeda. (1991). *GUIA PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCION Y OPERACION*. Washington, D.C.

Jurgen Ehrig, H. (1992). *CANTIDAD Y CONTENIDO DE LIXIVIADOS DE RELLENOS DE DESECHOS DOMÉSTICOS.* Costa Rica, San Jose.

Jurgen Ehrig, H. (1992). *CANTIDAD Y CONTENIDO DE LIXIVIADOS DE RELLENOS DE DESECHOS DOMÉSTICOS.* Costa Rica, San Jose.

Luna, Y., Otal, E., Vilches, L., Vale, J., Querol, X., & Fernández, C. (2007). Use of zeolitised cal fly ash for landfill leachate treatment: A pilot plant study. *Waste Management. 27*, 1877-1883.

Martinez-Lopez, A. G., Padrón-Hernández, W., Rodríguez-Bernal, O. F., Chiquito-Coyotl, O., Escarola-Rosas, M. A., Hernández-Lara, J. M., . . . Martínez-Castillo, J. (2014). Alternativas actuales del manejo de lixiviados. *Avances en Química*, 37-47.

Méndez Novelo, R., Castillo Borges, E., Sauri Riancho, M. R., Quintal Franco, C., Giacoman Vallejos, G., & Jiménez Mejía, B. (2004). Tratamiento físicoquímico de los lixiviados de un relleno sanitario. *Ingeniería*, 155-163.

Méndez Novelo, R., Castillo Borges, E., Sauri Riancho, M., Quintal Franco, C., Giacoman Vallejos, G., & Jiménez Mejía, B. (2004). Tratamiento fisicoquímico de los lixiviados de un relleno sanitario. *Ingeniería,* 155-163.

Noyola, A., Morgan-Sagastume, J. M., & Güereca, L. P. (2013). *Selección De Tecnologías Para El Tratamiento De Aguas Residuales Municipales, Guía De Apoyo Para Ciudades Pequeñas Y Medianas.*

Qasim, S. R. (2000). *Wastewater Treatment Plants: Planning, design and operation.* Boca Raton: CRC Press.

Ramalho, R. S. (1990). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.* Quebec, Canada: EDITORIAL REVERTE, S. A.

Robles Martínez, F. (2005). *GENERACIÓN DE BIOGÁS Y LIXIVIADOS EN LOS RELLENOS SANITARIOS.* México D.F.

Romero Rojas, J. A. (2004). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.* Escuela Colombiana de Ingenieria.

Salazar, L., & Saavedra, I. (2009). Tratamiento de lixiviados, casos prácticos en diferentes temperaturas. *II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Universidad del Norte, Colombia*, 1-15.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (1994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos.* España, McGraw Hill/Interamericana.

9. ANEXOS

ANEXOS

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD
LABORATORIOS
AGUAS PETRÓLEO Y MEDIO AMBIENTE
Facultad de Ingeniería Química
Universidad de Guayaquil
Cdla. Universitaria Salvador Allende
Teléfono: 2292949 - FAX: 2294772
Guayaquil - Ecuador

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR EL SAE
CON ACREDITACIÓN
N° OAE LE C 08-003

INFORME DE ANALISIS FISICO - QUIMICO

INFORME N°: LA / 126 / 17

SOLICITADO POR:	I I S A
EMPRESA:	Danny Vidal Zambrano Cevallos; Nelson Alexander Bustos Pasquel
DIRECCIÓN:	Portoviejo, Manabí
Fecha de inicio de análisis:	2017 / 07 / 28
Fecha de culminación de análisis:	2017 / 08 / 02
Fecha de recepción:	2017 / 07 / 27

IDENTIFICACIÓN DE LOS ANÁLISIS TABULADOS

A: MUESTRA AGUA RESIDUAL (Tanque desarenador 2). TIPO DE MUESTRA: PUNTUAL(1)
B: MUESTRA AGUA RESIDUAL (Reactor). FECHA DE MUESTREO: 2017 / 07 / 27(1)

Parámetros	Expresado como	Unidad	Resultados A	Resultados B	incert. U (k=2)	Limites Máximos Permisibles(2)	Método
Potencial de Hidrogeno.	pH		8.14	8.28	± 0.19	6 - 9	4500-H+B PEE/UCC/LA/02
*Demanda Bioquímica de Oxigeno (5 días)	$D.B.O._5$	mg/l	680	940	-	100	DBO Trak
**Sólidos totales	-	mg/l	4 480	4 405	-	1 600	2540 B PEE/UCC/LA/07
**Sólidos disueltos	-	mg/l	4 200	4 205	-	-	2540 C PEE/UCC/LA/08
*Sólidos Sedimentables	-	ml/l	0.3	0.7	-	-	2540 F

OBSERVACIONES:

*Los ensayos marcados (*) NO están incluidos en el alcande de la Acreditación del SAE.
**Rango de acreditación STD: 100 - 1 000 mg/l; ST: 200 - 2 000 mg/l.

(1) Dato proporcionado por la empresa.
(2) Legislación Ambiental para descargas a un cuerpo de agua dulce. Acuerdo Ministerial N° 083B; 097-A; 140. Noviembre 2015.

ING. MARLON RAMIREZ
DIRECTOR TÉCNICO

Fecha de emisión:
2017 / 08 / 10

Los análisis fueron realizados de acuerdo al STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER, SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTE.

Nota: * Los resultados obtenidos en este informe son exclusivos de la Muestra sometida a ensayo.
* Queda prohibido la reproducción parcial o total de este informe sin previa autorización de esta Unidad.

ANEXO 1. CARACTERIZACIÓN DE LIXIVIADOS.

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD
LABORATORIOS
AGUAS PETRÓLEO Y MEDIO AMBIENTE
Facultad de Ingeniería Química
Universidad de Guayaquil
Cdla. Universitaria Salvador Allende
Teléfono: 2292949 - FAX: 2294772
Guayaquil - Ecuador

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR EL SAE CON ACREDITACIÓN
N° OAE LE C 08-003

INFORME DE ANALISIS FISICO - QUIMICO

INFORME N°: LA / 126 / 17

SOLICITADO POR:	I I S A	
EMPRESA:	Danny Vidal Zambrano Cevallos; Nelson Alexander Bustos Pasquel	
DIRECCIÓN:	Portoviejo, Manabí	
Fecha de inicio de análisis:	2017 / 07 / 28	Fecha de recepción:
Fecha de culminación de análisis:	2017 / 08 / 02	2017 / 07 / 27

IDENTIFICACIÓN DE LOS ANÁLISIS TABULADOS

C: MUESTRA AGUA RESIDUAL (Piscina de retención). TIPO DE MUESTRA: PUNTUAL(1)
D: MUESTRA AGUA RESIDUAL (Tanque desarenador 1). FECHA DE MUESTREO: 2017 / 07 / 27(1)

Parámetros	Expresado como	Unidad	Resultados C	Resultados D	incert. U (k=2)	Limites Máximos Permisibles(2)	Método
Potencial de Hidrogeno.	pH		8.15	8.32	± 0.19	6 - 9	4500-H+B PEE/UCC/LA/02
*Demanda Bioquímica de Oxigeno (5 días)	$D.B.O._5$	mg/l	320	500	-	100	DBO Trak
**Sólidos totales	-	mg/l	4 445	4 400	-	1 600	2540 B PEE/UCC/LA/07
**Sólidos disueltos	-	mg/l	3 370	4 050	-	-	2540 C PEE/UCC/LA/08
*Sólidos Sedimentables	-	ml/l	0.8	0.7	-	-	2540 F

OBSERVACIONES:

*Los ensayos marcados (*) NO están incluidos en el alcande de la Acreditación del SAE.

**Rango de acreditación STD: 100 - 1 000 mg/l; ST: 200 - 2 000 mg/l.

(1) Dato proporcionado por la empresa.

(2) Legislación Ambiental para descargas a un cuerpo de agua dulce. Acuerdo Ministerial N° 083B; 097-A; 140. Noviembre 2015.

ING. MARLON RAMIREZ
DIRECTOR TÉCNICO

Fecha de emisión:
2017 / 08 / 10

Los análisis fueron realizados de acuerdo al STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER, SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTE.

Nota: * Los resultados obtenidos en este informe son exclusivos de la Muestra sometida a ensayo.
* Queda prohibido la reproducción parcial o total de este informe sin previa autorización de esta Unidad.

ANEXO 2. CARACTERIZACIÓN DE LIXIVIADOS.

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD
LABORATORIOS
AGUAS PETRÓLEO Y MEDIO AMBIENTE
Facultad de Ingeniería Química
Universidad de Guayaquil
Cdla. Universitaria Salvador Allende
Teléfono: 2292949 - FAX: 2294772
Guayaquil - Ecuador

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR EL SAE CON ACREDITACIÓN
N° OAE LE C 08-003

INFORME DE ANALISIS FISICO - QUIMICO

INFORME N°: LA / 165 / 17

SOLICITADO POR: I I S A
EMPRESA: Danny Vidal Zambrano Cevallos; Nelson Alexander Bustos Pasquel
DIRECCIÓN: Portoviejo, Manabí
Fecha de inicio de análisis: 2017 / 09 / 18
Fecha de culminación de análisis: 2017 / 09 / 23
Fecha de recepción: 2017 / 09 / 18

IDENTIFICACIÓN DE LOS *ANÁLISIS TABULADOS*

B: MUESTRA AGUA RESIDUAL (Piscina de retención).
TIPO DE MUESTRA: PUNTUAL(1)
FECHA DE MUESTREO: 2017 / 09 / 18(1)

Parámetros	Expresado como	Unidad	Resultados B	incert. U (k=2)	Limites Máximos Permisibles(2)	Método
Potencial de Hidrogeno.	pH		8.37	± 0.19	6 - 9	4500-H+B PEE/UCC/LA/02
Demanda Bioquímica de Oxigeno (5 días)	$D.B.O._5$	mg/l	200	± 46	100	5210D PEE/UCC/LA/09
**Sólidos totales	-	mg/l	4 425	-	1 600	2540 B PEE/UCC/LA/07
**Sólidos disueltos	-	mg/l	3 940	-	-	2540 C PEE/UCC/LA/08
*Sólidos Sedimentables	-	ml/l	1	-	-	2540 F

OBSERVACIONES:

*Los ensayos marcados (*) NO están incluidos en el alcande de la Acreditación del SAE.
**Rango de acreditación STD: 100 - 1 000 mg/l; ST: 200 - 2 000 mg/l.

(1) Dato proporcionado por la empresa.
(2) Legislación Ambiental para descargas a un cuerpo de agua dulce. Acuerdo Ministerial N° 083B; 097-A; 140. Noviembre 2015.

ING. MARLON RAMIREZ
DIRECTOR TÉCNICO

Fecha de emisión: 2017 / 09 / 25

Los análisis fueron realizados de acuerdo al STANDARD METHODS FOR THE *EXAMINATION OF WATER, SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTE.*

Nota: * Los resultados obtenidos en este informe son exclusivos de la Muestra sometida a ensayo.
* Queda prohibido la reproducción parcial o total de este informe sin previa autorización de esta Unidad.

ANEXO 3. CARACTERIZACIÓN DE LIXIVIADOS.

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD
LABORATORIOS
AGUAS PETRÓLEO Y MEDIO AMBIENTE
Facultad de Ingeniería Química
Universidad de Guayaquil
Cdla. Universitaria Salvador Allende
Teléfono: 2292949 - FAX: 2294772
Guayaquil - Ecuador

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR EL SAE CON ACREDITACIÓN
N° OAE LE C 08-003

INFORME DE ANALISIS FISICO - QUIMICO

INFORME N°: LA / 165 / 17

SOLICITADO POR:	I I S A
EMPRESA:	Danny Vidal Zambrano Cevallos; Nelson Alexander Bustos Pasquel
DIRECCIÓN:	Portoviejo, Manabí
Fecha de inicio de análisis:	2017 / 09 / 18
Fecha de culminación de análisis:	2017 / 09 / 23

Fecha de recepción: 2017 / 09 / 18

IDENTIFICACIÓN DE LOS ANÁLISIS TABULADOS

A: MUESTRA AGUA RESIDUAL (Tanque desarenador 2).

TIPO DE MUESTRA: PUNTUAL(1)
FECHA DE MUESTREO: 2017 / 09 / 18(1)

Parámetros	Expresado como	Unidad	Resultados A	incert. U (k=2)	Limites Máximos Permisibles(2)	Método
Potencial de Hidrogeno.	pH		8.41	± 0.19	6 - 9	4500-H+B PEE/UCC/LA/02
Demanda Bioquímica de Oxigeno (5 días)	$D.B.O._5$	mg/l	380	± 67	100	5210D PEE/UCC/LA/09
**Sólidos totales	-	mg/l	4 895	-	1 600	2540 B PEE/UCC/LA/07
**Sólidos disueltos	-	mg/l	4 045	-	-	2540 C PEE/UCC/LA/08
*Sólidos Sedimentables	-	ml/l	5	-	-	2540 F

OBSERVACIONES:

*Los ensayos marcados (*) NO están incluidos en el alcande de la Acreditación del SAE.

**Rango de acreditación STD: 100 - 1 000 mg/l; ST: 200 - 2 000 mg/l.

(1) Dato proporcionado por la empresa.

(2) Legislación Ambiental para descargas a un cuerpo de agua dulce. Acuerdo Ministerial N° 083B; 097-A; 140. Noviembre 2015.

ING. MARLON RAMIREZ
DIRECTOR TÉCNICO

Fecha de emisión: 2017 / 09 / 25

Los análisis fueron realizados de acuerdo al STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER, SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTE.

Nota: * Los resultados obtenidos en este informe son exclusivos de la Muestra sometida a ensayo.
* Queda prohibido la reproducción parcial o total de este informe sin previa autorización de esta Unidad.

ANEXO 4. CARACTERIZACIÓN DE LIXIVIADOS.

PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24H (mm)																
ESTACIÓN:		INAMHI M005, UTM-PORTOVIEJO						**ALTITUD:**			46 M.S.N.M.				
TIPO:		AGROMETEOROLÓGICA						**UBICACIÓN:**			17 M; 560110,5 m E; 9885319,82 m S				
	ENE	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**	**MED.**	**MIN**	**MAX**
1972	25,7	53,0	88,1	26,7	1,4	23,3	13,0	2,9	2,6	0,8	0,7	9,0	20,6	0,7	88,1
1973	63,1	34,7	11,1	38,9	5,6	1,5	0,9	1,5	1,2	0,0	0,4	2,6	13,5	0,0	63,1
1974	11,3	33,1	23,2	16,4	7,7	1,9	0,4	0,1	0,6	4,1	5,2	8,0	9,3	0,1	33,1
1975	48,7	130,9	45,0	20,4	1,7	2,1	0,2	0,5	14,5	17,6	0,4	12,1	24,5	0,2	130,9
1976		28,2			15,2	9,1	3,4	0,0	1,6	0,1	1,1	2,9	6,8	0,0	28,2
1977	15,0	40,1	43,4	62,9	0,0	2,3	0,0	0,1	8,8	0,2	0,0	11,3	15,3	0,0	62,9
1978	16,1	17,0	26,4	11,7		0,0	1,1		0,4	0,0	0,0	0,4	7,3	0,0	26,4
1979	9,1	46,2	7,9	6,6	3,6	1,9	0,9	1,0	0,5	0,0	0,0		7,1	0,0	46,2
1980	14,1	17,8	16,9	13,8	6,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0		6,3	0,0	17,8
1981	34,0	19,6	9,0	5,2	0,0	0,0		0,2		1,9		4,1	8,2	0,0	34,0
1982	6,2	3,4	17,6	3,9	8,3	2,5	0,0	0,0	0,9	16,0	48,9	44,1	12,7	0,0	48,9
1983	35,9	20,8	61,9	59,2	44,6	120,5	58,3	8,3	26,5	1,0	0,6	21,9	38,3	0,6	120,5
1984	1,4	37,0	39,3	11,1	0,2	1,0	0,6	0,0	0,0	0,1	8,5	47,3	12,2	0,0	47,3
1985	11,0	25,5	27,1	21,7	40,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	18,1	12,1	0,0	40,0
1986	54,7	23,3	47,5	30,3	0,6	0,0	0,7	0,0	0,0	1,8	0,0	3,6	13,5	0,0	54,7
1987	20,8	65,6	59,0	16,0	16,4	0,0	0,3	5,5	1,0	0,1	2,2	0,9	15,7	0,0	65,6
1988	0,0	18,3	18,2	11,1	8,4	0,0	0,4	0,2	4,8	0,0	0,3	2,7	5,4	0,0	18,3
1989	131,4	49,0	69,9	15,6	0,6	0,3	0,1	0,0	4,0	0,5	0,0	0,5	22,7	0,0	131,4
1990	10,6	37,8	18,4	19,5	0,6	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	6,8	7,9	0,0	37,8
1991	20,9	20,2	7,9	12,8	11,4	0,1	0,0	0,2	1,9	0,0	1,5	10,5	7,3	0,0	20,9
1992	37,0	36,0	58,3	69,7	54,8	7,7	0,4	0,0	0,0	0,0	0,2	6,4	22,5	0,0	69,7
1993	10,0	25,3	15,9	11,6	0,1	2,3	0,0	0,0	0,1	0,4	1,7	0,8	5,7	0,0	25,3
1994	13,1	14,6	62,8	6,1	66,5	0,6	0,0	0,0	0,4	1,7	0,3	39,4	17,1	0,0	66,5
1995	60,1	48,8	21,6	43,1	3,1	8,0	0,8	1,8	0,0	0,1	0,1	7,1	16,2	0,0	60,1
1996	14,5	19,2	40,5	40,8	0,1	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,4	0,2	9,7	0,0	40,8
1997	26,0	34,4	74,4	16,3	18,4	46,9	27,4	27,2	57,3	18,8	55,2	131,1	44,5	16,3	131,1
1998	86,7	57,5	65,8	40,8	53,4	25,1	8,1	0,2	0,2	0,0	16,6	0,0	29,5	0,0	86,7
1999	10,5	69,4	23,4	22,0	4,1	0,7	0,1	1,3	0,1	0,5	1,1	2,8	11,3	0,1	69,4
2000	41,3	20,7	7,1	13,3	23,2	1,9	0,1	0,2	0,4	0,0	1,8	7,2	9,8	0,0	41,3
2001	38,5	31,7	147,9	25,8	4,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	1,9	2,0	21,0	0,0	147,9
2002	17,6	46,0	50,8	38,0	6,2	0,5	0,0	0,2	0,0	1,2	0,6	11,4	14,4	0,0	50,8
2003	16,6	38,4	11,0	5,3	2,5	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	1,2	11,5	7,2	0,0	38,4
2004	9,6	35,3	57,9	7,3	4,2	6,7	0,0	0,0	1,3	0,5	0,0	0,3	10,3	0,0	57,9
2005	36,7	37,1	62,9	79,7	0,0	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	16,6	19,5	0,0	79,7
2006	19,5	31,3	56,7	13,2	0,2	0,5	0,0	1,2	0,0	0,0	2,2	4,5	10,8	0,0	56,7
2007	25,5	16,5	34,2	46,8	6,3	0,6	1,1		0,0	1,4	0,1	17,0	13,6	0,0	46,8
2008	39,2	44,1	53,3	27,2	1,7	1,2	4,0	0,5	0,2	0,8	0,7	0,2	14,4	0,2	53,3
2009	26,5	17,8	20,2	12,0	19,8	0,3	0,0	11,6	0,0	0,0	0,0	1,8	9,2	0,0	26,5
2010	22,7	36,1	48,0	36,3	23,9	3,2	2,5	0,1		0,0	2,3	52,3	20,7	0,0	52,3
2011	16,9	27,9	7,1	17,9	0,3	37,0	4,3	0,0	0,1		0,0		11,2	0,0	37,0
2012		59,3		9,3	37,4	3,5	0,0			0,0	2,3	12,0	15,5	0,0	59,3
2013	13,5	43,1	67,2	107,6	11,5	0,3	0,0	0,2	0,3	9,9	0,0	0,7	21,2	0,0	107,6
2014	21,6	18,1	13,5	5,1	18,4	3,3	0,3	0,0	1,5	0,0	0,1	5,0	7,2	0,0	21,6
2015	9,4	47,0	96,5	44,3	8,9	8,1	5,8	0,2	0,5	4,9	5,1		21,0	0,2	96,5
2016	49,6	17,2	21,3	65,3	3,9	4,1	0,5	0,0	0,8				18,1	0,0	65,3
MED.	27,7	35,4	40,8	27,5	12,4	7,4	3,1	1,6	3,2	2,0	3,8	13,4			
MIN.	0,0	3,4	7,1	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
MAX.	131,4	130,9	147,9	107,6	66,5	120,5	58,3	27,2	57,3	18,8	55,2	131,1			

ANEXO 5. PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)

ANEXO 6. CELDAS HOSPITALARIAS

ANEXO 7. TANQUE DESARENADOR

ANEXO 8. PISCINA DE RETENCIÓN

ANEXO 9. MUESTRA PISCINA DE RETENCIÓN

ANEXO 10. MUESTRA TANQUE DESARENADOR 1

ANEXO 11. MUESTRA TANQUE DESARENADOR 2

ANEXO 12. MUESTRA TANQUE DESARENADOR 3

ANEXO 13. VISITA CON EL TUTOR AL VERTEDERO DE RESIDUOS DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO

ANEXO 14. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO

ANEXO 15. CAJA DE REVISIÓN.

ANEXO 16. ACOMPAÑAMIETO DEL DIRECTOR DEL VERTEDERO EN TOMA DE MUESTRAS