



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE PROTOTIPOS DE BIOFILTROS PARA
LA REUTILIZACIÓN DEL LIXIVIADO DEL BOTADERO
DE BASURA DE RIOVERDE MINIMIZANDO LA
CONTAMINACIÓN AMBIENTAL**
TRABAJO EXPERIMENTAL

Trabajo de titulación presentado como requisito para la
obtención del título de
INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR
ALMEIDA ARDILA MAX DARIO

TUTOR
ING. ARCOS JÁCOME DIEGO ARMANDO

GUAYAQUIL – ECUADOR

2020



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **ING. ARCOS JÁCOME DIEGO ARMANDO**, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **“EVALUACIÓN DE PROTOTIPOS DE BIOFILTROS PARA LA REUTILIZACIÓN DEL LIXIVIADO DEL BOTADERO DE BASURA DE RIOVERDE MINIMIZANDO LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL”**, realizado por el estudiante **ALMEIDA ARDILA MAX DARIO**; con cédula de identidad N° 0802798770-7 de la carrera **INGENIERÍA AMBIENTAL**, Unidad Académica de Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

ING. ARCOS JÁCOME DIEGO ARMANDO, MSc.
TUTOR

Guayaquil, 18 de noviembre del 2020



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: **"EVALUACIÓN DE PROTOTIPOS DE BIOFILTROS PARA LA REUTILIZACIÓN DEL LIXIVIADO DEL BOTADERO DE BASURA DE RIOVERDE MINIMIZANDO LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL"**, realizado por el estudiante **ALMEIDA ARDILA MAX DARIO**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Blgo. Raul Arizaga Gamboa
PRESIDENTE

Dra. Tamara Borodulina
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Diego Muñoz Naranjo.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Diego Arcos Jacome
EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 18 de noviembre del 2020

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi abuela la Abg. Rosa franco por brindarme su apoyo en toda la etapa de mi adolescencia, por darme palabras de motivación durante todo este periodo académico.

A mi madre que a su distancia me da su amor y apoyo incondicional para motivarme a seguir adelante.

A mi padre por sus consejos y sabiduría a todo momento.

A mi hermano por ser un apoyo fiel, por creer que siempre lograría de todo en esta vida.

A mis abuelos maternos por darme sus motivaciones y consejos a la distancia.

Agradecimiento

A mi director de tesis el Ingeniero Diego Arcos por su motivación, conocimientos y experiencia brindado en este proyecto de investigación.

A la universidad por brindarme tantos conocimientos, experiencias y amistades brindadas a lo largo de la carrera, por ser testigo del avance académico de cada estudiante.

Al personal administrativo de la universidad por ayudar y brindar apoyo en los trámites académicos.

A mi familia por siempre darme su apoyo incondicional en cada momento.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo **ALMEIDA ARDILA MAX DARIO**, en calidad de autor(a) del proyecto realizado, sobre **“EVALUACIÓN DE PROTOTIPOS DE BIOFILTROS PARA LA REUTILIZACIÓN DEL LIXIVIADO DEL BOTADERO DE BASURA DE RIOVERDE MINIMIZANDO LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL”** para optar el título de Ingeniero Ambiental, por la presente autorizo a la **UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 18 de noviembre del 2020



ALMEIDA ARDILA MAX DARIO

C.I. 080279877-7

Índice general

PORTADA.....	1
APROBACIÓN DEL TUTOR	2
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	3
Dedicatoria.....	4
Agradecimiento	5
Autorización de Autoría Intelectual	6
Índice general	7
Índice de tablas	10
Índice de figuras.....	11
Resumen	13
Abstract.....	14
1. Introducción.....	15
1.1 Antecedentes del problema.....	16
1.2 Planteamiento y formulación del problema	17
1.3 Justificación de la investigación	18
1.4 Delimitación de la investigación	19
1.5 Objetivo general	19
1.6 Objetivos específicos.....	19
2. Marco teórico.....	20
2.1 Estado del arte.....	20
2.2 Bases teóricas	23
2.2.1. Desechos sólidos.....	23
2.2.2. Caracterización de residuos.....	23
2.2.3. Residuos líquidos.....	23

2.2.4. Residuos peligrosos.	23
2.2.5. Residuos reciclables.	23
2.2.6. Botadero	24
2.2.7. Relleno sanitario.	24
2.2.8. Reciclaje.	24
2.2.9. Lixiviados.	25
2.2.10. Infiltración.	25
2.2.11. Contaminación.	25
2.2.12. Biofiltro.	25
2.2.13. Propiedades de la cáscara de camarón.	25
2.2.14. Propiedades de la fibra de coco.	26
2.2.15. Propiedades del carbón activado.	27
2.2.16. Propiedades de luffa.	28
2.3 Marco legal	28
2.3.1. Constitución de la República del Ecuador.	28
2.3.2. Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización, COTAAD.	29
2.3.3. Código Orgánico Ambiental COA.	30
2.3.4. Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua	31
2.3.5. Acuerdo Ministerial 097-A Refórmese el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA): 2015	31
3. Materiales y métodos	33
3.1 Enfoque de la investigación	33
3.1.1 Tipo de investigación	33

4. Resultados	41
4.1 Caracterización de los lixiviados generados en el cantón Rioverde a través de análisis físico, químico y biológico antes del tratamiento	41
4.2 Análisis de la retención de contaminantes después de los procesos de biofiltración mediante análisis físico - químicos y microbiológico.	42
4.2.1 Parámetro físico.	43
4.2.2 Parámetro químico.	44
4.2.3 Parámetro microbiológico.	48
4.2.4. Eficiencia en remoción	50
4.3 Proponer el tratamiento más idóneo para la retención de contaminantes en el lixiviado.	51
4.4 Efectividad del biofiltro.	51
4.4 Descripción del biofiltro para el relleno sanitario.	52
4.4 Diagrama de tratamiento.	53
5. Discusión	54
6. Conclusiones	57
7. Recomendaciones	58
8. Bibliografía	59
9. Anexos	65

Índice de tablas

Tabla 1. Caracterización inicial de lixiviado.....	42
Tabla 2. Resultados de turbidez.....	43
Tabla 3. Análisis estadístico de Turbidez.....	44
Tabla 4. Test de Duncan para turbidez	44
Tabla 5. Resultados de pH.....	44
Tabla 6. Análisis estadístico de pH	45
Tabla 7. Test de Duncan para pH	46
Tabla 8. Resultados de sólidos totales.....	46
Tabla 9. Análisis estadístico de sólidos suspendidos.....	47
Tabla 10. Test de Duncan.....	48
Tabla 11. Resultados de coliformes	48
Tabla 12. Análisis estadístico para coliformes	49
Tabla 13. Test de Duncan para coliformes	50
Tabla 14. Contraste entre los tratamientos más eficientes y la norma.....	50
Tabla 15. efectividad de los biofiltros	51
Tabla 16. Límites de descarga a un sistema de agua dulce - Acuerdo Ministerial 097 - Anexo 1 - Descarga de afluentes.....	65
Tabla 17. Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico - Acuerdo Ministerial 097 - Anexo 1 - Descarga de afluentes.....	66

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de proceso de la tesis.....	36
Figura 2. Punto de Muestreo.....	41
Figura 3. Resultados de turbidez	43
Figura 4. Resultados de pH, muestra el comportamiento del pH en cada una de las repeticiones tras la utilización de los biofiltros (FC, EL, C).....	45
Figura 5. Resultados de sólidos suspendidos, expresa el comportamiento de los sólidos disuelto en cada repetición luego de la aplicación de los tres biofiltros, obteniendo una mayor remoción en la cuarta repetición.....	47
Figura 6. Resultados de coliformes, en la figura se muestra el comportamiento de los coliformes en cada repetición para cada tipo de biofiltro aplicado. Es posible distinguir que en r3 y r4 del biofiltro “EL” se eliminó por completo la presencia de coliformes en el lixiviado.....	49
Figura 7. Lixiviados antes y después del tratamiento con el biofiltro "EL"	52
Figura 8. Especificaciones del biofiltro a base de luffa.....	52
Figura 9. Diagrama de flujo del tratamiento	53
Figura 10. Visita de campo al relleno sanitario del cantón Rioverde en compañía de director del departamento de gestión ambiental del cantón Rioverde.....	66
Figura 11. Pesado de material para los biofiltros	67
Figura 12. biofiltro con 70% luffa y 30% carbón activado.....	67
Figura 13. biofiltro con 70% fibra de coco y 30% carbón activado	68
Figura 14. biofiltro con 70% cáscara de camarón y 30% carbón activado	68
Figura 15. Lixiviado antes de ser tratados	69
Figura 16. Aplicación de biofiltro	69
Figura 17. Lixiviado después de la aplicación de los tres biofiltros	70

Figura 18. Preparación de diluciones.....	70
Figura 19. Conteo de coliformes	71
Figura 20. Placa de Petrifilm con coliformes	71
Figura 21. Placas de Petrifilm listas para incubar	72
Figura 22. Medición de volumen para el análisis de sólidos totales.....	72
Figura 23. Crisol con las muestras de lixiviados para el análisis de sólidos totales	73
Figura 24. Crisol luego del secado con cada uno de los tratamientos	73
Figura 25. Guía de interpretación de coliformes	74

Resumen

La siguiente investigación experimental se llevó a cabo en la ciudad de Esmeraldas, provincia con el mismo nombre, cantón Rioverde, se realizó una charla con el cuerpo administrativo para obtener el permiso para llevar a cabo el proyecto, se procedió a la visita del botadero de basura a cielo abierto del cantón Rioverde para ver el estado del lixiviado donde posteriormente se obtuvo una muestra en la cual se separó un poco como muestra inicial para su posterior tratamiento, obtuve los materiales que se consideraban desechos en el mercado municipal de Esmeraldas, ya obtenido la cascara de camarón, estopa de coco y esponja (luffa), se procedió a ser lavadas y secadas, se utilizó el techo de mi casa para realizar el secado de los materiales orgánicos del biofiltro, posteriormente las cascara de camarón se trituraron, la estopa de coco se la hizo fibra y la luffa fue recortada, con cada material se armó un biofiltro junto con un poco de carbón activado en cada biofiltro para experimentar cuál de los tres materiales tienen un mejor sistema de remoción de contaminantes del lixiviado se realizó cuatro filtraciones por cada biofiltro para llevar un conocimiento de la cantidad de contaminante removido hasta llegar a la cuarta filtración como muestra final para comparar los resultados de los otros biofiltros y seleccionar el mejor para su futura implementación y sirva como un sistema de recuperación de agua residuales y se pueda reutilizar el líquido para ser devuelto a un cuerpo de agua más grande.

Palabras claves: biofiltro, lixiviado, luffa

Abstract

The following experimental research was carried out in the city of Esmeraldas, province with the same name, Rioverde canton, a talk was held with the administrative body to obtain permission to carry out the project, and a visit to the waste dump was carried out. open-air garbage from the canton Rioverde to see the state of the leachate where a sample was subsequently obtained in which it was separated a little as an initial sample for subsequent treatment, I obtained the materials that were considered waste in the municipal market of Esmeraldas, already obtained The shrimp shell, coconut tow and sponge (Luffa), were washed and dried, the roof of my house was used to dry the organic materials of the biofilter, then the shrimp shells were crushed, the tow From coconut it was made fiber and the luffa was cut, with each material a biofilter was assembled together with a little activated carbon in each biofilter to experiment which of the The three materials have a better pollutant removal system from the leachate, four filtrations were performed for each biofilter to keep a knowledge of the amount of contaminant removed until reaching the fourth filtration as a final sample to compare the results of the other biofilters and the best be selected for future implementation and serve as a wastewater recovery system and the liquid can be reused to be returned to a larger body of water.

Key words: biofilter, leached, luffa

1. Introducción

Existe una problemática relacionada a la generación de residuos sólidos que ha escalado a nivel global, mismo que ha sido invisibilizada dentro de las prioridades de las localidades. Usualmente, los desechos sólidos tienen un ciclo; generación, acumulación temporal, luego recolección, transporte y por último termina con la acumulación final de los mismos. Este ciclo en su etapa final resulta perjudicial, ya que, a partir de la acumulación, se empiezan a producir impactos negativos en el sistema ecológico, puesto que los basureros o vertederos urbanos se convierten en focos permanentes de contaminación (Chamán, 2005).

Para reducir el impacto negativo que tienen las malas prácticas de manejo de desechos sólidos, se ha empezado a optimizar los procesos del ciclo antes mencionado, además de que se ha promovido la cultura del reciclaje la cual también involucra la reutilización de los lixiviados luego de un tratamiento. Sin embargo, en el cantón de Rioverde, no se ha formalizado por parte de las instituciones competentes, el uso de un “Plan de tratamiento de lixiviado rentable”, por lo que no existe una reutilización del mismo, es por ello, que en la presente investigación se busca evaluar de tres tipos de biofiltros, que serán elaborados con materiales abundantes en el medio y a su vez ecológicos (fibra de coco, cáscara de camarón, esponja) para así determinar cuál proporciona la mayor reducción de la contaminación de los lixiviados.

Se dará a conocer por medio del análisis físico – químico y microbiológico la cantidad de remoción de contaminantes que pueden sacar de una muestra de lixiviado para evaluar cual biofiltro da mejores resultados y a su vez en un futuro pueda servir como un sistema de recuperación de agua.

1.1 Antecedentes del problema

A medida que el desarrollo a nivel global se hace más evidente, 46,6% en países en vía de desarrollo en el Índice de desarrollo humano desde 1997- 2018, éste trae consigo una esperanza de vida mayor, lo que implica un mayor consumo de recursos y a su vez la generación de residuos aumenta, ya que se busca suplir de manera eficiente las necesidades de cada individuo (Martínez, *et al.*, 2014).

El avance de la tecnología permite la accesibilidad a muchos productos, debido a la facilidad y comodidad que se quiere brindar no se mide la generación de residuos, los mismos que terminan en por lo general en un botadero a cielo abierto. Hay que recalcar que la mayoría de los países en vía de desarrollo no cuentan con una buena gestión de los residuos sólidos, en consecuencia, se genera gran impacto sobre el ecosistema, afectando al recurso suelo, agua y aire. Los lixiviados se los encuentra cuando los desechos sólidos y orgánicos están en proceso de descomposición, los mismo que al percolarse contaminan directamente al suelo y posteriormente al agua (Martínez, *et al.*, 2014).

En el periodo 2002 al 2010 dentro del país 221 municipios 160 disponían sus desechos en botaderos a cielo abierto, lo que genera contaminación al ecosistema y por ende a los pobladores cercanos a estos sectores afectando su salud principalmente. Los municipios restantes (60) contaban con pocos criterios técnicos en el manejo adecuado de los desechos. Debido a esta problemática el Ministerio del Ambiente en el año 2009 comenzó procesos administrativos dentro de los municipios para que estos mejoren la disposición de sus desechos (MAE, 2014).

En el año 2010 se creó el Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS), con el cual se prioriza la buena gestión de los

desechos dentro de Ecuador, esto se lograría a través de estrategias, planes y actividades de capacitación que permitan hacer conciencia a la ciudadanía de la importancia de un buen manejo de los desechos, tanto para ellos como para el ecosistema en general (MAE, 2014).

En el 2016, a nivel nacional el 37,1% de GAD Municipales realizan los procesos de separación en la fuente. En la región Insular todos sus municipios han logrado implementar dichos procesos, sin embargo, la Costa no, ya que apenas el 9,5% de los municipios implementan estos procesos (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2016).

Entre las malas prácticas que generan problemáticas ambientales, se encuentra la inadecuada clasificación de desechos, ya que por lo general se acostumbra a mezclar todo tipo de residuos sin manejar una clasificación específica, es ahí donde los basureros empiezan a ser un problema que afecta paulatinamente los recursos naturales de un territorio. El fenómeno del mal manejo de desechos no permite que los habitantes de un territorio tengan un ambiente saludable en el cual desarrollarse ya que, a causa de la acumulación de residuos se propagan enfermedades vectoriales y pérdidas en el área verde usada también para la agricultura.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

El cantón Rioverde cuenta con un relleno mecanizado en un área de 3 ha ubicada en la cabecera parroquial, tiene una recepción de 19,5 ton/día y un pronóstico de vida de 4 años, el mismo que ya se cumplió, al mismo tiempo que las piscinas de lixiviados sin tratamientos que son puntos permanentes de

contaminantes y de mayor proporción en temporadas lluviosas por el desbordamiento del mismo (Municipio de Rioverde, 2016).

Existe una situación alarmante debido al mal manejo de desechos sólidos en el relleno sanitario de Rioverde, la culminación del ciclo de vida del relleno sanitario, lo que llevó a convertirse en un botadero a cielo abierto, esto involucra la llegada de vectores y contaminación al aire, suelo y agua; otro punto bastante considerable son los lixiviados ya que tienen un tratamiento poco o nada eficiente, cabe recalcar que existe una piscina de oxidación para el tratamiento del líquido residual pero ahí termina el proceso estando éste expuesto a la intemperie y posible filtración o desbordamiento por lluvia; a pesar de contar con el relleno se tienen casos de personas que toman otras opciones para la eliminación de los desechos; la arrojan a terrenos vacíos, la entierran, la queman, la arrojan a ríos (Sistema Nacional de Información, 2015).

1.2.2 Formulación del problema

¿Cuál de los tres prototipos permite obtener a través de la biofiltración del lixiviado un líquido que cumpla con los límites permisibles establecidos en el acuerdo 097 A?

1.3 Justificación de la investigación

Teniendo en cuenta la situación en la que se encuentra el relleno sanitario del cantón Rioverde y cada una de las problemáticas, el presente trabajo se orienta hacia la implementación de biofiltros que ayuden para el tratamiento y limpieza del lixiviado, para así posteriormente el agua obtenida, pueda ser utilizada en limpieza, riego entre otras actividades. A su vez se pretende concientizar a los usuarios sobre los efectos adversos que pueden generar los lixiviados.

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** Cantón Rioverde (Piscina de retención de lixiviado del botadero de basura a cielo abierto de Rioverde) (véase en figura 3).
- **Tiempo:** 11 meses. (Noviembre (2019) – septiembre (2020))
 - **Coordenadas:** Latitud: 1°05'30''S - Longitud: 79°40'49''W.

1.5 Objetivo general

Evaluar tres prototipos de biofiltros a través del cumplimiento de los límites permisibles para la reutilización del lixiviado del botadero de basura a cielo abierto del cantón Rioverde de la provincia de Esmeraldas.

1.6 Objetivos específicos

- Caracterizar los lixiviados generados en el cantón Rioverde a través de análisis físicos - químicos y microbiológicos para el conocimiento del estado inicial del tratamiento.
- Analizar la retención de contaminantes en los procesos de biofiltración mediante análisis físicos - químicos y microbiológicos para ser utilizado como sistema de recuperación de agua.
- Proponer el tratamiento más idóneo para la retención de contaminantes en el lixiviado.

1.7 Hipótesis

Por lo menos, un biofiltro muestra resultados favorables en el tratamiento y limpieza de lixiviado permitiendo obtener agua dentro de los límites permisibles del acuerdo 097 A, sirviendo como método alternativo y viable.

2. Marco teórico

2.1 Estado del arte

Ante la problemática acerca de la disposición final de los residuos sólidos se realizó un estudio en el relleno sanitario de la ciudad de Tuxtla Gutierrez, Chiapas, México. Se utilizó un biofiltro semi-aerobico, en donde se monitoreó por 8 meses consecutivos y se obtuvieron eficiencias de remoción del DQO entre 60 a 90 %. En consecuencia a estos resultados, se demostró que los biofiltros pueden ser utilizados como una alternativa sistemática para el pretratamiento de lixiviados (Lozano, Bautista, Díaz, Gutiérrez, y Martínez, 2016).

En el estudio realizado por Bautista (2018), se evaluó la eficiencia de remoción de materia orgánica en lixiviados de rellenos sanitarios de Tuxtla Gutiérrez – Chiapas, utilizando un sistema de biorreactores, para lo cual se clasificó los tipos de lixiviados bajo los siguientes parámetros DQO, DBO5, pH y alcalinidad; posteriormente, se monitoreó los materiales estabilizadores utilizados en los biorreactores (biofiltros). En este estudio se pudo evidenciar una remoción del 98%, es por esto, que teniendo en consideración el gran volumen de RSU que se generan diariamente, es posible considerarlo como una tecnología promisoría en el tratamiento de lixiviados y una alternativa amigable con el medio ambiente en el manejo de los residuos sólidos.

De acuerdo con el análisis realizado por Giraldo (2018), se describieron varias alternativas tecnológicas (AT) y sus variados beneficios desde un punto de vista equilibrando lo ambiental, higiénico y logístico. Se evidenció que la alternativa tecnológica tipo biorreactor (con biofiltros) es considerada por sus características como la mejor opción para la gestión de los residuos sólidos.

La investigación realizada en Santiago de Cali por García y Salazar (2018), explica a través de una revisión bibliográfica la importancia de realizar una caracterización de los lixiviados, ya que estos presentan una composición diferente en cada lugar donde se encuentren e incluso dentro del mismo relleno sanitario pueden presentar composición diferente, esto debido a la cantidad de residuos que lleguen o a la presencia de precipitaciones dentro de la zona. Además, se presentan los métodos por los cuales se puede tratar los lixiviados, mencionando que los procesos de filtración, que ayudan en la remoción de compuestos orgánicos e inorgánicos y con su concentración ocasional de metales pesados.

En el estudio de Dia, Drogui, Buelna, y Dubé (2018), aseguran que el proceso de electrocoagulación y biofiltración son la base de un eficiente tratamiento de lixiviados eliminando contaminantes orgánicos e inorgánicos. Mediante la aplicación de la electrocoagulación combinada con biofiltros se pudo remover el $37 \pm 2\%$ de la DQO total inicial, adicionalmente parámetros como la turbidez, el color verdadero, el zinc (Zn) y el fósforo (P) disminuyeron considerablemente por este método obteniéndose $82 \pm 2.7\%$, $60 \pm 13\%$, $95 \pm 2.6\%$ y $82 \pm 5.5\%$ de eliminación para cada parámetro.

En el análisis de medios porosos para la eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos, realizado por Emad, Fayq, y Rawaa (2018); se menciona que, el camarón es considerado como un componente de bioadsorción de metales pesados, los mismos que suelen encontrarse en los lixiviados por ende son una buena opción para la elaboración de biofiltros.

Para el tratamiento de aguas contaminadas, actualmente se hace uso de opciones eco-friendly. Por ello, dentro del estudio de Prodanovica, Zhangb, Hatta,

McCarthy, y Deleticab (2018), se probó el rendimiento en la eliminación hidráulica y de contaminantes de seis mezclas diferentes con medios de filtración base de coco y perlita en un experimento de columna, donde se evidenció que para un caudal bajo de agua contaminada se odia usar mayor proporción de fibra de coco, de forma contraria ocurría si el caudal era mayor, entonces, se tenía que usar una proporción menor de fibra de coco.

En un estudio realizado en la ciudad de Guayaquil, se evaluó la capacidad de la cáscara de camarón en la depuración de aguas de una industria procesadora de salsas. Mediante la utilización de métodos químicos se extrajo el quitosano en un 88% presente en el camarón que sirve como biocoagulante para ser usado en la descontaminación del agua. Es por ello, que es considerado una buena opción dentro del tratamientos de aguas en sus distintos usos (Rivera y Salazar, 2019).

En el trabajo de investigación de Mendez y Pozo (2019), se evaluó la capacidad de absorción de plomo de la cáscara de camarón, en el cual se demostró una adsorción del 96% en un lapso de 30 minutos, lo que lo convierte en una excelente opción para deshacerse de metales pesados sin necesidad de extraer quitina o quitosano de la materia prima ya que para muchos se muestra costosa su extracción.

2.2 Bases teóricas

2.2.1. Desechos sólidos.

Los desechos sólidos son todas aquellos productos, subproductos o sustancias provenientes de las actividades humanas, los cuales se encuentren en un estado semisólido y sólido (Correa y Lozano, 2019).

Torres (2018), lo define como un desperdicio solido o semisólido que puede generarse de una fuente animal o vegetal que puede degradarse.

2.2.2. Caracterización de residuos.

La caracterización es una actividad mediante la cual se hace una clasificación de los desechos de acuerdo a su composición, las más básica es dividirlos en orgánicos e inorgánicos luego este segundo grupo se lo puede separar de la siguiente manera; plástico, cartón, papel, desechos sanitarios, entre otros (Ministerio del Ambiente, 2016).

2.2.3. Residuos líquidos.

Estos están directamente ligados a las aguas generadas en las viviendas en la ducha, en el baño, el agua usada para lavar los platos, entre otras (Ecocentury, 2017).

2.2.4. Residuos peligrosos.

Estos son los que ocasionan afectaciones a las personas y al medio ambiente en general ante su exposición a ellos (Ecocentury, 2017).

2.2.5. Residuos reciclables.

Los residuos reciclables son aquellos a los que se les puede de una segunda vida, mediante una transformación de los mismos (Ecocentury, 2017).

2.2.6. Botadero.

También conocido como vertedero, es un sitio el cual se ha denominado para la disposición de los residuos, sin embargo, no cuenta con las estipulaciones técnicas establecidas para evitar la contaminación al ecosistema en general (Ministerio del Ambiente, 2016).

2.2.7. Relleno sanitario.

Es un lugar destinado para colocar los desechos, pero cuenta con las técnicas adecuadas para evitar la contaminación del medio ambiente (Ministerio del Ambiente, 2016).

Según Ullca (2006), es un lugar donde se dispone la basura en forma de capas, habiendo previamente impermeabilizado el suelo para evitar la contaminación de los acuíferos. Menciona, además, que la ejecución de esta técnica permite recuperar espacios degradados por actividades mieras.

2.2.8. Reciclaje.

Según la definición de Guerra (2018), es la actividad mediante la cual personas recolectan residuos catalogados como tal, luego estos son convertidos en otros productos dándoles una nueva vida útil a productos que antes fueron descartados.

Beneficios del reciclaje tocan dos puntos importantes, como lo son; i) económico, en el caso de las personas comunes al momento de no tener que comprar cierto producto al reciclarlo, en el caso de las empresas pueden ahorrar material al usar uno proveniente del reciclaje; ii) ambiental, al momento de reciclaje se reduce el uso de los recursos naturales y los no renovables, se evita la contaminación en la generación de nuevos productos (Villalba, Cepeda, Rodríguez, y Moreno, 2018).

2.2.9. Lixiviados.

Es un líquido proveniente de los rellenos sanitarios y su composición estará definida por la edad del relleno, el clima y el tipo de residuos que lleguen al vertedero (Richard, 2018). Dentro de sus características se encuentran algunas que son nocivas tanto para las personas como el ecosistema en general, es por eso que se trata de regular su disposición (Renoua, Givaudana, Poulaina, Dirassouyan, y Moulin, 2008).

2.2.10. Infiltración.

Es el proceso mediante el cual un líquido entra en los espacios (poros) en el suelo y se conduce hacia el interior del mismo pudiendo llegar a cuerpos de aguas subterráneos (Hölting y Coldewey, 2018).

2.2.11. Contaminación.

Es contaminación, la presencia de agentes que alteren de manera negativa al ecosistema y que sean perjudicial también para el ser humano, los mismos que pueden ser físicos, químicos biológicos (Cuidemos el planeta, 2018).

2.2.12. Biofiltro.

Son dispositivos diseñados según el caso a tratar, tienen como función la remoción de contaminantes del agua, para esto existen muchas combinaciones de materiales e incluso organismos que son utilizados para la elaboración de estos biofiltros (Herrera y Rey, 2018).

2.2.13. Propiedades de la cáscara de camarón.

El camarón más utilizado en la industria camaronera en países como México, y Ecuador es el *Litopenaeus vannamei*, mismo que llega a medir hasta 23cm representando hasta una producción nacional del 95% en esta industria. Es

conocido comúnmente como “camarón blanco del pacífico”, por lo general se lo encuentra en un ambiente marino y estuarino, pesa entre 30 y 45 g (Ibarra 2019).

Utilizar los desechos que genera la industria camaronera para purificar aguas residuales a un bajo costo es posible en Ecuador. propone convertir la cáscara de camarón en una alternativa sostenible, sustentable y amigable con el medioambiente (Álava, 2015).

Las cascara de camarón posee propiedades de alta calidad que reemplazan ciertos productos químicos por algo natural, entre los principales están; el contenido de quitina y quitosano que puede ser usado como bio-coagulante, también tienen la capacidad de absorber ciertos metales pesados (Álava, 2015).

El tiempo de saturación del filtro (cuando la cáscara ya no tiene la capacidad de absorber más metales) en laboratorio ha sido de dos horas, pero a nivel industrial el tiempo de saturación será mayor porque se utilizarían más cantidades de cáscara en diferentes tipos de caudal. Con esto podemos reducir los metales que llegan a los ríos (Gómez S. A., 2017).

2.2.14. Propiedades de la fibra de coco.

El coco es una fruta comestible obtenida del cocotero, la palmera más cultivada a nivel mundial. La especie utilizada fue *Coco naci*era, misma que es una palmera perteneciente a la familia de las Arecaceae. Su presencia es muy notoria en climas tropicales y se las pueden encontrar en el mar Caribe, océano Índico y Pacífico. En cuanto a sus características físicas, ésta puede llegar a tener una altura de hasta 5 metros, las flores del cocotero son poligamomonoecias, con las flores masculinas y femeninas en la misma inflorescencia (Aulestia 2020).

Tiene dos cáscaras: una externa que es fibrosa y verde (estopa), y otra interna que es dura, vellosa y marrón que tiene adherida la pulpa, que es blanca y aromática, la que almacena el contenido de agua (hueso) (Alas, 2010).

Sus principales componentes son la celulosa y lignina. Esta última, provee la resistencia y rigidez a la fibra. Se encuentra dentro de la categoría de fibras fuertes igual que el henequén, pita, agave y abacá. Estas características, hacen que la fibra de coco sea un material versátil que puede ser utilizado en cuerdas, colchones, alfombras, cepillos, entre otros (Alas, 2010).

La capacidad de usarse como filtro de aguas contaminadas es bastante aceptable, ayuda a la reducción de DBO₅ y DQO. Contribuye en la reducción del cromo, además, presenta alta durabilidad por lo que puede estar en procesos de filtración de hasta 60 días (Yanza, 2017).

2.2.15. Propiedades del carbón activado.

Los carbones activados se obtienen de materiales con alto contenido de carbón como carbones, petróleo y desechos vegetales o animales mediante tratamientos químicos o físicos que incrementan su porosidad de manera que puedan adsorber una gran cantidad de sustancias (Colpas, Tarón, y González, 2017).

El carbón activado presenta buena capacidad de absorción frente a cuerpos de aguas residuales, en la cuales ayuda en la remoción de DQO y cromo (Mera, 2018).

Una de las alternativas es el uso de residuos agrícolas, como precursores de carbones activados. Se ha comprobado que estos materiales lignocelulósicos son precursores idóneos para la producción de carbones activados con alta porosidad, además han sido usados exitosamente en la adsorción de contaminantes de aguas (Gerardo, Marlene, Velásquez, Julio, y Santiago, 2016).

2.2.16. Propiedades de luffa.

Es conocida como la esponja de la naturaleza, u nombre científico es *Luffa aegyptiaca*. Se adapta perfectamente en un clima tropical ya que necesita abundante calor y humedad para desarrollarse. Los frutos de esta planta llegan a tener una longitud de 30 centímetros, cabe mencionar que al secarse estos frutos se convierten en un material fibroso, mismo que por sus características sirve como sustituto de las esponjas sintéticas (luffa, 2018).

Esta esponja es originaria del viejo mundo Asia o África, sus frutos suelen arrojar longitudes entre los 10 a 30 por 4 a 7 cm, grandes, cilíndricos, verdes con bandas verde oscuro y manchas verdes claro, posteriormente tornándose pardas, con dehiscencia (apertura) en un poro terminal, secos, con el interior fibroso; pedúnculo de 2 a 15 cm de longitud (Janick y Paull 2008).

Es una planta con características anuales, mismas que le permite florecer y echar frutos durante todo el año en las condiciones adecuadas. Desde el punto de vista biológico, se la considera como una planta oportunista que es trepadora y se beneficia de otras plantas (Janick y Paull 2008).

Utilizar fibras de luffa para el tratamiento de agua potable y de aguas residuales industriales, destacando que sus ventajas adicionales se refieren a su economía, no toxicidad, sostenibilidad y biodegradabilidad. La luffa es un bio-adsorbente eficaz, capaz de retener metales pesados en sus nano-fibras. (Ricardo, Juan, & Diego, 2017).

2.3 Marco legal

2.3.1. Constitución de la República del Ecuador.

Título quinto

Sección cuarta

Art. 264.- Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:

1. Planificar el desarrollo cantonal y formular los correspondientes planes de ordenamiento territorial, de manera articulada con la planificación nacional, regional, provincial y parroquial, con el fin de regular el uso y la ocupación del suelo urbano y rural.
2. Ejercer el control sobre el uso y ocupación del suelo en el cantón.
3. Planificar, construir y mantener la vialidad urbana.
4. Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley.

Capítulo segundo

Biodiversidad y recursos naturales

Sección primera

Naturaleza y ambiente

Art. 397.- Para garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, el Estado se compromete a:

Establecer mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios naturales degradados y de manejo sustentable de los recursos naturales.

Regular la producción, importación, distribución, uso y disposición final de materiales tóxicos y peligrosos para las personas o el ambiente.

Sección séptima

Agua

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua.

Sección séptima

Biosfera, ecología urbana y energías alternativas

Art. 413.- El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.

Art. 415.- Los gobiernos autónomos descentralizados desarrollarán programas de uso racional del agua, y de reducción reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos.

2.3.2. Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización, COTAAD.

Art. 54.- Funciones. - Son funciones del gobierno autónomo descentralizado municipal las siguientes:

k) Regular, prevenir y controlar la contaminación ambiental en el territorio cantonal de manera articulada con las políticas ambientales nacionales;

Art. 137 Párrafo IV.- Las competencias de prestación de servicios públicos de alcantarillado. Depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, y actividades de saneamiento ambiental, en todas sus fases, las ejecutarán los

gobiernos autónomos descentralizados municipales con sus respectivas normativas. Cuando estos servicios se presten en las parroquias rurales se deberá coordinar con los gobiernos autónomos descentralizados parroquiales rurales.

2.3.3. Código Orgánico Ambiental COA.

Capítulo II

De las facultades ambientales de los gobiernos autónomos descentralizados

Art. 27.- En el marco de sus competencias ambientales exclusivas y concurrentes corresponde a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Metropolitanos y Municipales el ejercicio de las siguientes facultades, en concordancia con las políticas y normas emitidas por los Gobiernos Autónomos Provinciales y la Autoridad Ambiental Nacional:

Elaborar planes, programas y proyectos para los sistemas de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de residuos o desechos sólidos.

Capítulo V

Calidad de los componentes abióticos y estado de los componentes bióticos

Art. 196.- Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales deberán contar con la infraestructura técnica para la instalación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales, de conformidad con la ley y la normativa técnica expedida para el efecto. Asimismo, deberán fomentar el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, siempre y cuando estas recuperen los niveles cualitativos y cuantitativos que exija la autoridad competente y no se afecte la salubridad pública. Cuando las aguas residuales no puedan llevarse al sistema de alcantarillado, su tratamiento deberá hacerse de modo que no perjudique las fuentes receptoras, los suelos o la vida silvestre.

Título V

Gestión Integral de Residuos y Desechos

Capítulo I

Disposiciones generales

Art. 225.- Políticas generales de la gestión integral de los residuos y desechos. Serán de obligatorio cumplimiento, tanto para las instituciones del Estado, en sus distintos niveles y formas de gobierno, regímenes especiales, así como para las personas naturales o jurídicas, las siguientes políticas generales:

El fomento al desarrollo del aprovechamiento y valorización de los residuos y desechos, considerándolos un bien económico con finalidad social, mediante el establecimiento de herramientas y mecanismos de aplicación.

El estímulo a la aplicación de buenas prácticas ambientales, de acuerdo con los avances de la ciencia y la tecnología, en todas las fases de la gestión integral de los residuos o desechos.

Capítulo II

Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos no Peligrosos

Art. 231.- Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Metropolitanos serán los responsables del manejo integral de residuos sólidos no peligrosos y desechos sanitarios generados en el área de su jurisdicción, por lo tanto, están obligados a fomentar en los generadores alternativas de gestión, de acuerdo al principio de jerarquización, así como la investigación y desarrollo de tecnologías. Estos deberán establecer los procedimientos adecuados para barrido, recolección y transporte, almacenamiento temporal de ser el caso, acopio y transferencia, con enfoques de inclusión económica y social de sectores vulnerables. Deberán dar tratamiento y correcta disposición final de los desechos que no pueden ingresar nuevamente en un ciclo de vida productivo, implementando los mecanismos que permitan la trazabilidad de los mismos. Para lo cual, podrán conformar mancomunidades y consorcios para ejercer esta responsabilidad de conformidad con la ley. Asimismo, serán responsables por el desempeño de las personas contratadas por ellos, para efectuar la gestión de residuos y desechos sólidos no peligrosos y sanitarios, en cualquiera de sus fases.

2.3.4. Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua

Capítulo III

Derechos de la naturaleza

Art. 64.- Conservación del agua. La naturaleza o Pacha Mama tiene derecho a la conservación de las aguas con sus propiedades como soporte esencial para todas las formas de vida. En la conservación del agua, la naturaleza tiene derecho a:

- a) La protección de sus fuentes, zonas de captación, regulación, recarga, afloramiento y cauces naturales de agua, en particular, nevados, glaciares, páramos, humedales y manglares;
- b) El mantenimiento del caudal ecológico como garantía de preservación de los ecosistemas y la biodiversidad;
- c) La preservación de la dinámica natural del ciclo integral del agua o ciclo hidrológico;
- d) La protección de las cuencas hidrográficas y los ecosistemas de toda contaminación; y,
- e) La restauración y recuperación de los ecosistemas por efecto de los desequilibrios producidos por la contaminación de las aguas y la erosión de los suelos.

2.3.5. Acuerdo Ministerial 097-A Refórmese el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA): 2015

5.2.4 Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce

5.2.4.1 Dentro del límite de actuación, los municipios tendrán la facultad de definir las cargas máximas permisibles a los cuerpos receptores de los sujetos de control, como resultado del balance de masas para cumplir con los criterios de calidad para defensa de los usos asignados en condiciones de caudal crítico y cargas contaminantes futuras. Estas cargas máximas serán aprobadas y validadas por la Autoridad Ambiental Nacional y estarán consignadas en los permisos de descarga. Si el sujeto de control es un

municipio, este podrá proponer las cargas máximas permisibles para sus descargas, las cuales deben estar justificadas técnicamente; y serán revisadas y aprobadas por la Autoridad Ambiental Nacional.

5.2.4.9 Las aguas residuales que no cumplan con los parámetros de descarga establecidos en esta Norma, deberán ser tratadas adecuadamente, sea cual fuere su origen: público o privado. Los sistemas de tratamiento deben contar con un plan de contingencias frente a cualquier situación que afecte su eficiencia.

3. Materiales y métodos

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

3.1.1.1. Investigación documental

La investigación documental basa su desarrollo en la búsqueda de documentos y personas oficiales, así mismo dentro de la presente investigación se busca obtener la información a través de artículos científicos, tesis de pregrado, tesis de posgrado, tesis de maestrías, doctorados, artículos de periódicos (Parraguez, Chunga, Flores, y Romero, 2017).

3.1.1.2. Investigación descriptiva

Este tipo de investigación se basa en hechos, realizando una interpretación correcta de esos hechos, descubriendo algunas características fundamentales de conjuntos similares de fenómenos, de modo que, en la presente investigación se busca demostrar si los biofiltros disminuyen la carga contaminante de los lixiviados como lo demuestran otros autores en diferentes condiciones (Tamayo, 2004).

3.1.1.3. Investigación experimental

Este tipo de investigación pone en situación controlada variables independientes. Las mismas que serán sometidas a varios estímulos y posteriormente se medirá las reacciones; en consecuencia, a través del uso de la investigación experimental se realizará prueba con tres filtros diferentes los mismos que estarán compuestos de material biodegradable para tratar lixiviados como lo son; fibra de coco, esponja, cascara de camarón (Gómez M., 2006).

3.1.1.4. Diseño de investigación

La presente investigación se considera como un trabajo experimental, debido a que se evaluó la eficiencia de tres tipos de biofiltros que fueron aplicados en

lixiviados provenientes del relleno sanitario de Rioverde, con los cuales se logró la remoción de contaminantes, obteniendo un agua dentro de los parámetros establecidos en el acuerdo 097 A. Los biofiltros están elaborados con materiales biológicos (cáscara de camarón, fibra de coco y carbón activado).

3.2 Variables

3.2.1 Variable independiente

- Muestras de lixiviado (ml)
- Temperatura (C°)
- Humedad (%)
- Frecuencia de filtraciones (n veces)

3.2.2 Variable dependiente

- Sólidos totales (mg/L)
- Coliformes fecales (NMP/ml)
- Turbidez (NTU)
- Potencial hidrogeno pH (Niveles de pH)

3.2.3 Tratamientos

En la tabla 1, se observan los tres tratamientos planteados para la presente investigación en los cuales se usará material biodegradable, como lo son cáscara de camarón, fibra de coco y esponja adicionando carbón activado.

Tabla 1. Tratamientos a usar

Tratamiento	Coagulante	Porcentaje aproximado
T1	Cáscara de camarón + carbón activado	70% + 30%
T2	Fibra de coco + carbón activado	70% + 30%
T3	Esponja + carbón activado	70% + 30%

Tabla de porcentajes de materiales orgánicos que se usó para realizar el biofiltro Almeida, 2020.

3.2.4 Diseño experimental

Dentro de la presente investigación se utilizó un diseño completamente al azar ya que se usarán tres tratamientos diferentes con cuatro repeticiones cada uno.

3.2.5 Recolección de datos

La recolección de las muestras de lixiviados se realizó in situ, siguiendo lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoria INEN 2169, para calidad de agua y muestreo, manejo y conservación de las muestras. Se ejecutó muestreos puntuales en las piscinas de almacenamiento de lixiviado del relleno sanitario del cantón Rioverde, en el cual se tomó un volumen aproximado de 16 litros. Luego de esto fueron llevadas al laboratorio de la Universidad Agraria del Ecuador para la caracterización previa y posterior a los tratamientos, mismas que serán comparadas con los límites permisibles expuestos en el Acuerdo Ministerial 097 A.

3.2.5.1. Recursos

Para llevar a cabo la presente investigación se hará uso de:

- **Recursos humanos:** Tutor asignado para dirigir el trabajo (Ing. Diego Arcos Jácome) y estudiante que realizará el trabajo (Sr. Max Almeida),
- **Recursos materiales:** Cuaderno, guantes, mascarillas, gorros, toalla de papel, recipientes (botellas de polietileno de alta densidad de 1 litro), vasos de precipitación, jeringas, agitador magnético, filtros para sólidos suspendidos, filtros de fibra de vidrio, botas de caucho, hielo, placas petrifilm, muestras de lixiviado.
- **Recursos bibliográficos:** Tesis de grado, artículos de revistas, libros, sitios web, leyes, entre otros.

Equipos: Laptop, impresora, cronómetro, pH metro, turbidímetro, matraz, pipeta, probeta, balanza analítica, balde, molino, estufa, bomba de vacío, incubadora, contador de colonias.

3.2.5.2 Métodos y técnicas

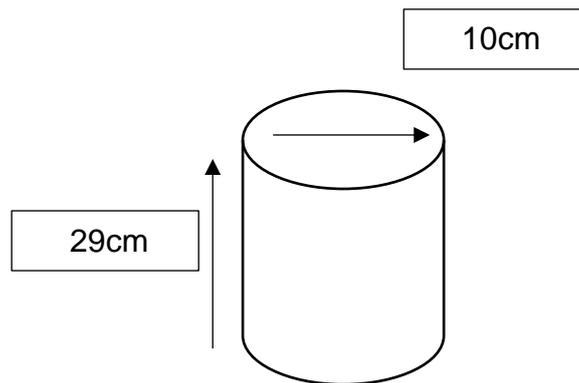
A continuación, se observa el diagrama de flujo del procedimiento a ejecutarse para la realización de la tesis.



Figura 1. Diagrama de proceso de la tesis
Almeida, 2020.

- **Búsqueda de información:** Dentro de este punto se buscó toda la información necesaria para ampliar los conocimientos acerca del tema y crear una investigación de calidad, para lo cual se usó de libros, revistas científicas, documentos de sitios web, sitios web, entre otros.
- **Recolección de material para filtros:** Se recolectó el material suficiente para la elaboración de los filtros, los mismos que son las cáscaras de camarón, fibra de coco y esponja.

- **Tratamiento previo del material para filtros:** En esta etapa se sometió a los materiales del filtro a un secado, buscando que tengan la menor cantidad de humedad posible. Este proceso duró 3 días para la fibra de coco y la esponja luffa 24h, en cuanto a la cascará de camarón 48h.
- **Elaboración de biofiltros:** Se fabricaron los biofiltros con el uso de botellas plásticas de 2 L, misma que tienen una altura de 29cm y un diámetro de 10cm.



- **Tomas de muestras de lixiviados:** La toma de muestras se realizó con un muestreo aleatorio simple, teniendo en cuenta el volumen de piscina de lixiviados (16.77 m³), aplicando la siguiente fórmula se determinó el tamaño de la muestra:

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 N_{pq}}{e^2(N - 1) + Z_{\alpha}^2 pq}$$

Dónde: n = Tamaño de la muestra

Z₂ = Valor Z asociado al nivel de significancia (99% de confianza =2,576)

N = Universo de la población (16.77 m³)

e² = Error de distribución (0,01)

p = Probabilidad de éxito (0,5)

q = Probabilidad de fracaso (0,5)

$$n = \frac{(2,576)^2 (16,77\text{m}^3)(0,5)(0,5)}{(0,01)^2(16,77\text{m}^3 - 1) + (2,576)^2 (0,5)(0,5)}$$

$$n = \frac{27,820}{1,66} = 16,75_L$$

- **Caracterización de lixiviados:** Para llevar a cabo esta actividad se trasladó las muestras al laboratorio de la Universidad Agraria del Ecuador, donde se realizó los análisis para los parámetros establecidos.

Sólidos totales (mg/L)

Potencial hidrogeno pH (Niveles de pH)

Coliformes totales (NMP/ml)

Turbidez (NTU)

Parámetro físico: (Turbidez)

Turbidez (NTU)

Para la medición de la turbidez se utilizó el turbidímetro portátil marca: Hach, ya que brinda una facilidad de uso y precisión incomparables en la medición de la turbidez, los resultados serán expresados en NTU (Hach, 2019). Para la medición de las muestras serán puestas en vasos de precipitación de 250 ml.

Parámetros Químicos: (pH, sólidos totales)

El pH.

Para la medición del pH se utilizó el método potenciométrico, donde se pusa la muestra en vasos de precipitación de 250 ml y luego se proseguió a utilizar el pH-metro portátil marca Oakton, ya que en la medición del pH tiene resultados perfectos (Biomed Instruments, 2019).

Sólidos totales (mg/l)

Para la medición de los sólidos totales se empleó la Estufa Convección Natural marca Poleco a una temperatura de 105 °C. Las muestras para ser medidas fueron

puestas en capsulas de porcelana de 250 ml. Para su cálculo se aplicó la siguiente fórmula (Guzmán, Renderos, y Guerrero, 2005):

$$\text{Sólidos totales mg/L} = \frac{(b-a)*1000}{\text{ml de muestra}}$$

Donde:

A: Peso de la cápsula vacía.

B: Peso de la cápsula más el residuo.

Parámetro Microbiológico

Coliformes fecales (NMP)

La medición de parámetros biológicos como los coliformes fecales se realizó mediante las placas 3M Petrifilm Cat 6414 (3M Ciencia Aplicada a la vida, 2017).

Las muestras fueron puestas envases acondicionados, donde con el transfer pipetas se colocaron hacia las placas 3M Petrifilm Cat 6414 y luego pasaron por una incubadora donde se esperó los resultados correspondientes.

Consiste que la muestra pase por un proceso específico de inoculación, incubación y por último la interpretación de los resultados que fueron expresados en NMP/100. Este proceso y los resultados de este método son eficaces y confiables ya que permite separar los tipos de coliformes presentes en el agua, detallándolos con colores como indicador (3M Ciencia Aplicada a la vida, 2017).

Ejecución de ensayo: En la ejecución del ensayo se aplicó los tres filtros para el lixiviado, se realizó las 4 filtraciones para la obtención de agua con una calidad aceptable, para así medir la eficiencia de cada uno de los filtros.

Análisis post-tratamiento del lixiviado.

Luego de la aplicación del ensayo se realizó una caracterización del lixiviado resultante y determinar si los filtros son o no eficientes para el tratamiento de los mismos.

Realización de propuesta para el tratamiento de lixiviados.

Finalmente, mediante un análisis de los resultados obtenidos se realizó una propuesta con el filtro de mayor eficiencia para el tratamiento de lixiviados.

3.2.6 Análisis estadístico

Se usó un análisis estadístico descriptivo e inferencial, donde la primera se usó para representar gráficamente los datos, por otro para lado el análisis inferencial se planteó un modelo matemático basándonos en el diseño completo al azar a través de la prueba de ANOVA, debido a que se probaron tres filtros y su influencia en la descontaminación del lixiviado, planteándose las siguientes hipótesis;

Ho: La capacidad de remoción de contaminantes en los tres filtros es igual.

Ha: La capacidad de remoción de contaminantes en al menos uno de los tres filtros es diferente.

4. Resultados

4.1 Caracterización de los lixiviados generados en el cantón Rioverde a través de análisis físico, químico y biológico antes del tratamiento.

Para realizar el análisis previo acerca del estado de los lixiviados presentes en el relleno sanitario del cantón Rioverde, se procedió a definir el área de estudio, misma que se encuentra ubicada en la cabecera parroquial manteniendo una recepción aproximada de 19,5 ton/día de desechos sólidos. Para ello se procedió a su identificación a través del software Google Earth.

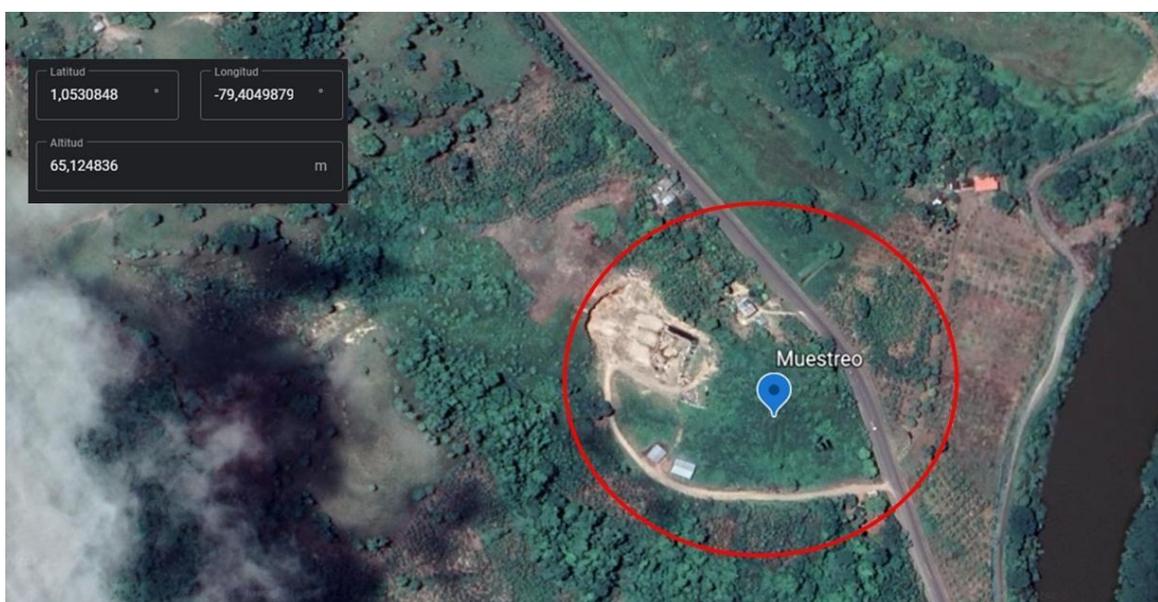


Figura 2. Punto de muestreo, para la ejecución del muestreo se siguió las medidas establecidas en el Acuerdo Ministerial 097A, entonces se procedió a tomar una muestra puntual en la piscina de lixiviado ubicada en el relleno sanitario, luego fue llevada al laboratorio y se analizaron los parámetros establecidos previamente obteniéndose los siguientes resultados. Almeida, 2020.

Tabla 1. Caracterización inicial de lixiviado

Parámetro	Unidad	Resultado inicial
Ph	mg/L	<8.03
Coliformes fecales	NMP/100ml	2700
Turbidez	NTU	628
Sólidos totales	mg/L	8005.1

En la tabla se muestra el estado inicial del lixiviado para conocer los valores en los cuales se comparará con los resultados obtenidos en el proceso de biofiltración de los diferentes prototipos de biofiltros.

Almeida, 2020.

4.2 Análisis de la retención de contaminantes después de los procesos de biofiltración mediante análisis físico - químicos y microbiológico.

Dentro del segundo objetivo se realizó la medición de los parámetros de evaluación, luego de la utilización de cada uno de los biofiltros aplicando cuatro repeticiones en cada uno, obteniéndose los resultados que se presentan en las siguientes tablas y figuras.

Para mejor comprensión de las tablas se usó acrónimos los cuales se definen de la siguiente manera:

NF= Número de filtraciones

FC= Fibra de coco

EL= Esponja luffa

C= Camarón

4.2.1 Parámetro físico.

Tabla 2. Resultados de turbidez

NF	Biofiltros			Unidad
	FC	EL	C	
1	38.9	22.5	78.9	NTU
2	8.66	15.9	50.1	NTU
3	6.57	10.7	42.8	NTU
4	4.23	10.1	29.3	NTU

En la tabla se muestran los datos obtenidos de turbidez luego de la aplicación de los biofiltros FC (fibra de coco), EL (esponja Luffa) y C (camarón), notándose que, los valores más bajos se encuentran en la cuarta repetición y el biofiltro con mejor remoción de turbidez es FC.

Almeida, 2020.

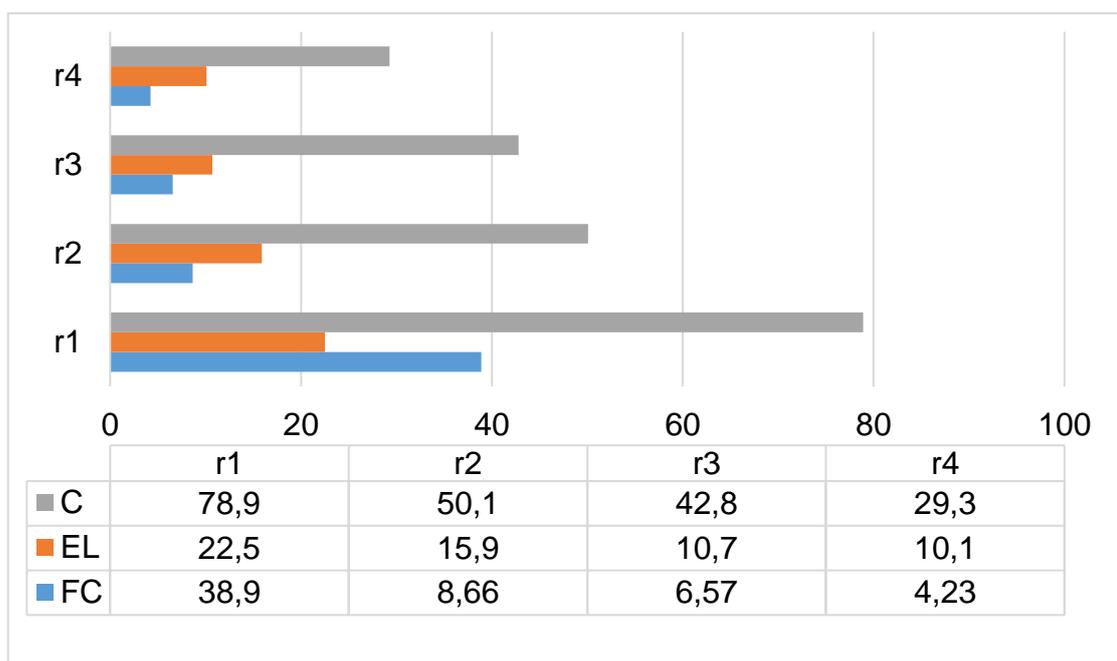


Figura 3. Resultados de turbidez, en la figura se aprecia la eficiencia de los biofiltros referentes a turbidez, en las repeticiones realizadas, se demostró que los niveles de turbidez disminuyen en cada repetición, sin embargo, la mayor remoción se logró con la aplicación de FC.

Almeida, 2020.

Tabla 3. Análisis estadístico de Turbidez

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3375,92	2	1687,96	6,87	0,0155
biofiltro	3375,92	2	1687,96	6,87	0,0155
Error	2212,44	9	245,83		
Total	5588,36	11			

En la tabla se observa el análisis estadístico realizado mediante la aplicación de ANOVA, mismo que nos indica que existe diferencia significativa entre los tipos de biofiltros aplicados ya que se tiene un p-valor menor al nivel de significancia (0.05). Almeida, 2020.

Tabla 4. Test de Duncan para turbidez

Biofiltro	Medias	n	E.E.	
FC	14,59	4	7,84	A
EL	14,8	4	7,84	A
C	50,28	4	7,84	B

Adicionalmente se aplicó el test de Duncan donde se halló similitud entre el tratamiento FC y EL estadísticamente hablando. Almeida, 2020.

4.2.2 Parámetro químico.

Tabla 5. Resultados de pH

NF	Biofiltros		
	FC	EL	C
1	7.60	7.28	7.54
2	7.57	7.26	7.16
3	7.43	7.04	6.74
4	7.30	6.87	6.67

En la tabla 5, se observan los resultados de pH luego de la aplicación de los biofiltros FC (fibra de coco), EL (esponja luffa) y C (camarón), notándose que, los valores más bajos se encuentran en la cuarta repetición y el pH más estable se consiguió con el biofiltro EL en la tercera repetición. Almeida, 2020.

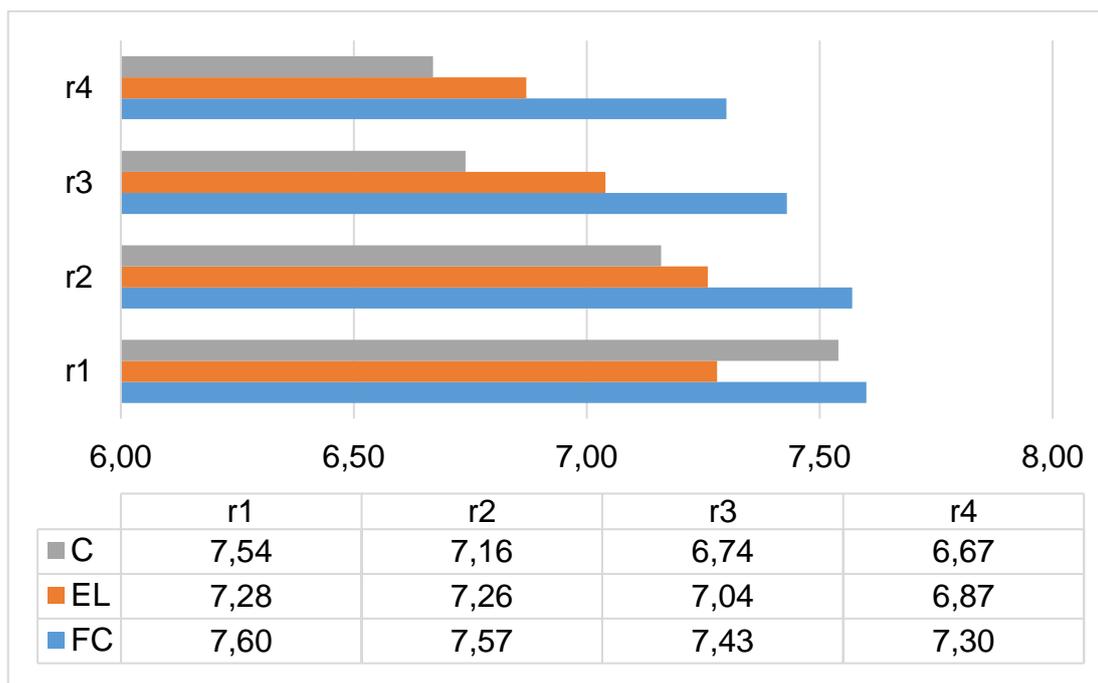


Figura 4. Resultados de pH, muestra el comportamiento del pH en cada una de las repeticiones tras la utilización de los biofiltros (FC, EL, C). Almeida, 2020.

Tabla 6. Análisis estadístico de pH

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3375,92	2	1687,96	6,87	0,0155
Biofiltro	3375,92	2	1687,96	6,87	0,0155
Error	2212,44	9	245,83		
Total	5588,36	11			

Es posible observar el análisis estadístico realizado mediante la aplicación de ANOVA, mismo que manifiesta diferencia significativa entre los pH obtenidos tras la utilización de los tres tipos de biofiltros aplicados ya que se tiene un p-valor menor al nivel de significancia (0.05).

Almeida, 2020.

Tabla 7. Test de Duncan para pH

Biofiltro	Medias	n	E.E.	
FC	14,59	4	7,84	A
EL	14,8	4	7,84	A
C	50,28	4	7,84	B

Se usó el test de Duncan donde se encontró similitud entre el tratamiento FC y EL estadísticamente hablando.

Almeida, 2020.

Tabla 8. Resultados de sólidos totales

NF	Biofiltros			Unidad
	FC	EL	C	
1	1041,83	1001,78	2102,02	mg/L
2	701,15	660,93	1001,65	mg/L
3	470,77	378,26	521,49	mg/L
4	120,81	20,38	311,33	mg/L

En la tabla se observan los resultados obtenidos de pH luego de la aplicación de los biofiltros FC (fibra de coco), EL (esponja luffa) y C (camarón), percatándose que, los valores más bajos se encuentran en la cuarta repetición y la menor proporción de sólidos suspendidos se consiguió con el biofiltro “EL” en la cuarta repetición, sin embargo, FC también mostró una reducción considerable.

Almeida, 2020.

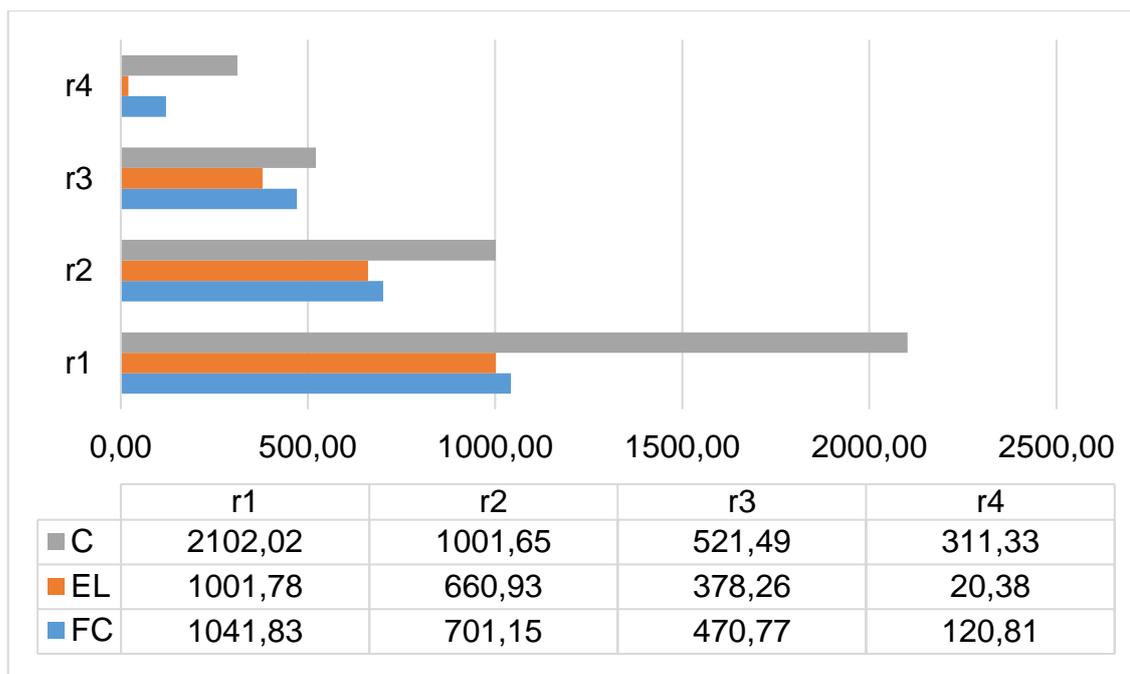


Figura 5. Resultados de sólidos suspendidos, expresa el comportamiento de los sólidos disueltos en cada repetición luego de la aplicación de los tres biofiltros, obteniendo una mayor remoción en la cuarta repetición. Almeida, 2020.

Tabla 9. Análisis estadístico de sólidos suspendidos

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	513081,1	2	256540,6	0,8	0,4792
Biofiltro	513081,1	2	256540,6	0,8	0,4792
Error	2888975	9	320997,2		
Total	3402056	11			

En la tabla se muestra el análisis estadístico realizado mediante la aplicación de ANOVA, el cual expresa que no hay diferencia significativa entre los resultados obtenidos tras la utilización de los tres tipos de biofiltros aplicados ya que se tiene un p-valor mayor al nivel de significancia (0.05). Almeida, 2020.

Tabla 10. Test de Duncan

Biofiltro	Medias	n	E.E.	
EL	515,34	4	283,28	A
FC	583,64	4	283,28	A
C	984,12	4	283,28	A

El test de Duncan halló similitud entre los tres tratamientos estadísticamente hablando. Por lo tanto, todos los tratamientos ayudan a disminuir los sólidos totales en cada repetición.

Almeida, 2020.

4.2.3 Parámetro microbiológico.

Tabla 11. Resultados de coliformes

NF	Biofiltros			Unidad
	FC	EL	C	
				NMP/100ml
1	1900	200	800	NMP/100ml
2	1700	80	400	NMP/100ml
3	1400	0	400	NMP/100ml
4	900	0	300	NMP/100ml

En la tabla se observan los resultados obtenidos para coliformes en cada una de las repeticiones aplicadas con cada uno de los filtros (FC, EL, C).

Almeida, 2020.

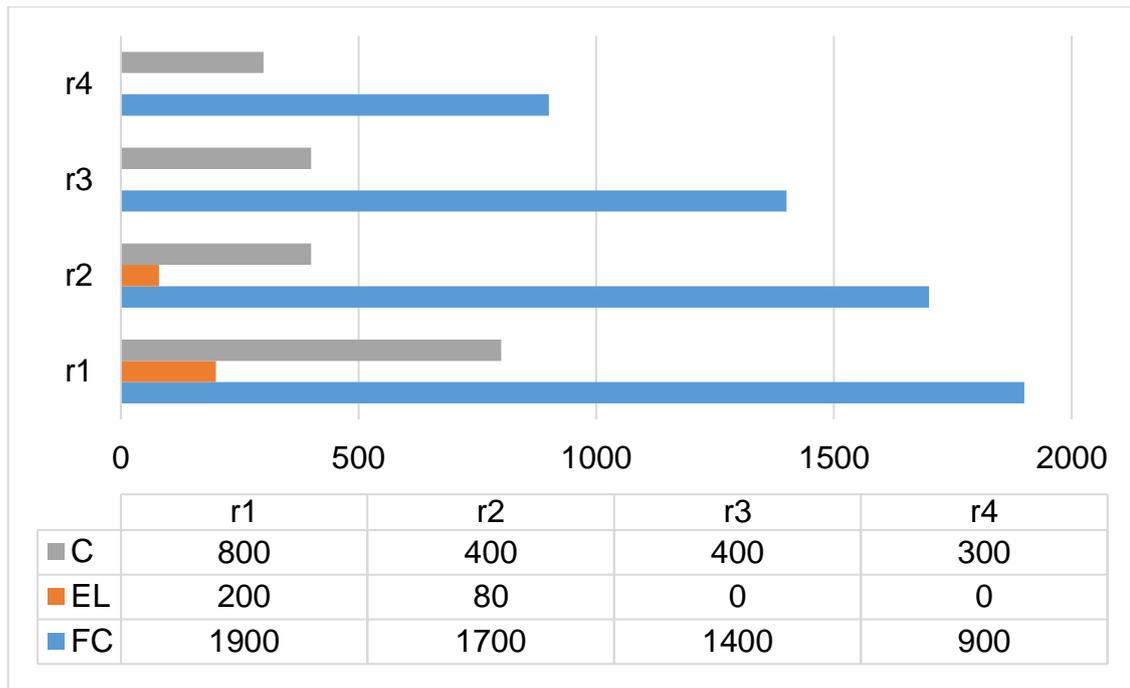


Figura 6. Resultados de coliformes, es posible distinguir que en r3 y r4 del biofiltro “EL” se eliminó por completo la presencia de coliformes en el lixiviado. Almeida, 2020.

Tabla 12. Análisis estadístico para coliformes

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4184067	2	2092033	25,38	0,0002
Biofiltro	4184067	2	2092033	25,38	0,0002
Error	741800	9	82422,22		
Total	4925867	11			

En la tabla se muestra el análisis estadístico realizado a través de ANOVA, expresa diferencia significativa entre los resultados obtenidos tras la utilización de los tres tipos de biofiltros aplicados ya que se tiene un p-valor menor al nivel de significancia (0.05).

Almeida, 2020.

Tabla 13. Test de Duncan para coliformes

Biofiltro	Medias	n	E.E.	
EL	70	4	143,55	A
C	475	4	143,55	A
FC	1475	4	143,55	B

En el test de Duncan se encontró similitud entre las medias de los tratamientos “FC” y “C”.

Almeida, 2020.

4.2.4. Eficiencia en remoción

Mediante el análisis de los resultados estadísticos y de laboratorio realizados se encontró que el biofiltro “FC” es eficiente en la remoción de turbidez, así como el biofiltro de “EL” lo es para pH, sólidos totales y coliformes. Al elaborar una comparación con los límites perdibles se comprueba que al utilizar los biofiltros los lixiviados quedan dentro de los límites permisibles y éstos pueden ser arrojados al río directamente (ver tabla 14)

Tabla 14. Contraste entre los tratamientos más eficientes y la norma

Parámetros	Antes	Después	Acuerdo 097A
Turbidez (NTU)	628	4,23	100
Ph	8	7,04	6-9
Coliformes (NMP/100ml)	2700	0	2000
Sólidos totales (mg/L)	8005,1	20,38	1600

Es posible observar la comparación entre los datos previos a la utilización de los biofiltros, los datos obtenidos luego del proceso de biofiltración, los límites máximos permisibles por el acuerdo 097A. Puesto que, tenemos un parámetro que no sobrepasa la normativa (pH) es importante resaltar que se lo estabilizó bastante luego de pasar por el proceso. Por otro lado, en cuanto a los demás parámetros se lograron los siguientes porcentajes de remoción; en turbidez un 99,33%, para coliformes un 100% y para sólidos totales un 99,75%.

Almeida, 2020.

4.3 Proponer el tratamiento más idóneo para la retención de contaminantes en el lixiviado.

Para el proceso de descontaminación de lixiviados del relleno sanitario de Rioverde se propone un tratamiento mediante la utilización de un biofiltro a base de Esponja luffa (70%) y carbón activado (30%), debido a que mostró los mejores resultados en cuanto a remoción de los parámetros establecidos. De esta manera se plantea como objetivo la disminución de los indicadores determinados permitiendo que éstos se encuentren dentro de los límites autorizados por el Acuerdo Ministerial 097A, para ello se tomó en cuenta los análisis de laboratorios realizados, la cantidad de lixiviados generados en el relleno sanitario y se definió las especificaciones para el mejor biofiltro.

4.4 Efectividad del biofiltro.

La efectividad del biofiltro se definió al sacar el porcentaje de remoción en cada uno de los parámetros analizados, mismos que se los muestras a continuación.

Tabla 15. efectividad de los biofiltros

Parámetros	Antes	Después	% de remoción
pH	8	7,04	-
Turbidez (NTU)	628	10,1	98,41%
Coliformes (NMP/100ml)	2700	0	100%
Sólidos totales (mg/L)	8005,1	20,38	99,75%

Se puede observar el porcentaje de remoción de cada parámetro analizado Almeida, 2020.



Figura 7. Lixiviados antes y después del tratamiento con el biofiltro "EL"
Almeida, 2020.

4.4 Descripción del biofiltro para el relleno sanitario.

El biofiltro utilizado tuvo 29 cm de altura, 10 cm de diámetro, en cuanto al material se utilizó 70% de luffa (97gr) y 30% de carbón activado (163 gr) y se filtró un total de 3L de lixiviado en 8 horas (ver figura xx). Teniendo como base lo antes mencionado, se proyecta para las piscinas de lixiviados del relleno sanitario las medidas expuestas en la figura xxx.

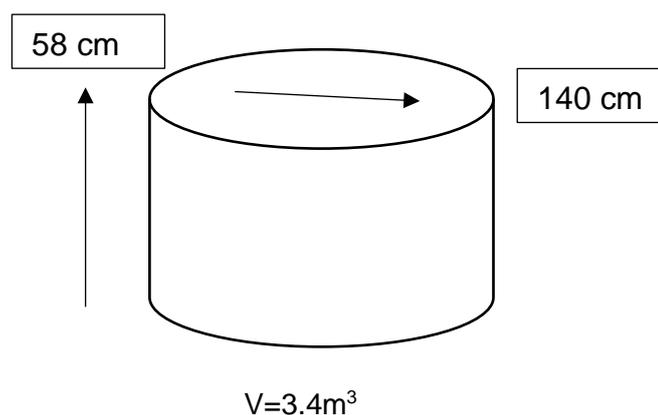


Figura 8. Especificaciones del biofiltro a base de luffa, se observa el diseño de un biofiltro, mismo que tiene una capacidad de 182.21m^3 , para esto se consideró el volumen de la piscina ($16, \text{m}^3$), con lo cual se definió que, en un lapso de una semana se filtrarán 3.4m^3 diarios en 8h.
Almeida, 2020.

4.4 Diagrama de tratamiento.

A continuación, se aprecia el diagrama del tratamiento que se recomienda seguir en el relleno sanitario de Rioverde para que los lixiviados generados estén dentro de los límites permisibles y puedan ser descargados directamente al cauce del río.

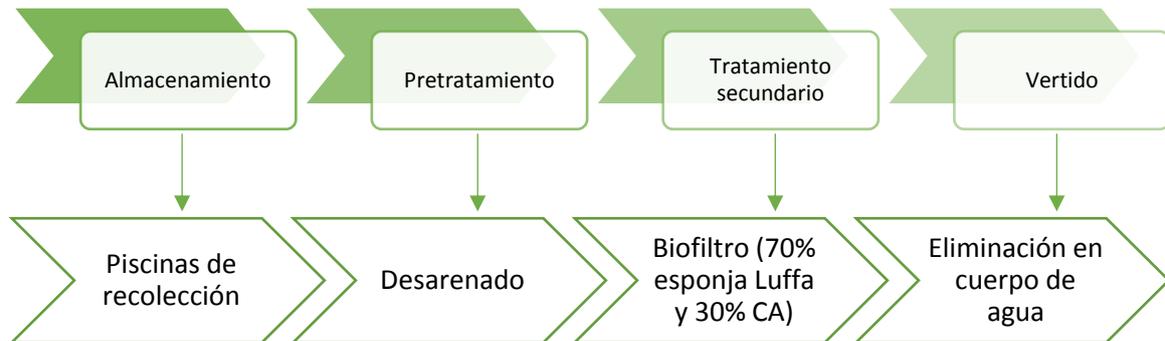


Figura 9. Diagrama de flujo del tratamiento Almeida, 2020.

5. Discusión

El lixiviado analizado previo a la utilización de los biofiltros presentó un pH básico de 8.03 encontrándose dentro del rango permitido por el Acuerdo Ministerial 097A, así como lo refiere Yanza en su trabajo, el cual manifiesta que generalmente en lixiviados de rellenos sanitarios este parámetro no sobrepasa el límite permitido. Sin embargo, en cuanto a los coliformes totales se halló un valor de 2700 NMP/100ml superando la normativa ambiental vigente, esto se debe principalmente a la presencia de compuestos orgánicos y microorganismos patógenos altamente perjudiciales tanto para el ambiente como para la salud humana Yanza (2017).

En lo que se refiere a turbidez y sólidos totales presentaron valores de 628 NTU y 8005.1 mg/L, dichos resultados superaban significativamente los límites máximos establecidos en la norma. Ávila, (2016) asegura que las concentraciones elevadas de estos parámetros en los lixiviados de rellenos sanitarios, se da por la presencia de grandes grupos de contaminantes como partículas en suspensión que por su tamaño impiden el paso de la luz y brindan al líquido un estado de turbiedad, así también Maldonado *et al.*, (2017) aportan que la existencia de estos contaminantes en fuentes de agua reduce la flora y fauna de dicho ecosistema.

Mediante la aplicación de los biofiltros se logró disminuir notablemente la concentración de los parámetros en estudio, siendo así que la turbidez se removió un 99.33% pasando de 628 NTU inicial a 4.23 NTU final, este resultado se obtuvo utilizando el biofiltro de fibra de coco (FC), con el biofiltro de esponja luffa (EL) se consiguió 10.1 NTU y con el biofiltro de camarón (C) 29.3 NTU. Mientras que Silva, (2016) en su investigación aplicó un biofiltro de fibra de coco, consiguiendo pasar de 124 NTU a 36.9 NTU, los valores que se reflejan están significativamente más altos que los conseguidos en el presente trabajo. Sin embargo, ambos están dentro

de límites permisibles y a través del proceso de modificación de la fibra de coco previo a los tratamientos, se puede obtener resultados satisfactorios en el tratamiento de lixiviados ya que este material posee características como alta densidad, porosidad y retención de humedad, lo que la convierte en una alternativa eficaz.

Comparando los resultados de esta investigación con los del estudio efectuado por Gallardo, (2018) en cuanto a sólidos totales, se evidencia que el biofiltro compuesto de fibra de coco funciona eficientemente removiendo este parámetro en aguas residuales, ya que este autor asegura que consiguió 851 mg/L en un tiempo de 50 días, a pesar de que este valor está dentro del rango permitido por las normas ambientales, es muy superior al valor alcanzado en este trabajo con el biofiltro de fibra de coco (120.81mg/L), esponja luffa (20.38 mg/L) y cáscara de camarón (311.33 mg/L), por lo que se puede deducir que la esponja luffa fue el mejor tratamiento para eliminar sólidos totales, esto se debe a que las dimensiones de sus fibras son similares, su forma y estructura le confieren propiedades de absorción, esto lo corrobora un estudio realizado por Pelufo y Pereira, (2017).

Los coliformes totales en las aguas residuales indican la presencia de microorganismos patógenos, los cuales resultan de diversos factores como materia orgánica, desechos de animales, etc. (Terin, 2017). En los lixiviados del relleno sanitario de Rioverde inicialmente se encontró un valor de 2700 NMP/100ml, dato que estaba superando el valor máximo establecido en el Acuerdo Ministerial 097 A, aplicando los biofiltros se llegó a 900 NMP/100ml con fibra de coco, 0 NMP/100ml con esponja luffa y 300 NMP/100ml con cáscara de camarón. Por lo que se constata que el tratamiento más eficiente fue el biofiltro (EL) eliminando 100% los coliformes.

Por último, la propuesta establecida fue la utilización del biofiltro a base de esponja lufa (70%) y carbón activado (30%) dado que con este tratamiento se removi6 mayoritariamente los parámetros que se analizaron en este trabajo, tal como lo refieren Pelufo y Pereira, (2017), afirmando que este material es muy eficiente gracias a su alto contenido de fibras, eliminando compuestos metálicos, sustancias complejas y se puede mejorar la eficiencia del proceso aadiendo microorganismos para contribuir a fortalecer la acción de remoci6n y obtener un mejor tratamiento.

6. Conclusiones

En conclusión, a través de la utilización de los métodos y técnicas establecidas por la normativa aplicada se logró realizar la caracterización del lixiviado, esto previo a la utilización de los biofiltros. Se pudo evidenciar que, a excepción del pH, todos los parámetros sobrepasaban los límites establecidos en el Acuerdo Ministerial 097A.

De igual forma, se pudo analizar la retención de contaminantes en los procesos de biofiltración mediante análisis físico - químicos y microbiológico. Esto realizó mediante el cálculo de la eficiencia de remoción en cada uno de los parámetros, misma que se manifestó con valores bastante altos, por lo tanto, los biofiltros poseen una gran capacidad de retención de sólidos totales, turbidez y coliformes, en éstos últimos los elimina por completo el biofiltro "EL" (esponja luffa).

Finalmente, con los resultados de los análisis, se pudo llegar a la conclusión que el biofiltro con mayor retención de contaminante que además cumple con la normativa del acuerdo ministerial 097, fue el biofiltro de luffa, así se sugiere como el tratamiento más idóneo para la retención de contaminantes en el lixiviado a través de las especificaciones del biofiltro a implementar.

7. Recomendaciones

Se recomienda que la toma de muestras se realice en temperatura ambiente para evitar así la alteración de las mismas.

Es recomendable seguir un proceso de secado idóneo (sol directo preferiblemente), para evitar que la esponja luffa contenga humedad ya que esto dificultara la eficiencia del biofiltro.

La recirculación del lixiviados debe tomarse en cuenta dentro de los estudios que utilicen biofiltros o filtros para obtener una mayor eficiencia.

Se debe seguir realizando estudios sobre los componentes de la luffa y sobre sus propiedades para retener contaminantes, así dar a conocer de mejor forma sobre la utilización de este material orgánico como biofiltro para un futuro sistema de recuperación de aguas residuales.

Se recomienda la utilización de luffa como componente orgánico como parte de material para futuros biofiltros y realizar futuros estudios sobre la combinación de otros materiales orgánicos junto con la luffa para realizar filtros de materiales orgánicos.

8. Bibliografía

- Alas, M. E. (2010). Industrialización de la fibra de estopa de coco. *Universidad de El Salvador*, 28 - 29.
- Álava, J. (2015). Chitosan application as a biocoagulant in wastewater contaminated with hydrocarbons. *Enfoque UTE*, 6(3), 52-64. Obtenido de http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422015000300052
- Aulestia, A. (2020). *Análisis de factibilidad del uso de fibra de coco en la fabricación de ladrillos de cemento para construcciones de vivienda en el Ecuador* (Tesis de pregrado) Universidad Internacional SEK, Quito.
- Ávila, L. M. (2016). Variación en la reducción de la turbiedad de lixiviados del relleno sanitario la esmeralda, mediante un proceso de coagulación/floculación ayudado por almidón de plátano y aguas termales. Universidad católica de manizales, manizales.
- Bautista, J. (2018). Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios usando un sistema de biorreactores en serie empacados con materiales estabilizadores. *Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios usando un sistema de biorreactores en serie empacados con materiales estabilizadores*. Chiapas, México. Obtenido de <https://repositorio.unicach.mx/bitstream/20.500.12114/2068/1/MCDSGR%20628.445%20B38%202018.pdf>
- Biomed Instruments. (2019). *Medidor de pH*. Obtenido de <https://www.biomed.com.ec/shop/equipos/medidores/ph-metro/medidor-ph-ec-tds-temp-salin-con-wifi-apera-pc60-z/>
- Chamán, A. B. (2005). Manejo de la basura y su clasificación. *Manejo de los Desechos* 6, 11-24.
- Colpas, F., Tarón, A., & González, R. (2017). Área superficial de carbones activados y modificados obtenidos del recurso agrícola saccharum officinarum. Universidad de Cartagena. Cartagena, Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas*, Volumen 34(2) - pag.63,64
- Correa, L., & Lozano, E. (2019). *Repositorio UG*. Obtenido de http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/44399/1/TESIS_DISE%c3%91O%20DE%20UN%20MODELO%20DE%20GESTI%c3%93N%20PARA%2

OLA%20DISPOSICI%c3%93N%20DE%20DESECHOS%20SOLIDOS%20
 PROVENIENTES%20DE%20LA%20CONSTRUCCI%c3%93N%20EN%20
 LA%20CIUDAD%20DE%20GUAYAQUIL.pdf

Cuidemos el planeta. (2018). *Cuidemos el planeta*. Obtenido de

<https://cuidemoselplaneta.org/contaminacion-ambienta/>

Cruz, G., Velázquez, M y Contreras, J. (2016). *Estudio de carbones activados impregnados con quitosano y su comparación con carbones comerciales*. Perú.

Dia, O., Drogui, P., Buelna, G., & Dubé, R. (2018). Hybrid process,

electrocoagulation-biofiltration for landfill leachate treatment. *Waste Management*, 75, 391-399. Obtenido de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X18300825>

Ecocentury. (2017). *Ecocentury*. Obtenido de

<http://www.ecocentury.pe/blog/gestion-de-residuos-tipos-fuentes-desechos/>

Emad, J., Fayq, J., & Rawaa, C. (2018). Porous Media for Removal of Organic and Inorganic Contaminants. *Nano Biomedicine and Engineering*, 10(2), 104-116. Obtenido de [http://nanobe.org/Assets/userfiles/sys_eb538c1c-65ff-4e82-8e6a-a1ef01127fed/files/10\(2\)_p104-116%20\(Emad%20Abbas%20Jaffar%20Al-Mulla\).pdf](http://nanobe.org/Assets/userfiles/sys_eb538c1c-65ff-4e82-8e6a-a1ef01127fed/files/10(2)_p104-116%20(Emad%20Abbas%20Jaffar%20Al-Mulla).pdf)

Gallardo, L., A. (2018). "Análisis de la fibra de coco como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes del Centro de Faenamiento Latacunga". Universidad Técnica de Ambato, Ambato.

García, P., & Salazar, O. (2018). Manejo y Tratamiento de Lixiviados en Rellenos Sanitarios: Revisión bibliográfica y Experiencia en Planta de Tratamiento de Lixiviados de Navarro. *Manejo y Tratamiento de Lixiviados en Rellenos Sanitarios*, 1-15. Obtenido de

<https://repository.usc.edu.co/bitstream/20.500.12421/677/1/MANEJO%20Y%20TRATAMIENTO.pdf>

Giraldo, I. (2018). *Red UAO*. Obtenido de

<http://red.uao.edu.co/bitstream/10614/10382/5/T08045.pdf>

Gómez, M. (2006). *Introducción a la metodología de la Investigación Científica*.

Córdoba: Editorial Brujas. Obtenido de

<https://books.google.com.ec/books?id=9UDXP4U7aMC&pg=PA85&dq=TIPO+DE+INVESTIGACION+EXPERIMENTAL&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEw>

jSt-

C7vYbmAhUrJTQIHeW6D2oQ6AEIRjAE#v=onepage&q=TIPO%20DE%20INVESTIGACION%20EXPERIMENTAL&f=false

- Gómez, S. A. (2017). Estudio y diseño de biofiltro a partir de materia orgánica para el tratamiento de agua. *Centro de investigación en materiales avanzados*, 23-24.
- Guerra, S. (2018). *Repositorio Digital Universidad Central del Ecuador*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15612/1/T-UCE-0010-FIL-047.pdf>
- Guzmán, J., Renderos, V., & Guerrero, L. (2005). *Aspectos Importantes sobre el manejo sanitario de aguas residuales. Aprobación Unidad de Atención al Ambiente. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. El Salvador*. Obtenido http://usam.salud.gob.sv/archivos/pdf/aresiduales/aguas_residuales.pdf
- Hach. (2019). *Turbidímetro portátil. Medición de Turbidez*. Obtenido de <https://es.hach.com/2100q-turbidimetro-portatilepa/product?id=24930077421>
- Herrera, W., & Rey, A. (2018). *Repositorio Universidad Cooperativa de Colombia*. Obtenido de https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/4174/1/2018_implementation_biofiltro_agente.pdf
- Höltling, B., & Coldewey, W. (2018). Surface Water Infiltration. *Hydrogeology*, 33-37. Obtenido de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-56375-5_5
- Ibarra, C. (2019). *Producción de biocoagulante a partir del exoesqueleto del camarón para descontaminación ambiental de agua residual* (Tesis de pregrado). Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2016). *Ecuador en cifras*. Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Gestion_Integral_de_Residuos_Solidos/2016/Documento%20tecnico%20Residuos%20solidos%202016%20F.pdf
- Janick, J., y Robert E. P. 2008. *The Encyclopedia of Fruit and Nuts*. CABI.

- Lozano, G., Bautista, J., Díaz, M., Gutiérrez, R., & Martínez, R. (2016). Removal of organic load in leachates using aged refuse biofilter. *Revista Digital de la Universidad Autónoma de Chiapas*, 5(12), 1-8. Obtenido de https://www.espacioimasd.unach.mx/articulos/num12/Removal_of_organic_load_in_leachates_using_aged_refuse_biofilter.php
- Luffa. (2018). *Luffa Zero Waste*. Obtenido de <https://luffazerowaste.com/productos/que-es-la-luffa/>
- Maldonado, M., Julio Isaac, Chona Rodríguez Jarson Alexis, y Angela Maritza Cajiao,. (2017). «Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios en filtros anaerobios de flujo ascendente de dos fases (DI – FAFS)». *Revista Ingeniería UC* 24(1).
- Martínez, A., Padrón, W., Rodríguez, O., Chiquito, O., Escarola, M., Hernández, J., . . . Martínez, J. (2014). Alternativas actuales del manejo de lixiviados. *Avances en Química*, 9(1), 37-47. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/933/93330767005.pdf>
- Mera, C. (2018). *Repositorio de la Universidad Técnica de Ambato* . Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/27452>
- Ministerio del Ambiente . (2014). *Ambiente*. Obtenido de <http://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/>
- Ministerio del Ambiente. (2016). *Ecuador en cifras*. Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Encuestas_Ambientales/Gestion_Integral_de_Residuos_Solidos/2016/Presentacion%20Residuos%20Solidos%202016%20F.pdf
- Municipio de Rioverde. (2016). *rioverdeslp*. Obtenido de <http://www.rioverdeslp.gob.mx/Transparencia/2015-2018/Febrero/PDM.pdf>
- Naghi, M. (2005). *Metodología de la investigación*. México: Limusa SA. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=ZEJ7-0hmvhwC&pg=PA44&dq=TIPO+DE+INVESTIGACION&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEWjl05r6uobmAhVJFTQIHQIxDMaAQ6AEIMDAB#v=onepage&q=TIP%20DE%20INVESTIGACION&f=false>
- Parraguez, S., Chunga, G., Flores, M., & Romero, R. (2017). *El estudio y la investigación documental*. Perú: EMDECOSEGE S.A. Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/315755125_Libro_El_estudio_y_la_investigacion_documental_estrategias_metodologicas_y_herramientas_TIC

- Pereira, R., Muñoz, J., y Peluffo, D. (2017). *Empleo del estropajo común*. Colombia: Universidad técnica del norte.
- Peluffo, Diego, y Ricardo Pereira. (2017). "Use of the common sponge (*Luffa cylindrica*) in the removal of contaminants". *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 4(5):13.
- Prodanovica, A. I., Zhangb, K., Hatta, B., McCarthy, D., & Deleticab, A. (2018). Optimisation of lightweight green wall media for greywater treatment and reuse. *Building and Environment*, 131, 99-107. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132318300210>
- Renoua, S., Givaudana, J., Poulaina, S., Dirassouyan, F., & Moulin, P. (2008). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, 3(150), 468-493. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389407013593>
- Rivera, Sanddy Judith Márquez, y Bella Andreina Zuñiga Salazar. (2019). "Desacetilación termoalcalina de la quitina de cáscara de camarón para depuración de aguas residuales de una industria procesadora de salsas". Guayaquil.
- Rowand, R. (2018). *Digitala Vetenskapliga Arkivet*. Obtenido de <http://www.divaportal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1233862&dswid=9866>
- Secretaría Nacional Del Agua [SENAGUA]. (2015). *Norma de calidad ambiental y descarga de afluentes*. Ecuador: Acuerdo ministerial 097.
- Sistema Nacional de Información. (2015). Diagnóstico Cantonal: Rioverde. *Diagnóstico de PDOT de Rioverde*. Esmeraldas. Obtenido de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0860001560001_DIAGNOSTICO%20PDyOT%20RIOVERDE_15-01-2015_22-30-31.pdf
- Silva, Eliana. (2016). "remoción de color del efluente proveniente de una planta de destintado de papel usando un sistema de biofiltración con diferentes empaques orgánicos". Universidad De Carabobo, Valencia.

Tamayo, M. (2004). *El proceso de la investigación científica*. Ciudad de México: Editorial Limusa. Obtenido de

https://books.google.com.ec/books?id=BhymmEqkkJwC&printsec=frontcover&dq=el+proceso+de+la+investigaci%C3%B3n+cient%C3%ADfica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi0nby5_PfmAhXJwFkKHfxmCCAQ6AEIKDAA#v=onepage&q=el%20proceso%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%20cient%C3%ADfica

C3%ADfica

Terin, Ulisses Costa. (2017). "Desempenho de coagulantes naturais, adsorvente alternativo e filtros lentos domiciliares no tratamento de águas com *Microcystis aeruginosa* e microcistina: alternativas tecnológicas para comunidades isoladas". text, Universidade de São Paulo.

Torres, L. (2018). *Repositorio UNEMI*. Obtenido de

<http://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/3903/1/ESTUDIOS%20DE%20LOS%20PROCESOS%20LOGISTIGOS%20Y%20SU%20INCIDENCIA%20EN%20LA%20RECOLECCION%20DE%20LOS%20DESECHOS%20SOLIDOS%20URB.pdf>

Ullca, J. (2006). Los rellenos sanitarios. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la vida*(4), 2-17. Obtenido de

<https://www.redalyc.org/pdf/4760/476047388001.pdf>

Villalba, V., Cepeda, E., Rodríguez, O., & Moreno, D. (2018). *Repositorio de la Universidad Católica de Colombia*. Obtenido de

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22403/1/EvaluacionGesti%C3%B3n%20RCD.pdf>

Yanza, J. (2017). *Repositorio de la Universidad Técnica de Ambato*. Obtenido de

<http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27450/1/Tesis%201224%20-%20Yanza%20Guanina%20Jimena%20del%20Pilar.pdf>

9. Anexos

Tabla 16. Límites de descarga a un sistema de agua dulce - Acuerdo Ministerial 097 - Anexo 1 - Descarga de afluentes

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite máximo permisible
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100ml	2000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Potencial de hidrógeno	PH	mg/l	6-9
Fosforo total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10.0
Nitratos + Nitritos	como	mg/l	10.0
Aceites y Grasas Solubles	Hexano	en mg/l	30
Sólidos suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO4		1000
Temperatura	°C	35	Temperatura

Tabla de límites permisibles de acuerdo al acuerdo ministerial 097 Acuerdo Ministerial 97a, 2015.

Tabla 17. Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico - Acuerdo Ministerial 097 - Anexo 1 - Descarga de afluentes

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite máximo permisible
Arsénico	As	mg/l	0,3
Bario	Ba	mg/l	1
Cobre	Cu	mg/l	2
Hierro total	Fe	mg/l	1-ene
Nitritos	NO ₃	mg/l	50
Hierro total	Fe	mg/l	1
Turbiedad	Unidades nefelométricas de turbiedad	UNT	100

Tabla de criterio de calidad de afluentes para llevar el control del parámetro faltante Acuerdo Ministerial 97a, 2015.



Figura 10. Visita de campo al relleno sanitario del cantón Rioverde en compañía de director del departamento de gestión ambiental del cantón Rioverde Almeida, 2020.



Figura 11. Pesado de material para los biofiltros
Almeida, 2020.



Figura 12. biofiltro con 70% luffa y 30% carbón activado
Almeida, 2020.



Figura 13. biofiltro con 70% fibra de coco y 30% carbón activado
Almeida, 2020.



Figura 14. biofiltro con 70% cáscara de camarón y 30% carbón activado
Almeida, 2020.



Figura 15. Lixiviado antes de ser tratados
Almeida, 2020.



Figura 16. Aplicación de biofiltro
Almeida, 2020.



Figura 17. Lixiviado después de la aplicación de los tres biofiltros
Almeida, 2020.



Figura 18. Preparación de diluciones
Almeida, 2020.



Figura 19. Conteo de coliformes
Almeida, 2020.

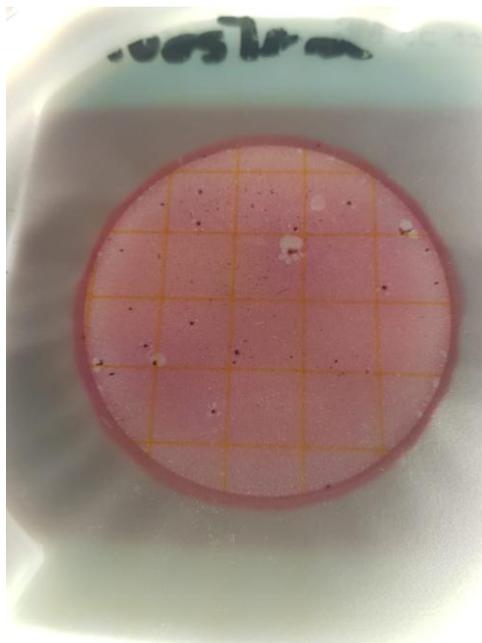


Figura 20. Placa de Petrifilm con coliformes
Almeida, 2020.



Figura 21. Placas de Petrifilm listas para incubar
Almeida, 2020.



Figura 22. Medición de volumen para el análisis de sólidos totales
Almeida, 2020.



Figura 23. Crisol con las muestras de lixiviados para el análisis de sólidos totales Almeida, 2020.



Figura 24. Crisol luego del secado con cada uno de los tratamientos Almeida, 2020.



Figura 25. Guía de interpretación de coliformes
Almeida, 2020.