



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**“DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD COAGULANTE DEL
EXTRACTO OBTENIDO DE LA SEMILLA DE *Tamarindus indica*
EN EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS”**

TRABAJO DE TITULACIÓN:

TIPO: PROYECTO INVESTIGATIVO

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: MARÍA ALEXANDRA NARANJO YÁNEZ

DIRECTOR: ING. MIGUEL SANTILLAN QUIROGA

RIOBAMBA – ECUADOR

2019

©2019, María Alexandra Naranjo Yáñez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, MARÍA ALEXANDRA NARANJO YÁNEZ soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

María Alexandra Naranjo Yánez

DEDICATORIA

Mi Trabajo de Titulación lo dedico a mi hijo Dylan Miguel Guevara Naranjo, que ha sido el pilar fundamental para poder continuar con todo lo trazado por Dios en mi vida.

A mis padres y madrina que estuvieron apoyándome siempre para culminar este gran sueño.

Alexandra

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme brindado sabiduría para salir adelante en todo momento y permitirme llegar hasta aquí.

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por darme la oportunidad de obtener una profesión y ser una ayuda para la sociedad.

A mi hijo por no dejarme de querer ni olvidar jamás, a pesar de haberse quedado sin mi presencia un gran tiempo, tiempo que fue muy importante para su desarrollo y conocimiento, pero que era necesario para que juntos podamos disfrutar de este triunfo.

A mi madre por su esfuerzo y perseverancia.

Alexandra

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	¡Error! Marcador no definido.
SUMMARY	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	7
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	7
1.1. Residuos Sólidos Urbanos (RSU)	7
1.2. Etapas de degradación de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU)	7
1.3. Lixiviados	8
1.3.1. Características de los lixiviados	9
1.3.2. Composición de los lixiviados	9
1.3.2.1. Parámetros físicos.....	12
1.3.2.2. Parámetros químicos	12
1.3.2.3. Parámetros biológicos	13
1.3.3. Contaminación del suelo, aire y agua por efecto de los lixiviados	13
1.3.4. Tratamiento de lixiviados	15
1.3.4.1. Tratamientos físico-químicos	15
1.3.4.2. Tratamientos biológicos.....	17
1.4. Coagulación-Floculación y Coagulantes Naturales	18
1.4.1. Definición y Origen	18
1.4.2. Tipos de Coagulantes.....	19
1.4.3. Generalidades de los Coagulantes Naturales o Biopolímeros	20
1.4.4. Características de los Coagulantes Naturales	20
1.5. Tamarindo (<i>Tamarindus indica</i>).....	22
1.5.1. Semillas de Tamarindo	24
1.5.1.1. Descripción de los componentes de la semilla de tamarindo	25
1.5.1.2. Coagulantes naturales extraídos a partir de las semillas de tamarindo.	25
1.6. Polifenoles.....	25
1.6.1. Taninos.....	25
1.6.2. Determinación de polifenoles totales por el método de Folin Ciocalteu	26
CAPITULO II	27
2. METODOLOGÍA.....	27
2.1. Zona de Estudio	27
2.1.1. Toma de muestras del botadero.....	27
2.1.2. Lugar de la investigación	28

2.2.	Tipo de Investigación	29
2.3.	Diseño Experimental	29
2.3.1.	<i>Procedimiento</i>	30
CAPITULO III		44
3.	RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	44
3.1.	Caracterización Inicial del Lixiviado	44
3.2.	Cantidad obtenida del coagulante seco	44
3.3.	Rendimiento del coagulante	44
3.4.	Obtención de la concentración del coagulante líquido	44
3.5.	Cantidad de fenoles presentes en la muestra del coagulante natural	45
3.6.	Análisis estadístico de medias en el Test de Jarras	45
3.7.	Descripción gráfica de los parámetros físicos/químicos cuando se adiciono el coagulante a diferentes concentraciones y volumen a 1 L de lixiviado por método de test de jarras	46
3.8.	Análisis y elección del tratamiento a filtrar	48
3.9.	Muestra filtrada después de la elección adecuada	48
3.10.	Comparación de las variables físicas químicas antes y después del filtrado ...	49
3.11.	Cantidad de Fenoles presentes en el coagulante	50
3.12.	Discusión	50
CONCLUSIONES		52
RECOMENDACIONES		53
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Etapas de descomposición de los RSU.....	7
Tabla 2-1: Rango de composición típica de lixiviados.....	11
Tabla 3-1: Clasificación del lixiviado.....	11
Tabla 4-1: Parámetros de un lixiviado típico.....	12
Tabla 5-1: Coagulantes más utilizados.....	19
Tabla 6-1: Coagulantes Naturales.....	20
Tabla 7-1: Coagulantes naturales y dosificación adecuada.....	21
Tabla 8-1: Composición de semilla de tamarindo.....	24
Tabla 9-1: Composición del tamarindo en ppm.....	24
Tabla 1-2: Descripción de los parámetros físico-químicos.....	30
Tabla 2-2: Materiales utilizados.....	34
Tabla 3-2: Equipos utilizados.....	34
Tabla 4-2: Cantidad de coagulante.....	39
Tabla 5-2: Coagulante a diferentes concentraciones.....	41
Tabla 6-2: Tabla de las pruebas a realizar.....	41
Tabla 7-2: Tabla de las pruebas de jarras con repetición.....	41
Tabla 1-3: Caracterización inicial del lixiviado.....	44
Tabla 2-3: Media estadística.....	45
Tabla 3-3: Resumen de medias.....	46
Tabla 4-3: Valores filtrados.....	49
Tabla 5-3: Valores de la media.....	49
Tabla 6-3: Comparación de la remoción del lixiviado con el coagulante.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Vertedero	8
Figura 2-1: Formación de lixiviados producidos por descomposición de los residuos	9
Figura 3-1: Efectos del lixiviado al ambiente	14
Figura 4-1: Coagulación-Floculación de coloides al agregar un coagulante	19
Figura 5-1: Hoja paripinada.....	23
Figura 6-1: Vainas de Tamarindo	23
Figura 7-1: Semillas de Tamarindo	23

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfico 1-3: Descripción gráfica de conductividad.	46
Gráfico 2-3: Descripción gráfica de SDT.	47
Gráfico 3-3: Descripción gráfica de pH.	47
Gráfico 4-3: Descripción gráfica de la turbidez.	48
Gráfico 5-3: Remoción del lixiviado.....	50

INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1-2: Tanque colector de lixiviados.	27
Fotografía 2-2: Piscina de lixiviados.....	28
Fotografía 3-2: Recipiente donde se trasladó la muestra.	28
Fotografía 4-2: Caracterización física.....	30
Fotografía 5-2: Caracterización de DBO de la muestra.....	31
Fotografía 6-2: Caracterización de DQO de la muestra.....	32
Fotografía 7-2: Caracterización de la turbidez de la muestra.....	32
Fotografía 8-2: Obtención de las.....	33
Fotografía 9-2: Semillas de tamarindo con residuos de pulpa	33
Fotografía 10-2: Semillas con pulpa	34
Fotografía 11-2: Semillas sin residuos de pulpa	35
Fotografía 12-2: Semillas en la estufa.....	35
Fotografía 13-2: Semillas de tamarindo triturada	36
Fotografía 14-2: Semilla con etanol.....	36
Fotografía 15-2: Extracto filtrado	37
Fotografía 16-2: Extracto	37
Fotografía 17-2: Extracto en el rotavapor	38
Fotografía 18-2: Extracto en estado sólido	38

RESUMEN

15

El presente estudio tuvo como objetivo determinar la capacidad coagulante del extracto natural obtenido de la semilla del tamarindo (*Tamarindus indica*), en el tratamiento de lixiviados, con el fin de mitigar los problemas de contaminación que se genera debido a las descargas en cuerpos de agua dulce. Para esto se realizó un muestreo puntual de la piscina de lixiviados del Relleno Sanitario de Riobamba, el mismo que fue transportado al Laboratorio de Calidad de Agua para su respectivo análisis, obteniéndose parámetros como, Conductividad, Sólidos Disueltos Totales (SDT), pH, turbidez, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO); 12,41 mS/cm; 5,76 g/L, 8,17; 967,67 NTU; 378,00 mg/L y 1960 mg/L respectivamente. Luego se realizó la extracción del coagulante natural en forma de fenoles a partir de las semillas de *Tamarindus indica* obteniéndose un 1.69% de estos expresados en gramos de ácido gálico por gramos de tamarindo, se sabe que los taninos tienen tendencia a formar uniones entre partículas; en medio acuoso y tienen tendencia a precipitar. Después de la extracción del coagulante con la ayuda del test de jarras se estableció la mejor dosificación partiendo de los tratamientos planteados evidenciando que el coagulante natural reaccionó con la muestra de lixiviados, en donde los parámetros de control fisicoquímicos Sólidos Disueltos Totales, DBO y DQO están por encima de los límites máximos permisibles; 2,82g/L, 211mg/L y 1214 mg/L respectivamente; el pH está dentro del rango de los límites permisibles con un valor de 8,17 al momento de agregar el coagulante natural de concentración 100 % y volumen de 15 mL en 1 litro de lixiviado. También se observó un porcentaje de remoción del 53,23 % y 51,10 % en la conductividad y SDT respectivamente. Se recomienda realizar un pretratamiento a los lixiviados para mejores resultados de remoción de los parámetros antes mencionados.

Palabras clave: BIOTECNOLOGÍA, TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, COAGULANTE NATURAL, TAMARINDO (*Tamarindus indica*), LIXIVIADOS.



SUMMARY

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the coagulant capacity of the natural extract obtained from the tamarind seed (*Tamarindus indica*), in the treatment of leachates, in order to mitigate the problems of pollution that is generated due to discharges in fresh water bodies. To do this, a spot sampling of the leachate pool of Riobamba Sanitary Landfill was carried out, which was transported to the Water Quality Laboratory for its respective analysis, obtaining parameters such as Conductivity, Total Dissolved Solids (TDS), pH, turbidity, Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD); 12.41 mS / cm; 5.76 g / L, 8.17; 967.67 NTU; 378.00 mg / L and 1960 mg / L respectively. Then the natural coagulant was extracted in the form of phenols from the seeds of *Tamarindus indica*, obtaining a 1.69% of these expressed in grams of gallic acid per grams of tamarind, it is known that tannins have the tendency to form bonds between particles; in aqueous medium and have tendency to precipitate. After the extraction of the coagulant with the help of the jar test, the best dosage was established starting from the proposed treatments showing that the natural coagulant reacted with the leachate sample, where the physicochemical control parameters Total Dissolved Solids, BOD and COD are above the maximum permissible limits; 2.82g / L, 211mg / L and 1214 mg / L respectively; the pH is within the range of the permissible limits with a value of 8.17 at the time of adding the natural coagulant of 100% of concentration and volume of 15 mL in 1 liter of leachate. A removal percentage of 53.23% and 51.10% in conductivity and TDS respectively were also observed. It is recommended to do a pre-treatment to the leachates for better removal results of the parameters mentioned above.

Key Words: BIOTECHNOLOGY, WASTE-WATER TREATMENT, NATURAL COAGULANT, TAMARIND (*Tamarindus indica*), LEACHATES.



INTRODUCCIÓN

Los lixiviados son líquidos que se forman a partir de la descomposición de residuos sólidos y de la infiltración de agua lluvia, en los botaderos y rellenos sanitarios. Las características en cuanto a cantidad y composición varían dependiendo del tipo de residuos depositados, como también de las precipitaciones que caen sobre los botaderos y rellenos, donde se pueden presentar elevados niveles de carga orgánica, altos contenidos de nitrógeno y la presencia de metales pesados. Estos lixiviados presentan alto grado de carga contaminante debido a las reacciones fisicoquímicas y microbiológicas que se dan entre el agua lluvia y los residuos sólidos (Vargas and Ríos, 2012).

Existen varios tratamientos para los lixiviados, entre los más conocidos se encuentran los tratamientos primarios como son los procesos fisicoquímicos, entre los que destacan la coagulación, en la que se utilizan productos químicos que tienen la capacidad de reducir el potencial Zeta que es el potencial de atracción de cargas entre partículas, afectando a su estabilidad lo cual favorece su precipitación, disminuyendo la concentración de parámetros como la turbidez, concentración de sólidos, olor, color, Sólidos Disueltos Totales (SDT), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO). (Sandoval Arreola and Laines Canepa, 2013).

Los coagulantes pueden ser de naturaleza natural o sintética, pudiéndose extraer de forma natural de plantas con elevada presencia de metabolitos, entre los que destacan los polifenoles y terpenos, los mismos que presentan la capacidad de remover la carga orgánica, inorgánica y biológica que se encuentra suspendida en diferentes efluentes, entre estos los lixiviados (Piqueras, 2012).

La utilización de coagulantes de origen natural se ha convertido en una alternativa viable que no ha sido explotada. En la actualidad, la utilización de sustancias provenientes de ciertas plantas entre estas el *Tamarindo indica*, han generado una remoción de contaminantes sobre todo en aguas residuales, pudiéndose utilizar en diferentes tipos de efluentes (López Gurdíán and Coto Campos, 2011).

El escaso o nulo tratamiento que se dan a los lixiviados provenientes de botaderos y rellenos sanitarios ocasionan serios daños a nivel ambiental, afectando a cuerpos de agua superficial como subsuperficial, además de contaminar al suelo producto de la infiltración y acumulación de elementos tóxicos en el mismo, siendo un foco de contaminación importante, pudiendo afectar tanto a la flora como a la fauna terrestre y acuática (Cegarra Badell, 2011).

Identificación del problema

La mayor parte del lixiviado de los botaderos y rellenos sanitarios se compone de fuentes externas en especial del agua proveniente de la humedad de los residuos, lluvia y por infiltraciones en la celda de disposición.

La utilización de reactivos químicos como coagulantes en los procesos de tratamiento de lixiviados generan lodos con una elevada carga contaminante, por lo que dificulta su tratabilidad; es por ello que el uso de coagulantes naturales extraídos de las semillas de Tamarindo (*Tamarindus indica*), permitirían mejorar la calidad de los lodos obtenidos durante el tratamiento de lixiviados, pudiéndose realizar un adecuado manejo de los mismos mediante el uso de procesos biológicos, siempre que las concentraciones de contaminantes presentes en el medio no inhiba el desarrollo de organismos degradadores.

ANTECEDENTES

Los coagulantes son sustancias químicas que usualmente son utilizadas en el tratamiento de aguas, principalmente en la remoción de sólidos suspendidos que se encuentran presentes en el agua, mejorando la calidad del agua previo a su consumo o a su descarga hacia cuerpos hídricos superficiales. De acuerdo a su origen se los puede clasificar en naturales y sintéticos, siendo los sintéticos los que mayor efectividad tienen a nivel de su implementación.

Ciertas especies vegetales tienen la capacidad para generar compuestos activos como metabolitos secundarios, mismos que presentan cierta facilidad para aglutinar partículas suspendidas presentes en soluciones acuosas, por lo que podrían utilizarse como coagulantes naturales, mismos que pueden ser extraídos principalmente de semillas, hojas, cortezas o savia, raíces o frutos (Pritchard et al., 2009). La capacidad coagulante de dichos compuestos se da principalmente por la presencia de exopolisacáridos que se encuentran bajo forma de mucílagos y de taninos presentes principalmente en semillas o estructuras leñosas (Anastasakis et al., 2009).

En una investigación realizada por Santos, 2009 se utilizó *Moringa oleífera* en los procesos de coagulación y floculación de aguas naturales permitió obtener rendimientos similares a los alcanzados con un coagulante sintético como es el sulfato de aluminio, lográndose porcentajes de remoción de la turbidez en torno al 90%.

Otros ensayos realizados por Ospina y Ramírez, 2011 demostraron que varias semillas provenientes del maíz, surjana y chitosan, pudieron remover colorantes presentes en aguas, siendo utilizadas en aguas con elevada presencia de pigmentos, principalmente las provenientes de la industria textil.

Uno de los principales compuestos activos que pueden ser utilizados en los procesos de coagulación natural son los taninos, que se presentan en elevadas concentraciones sobre todo en arbustos, tallo, hojas, frutos y troncos. La utilización de extractos de las cortezas de Acacia, quebracho, pino o ciprés, favorecen a la adsorción de metales pesados, detergentes o colorantes, por lo que los extractos de taninos gelificados son una alternativa viable frente al carbón activado o a las resinas de intercambio iónico (Sánchez Martín et al., 2011).

Otro de los estudios realizados por El-Siddig, 2006 considera que las semillas de tamarindo son una rica fuente de taninos, encontrándose en concentraciones en torno al 20% de la composición de la semilla (El - Siddig et al., 2006).

Se realizó experimentos con el extracto obtenido de las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*), utilizándolo como coagulante natural, observándose que, en aguas con alta carga contaminante, la turbiedad se redujo en aproximadamente entre el 72,45% y el 89,09%, antes de la filtración; y después de la filtración una remoción cerca del 99%. Otro de los parámetros observados fue el color, mismo que se redujo antes y después de la filtración en alrededor de 200 y 35 Unidades de Color (UC) respectivamente, siendo una alternativa viable para el tratamiento de aguas de textileras (Gurdián López and Coto Campos, 2011).

JUSTIFICACIÓN

Los lixiviados presentan concentraciones elevadas de DQO y DBO, además de metales alcalinos y pesados, cloruros, compuestos de nitrógeno amoniacal, sólidos totales, turbiedad, color, entre otros. La composición típica de un lixiviado está en función de la edad y de la naturaleza de los desechos. (Borzacconi et al., 2014) Los coagulantes naturales tienen la capacidad de remover la turbiedad, color, materia orgánica, partículas coloidales y microorganismos. (Gurdián López and Coto Campos, 2011).

Algunos de los procesos que se aplican al tratamiento de lixiviados son los fisicoquímicos, que tiene como limitante sus elevados costos, debido a la utilización de reactivos químicos y al proceso de estabilización y tratamiento de los lodos generados. (Yoo et al., 2001) Las grandes cantidades de lodos que alteran con su toxicidad los procesos naturales presentes en el suelo y el agua; las afectaciones significativas del pH y conductividad del agua tratada, sumado a esto, algunos estudios han concluido que el aluminio residual en el agua de consumo humano puede ser muy peligroso para la salud. (Yin, 2010)

Frente a lo citado anteriormente, el uso de coagulantes de origen vegetal permitiría reducir costes a nivel del tratamiento, por lo que la extracción de principios activos de las semillas de *Tamarindus indica*, se convierte en una opción viable frente al uso de coagulantes químicos, mejorando la calidad de residuo del lixiviado tratado. (Salamanca et al., 2013)

Adicionalmente, la utilización de semillas provenientes del despulpado del Tamarindo, permitiría optimizar los residuos orgánicos provenientes de dicho proceso, siendo una alternativa viable para los Gobiernos Autónomos Descentralizados GAD(s), que tienen como obligación preservar y mejorar la calidad de vida de los habitantes, así como también del manejo y cuidado del suelo y cuerpos de agua.

El presente estudio es de carácter investigativo, correspondiente a tecnologías de tratamientos de recursos y residuos, donde se inició con la extracción de ciertos principios activos presentes en las semillas de Tamarindo (*Tamarindus indica*) para el tratamiento de lixiviados mediante coagulación- floculación, el mismo que busca convertir los lodos en residuos con mayor capacidad de biodegradación y de estabilización, beneficiando directamente a los GAD(s) y a la colectividad.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Determinar la capacidad coagulante del extracto natural obtenido de la semilla del tamarindo (*Tamarindus indica*), en el tratamiento de lixiviados.

Objetivos Específicos

- Caracterizar los lixiviados a tratar, mediante ensayos físico-químicos de laboratorio.
- Extraer los principios activos en forma de fenoles presentes en las semillas de *Tamarindus indica*, para la obtención de un concentrado con capacidad coagulante.
- Establecer la mejor dosificación para el tratamiento de lixiviados mediante pruebas de tratabilidad y el control de parámetros físico-químicos a escala de laboratorio.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

Son los materiales que van a ser abandonados después de su producción, transformación o consumo y al ser ya utilizados o haber ya expirado su vida útil (Teca Gavilanes, 2013).

Estos residuos según su estado físico pueden clasificarse en sólidos, líquidos y gaseosos. Los residuos pastosos son generados por actividades humanas (Barradas Rebolledo, 2009).

1.2. Etapas de degradación de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

El contenido de humedad de los RSU es de 20 a 40% del peso total en el mundo (Robles Martínez, 2018). La biodegradación de los RSU tiene 5 etapas como nos muestra la Tabla 1-1, Donde tenemos Compuestos Orgánicos (C.O.), Ácidos Grasos Volátiles (AGV), entre los siguientes.

Tabla 1-1: Etapas de descomposición de los RSU.

Número de Fase	Fase	Característica
1	Aeróbica	Fase corta, inicia cuando los C.O. llegan al relleno sanitario o botadero y empieza con la descomposición biológica en presencia de oxígeno.
2	Transición	Baja el oxígeno y empieza la fermentación, dando origen a los lixiviados, también baja el pH por la presencia de los AGV y el CO ₂
3	Ácida	La actividad microbiana se acelera debido a los AGV aumentando la DQO, la conductividad sube debido a la disolución de los ácidos orgánicos, tiene presencia de metales pesados y algunos nutrientes.
4	Metanogénica	El ácido acético y el gas de hidrógeno se convierten en CH ₄ y CO ₂ , los AGV en el lixiviado se descomponen en biogás, la carga orgánica es baja y sus componentes orgánicos son altamente biodegradables, hay altas concentraciones de amoníaco debido a la falta de oxígeno, el pH esta entre 6.8 y 8, debido a las conversiones la conductividad es baja, así como los metales pesados, esto debido al incremento del pH.
5	Maduración	La humedad es menor, el material biodegradable ya no está disponible y no se genera gases. La mayoría de nutrientes disponibles están diluidos en el lixiviado durante las fases anteriores por esta razón la velocidad de los gases es más lenta, y los sustratos que quedan en el medio sólido son de lenta degradación.

Fuente: Olascoaga G, 2014, p. 22. (Programa de cálculo para estimar la cantidad de lixiviados en Rellenos Sanitarios)

Realizado por: María Naranjo, 2019

Los productos de la descomposición aerobia generalmente son: dióxido de carbono, amoníaco (el cual después se transforma en nitrato) y agua, así como otros productos de oxidación, en menor proporción. Las reacciones de oxidación generalmente son exotérmicas, por lo que la temperatura interna del relleno puede alcanzar en corto tiempo temperaturas de 60°C o más. Debido a ello, un porcentaje importante de la humedad se evapora, por tanto, en esta fase, directamente del proceso de la descomposición aerobia prácticamente no se genera lixiviado (Kofalusi and Encarnación Aguilar, 2006).

1.3. Lixiviados

Los lixiviados son líquidos derivados de la descomposición y estabilización de la basura, además de infiltraciones producto de precipitaciones que caen sobre botaderos o rellenos sanitarios. Su composición puede ser diferente debido a los RSU depositados sobre los sistemas de tratamiento, (Luna et al., 2007).

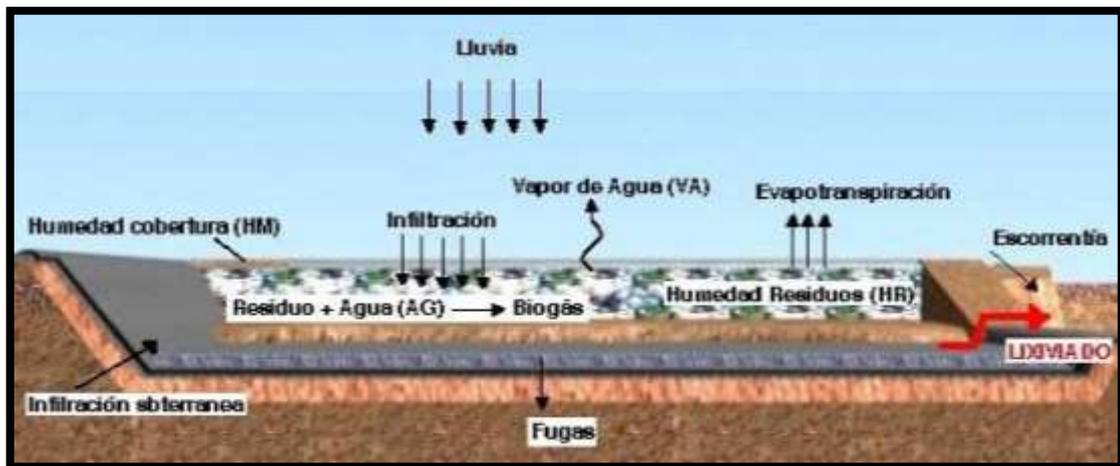


Figura 1-1: Vertedero
Realizado por: Fornieles, Juan; 2011.

Según la figura 1-1: HR = Agua (humedad) en los residuos sólidos entrantes; HM = Agua (humedad) en el material de cobertura; VA = Agua perdida como vapor de agua saturado con el gas de vertedero; AG = Agua perdida en la formación del gas de vertedero.

Al tratarse de un efluente tóxico y cuando los sistemas de disposición de residuos sólidos no son los apropiados puede generar problemas sobre cuerpos hídricos superficiales y subterráneos, además de problemas de contaminación en el suelo y el subsuelo (Lopes de Morais and Peralta Zamora, 2005). Provocando el deterioro de la calidad de los recursos mencionados y por ende afectando el normal desarrollo de las especies (Deng and Englehardt, 2007).

1.3.1. Características de los lixiviados

En forma general los lixiviados presentan concentraciones elevadas de materia orgánica disuelta, sales inorgánicas, metales pesados, nitrógeno amoniacal, cloruros, xenobióticos, entre otros compuestos orgánicos, los que debido a su alto grado de toxicidad y carcinogenicidad, representan un importante riesgo para el ambiente y seres vivos (Lozano Rivas, 2012).

1.3.2. Composición de los lixiviados

Las zonas expuestas a climas con alta humedad generan considerables cantidades de lixiviado en relación a los climas cálidos y suelos menos porosos (Ramos Rivera, 2011).

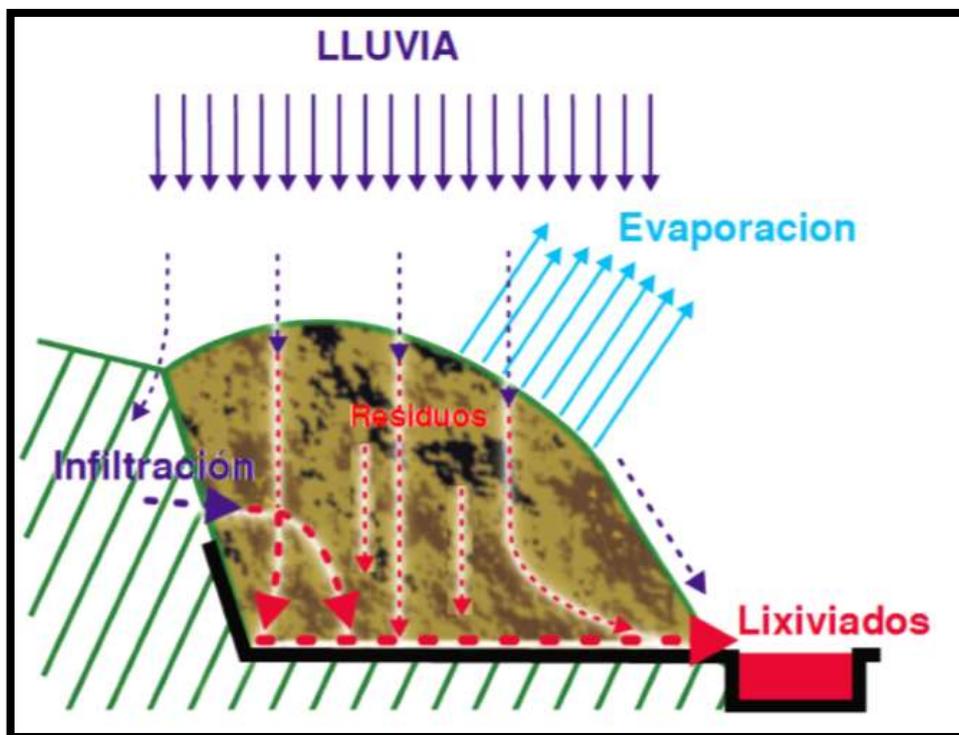


Figura 2-1: Formación de lixiviados por descomposición de los residuos

Realizado por: Fornieles, Juan; 2011.

Según Cristancho, 2013 la composición de los lixiviados varía de acuerdo al tipo de residuos, la velocidad de descomposición, edad del botadero o relleno y por factores climáticos, donde la presencia de materia orgánica será mayor durante los primeros años. Las concentraciones de nitrógeno amoniacal y sales serán mayores cuando el lixiviado envejezca. (Fornieles, 2011).

Los lixiviados pueden formarse de dos formas: la primera debido a la descomposición de los residuos y la segunda por factores climáticos (Teca Gavilanes, 2013).

- Lixiviados producidos por descomposición de los residuos: Producto de la degradación de los residuos sólidos orgánicos y del grado de humedad de los residuos sólidos urbanos confinados.
- Lixiviados producidos por factores climáticos: Resultado de la percolación del agua proveniente de las precipitaciones y escorrentías a través de los residuos sólidos confinados, pueden generarse además por contacto con aguas subterráneas que se encuentran en un nivel freático elevado.

Según Robles Martínez, 2018 hay cuatro tipos de sustancias presentes en los lixiviados:

- La fracción inorgánica o mineral compuesta por cloruros, bicarbonatos, nitratos, iones amonio, sodio, potasio. Las sales inorgánicas provienen de la mineralización biológica de los residuos mientras que los iones amonio, sulfuro y ferrosos se oxidan por bacterias quimiolitótrofas cuando los lixiviados están en condiciones aerobias.
- La fracción orgánica compuesta principalmente por ácidos grasos volátiles y ácidos como el acético, propiónico y butírico, mismos que se biodegrada fácilmente.
- La fracción orgánica estabilizada formada por compuestos fúlvicos y húmicos y de baja biodegradabilidad, en virtud que son moléculas orgánicas complejas producto de la mineralización de la fracción orgánica de los desechos.
- La fracción orgánica xenobiótica compuesta principalmente por compuestos sintéticos, los mismos que son utilizados principalmente en las industrias de cosméticos, plaguicidas, desinfectantes, entre otros, estos son desechados sin que estos puedan degradarse de una manera fácil.

En los lixiviados existen rangos típicos que se basan en la edad del lixiviado en un rango de menores a diez años y mayores a diez años, en los cuales son joven y maduro respectivamente (Pineda M., 1998) (Véase Tabla 2-1)

Tabla 2-1: Rango de composición típica de lixiviados.

Parámetro	EDAD DEL RELLENO SANITARIO		
	NUEVO MENOR A 10 AÑOS		MADURO MAYOR A 10 AÑOS
	Intervalo de valores (mg/L)	Típico (mg/L)	Intervalo de valores (mg/L)
DBO	2.000 – 30.000	10.000	100 - 200
COT	1.500 – 20.000	6.000	80 – 160
DQO	3.000 – 60.000	18.000	100 – 500
SST	200 – 2.000	500	100 – 400
Nitrógeno orgánico	10 – 800	200	80 – 120
Nitrógeno amoniacal	10 – 800	200	20 – 40
Nitrato	5 – 40	25	5 – 10
Fósforo total	5 – 100	30	5 – 10
Fósforo en Ortofosfato	40– 80	20	4 – 8
Alcalinidad (CaCO ₂)	1.000 – 10.000	3.000	200 – 1.000
pH	4.5 – 7.5	6	6.6 – 7.5
Dureza total (CaCO ₂)	300 – 10.000	3.500	200 – 500
Calcio	200 – 3.000	1.000	100 – 400
Magnesio	50 – 1.500	250	50 – 200
Potasio	200 – 1.000	300	50 – 400
Sodio	200 – 2.500	500	100 – 200
Sulfatos	50 – 1.000	300	20 – 50

Fuente: Pineda M, 1998. (Manejo y disposición de residuos sólidos urbanos)

Realizado por: María Naranjo, 2019

Donde COT: Carbono Orgánico Total; SST: Solidos Suspendidos Totales

En la Tabla 3-1 hay la clasificación del lixiviado, con la edad de menor a 5 años a mayor de 10 años.

Tabla 3-1: Clasificación del lixiviado

	Nuevo	Intermedio	Maduro
Edad (AÑOS)	<5	5 – 10	>10
Parámetro			
pH	<6.5	6.5 – 7.5	>7.5
DQO (mg/L)	>10000	4000 – 10000	<4000
DBO/DQO	>0.3	0.1– 0.3	<0.1
CO	80%(AGV)	5– 30%AGV + AH+AF	>5% AH+AF
Metales pesados	bajo-medio	bajo	bajo
Biodegradabilidad	importante	medio	bajo

Fuente: Martínez C, 2017. (Método Alternativo para tratar Lixiviados Maduros)

Realizado por: María Naranjo, 2019

Una caracterización típica de un lixiviado considera Reino Vanessa, 2011 como principales parámetros a los siguientes, los cuales observamos en la Tabla 4 -1.

Tabla 4-1: Parámetros de un lixiviado típico

Físicos	Químicos	Biológicos
Temperatura	DQO	Coliformes Totales
Conductividad	DBO	Coliformes Fecales
pH	Nitratos	
Material en suspensión	Nitritos	
	Sulfuros	

Fuente: Reino V, 2011. (Caracterización química inorgánica y orgánica de los lixiviados del relleno sanitario La bonanza)

Realizado por: María Naranjo, 2019

1.3.2.1. Parámetros físicos

- **Temperatura:** incide sobre la solubilidad y concentración de los gases contenidos en los lixiviados y en la solubilidad de las sales las que hacen que suba o baje el pH (Reina, 2011).
- **Conductividad:** determina la concentración de sales disueltas presentes en los lixiviados.
- **pH:** este parámetro es muy importante ya que la acidez y basicidad del lixiviado son responsables de problemas de corrosión y solubilidad de algunos elementos como los metales, aumentando su toxicidad.
- **Material en suspensión:** determina la cantidad de partículas suspendidas presente en los lixiviados (Rigola Lapeña, 1999).

1.3.2.2. Parámetros químicos

- **Demanda química de oxígeno (DQO):** Determina la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la MO en el lixiviado. Se mide en mg O₂/L (Rigola Lapeña, 1999).
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅):** Establece la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para estabilizar la MO biodegradable presente en los lixiviados (Padrón, 2005).
- **Nitratos:** Presentes principalmente por efecto de la descomposición de residuos vegetales y de la descomposición de animales.
- **Nitritos:** Indicador de contaminación de origen fecal provocada principalmente por la presencia de residuos higiénicos.

- **Sulfuros:** Indicador del grado de descomposición de la materia orgánica.

1.3.2.3. Parámetros biológicos

- **Coliformes totales:** indicadoras de la cantidad de organismos que se están presentes en los lixiviados.
- **Coliformes fecales:** indicadoras de la presencia de bacterias o virus de carácter patógeno originadas por la presencia de residuos higiénicos y por heces de animales o personas.

Otros parámetros de importancia a nivel de los lixiviados son la turbiedad y el color, donde se destacan sus valores elevados debido principalmente a las partículas coloidales de origen inorgánico y orgánico, producto de la descomposición y estabilización de la materia orgánica (ácidos fúlvicos y húmicos) y a la presencia de óxidos e hidróxidos metálicos (Manahan, 2007).

1.3.3. Contaminación del suelo, aire y agua por efecto de los lixiviados

Los rellenos sanitarios y botaderos de basura son sitios utilizados para la disposición final de los residuos sólidos provenientes de una localidad (materia orgánica, chatarra, residuos de materias primas, residuos infecciosos, combustibles, etc.); sin embargo, el manejo antitécnico de los desechos sobre todo en los botaderos, los convierten un foco de contaminación debido principalmente a la generación de lixiviados, de malos olores y a la proliferación de vectores (ratas, moscas, perros, entre otros) (Cristancho, 2013).

La generación de lixiviados durante la degradación de los RSU genera potenciales impactos ambientales sobre las diferentes matrices ambientales, tal como se observa a continuación:

- **Suelo:** la presencia de residuos ocasiona la percolación de lixiviados generados por la descomposición de la basura y por efectos de escorrentías y lluvia, lo cual produce la acumulación de elementos en los poros del suelo (metales y no metales) y la variación del pH, provocando la degradación del mismo (Gálvez Pérez, 2008).
- **Aire:** durante la descomposición de la materia orgánica se generan gases orgánicos e inorgánicos además de compuestos volátiles, los cuales al ser enviados hacia la atmósfera pueden generar una disminución de la calidad del aire. Dichos gases pueden estar disueltos en los lixiviados, dándole propiedades corrosivas al mismo.

- **Agua:** los lixiviados pueden generar contaminación sea a cuerpos de agua subterránea como a cuerpos de agua superficial, lo que produce efectos adversos sobre la calidad del recurso; además, generan impactos tanto a la flora como a la fauna debido a la elevada toxicidad que dichos efluentes presentan. Otra de las consecuencias de la disposición final de los lixiviados es el riesgo que representa para la salud de la población, debido que muchos de estos se infiltran hacia cuerpos de agua subterránea que son utilizados como fuente de abastecimiento en diferentes localidades (Secretaría desarrollo social - SEDESOL, 1996). El lixiviado contiene elementos tales como el nitrógeno y fósforo, que al entrar en contacto con cuerpos hídricos pueden ocasionar problemas de eutrofización (Ahmed et al., 2015).



Figura 3-1: Efectos del lixiviado al ambiente

Fuente: Villalba, Luisa; 2013.

1.3.4. Tratamiento de lixiviados

Los lixiviados son un efluente con elevada carga contaminante, por lo que su tratamiento representa una inversión necesaria para los organismos o departamentos encargados del manejo de los RSU. Los procesos de tratamiento de lixiviados, dependerán en gran medida de la cantidad, de la concentración de contaminantes presentes, de la localización geográfica y del espacio físico disponible (Corena Luna, 2008).

Entre los tratamientos aplicados tenemos:

1.3.4.1. Tratamientos físico-químicos

- **Recirculación de lixiviados:** Consiste en la recirculación de lixiviados generado en el botadero o relleno sanitario y que, por acción de los microorganismos presentes en los residuos, se produce la conversión de los ácidos grasos presentes en los percolados en metano. Una de las ventajas de la recirculación del lixiviado es el incremento de la humedad de los residuos y el aumento del pH, lo cual favorece a una mayor descomposición de los desechos y por ende a la generación de metano, además reduce la solubilidad de los metales, por lo que estos dejan de ser arrastrados por el lixiviado (Giraldo, 2014).
- **Evaporación de lixiviados:** Algunas de las tecnologías utilizan de manera directa la energía que se genera al quemar el gas producido a interior del relleno o botadero, con el objeto de evaporar el lixiviado; que a su vez reduciría el volumen del efluente (Giraldo, 2014).
- **Precipitación química:** Es un proceso utilizado para la remoción de metales pesados de efluentes inorgánicos, donde el pH debe ser básico. Bajo estas condiciones, los iones metálicos disueltos son convertidos a una fase sólida insoluble por una reacción química con un agente precipitante como la cal (Kurniawan et al., 2006). Al tratar el lixiviado con este proceso se obtienen mejoras en la eliminación del color, contenidos en sólidos en suspensión, amonio y eliminación de algunos cationes pesados, sin embargo, el contenido de materia orgánica no se reduce notablemente.
- **Oxidación química:** Este tratamiento se lo da comúnmente con Cl_2 y O_3 que pueden arrojar buenos resultados en cuanto se refiere a la disminución del color, pero no tiene impacto en la precipitación química, por lo que la reducción de DQO es insuficiente. El uso de oxidantes halogenados presenta inconvenientes debido a la generación de compuestos órgano

halogenados altamente peligrosos, como se han detectado en algunos casos de cloración de lixiviados (Shiang Huang et al., 2009).

- **Adsorción con Carbono Activo:** Se usa para el tratamiento de lixiviados que provienen de rellenos sanitarios viejos o que hayan tendido un tratamiento terciario y que sean de efluentes biológicos porque así se tiene una disminución de DQO alrededor del 90% (Corena Luna, 2008).
- **Ósmosis Inversa:** Es un proceso en el cual el lixiviado atraviesa una membrana semipermeable, reduciéndose la cantidad de sales presentes en el líquido. Su aplicabilidad se remota a la utilización de dicho sistema en el tratamiento de lixiviados con bajas concentraciones de DBO, así como en lixiviados viejos, o lixiviados a los cuales se les ha realizado un pretratamiento previo (Ushikoshi et al. 2002).
- **Stripping de NH₃:** Burbujea aire a través de los lixiviados reduciendo la concentración de NH₃ en un 96%, favoreciendo la transferencia desde la fase líquida (lixiviado) hacia la fase gaseosa (aire); Para poder realizar este tratamiento se debe elevar el pH hasta 11, normalmente con adición de cal. En combinación con la precipitación química y un tratamiento biológico por lodos activos. (Corena Luna, 2008).
- **Intercambio iónico:** Es un proceso reversible de iones que se da entre la fase sólida y líquida. Una sustancia insoluble remueve iones de una solución electrolítica y libera otros iones de igual carga en una cantidad químicamente equivalente. Se utiliza para eliminar compuestos no biodegradables que contienen sustancias húmicas, también puede reducir concentraciones de nitrato y NH₄⁺ (Fu and Wang, 2011).
- **Electrodiálisis:** Las especies ionizadas en la solución pasan a través de una membrana semipermeable selectiva de iones aplicando un potencial eléctrico. Al lixiviado se lo desaliniza pero requiere un pre-tratamiento para que no existan obstrucciones en los poros de las membranas (Kurniawan et al., 2006).
- **Electrólisis:** Es un proceso químico impulsado por un potencial electrolítico, también se utiliza para remover impurezas metálicas de las aguas residuales de acabado de metales. Este método puede ser empleado para tratar aguas residuales con una concentración de metales mayor a 2000 mg/l o inferior a 10 mg/l. Posee una alta conductividad eléctrica, este tratamiento ayuda a la reducción de DQO en pequeños porcentajes (Fu and Wang, 2011).

Estos tratamientos son más efectivos para realizar como un pre-tratamiento de lixiviados estabilizados; pudiéndose trabajar como complemento a un proceso biológico.

1.3.4.2. *Tratamientos biológicos*

1.3.4.2.1. Tratamiento biológico aeróbico

Existen varios tipos de sistemas biológicos, entre los cuales destacan:

- **Sistemas naturales:** En los sistemas naturales se logra la eliminación de las sustancias contaminantes de las aguas residuales mediante mecanismos y procesos naturales, sin requerimiento de energía externa ni de aditivos químicos, solamente usando mayores superficies de tratamiento. La sinergia entre las diferentes comunidades de organismos son las encargadas de los procesos de descontaminación (García Serrano and Corzo Hernández, 2008).
- **Lodos activados:** Proceso por el cual se mezclan y se airean el efluente y los microorganismos en un tanque, lo cual contribuye con la reducción del amoníaco y al crecimiento de microorganismos. Se lo considera como un pre-tratamiento de lixiviados jóvenes, donde se puede lograr la eliminación de más del 97% de la DQO, amoníaco, hierro, manganeso y zinc. Es preferible tratar lixiviados jóvenes con este proceso.

Estos procesos se los utiliza cuando se requiere obtener una baja concentración de DBO en los efluentes, pero estos tienen costos de inversión, de operación y mantenimiento elevados en comparación con los procesos anaerobios; por esta razón se usan como post-tratamiento de los sistemas anaerobios, o para el tratamiento de lixiviados viejos con bajos niveles de DBO (Giraldo, 2014).

1.3.4.2.2. Tratamiento biológico anaeróbico

- **Lagunas anaerobias:** En estas se produce la degradación de la MO en ausencia de oxígeno bajando el contenido de sólidos y MO del agua residual. (Kettunen and Rintala, 1998).
- **Reactores RAFA (reactor anaerobio de flujo ascendente):** Se basa en el establecimiento de un lecho de lodo denso en la parte inferior del reactor, en el que tienen lugar todos los procesos biológicos. Este lecho de lodo está formado por la acumulación de sólidos en suspensión entrantes y el crecimiento bacteriano.

En los sistemas anaerobios de flujo ascendente y bajo ciertas condiciones, se observó que las bacterias pueden agregarse naturalmente en flóculos y gránulos (Kettunen and Rintala, 1998).

- **Biorreactores de lecho fluidificado:** En este reactor se produce una mezcla intensa entre el lixiviado y la biomasa que lo digiere, consume mucha energía de bombeo (Reyes Medina, 2014).
- **Reactores de membrana:** Remueve la DBO, retiene bacterias, virus, componentes orgánicos e inorgánicos, Las principales limitaciones de la tecnología es el aspecto económico, debido a la elevada inversión inicial y al costo de las membranas. El tratamiento de los lodos generados puede presentar problemas de sedimentabilidad, puesto que el biorreactor retiene la mayoría de los sólidos suspendidos (Winnen et al., 1996).
- **Fermentación:** Cuando existen altos contenidos de materia orgánica en el lixiviado se puede tratar con sistemas aeróbicos o anaeróbicos de fermentación, con el objetivo de aprovechar el resultado del proceso como fertilizante líquido (Romero et al., 2013).

Estos sistemas de tratamiento son simples y producen menor cantidad de lodos, tiene costes de inversión, de operación y mantenimiento bajos, pero existen varios cuidados que hay que tener debido a los elevados niveles de amoníaco y de minerales disueltos que pueden generar problemas de toxicidad para los microorganismos.

1.4. Coagulación-Floculación y Coagulantes Naturales

1.4.1. Definición y Origen

La coagulación es el desequilibrio químico de la suspensión coloidal que se produce cuando se agrega el coagulante al líquido a tratar, dando como resultado la eliminación de las dobles capas eléctricas que rodean a las partículas produciendo su neutralización. Las cargas presentes en los coloides son las que les brindan estabilidad a las partículas, logrando que estas se mantengan suspendidas, por lo que al neutralizarlas favorece la aglutinación de las partículas y por ende incrementan su sedimentan (Melo Vargas and Turriago Ríos, 2012).

Para que las fuerzas de repulsión se reduzcan se recurre a la mezcla y la agitación haciendo que las partículas colisionen entre sí, esto se produce gracias al movimiento browniano que permite que las partículas entren en contacto unas con otras (Martínez Cruz, 2017).

Otras fuerzas que actúan en la coagulación son las fuerzas de London - Van der Waals, las cuales permiten que las partículas tengan atracción y se adhieran unas con otras, lo que incide sobre la aglomeración de partículas dando origen a la coagulación, y posteriormente a la floculación (Nieto Orellana and Orellana Ulloa, 2011).

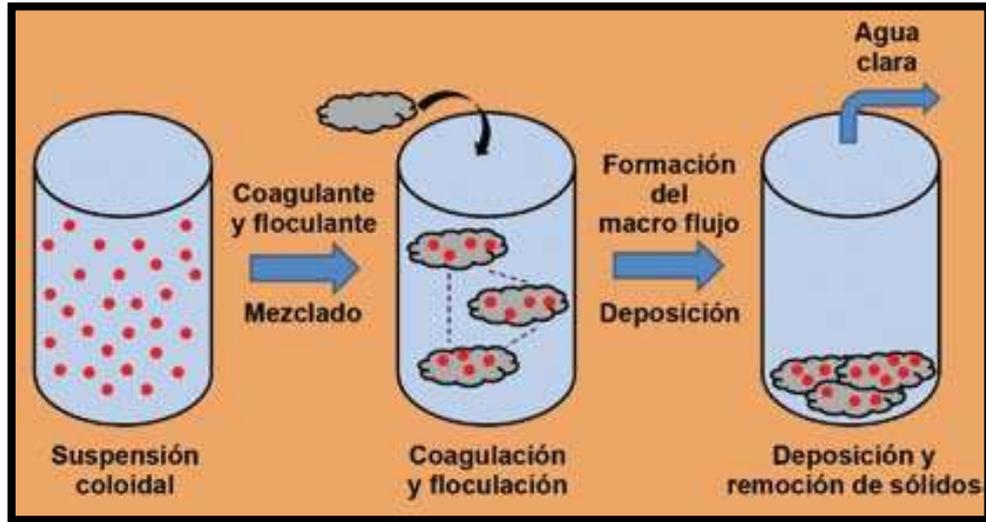


Figura 4-1: Coagulación-Floculación de coloides al agregar un coagulante
Fuente: Ramírez Arcila and Jaramillo Peralta, 2015.

La capacidad de coagulación depende de parámetros como el pH y las características fisicoquímicas de los lixiviados. Dicho proceso se lo utiliza mayormente para la remoción de la turbidez y el color (Vargas, 2004).

1.4.2. Tipos de Coagulantes

Los coagulantes son de origen orgánico e inorgánico los cuales son utilizados para la eliminación y/o remoción de materia orgánica y de los sólidos suspendidos totales presentes en los líquidos a tratar (Zamudio Pérez, 2013).

Algunos de los coagulantes más utilizados para tratar líquidos se los ve en la Tabla 5-1:

Tabla 5-1: Coagulantes más utilizados

Orgánicos sintéticos	Inorgánicos	Naturales
Poliacrilamidas	Sulfato de aluminio	Mucílago de nopal
Poliacrilaminas	Hidróxido de calcio	Gomas de semillas
Poliaminas	Cloruro férrico	Pulpa de algarrobo
Polídimetil dialil amonios	Sulfato férrico	Almidones
	Clorhidróxido de aluminio	Semillas de plantas

Fuente: Zamudio Pérez, 2013. (Acoplamiento del proceso de coagulación floculación por biopolímeros y desinfección por ozono de aguas residuales)
Realizado por: María Naranjo, 2019

Los coagulantes metálicos son muy tóxicos sin la manipulación correcta, además pueden reaccionar de manera negativa cuando entran en contacto con sustancias que se usan para el tratamiento de agua como el ozono o cloro, provocando daños a la salud de los consumidores (Nieto Orellana and Orellana Ulloa, 2011).

1.4.3. Generalidades de los Coagulantes Naturales o Biopolímeros

Es una sustancia de origen animal o vegetal, son solubles en agua y tienen la capacidad de aglutinar partículas suspendidas que se encuentran dentro de un líquido y que, gracias a la gravedad, permite su remoción mediante la sedimentación de las mismas, reduciendo la turbidez de un efluente y por ende la presencia de ciertos elementos que se encuentran en forma suspendida.

Estos coagulantes al utilizarse en un proceso de coagulación-floculación en sistemas de tratamiento de efluentes, generan lodos con buena capacidad de biodegradabilidad en relación a los obtenidos de procesos donde se utilizan coagulantes metálicos. Su rendimiento puede ser igual o mayor a los coagulantes sintéticos, por lo que podría reducirse los costos en aproximadamente un 25 a 30% en relación a los utilizados habitualmente. (Nieto Orellana and Orellana Ulloa, 2011).

Después del tratamiento con estos biopolímeros el pH y conductividad no tienen un cambio significativo, es de interés también que reducen la presencia de microorganismos (Yang Yin, 2010).

1.4.4. Características de los Coagulantes Naturales

Los coagulantes naturales se han convertido en una alternativa viable para el tratamiento de aguas y lixiviado, mismos que se obtienen a partir de plantas, árboles, arbustos y semillas como los que se mencionan a continuación en la Tabla 6-1.

Tabla 6-1: Coagulantes Naturales

Coagulantes Naturales	
Celulosa	Goma de guar
Almidón de yuca	Goma de red sorrela
Alginatos	Silica activada
Chitosán	Lentejas
Mucílago de nopal	Semillas de tamarindo
Gomas de semillas	Penca de tuna
Pulpa de algarrobo	Almidón de papa
Carboximetil celulosa	Samán

Fuente: Ramírez, 2015. (Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua)

Realizado por: María Naranjo, 2019

Se tienen algunas características y dosis de algunos coagulantes naturales, provenientes de fuente vegetal. En la Tabla 7-1 se puede observar la dosis adecuada de cada coagulante y los efectos que estos causan (Banchón et al., 2016).

Tabla 7-1: Coagulantes naturales y dosificación adecuada

Fuente vegetal	Características	Dosis aplicada	Referencia
Moringa oleífera	Adsorbente de colorantes	0,03-0,5 g/L	Jahn & Dirar,1979
	Antimicrobiano		Yarahmadi et al., 2009
	Clarificación de agua turbia		Asrafuzzaman et al., 2011
	Desestabilizador coloidal		Mangale Sapaná et al.,2012
			Pallavi & Mahesh, 2013
Baptista et al., 2015			
Moringa stenopetala	Antimicrobiano	10 g/L	Gatew & Mersha, 2013
	Remediación de efluentes industriales (curtiembres)		Seifu, 2015
Caesalpinia spinosa	Adsorbente de colorantes	10,8 g/L	Sánchez-Martín et al., 2011
	Desestabilizador coloidal		Beltrán-Heredia et al., 2011
	Remediación de efluentes industriales como textiles y curtiembres		Paredes & Banchón, 2015
			Revelo et al., 2015
Cicer arietinum	Remediación de efluentes industriales como curtiembres	0,1-1,0 g/L	Kazi & Virupakshi, 2013
Dolichos lablab	Clarificación de agua turbia (arcilla)	0,05-0,1 g/L	Asrafuzzaman et al., 2011

Fuente: Banchón et al., 2016. (Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales)

Realizado por: María Naranjo, 2019

Los coagulantes naturales presentan en su estructura una serie de polímeros que le confieren la propiedad coagulante; por ejemplo, las galactomananas son polímeros naturales que presentan en su estructura polisacáridos neutros solubles en agua, y que se los extrae de las semillas de leguminosas (Lopes de Morais and Peralta Zamora, 2005). Estos no son perjudiciales para el ambiente ya que por su naturaleza química son altamente biodegradables, debido que sus polímeros contenidos en su estructura, son solubles y le confieren esta propiedad. Son económicos, seguros y fáciles de tratar, debido a que presentan en su estructura proteínas solubles que actúan como polielectrólitos catiónicos naturales haciendo que la carga orgánica del efluente tratado sea menor, (Carpinteyro, 2011).

Los biocoagulantes tienen como compuestos bioactivos a: proteínas, polisacáridos, mucílagos, taninos y alcaloides; al agregar los extractos de plantas se neutralizan las cargas provocando desestabilización coloidal, en especial cuando los que se agregan contienen polifenoles (taninos), gomas, mucílagos o proteínas. (Banchón, 2016).

Los taninos son compuestos polifenólicos de gran abundancia en el mundo vegetal, encontrándose en cortezas, en frutos y en hojas. Tradicionalmente, estos compuestos se han utilizado para el curtido de pieles, pero varios de ellos también se han empleado como coagulantes para tratar aguas residuales, así los contaminantes disueltos se aglutinan en partículas más grandes para retirarlos mediante procesos de remoción de sólidos (Araúz et al., 2015).

Existen algunos mecanismos de coagulación para la desestabilización coloidal en aguas residuales como, por ejemplo:

- **Neutralización de la doble capa eléctrica:** Los responsables de la neutralización en el medio acuoso son los iones hierro (III) y aluminio (III) ya que generan protones. Los grupos fenólicos de taninos aportan iones hidrógenos al medio. Cuando se disuelven taninos en agua los grupos fenólicos generan la protonización del medio (Yang Yin, 2010).
Los galotaninos pueden hidrolizarse en ácidos gálicos en medio acuoso. Y debido a que el ácido gálico es un compuesto polar y fenólico catiónico protoniza el medio, en colaboración con el mecanismo de represión de la doble capa (Tripathi, et al., 1976).
- **Cationización de taninos:** También llamada reacción de *Mannich*, en donde se confiere el carácter catiónico a la matriz orgánica del tanino, esta habilidad conferida al tanino potencia la capacidad coagulante del tanino ya que este catión produce la desestabilización coloidal.

1.5. Tamarindo (*Tamarindus indica*)

Es una planta arbórea que llega a medir hasta los 20 m de altura. Son muy ramificados y presentan una corteza rugosa y de color gris oscuro. Sus hojas son de tipo compuestas paripinadas esto es cuando el limbo se encuentra dividido y no posee un foliolo terminal, como nos muestra la Figura 5-1 (Díaz, 2008). Las hojas del tamarindo están formadas por 10 a 18 pares de foliolos, alternas, de color verde oscuro sus frutos son vainas curvadas que tienen protuberancias debido a las semillas que se encuentran dentro, pueden medir de entre 5 y 12 cm de longitud por 1,5 a 2,5 cm de ancho y aproximadamente 1cm de grosor (Aguirre, 2012) como podemos ver en la Figura 6-1. Las semillas son duras de color marrón envueltas por la capa protectora que contiene de entre 2 a 10 semillas de 1 cm de diámetro cada una, como nos muestra la Figura 7-1 donde se muestra las hojas, vaina y semilla (Botanical Online, 2018).

También se sabe que el tamarindo es una especie introducida y cultivada en Ecuador, entre 0-800 msnm, en las provincias de Galápagos, Loja, Los Ríos y Manabí (Jorgensen et al., 2009). La fruta del

tamarindo contiene cerca del 55% de pulpa, 34% de semilla y 11% de concha, y la fibra en una vaina.

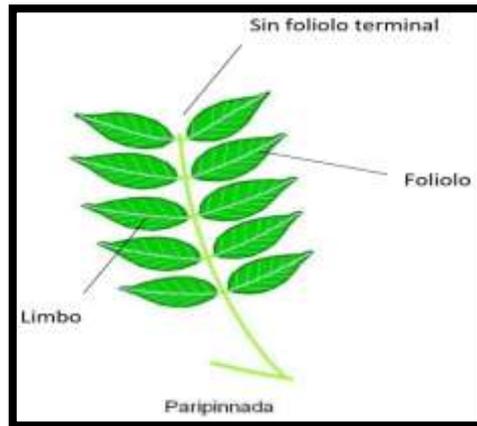


Figura 5-1: Hoja paripinada
Realizado por: Díaz, 2008.



Figura 6-1: Vainas de Tamarindo
Realizado por: Aguirre, 2012.



Figura 7-1: Semillas de Tamarindo
Realizado por: Naranjo, María; 2019.

1.5.1. Semillas de Tamarindo

Las vainas contienen entre una y diez semillas irregulares, son muy duras, brillantes, de color rojizo o marrón violáceo. La semilla se compone de la testa entre un 20 a un 30% y el grano o endosperma de un 70 a un 80% (Thombare et al., 2014).

La semilla de tamarindo está compuesta por un 57,1% de carbohidratos, 13,3% de proteína y 11,3% de agua, donde la parte proteica de la semilla de Tamarindo contiene varios aminoácidos (ácido glutámico y aspártico), que junto a los taninos presentes son los responsables de la coagulación (Vásquez Yanes et al., 1999). Con más detalle lo podemos observar en la Tabla 8-1.

Tabla 8-1: Composición de semilla de tamarindo

Constituyente	Semilla entera	cotiledones	Testa
Humedad	9.4-11.3	11.4-22.7	11.0
Proteína	13.3-26.9	15.0-20.9	
Grasa / aceite	4.5-16.2	3.9-16.2	
Fibra bruta	7.4-8.8	2.5-8.2	21.6
Hidratos de carbono	50.0-57.0	65.1-72.2	
Ceniza total	1.60-4.2	2.4-4.2	7.4
Nitrógeno -extracto libre	59.0		
Rendimiento de TKP	50.0-60.0		
Calorías / 100g	340.3		
Azúcar total	11.3-25.3		
Azúcares reductores	7.4		
Almidón	33.1		
Tanino			20.2

Fuente: Botanical Online, 2018. (Composición de semilla de tamarindo, kernel y testa)

Realizado por: El Siddig et al., 2006

Tabla 9-1: Composición del tamarindo en ppm

Compuesto	Contenido			
	Fruto	Hojas	Flor	Semilla
Humedad	314.000			
Carbohidratos	625.000 – 925.000	706.000 – 750.000	750.000	651.000 – 740.000
Proteínas	28.000 – 117.000	141.000 – 224.000	125.000	171.000 – 201.000
Grasas	3.000 – 9.000	36.000 – 44.000	90.000	60.000 – 74.000
Fibra	31.000 – 74.343	57.000 – 186.000	60.000	7.000 – 43.000
Ácido tartárico	80.000 – 180.000	120.000 – 280.000		
Ácido málico	10.000	15.000		
Ácido oxálico		1.960		
Taninos				70.000

Fuente: Botanical Online, 2018. (Composición del tamarindo en partes por millón)

Realizado por: K. El-Siddig, 2006

1.5.1.1. Descripción de los componentes de la semilla de tamarindo

La semilla de tamarindo en su composición:

- carbohidratos: glucosa, xilosa, arabinosa
- alcaloides: hordenina en la corteza

1.5.1.2. Coagulantes naturales extraídos a partir de las semillas de tamarindo.

Se realizó varios estudios por Hernández, 2013, en donde el coagulante a partir de las semillas de tamarindo se obtuvo separando los cotiledones de la pulpa y la membrana que los cubren, después se procedió a triturar los cotiledones blancos y se obtuvo un polvo blanquecino al que se lo mezcló en proporciones adecuadas con agua destilada, este coagulante ya listo se lo utilizó para conocer la efectividad de las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) como coagulante natural se realizó ensayos de laboratorio, los parámetros a considerar fueron pH, alcalinidad, color y turbidez donde en este último parámetro se obtuvo una remoción alta. El pH no tuvo variación después del tratamiento, el parámetro alcalinidad antes y después del tratamiento con *Tamarindus indica* fueron similares. (Hernández, y otros, 2013). En este mismo estudio para conocer la efectividad del coagulante extraído de las semillas de tamarindo se lo comparó con el sulfato de aluminio y cloruro de hierro III que son coagulantes inorgánicos, los ensayos se realizaron en dos tipos de aguas residuales, en las industriales y domésticas; donde las aguas residuales industriales crudas fueron de la industria textil con alta turbidez y mucho color y las aguas residuales domésticas crudas con baja turbidez y poco color.

1.6. Polifenoles

1.6.1. Taninos

Los taninos son polifenoles solubles en agua con peso molecular entre 300 y 3000; metabolitos secundarios de plantas; compuestos poliméricos no nitrogenados; son ésteres del ácido gálico y sus derivados, en los cuales los grupos del ácido gálico o sus derivados están unidos a variedades de polioles-, catequinas- y núcleos triterpenoides (taninos hidrolizables) o polímeros del flavonoide antocianidina (taninos condensados); reaccionan con cloruro de hierro (III) para dar color azul (Khanbabae and Van Ree, 2001).

Altas concentraciones de taninos se encuentran en casi cada parte de la planta, tales como las hojas, fruto, raíces, semillas y corteza. Los taninos precipitan alcaloides, gelatinas y otras

proteínas, tienen propiedades antimicrobianas y son capaces de formar enlaces con iones metálicos y pigmentos (Okuda and Ito, 2011).

Según Mancero 2008 también se discute la participación conjugada de la interacción entre taninos, mucílagos y gomas en medio acuoso, en la desestabilización coloidal. Se ha determinado que, por cada 100 kg de vainas de guarango, se obtiene aproximadamente un 27% de extracto tánico y un 6% de goma. Los taninos presentes en el guarango son mayormente ácido gálico, con actividad antimicrobiana (Aguilar-Gálvez, et al., 2014).

Cabe recalcar que el efecto antimicrobiano se debe a que la mayoría de los taninos tienen la capacidad de formar quelatos con iones metálicos tales como el hierro y el cobre debido a la presencia de difenoles; esta característica permite la formación de complejos metal-tanino, disminuyendo la disponibilidad de hierro para los microorganismos (Aguilar Gálvez et al., 2014).

Las galactomananas son importantes para las semillas por sus propiedades hidrofílicas permitiendo que el endospermo retenga agua y proteja al embrión de la desecación. Estas galactomananas se encuentran en el endospermo de las semillas de las leguminosas, del tomate, de café, entre otras. Las galactomananas son usadas como viscosificantes y agentes gelificantes (Mathur and Mathur, 2005).

La reacción de Mannich procede debido a una aminometilación de la molécula de tanino con un aldehído y una amina; o también procede a través de NH_4Cl y otros tipos de compuestos nitrogenados hasta el punto de gelificar a las moléculas de taninos (Beltrán-Heredia, Sánchez-Martín & Gómez-Muñoz, 2010).

1.6.2. Determinación de polifenoles totales por el método de Folin Ciocalteu

Este método es utilizado para cuantificar el contenido de compuestos fenólicos totales en muestras de origen vegetal. El reactivo de Folin Ciocalteu está formado por wolframato sódico y molibdato sódico en ácido fosfórico que reacciona con los compuestos fenólicos presentes muestras de origen vegetal. El ácido fosfomolibdotúngstico tiene una coloración amarilla, este ácido al reducirse por la presencia de los grupos fenólicos da lugar a un complejo de coloración azul intenso, esta coloración es apta para ser medida en el espectrofotómetro en función a una longitud de onda de 765 nm, y a partir de esta medición se cuantifica el contenido de la muestra vegetal en polifenoles. (García Martínez et al., s.f.).

CAPITULO II

2. METODOLOGÍA

2.1. Zona de Estudio

2.1.1. Toma de muestras del botadero

Se tomó una muestra puntual o simple del tanque colector de lixiviados denominado piscina de lixiviados a este llega todo el líquido de los residuos sólidos urbanos.



Fotografía 1-2: Tanque colector de lixiviados.
Realizado por: Naranjo, María; 2019.



Fotografía 2-2: Piscina de lixiviados.
Realizado por: Naranjo, María; 2019.

2.1.2. Lugar de la investigación

Las muestras de lixiviado obtenidas del Relleno Sanitario de la ciudad de Riobamba se trasladaron al Laboratorio de Calidad de Agua de la Facultad de Ciencias, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo a temperatura ambiente.



Fotografía 3-2: Recipiente donde se trasladó la muestra.
Realizado por: Naranjo, María; 2019.

2.2. Tipo de Investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo experimental ya que no conocemos la eficiencia del coagulante natural obtenido de las semillas de tamarindo, explicativa ya que se analizó la influencia del coagulante a diferentes concentraciones y volumen y su capacidad de remoción de material presente en el lixiviado.

2.3. Diseño Experimental

Se realizó la comparación de medias para cada muestra con sus tres replicas, mediante la herramienta estadística del programa IBM SPSS Statistics 25 con los siguientes pasos:

1. Tabular los datos generales con sus respectivas etiquetaciones.

Analizar

- Comparación de medias
 - Medias
 - Seleccionar la variable dependiente e independiente en el cuadro de análisis.

2. Tabulación de las medias con sus respectivas etiquetaciones

Analizar

- Estadísticos descriptivos
 - Descriptivos
 - Selección de datos a describir

3. Descripción grafica de las tabulaciones.

Gráficos

- Generador de gráficos
- Galería
- Barras
- Selección de las variables a graficar.

4. Análisis de datos y comparación de las misma.

2.3.1. Procedimiento

2.3.1.1. Caracterización inicial del lixiviado

A las muestras de lixiviado se les procedió a realizar los análisis de los parámetros, físico-químicos como: pH, turbidez, sólidos disueltos totales, conductividad, DBO y DQO, que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1-2: Descripción de los parámetros físico-químicos

Parámetro	Unidad
pH	-----
Conductividad	mS/cm
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	g/L
Turbidez	NTU
DQO	mg/L
DBO	mg/L

Fuente: Reino V, 2011. (Caracterización química inorgánica y orgánica de los lixiviados del relleno sanitario La bonanza)

Realizado por: María Naranjo, 2019

2.3.1.1.1. Análisis de: pH, conductividad, sólidos disueltos totales.

Para el análisis de pH se homogenizo la muestra, se introdujo los electrodos del equipo utilizado (Consort C562), se seleccionó pH en la pantalla y se leyó el resultado pulsando “CALIBRAR”.



Fotografía 4-2: Caracterización física

Realizado por: Naranjo, María; 2019.

Para el análisis de conductividad se homogenizo la muestra, se introdujo los electrodos del equipo utilizado (Consort C562), se seleccionó la medición de conductividad en la pantalla, se leyó el resultado con el botón "CALIBRAR", este resultado nos dio en (ms/cm).

Se homogenizo la muestra, se introdujo los electrodos del equipo utilizado (Consort C562), se seleccionó la medición de STD en la pantalla y se leyó el resultado pulsando "CALIBRAR" este resultado nos dio en (g/L)

2.3.1.1.2. Análisis de los parámetros: DBO y DQO

Para el análisis de DBO se llenó una botella hermética ámbar propia del equipo a utilizar con la muestra, después se incubo durante 5 días y se realizó la medición según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SM) - 5210 B.



Fotografía 5-2: Caracterización de DBO de la muestra
Realizado por: Naranjo, María; 2019.

Para el análisis de demanda química de oxígeno (DQO) donde se utilizó el Método colorimétrico SM 5220 D. Donde la muestra reacciona con una solución ácida de dicromato de potasio en presencia de un catalizador (plata) y se digiere durante 2 horas a una temperatura de 150 °C. Los compuestos orgánicos oxidables reducen el ion de dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) a un ion crómico (Cr^{3+}). En los kits COD LR, la disminución del ion de dicromato se mide por colorimetría. En los kits COD HR y HR+, se mide la cantidad de ion crómico producida. Los resultados de prueba se expresan en cantidad de miligramos de oxígeno consumidos por litro de muestra (mg/L).

COD LR: 0 - 150 mg/l COD HR: 0 - 1500 mg/l COD HR+: 0 - 15.000 mg/l



Fotografía 6-2: Caracterización de DQO de la muestra
Realizado por: Naranjo, María; 2019.

2.3.1.1.3. Análisis de la turbidez

Se realizó por el método nefelométrico SM 2130 B en donde realizó una comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas con la intensidad de la luz dispersada por una suspensión de referencia estándar en las mismas condiciones. Cuanto mayor es la intensidad de la luz dispersada, mayor es la turbidez.



Fotografía 7-2: Caracterización de la turbidez de la muestra
Realizado por: Naranjo, María; 2019.

2.3.1.2. Extracción del coagulante de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*).

Para la extracción del coagulante natural partimos de la obtención de la materia prima, la cual se detalla a continuación.

2.3.1.2.1. Obtención de la materia prima para la extracción del coagulante.

Las semillas se obtuvieron a partir de los desechos de los jugos de tamarindo, estos desechos se recibieron de parte de las señoras vendedoras de los jugos del parqueadero del Coliseo Teodoro Gallegos Borja ubicado en la Av. José Veloz, ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo en donde se entregaron una vez a la semana por 4 semanas.



Fotografía 8-2: Obtención de las semillas de tamarindo

Realizado por: Naranjo, María; 2019.



Fotografía 9-2: Semillas de tamarindo con residuos de pulpa

Realizado por: Naranjo, María; 2019.

Para la extracción de los principios activos de la semilla de tamarindo se utilizó los siguientes materiales y equipos que se detallan a continuación en la **Tabla 2 – 2.** y **Tabla 3 – 2.**

Tabla 2-2: Materiales utilizados

Materiales e Instrumentos	
1 soporte metálico	papel filtro
1 embudo cónico de filtración	1 funda de Algodón de 60 g
1 vaso de precipitación de 1000 mL	3 botellas ámbar de 1 L
1 probeta de 1000 mL	1 balón de destilación de 250 mL
3 vasos de 250 mL	Papel aluminio
1 botella ambar de 120 mL	

Realizado por: María Naranjo, 2019.

Tabla 3-2: Equipos utilizados

Equipos	Codificación
Rotavapor BUCHI	3350287
Molino Eléctrico THOMAS	3350286
Balanza Sartorius UNIVERSAL	14219444
Balanza Analítica BOECO	3350311
Estufa de Secado BINDER	5495094

Realizado por: María Naranjo, 2019.

2.3.1.2.2. Proceso de extracción de los principios activos de la semilla de tamarindo.

1) Primero se despulpa los residuos contenidos en las semillas de tamarindo, se dejó en agua durante 2 horas como vemos en la Fig. 10-2, luego se lavó con agua de la llave hasta obtener solo las semillas de tamarindo libre de restos de pulpa, Fig. 11-2.



Fotografía 10-2: Semillas con pulpa

Realizado por: Naranjo, María; 2019.



Fotografía 11-2: Semillas sin residuos de pulpa

Realizado por: Naranjo, María; 2019.

- 2) Luego se obtuvo semillas libres totalmente de pulpa y se las dejó secar por 5 h en la estufa para que se elimine la humedad contenida en las semillas de tamarindo. Fig. 12 – 2.



Fotografía 12-2: Semillas en la estufa

Realizado por: Naranjo, María; 2019.

- 3) Pasadas las 5 h se continuó con la molienda de las semillas en el molino del laboratorio donde se obtuvo partículas de tamaño más o menos 2 mm, estas partículas se las pesó en la balanza analítica del mismo laboratorio de productos naturales de la ESPOCH y dio como peso final alrededor de 300 g de semilla de tamarindo a partir de 907,18 g de semillas enteras.



Fotografía 13-2: Semillas de tamarindo triturada

Realizado por: Naranjo, María; 2019.

- 4) Para obtener el extracto sólido-liquido se introdujo 100 g de la semilla triturada en la botella ámbar y se adicionó 1000 mL de etanol al 96% en una proporción semilla-solvente de 1:10, se agitó y se lo dejó en reposo por 72 h en sombra.



Fotografía 14-2: Semilla con etanol

Realizado por: Naranjo, María; 2019.

- 5) Después de las 72 horas se filtró el extracto de semilla-solvente en el vaso de precipitación como se muestra en la Fig. 15-2, y se midió en una probeta la cantidad de 894 mL de extracto se observa en la Fig.16-2.



Fotografía 15-2: Extracto filtrado
Realizado por: Naranjo, María; 2019.



Fotografía 16-2: Extracto
Realizado por: Naranjo, María; 2019.

- 6) Se puso en un balón de destilación al extracto filtrado y se concentró en el rotavapor, a una temperatura de 55°C y a 50 revoluciones por minuto (rpm), se dejó 45 minutos hasta la evaporación del etanol, donde se obtuvo un extracto viscoso como se muestra en la Fig. 17-2.



Fotografía 17-2: Extracto en el rotavapor
Realizado por: Naranjo, María; 2019.

7) Se dejó en reposo hasta su enfriamiento y paso al estado sólido como se muestra en la Fig. 18-2.



Fotografía 18-2: Extracto en estado sólido
Realizado por: Naranjo, María; 2019.

El proceso de extracción de los principios activos de la semilla de tamarindo se repitió por 11 veces más del paso 1 al paso 7, hasta obtener la cantidad suficiente para realizar la prueba de jarras y la determinación de fenoles totales en donde se utilizó 1200 g de semilla triturada de tamarindo y 12 L de etanol al 96%.

2.3.1.2.3. Cantidad obtenida de extracto seco

En las extracciones realizadas se obtuvo una cantidad determinada de extracto seco a partir de la Ecuación 1 en donde se toma en cuenta la diferencia de peso del balón con el extracto obtenido de semilla-solvente con el peso del balón vacío, como se detalla a continuación.

Dónde:

Es= extracto seco (g)

M₁= masa del balón de destilación con el extracto seco (g)

M₂= masa del balón de destilación vacío (g)

$$Es = M_1 - M_2$$

Ecuación 1

Tabla 4-2: Cantidad de coagulante

M1=balon lleno (g)	M2=balon vacío (g)	M1-M2 (g)
134.7478	122.9578	11.7900
132.3821	120.5925	11.7896
133.4220	121.6822	11.7398
134.4309	122.6309	11.8000
134.5780	122.7280	11.8500
132.9346	121.2146	11.7200
133.5963	121.8086	11.7877
134.4293	122.6263	11.8030
134.5338	122.7732	11.7606
134.6218	122.8314	11.7904
134.4254	122.6964	11.7290
134.3619	122.5959	11.7660
TOTAL		141.3261

Realizado por: María Naranjo, 2019.

$$Es = 141.3261 \text{ g} \approx 141 \text{ g}$$

2.3.1.2.4. Obtención del rendimiento del extracto

Dónde:

%R= Porcentaje de rendimiento del extracto seco (%)

M₁= masa del balón de destilación con el extracto seco (g)

M₂= masa del balón de destilación vacío (g)

M = masa de la materia vegetal utilizada para realizar el extracto (g)

100 = factor matemático

$$\%R = \frac{M_1 - M_2}{M} \times 100$$

Ecuación 2

$$\%R = \frac{141.3261 \text{ g}}{1200 \text{ g}} \times 100$$

$$\%R = 11.7771 \approx 12 \%$$

2.3.1.2.5. Obtención de la concentración del coagulante líquido.

Para la disolución se utilizó los 141 g de extracto seco obtenido y se agregó 360mL de agua destilada desionizada.

Donde:

[Cti]= concentración del coagulante de *Tamarindus indica* (mg/L) o (ppm)

P= Peso del coagulante seco (g)

V= Volumen de agua destilada desionizada utilizada para la disolución (mL)

$$[Cti] = \frac{P}{V} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}}$$

$$[Cti] = \frac{141 \text{ g}}{360 \text{ mL}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}}$$

$$[Cti] = 3.92 \times 10^5 \text{ mg/L} \approx \text{ppm}$$

Ecuación 3

2.3.1.2.6. Obtención del coagulante a diferentes concentraciones

Para obtener el coagulante a diferentes concentraciones se aforó los volúmenes de 5, 10 y 50 (mL) del coagulante obtenido a un volumen de 100 mL con agua destilada desionizada.

Tabla 5-2: Coagulante a diferentes concentraciones

Coagulante		Agua Destilada
(%)	Volumen a tomar (mL)	Cantidad a aforar (mL)
5	5	100
10	10	100
50	50	100
100	0	0

Realizado por: María Naranjo, 2019

2.3.1.2.7. Pruebas de Jarras

Donde:

V: medida del coagulante que se agregó

C: concentración del coagulante que se agregó

Tabla 6-2: Tabla de las pruebas a realizar.

[Concentración]	(%)	Volumen	(mL)	[Concentración]	(%)	Volumen	(mL)
C1	5	V1	5	C3	50	V1	5
		V2	10			V2	10
C2	10	V1	5	C4	100	V1	5
		V2	10			V2	10

Realizado por: María Naranjo, 2019

A cada tratamiento se agregó el coagulante a concentraciones y volúmenes diferentes como se observa en la tabla 6-2, los parámetros que se midieron se detallan en la tabla 7-2 donde R representara las repeticiones que se hizo.

Tabla 7-2: Tabla de las pruebas de jarras con repetición.

Tratamientos	Código	Repeticiones					
		R1		R2		R3	
		parámetros	unidades	parámetros	unidades	parámetros	unidades
Tratamiento 1	C1V1	Conductividad	mS/cm	Conductividad	mS/cm	Conductividad	mS/cm
		SDT	g/L	SDT	g/L	SDT	g/L
		pH		pH		pH	
		turbidez	NTU	turbidez	NTU	turbidez	NTU
Tratamiento 2	C1V2	Conductividad	mS/cm	Conductividad	mS/cm	Conductividad	mS/cm
		SDT	g/L	SDT	g/L	SDT	g/L
		pH		pH		pH	
		turbidez	NTU	turbidez	NTU	turbidez	NTU
Tratamiento 3	C2V1	Conductividad	mS/cm	Conductividad	mS/cm	Conductividad	mS/cm
		SDT	g/L	SDT	g/L	SDT	g/L
		pH		pH		pH	
		turbidez	NTU	turbidez	NTU	turbidez	NTU

Tratamientos	Código	Repeticiones					
		R1		R2		R3	
Tratamiento 4	C2V2	Conductividad	mS/cm	Conductividad	mS/cm	Conductividad	mS/cm
		SDT	g/L	SDT	g/L	SDT	g/L
		pH		pH		pH	
		turbidez	NTU	turbidez	NTU	turbidez	NTU
Tratamiento 5	C3V1	Conductividad	mS/cm	Conductividad	mS/cm	Conductividad	mS/cm
		SDT	g/L	SDT	g/L	SDT	g/L
		pH		pH		pH	
		turbidez	NTU	turbidez	NTU	turbidez	NTU
Tratamiento 6	C3V2	Conductividad	mS/cm	Conductividad	mS/cm	Conductividad	mS/cm
		SDT	g/L	SDT	g/L	SDT	g/L
		pH		pH		pH	
		turbidez	NTU	turbidez	NTU	turbidez	NTU
Tratamiento 7	C4V1	Conductividad	mS/cm	Cond.	mS/cm	Conductividad	mS/cm
		SDT	g/L	SDT	g/L	SDT	g/L
		pH		pH		pH	
		turbidez	NTU	turbidez	NTU	turbidez	NTU
Tratamiento 8	C4V2	Conductividad	mS/cm	Conductividad	mS/cm	Conductividad	mS/cm
		SDT	g/L	SDT	g/L	SDT	g/L
		pH		pH		pH	
		turbidez	NTU	turbidez	NTU	turbidez	NTU

Realizado por: María Naranjo, 2019

2.3.1.2.8. Caracterización final de los lixiviados tratados

Tabla 8-2: Descripción de los parámetros fisicoquímicos.

Parámetro	Unidad
pH	-----
Conductividad	mS/cm
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	g/L
Turbidez	NTU
DQO	mg/L
DBO	mg/L

Fuente: Reino V, 2011. (Caracterización química inorgánica y orgánica de los lixiviados del relleno sanitario La bonanza)

Realizado por: María Naranjo, 2019

2.3.1.2.9. Determinación de fenoles totales

Se determinó los fenoles totales por medio del método espectrofotométrico, el cual consiste en la reacción colorimétrica redox, tomamos como oxidante al reactivo de Folin-Ciocalteu. Para esto utilizamos la siguiente curva de calibración de ácido gálico: ($y = 0.0008x + 0.0133$) realizada en la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

- 1) Se preparó por triplicado soluciones del extracto líquido al 70% de solvente etanol a una concentración de 100 ppm.
- 2) Luego se tomó 250 μL de las soluciones de semilla-solvente, se agregó en un balón de aforo de 25 mL y se adicionó 1.25 mL de reactivo Folin-Ciocalteu, se homogenizo la muestra durante 30 segundos en el agitador Vortex, se dejó en reposo por 8 minutos.
- 3) Después se agregó 3.75 mL de Na_2CO_3 al 7.5 % y se aforo a 25 mL, colocamos nuevamente en el agitador Vortex por 15 segundos y se dejó en reposo por 120 minutos en un lugar libre de luz.
- 4) Por último, se realizó la medición de la absorbancia en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 765 nm. (García, Eva; 2015)

CAPITULO III

3. RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Caracterización Inicial del Lixiviado

Tabla 1-3: Caracterización inicial del lixiviado

Parámetro	Unidad	Resultado
pH	-----	8.19
Conductividad	mS/cm	15
SDT	g/L	7.87
Turbidez	NTU	958
DQO	mg/L	1960
DBO	mg/L	378

Realizado por: María Naranjo, 2019

3.2. Cantidad obtenida del coagulante seco.

$$Es = 141.3261 \text{ g} \approx 141 \text{ g}$$

Se obtuvo alrededor de 141 g de extracto seco donde se partió de la Ecuación 1; este extracto se utilizó para la disolución con agua destilada.

3.3. Rendimiento del coagulante

$$\%R = 11.7771 \approx 12 \%$$

Se obtuvo un 12% de rendimiento del coagulante extraído, se partió de la Ecuación 2.

3.4. Obtención de la concentración del coagulante líquido.

$$[C_{ti}] = 3.92 \times 10^5 \text{ mg/L} \approx \text{ppm}$$

El coagulante de forma líquida tuvo una concentración de alrededor 3.92×10^5 ppm, la cual se calculó a partir de la Ecuación 3.

3.5. Cantidad de fenoles presentes en la muestra del coagulante natural

Se estimó un 1.69 % de fenoles en la muestra de coagulante natural expresados en gramos de Ácido Gálico por gramos de Tamarindo.

3.6. Análisis estadístico de medias en el Test de Jarras

Tabla 2-3: Media estadística

MUESTRA		Análisis estadístico				
Concentración (%)	Volumen (mL)	Parámetro	Media	N	Mínimo	Máximo
5	10	Conductividad	14,60	3	14,40	14,80
		SDT	7,60	3	6,70	8,10
		pH	8,33	3	8,30	8,40
		Turbidez	708,00	3	704,00	712,00
10		Conductividad	14,50	3	14,20	14,80
		SDT	8,30	3	8,00	8,70
		pH	8,32	3	8,10	8,50
		Turbidez	817,33	3	808,00	833,00
50		Conductividad	15,60	3	15,00	16,10
		SDT	8,60	3	8,30	8,80
		pH	8,28	3	8,00	8,70
		Turbidez	923,67	3	914,00	931,00
100		Conductividad	15,23	3	15,00	15,40
		SDT	8,17	3	8,10	8,30
		pH	8,34	3	8,20	8,70
		Turbidez	875,00	3	841,00	934,00
5	15	Conductividad	14,90	3	14,60	15,20
		SDT	8,39	3	8,00	8,80
		pH	8,25	3	8,20	8,30
		Turbidez	778,33	3	775,00	782,00
10		Conductividad	15,03	3	14,80	15,30
		SDT	8,26	3	8,20	8,30
		pH	8,43	3	8,30	8,50
		Turbidez	861,67	3	856,00	868,00
50		Conductividad	14,53	3	14,40	14,70
		SDT	7,09	3	5,40	8,00
		pH	8,17	3	8,00	8,30
		Turbidez	716,33	3	705,00	730,00
100		Conductividad	12,41	3	11,40	13,20
		SDT	5,76	3	5,00	6,40
		pH	8,17	3	7,90	8,40
		Turbidez	967,67	3	953,00	989,00
	Total		215,41	96	5,00	989,00

Realizado por: María Naranjo, 2019.

Se realizó un resumen de las medias de los parámetros físico/químicos de la muestra, en donde se agregó el coagulante a 1 L de lixiviado a una concentración y cantidad determinada.

Tabla 3-3: Resumen de medias.

Coagulante proporcionado		Conductividad (mS/cm)	SDT (g/L)	pH	Turbidez (NTU)
Concentración (%)	Volumen				
5	10	14,6	7,6	8,33	708
10	10	14,5	8,3	8,32	817,33
50	10	15,6	8,6	8,28	923,67
100	10	15,08	8,17	8,34	875
5	15	32	8,39	8,25	778,33
10	15	15,03	8,26	8,43	861,67
50	15	14,53	7,09	8,17	716,33
100	15	12,41	5,76	8,17	967,67

Realizado por: María Naranjo, 2019.

Se observa que con la concentración al 50% y a los 10mL del coagulante la concentración de la conductividad, SDT y turbidez es mayor.

En la concentración de 5% y 10 mL del coagulante la turbidez es menor con relación a los otros tratamientos.

En la concentración de 100% y 15 mL la conductividad y SDT son menores a los otros tratamientos, pero se observó que la turbidez en este tratamiento es mayor que en los otros.

3.7. Descripción gráfica de los parámetros físicos/químicos cuando se adiciono el coagulante a diferentes concentraciones y volumen a 1 L de lixiviado por método de test de jarras.

CONDUCTIVIDAD

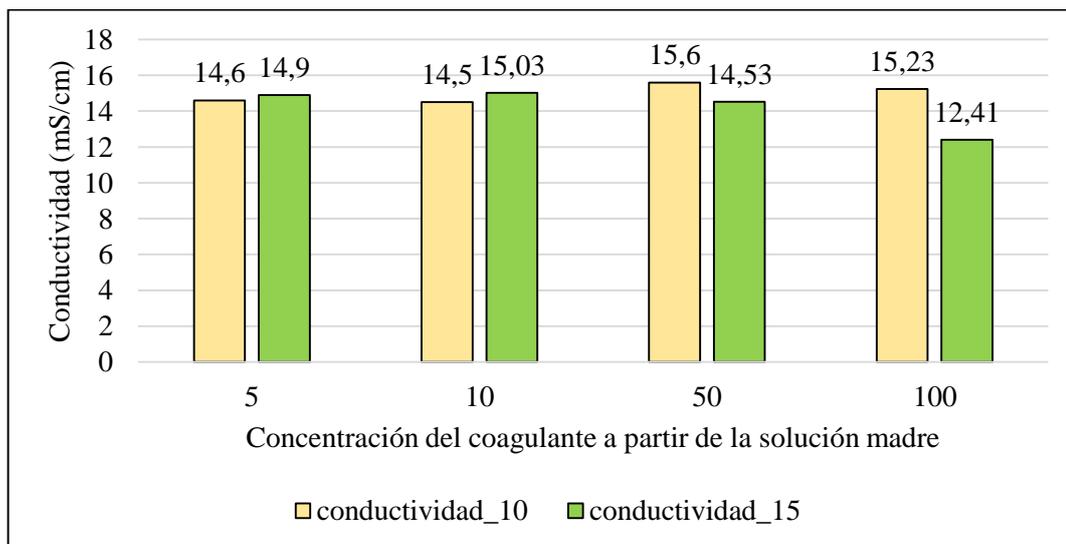


Gráfico 1-3: Descripción gráfica de conductividad.

Realizado por: María Naranjo, 2019.

En la gráfica 1-3 cuando se agregó el coagulante a una concentración de 50 % y volumen de 10 mL, la conductividad fue de 15.6mS/cm y se tuvo una menor conductividad de 12.41mS/cm, cuando se agregó el coagulante a una concentración de 100 % y volumen de 15 mL.

SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

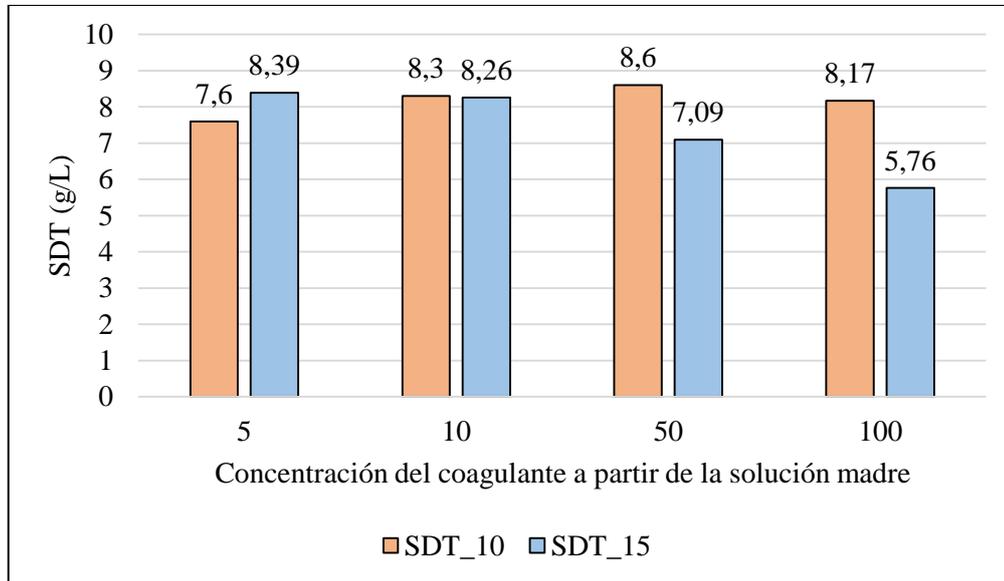


Gráfico 2-3: Descripción gráfica de SDT.
Realizado por: María Naranjo, 2019.

En el gráfico 2-3, se observa que con una concentración de 100 % y volumen de 15 mL de coagulante agregado a la muestra los sólidos totales disueltos son de 5.76 g/L, mientras que los valores de sólidos disueltos totales son más altos cuando se agrega el coagulante a una concentración de 50 % y volumen de 10 mL.

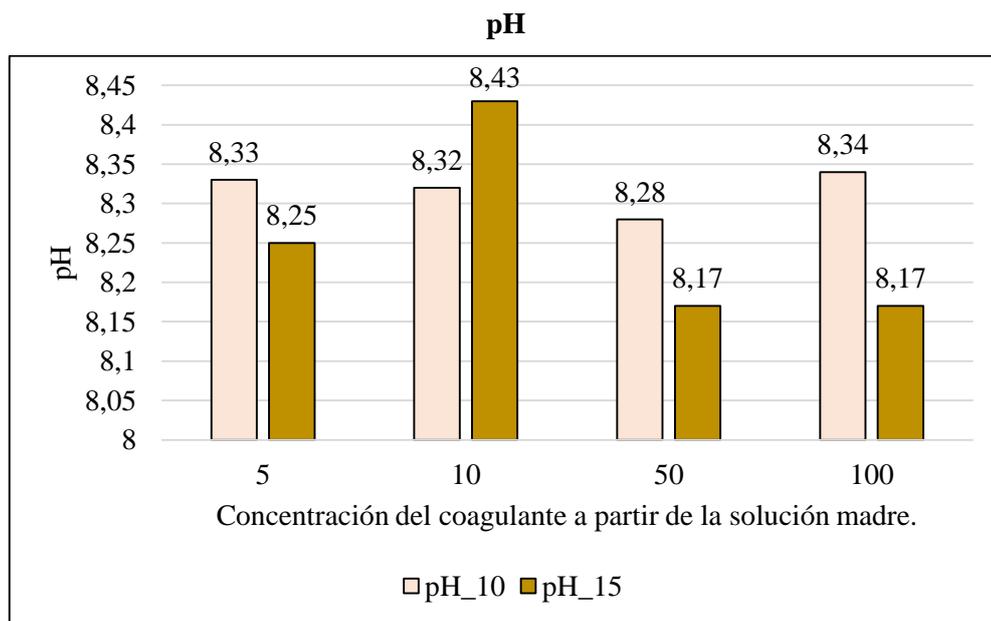


Gráfico 3-3: Descripción gráfica de pH.
Realizado por: María Naranjo, 2019.

Se denota que en el gráfico 3-3, el pH mayor es de 8.43 en concentraciones de 10 % con un volumen de 15mL de coagulante y de menor pH es de 8.17 en concentraciones de 50 % y 100 % pero de igual volumen de 15 mL, todo esto expuesto en un litro de lixiviado. Resaltando que los pH en todas las muestras están en un rango de 8.17 a 8.43.

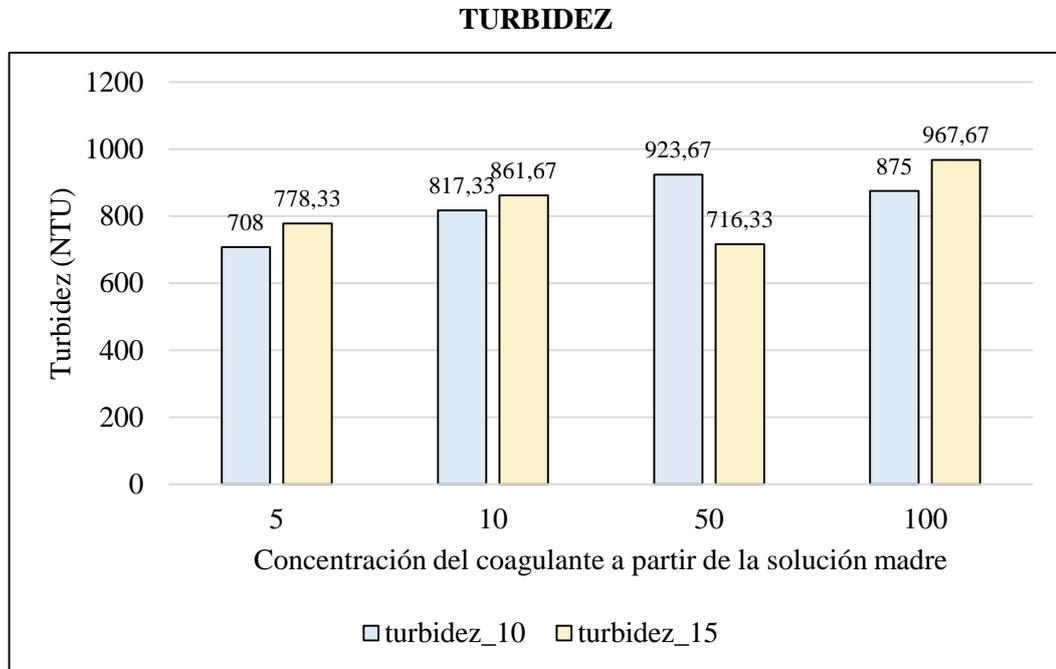


Gráfico 4-3: Descripción gráfica de la turbidez.
Realizado por: María Naranjo, 2019.

La turbidez en la gráfica de 4-3, describe que la mayor turbidez es de 967,67 NTU al adicionar el coagulante con una concentración de 100 % con un volumen de 15 mL de coagulante expuesto a un litro de lixiviado, a diferencia de 708 NTU siendo menor de turbidez en concentraciones de 5% con un volumen de 10 mL, expuesto a un litro de lixiviado.

3.8. Análisis y elección del tratamiento a filtrar.

Mediante el Test de Jarras se seleccionó el Tratamiento 8 de la tabla 7-2, ya que según los resultados de los parámetros físicos y químicos se obtuvo una remoción mayor de la conductividad, sólidos disueltos totales y pH, en relación a los otros tratamientos, también se observó que la turbidez presento un aumento es sus valores después del mismo tratamiento.

3.9. Muestra filtrada después de la elección adecuada.

Valores filtrados de dosificación del lixiviado 100% con el coagulante 15mL como se observa en la tabla 4-3.

Tabla 4-3: Valores filtrados.

Coagulante proporcionado		Conductividad (mS/cm)	SDT(g/L)	pH	Turbidez (NTU)
Concentración (%)	Volumen				
100	15	5,9	3,3	7,67	839
100	15	6,2	2,7	8,01	835
100	15	5,31	2,45	8,74	842

Realizado por: María Naranjo, 2019.

Valores de la media de la muestra filtrada de lixiviado con el coagulante al 100 % y 15 mL como se observa la tabla 5-3.

Tabla 5-3: Valores de la media.

	Conductividad(mS/cm)	SDT(g/L)	pH	Turbidez (NTU)
Media	5,80	2,82	8,14	838,67

Realizado por: María Naranjo, 2019.

3.10. Comparación de las variables físicas químicas antes y después del filtrado.

Se comparó la remoción del lixiviado con el coagulante después de una elección y filtrado de acuerdo con las concentraciones y volumen proporcionados a 1 L de lixiviado como se observa en la tabla 6-3.

Tabla 6-3: Comparación de la remoción del lixiviado con el coagulante

CARACTERÍSTICAS DEL LIXIVIADO				
Coagulante	Concentración (%)	100%		
	Volumen	15mL		
Parámetros	Resultados		Eficiencia de remoción (%)	Límite máximo permisible
	Inicial	Final		
Conductividad (mS/cm)	12,41	5,80	53,23	-----
SDT (g/L)	5,76	2,82	51,10	1,6
pH	8,17	8,14	0,33	6-9
Turbidez (NTU)	967,67	838,67	13,33	-----
DBO (mg/L)	378,00	211	44,18	100
DQO (mg/L)	1960	1214	38,06	200

Realizado por: María Naranjo, 2019.

Remoción del lixiviado al 100% con coagulante al 15mL antes y después del filtrado.

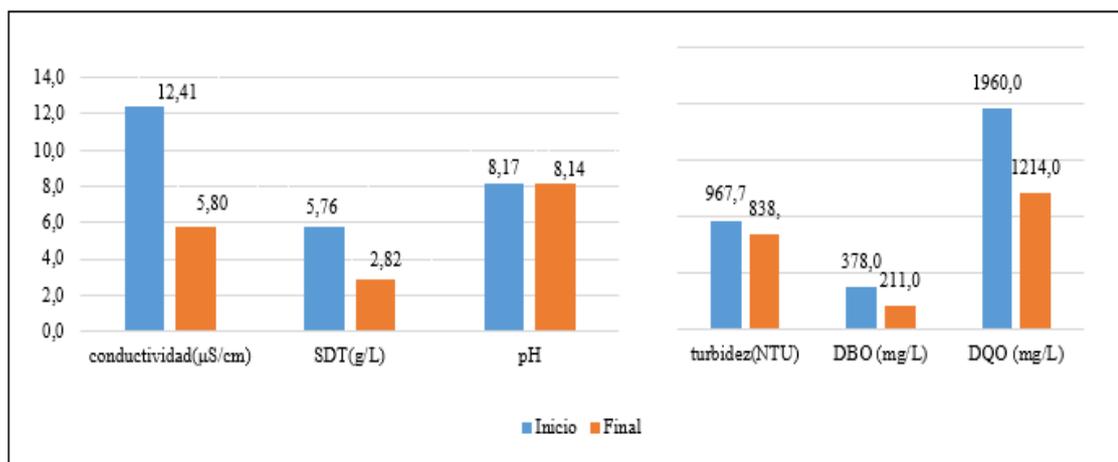


Gráfico 5-3: Remoción del lixiviado.

Realizado por: María Naranjo, 2019.

3.11. Cantidad de Fenoles presentes en el coagulante

Se validó la dosificación del tratamiento de lixiviado de acuerdo con la cantidad de fenoles presentes en el coagulante natural extraído de la semilla de tamarindo, ya que posee una cantidad de 1.69% de fenoles expresados en gramos de ácido gálico por gramos de tamarindo; se sabe que los taninos tienen tendencia a formar uniones entre partículas; en medio acuoso, iones hidroxilos reaccionan con los grupos fenólicos provocando la formación de complejos poliméricos, los cuales también tienen la tendencia de precipitar coloides con carga negativa.

3.12. Discusión

La dosificación adecuada que se agregó a 1 litro de lixiviado fue seleccionada en las pruebas preliminares en donde los volúmenes de 10 mL y 15 mL tuvieron resultados positivos, ya que si se agregaba más coagulante natural al lixiviado este se saturaba produciendo la separación de las partículas ya floculadas y un aumento en la turbidez, con dosificaciones menores a 10 mL la muestra de lixiviado no tenía cambios significativos habiendo nula aglomeración de partículas. También se tuvo muy en cuenta la velocidad con lo que se manejó el test de jarras ya que con una velocidad baja de 20rpm ayudo a que el coagulante entre en mayor contacto con las partículas suspendidas del lixiviado haciendo que se formen los flóculos y que precipiten al fondo del recipiente, a una velocidad mayor el coagulante al momento de formar los flóculos estos se deshacían entre el lixiviado y no tenía ningún efecto sobre las partículas suspendidas.

El análisis de datos realizado nos dio resultados notables para comparar los parámetros físico-químicos de línea base y post-tratamiento del filtrado, en donde se seleccionó el tratamiento de

un litro de lixiviado a concentraciones de 100% y volumen de 15mL, como se denota en la gráfica 5-3 y la tabla 6-3. Reduciendo los parámetros de conductividad, SDT y DBO en casi un 50%, mientras tanto en los parámetros como el pH, turbidez y DQO tiene un porcentaje menor al 45% de remoción, todo estos en la muestra final, se puede decir que el coagulante natural extraído de la semilla de tamarindo es eficiente en cuanto a la remoción de los parámetros mencionados anteriormente en las muestras de lixiviado. Validando también lo expuesto por Gurdían y Coto, 2011 que tratan líquidos con la semilla de tamarindo como coagulantes de origen natural generando una remoción de contaminantes sobre todo en aguas residuales.

Se realizó los análisis respectivos a la muestra de lixiviados obteniéndose que parámetros como SDT, DBO y DQO están por encima de los límites máximos permisibles; 2,82 g/ L, 211 mg/L y 1214 mg/L respectivamente; el pH está dentro del rango de los límites permisibles con un valor de 8,14 establecidos en la tabla 9 del Acuerdo Ministerial 097A sobre los límites de descargas en cuerpos de agua dulce, generando problemas de contaminación.

CONCLUSIONES

- El coagulante natural obtenido de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) tiene la capacidad de bajar la concentración en el lixiviado alrededor de un 50% ya que en el test de jarras se formaron flóculos y precipitaron demostrando su eficiencia en porcentajes de remoción en función de los parámetros analizados.
- Se caracterizó a los lixiviados antes de agregar el coagulante natural con el fin de conocer la influencia de este en la remoción de las partículas suspendidas presentes en dicho lixiviado tomando en cuenta los valores de los parámetros fisicoquímicos.
- Se extrajo los principios activos de la semilla de tamarindo constatando que en la composición del coagulante natural si están presentes fenoles, los cuales son expresados en gramos de ácido gálico por gramos de tamarindo, estos fenoles son los responsables de la coagulación en el lixiviado debido a su carácter químico y de enlaces.
- Se estableció la mejor dosificación partiendo de los tratamientos planteados con la cual el coagulante natural reaccionó con la muestra de lixiviados mediante la prueba o test de jarras en donde se tuvo en cuenta los parámetros de control fisicoquímicos, los cuales se redujeron en casi un 50 % al momento de agregar el coagulante natural de concentración 100 % y volumen de 15 mL en 1 litro de lixiviado.

RECOMENDACIONES

Se debería continuar con más estudios sobre el principio activo de este coagulante natural, para que así se obtenga de una manera más específica conocimiento de cómo funcionan los fenoles solos o en sinergia con algún otro compuesto de la semilla de tamarindo al entrar en contacto con el lixiviado y resto de líquidos que contengan material suspendido en su composición.

Se aconseja utilizar un coadyuvante para mejorar el proceso de coagulación y floculación, el cual podría tener una eficiencia de remoción mayor al 50 % de los parámetros analizados en este estudio.

Para un mejor tratamiento del lixiviado con este coagulante natural obtenido se sugiere como un post-tratamiento utilizar la filtración con grava y arena para remover por completo los flóculos precipitados del lixiviado ya tratado.

Plantear a las empresas que fabrican coagulantes químicos que trabajen con coagulantes extraídos de plantas demostrando que la efectividad de éstos puede ser igual o mayor al de los coagulantes químicos que fabrican.

BIBLIOGRAFÍA

Aguirre. Especies forestales bosques secos Ecuador. [en línea]. [Consulta: 24 noviembre 2018]. 2012. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/Bosques-Secos4.pdf>.

Ahmed, E., et.al. Physico-chemical characterization of landfill leachates: A comparison case between Tangier and Agadir(Morocco). *J. Mater. Environ. Sci*, [en línea]. vol. 11, pp. 3207-3216. 2015. [Consulta: 24 noviembre 2018]. 2012. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/286916364_Physico-chemical_characterization_of_landfill_leachates_A_comparison_case_between_Tangier_and_AgadirMorocco

Anastasakis, K., Kalderis, D. Y Diamadopoulos, E. Flocculation behavior of mallow and okra mucilage in treating wastewater. *Desalination*, [en línea]. 2009. vol. 249, no. 2, pp. 786-791. [Consulta: 24 noviembre 2018]. ISSN 00119164. DOI 10.1016/j.desal.2008.09.013. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0011916409008935>

Araúz, F., et.al. Tratabilidad de efluentes residuales por medio de un coagulante natural a base de tanino del pseudotallo del plátano. *Revista de Iniciación Científica*, 2015. [en línea]. vol. 1, no. 1, pp. 51-55. [Consulta: 24 noviembre 2018]. ISSN 2413-6786. Disponible en: <http://www.revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/350>

Banchón, C., et.al. Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales. *Enfoque UTE*, 2016. [en línea]. vol. 7, no. 4, pp. 111-126. [Consulta: 24 noviembre 2018]. ISSN 1390-6542. DOI 10.29019/enfoqueute.v7n4.118. Disponible en: <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/118>

Barradas Rebolledo, A. *Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales* [en línea]. Minatitlán, Veracruz, México: Universidad Politécnica de Madrid. 2009. [Consulta: 22 noviembre 2018]. Disponible en: http://oa.upm.es/1922/1/Barradas_MONO_2009_01.pdf.

Borzacconi, L., López, I. Y Anido, C. Metodología para la estimación de la producción y concentración de lixiviado de un relleno sanitario. *RESEARCHGATE*. [en línea] 2014. pp. 5. [Consulta: 22 noviembre 2018]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/228596715>

Botanical Online. Tamarindo. <https://www.botanical-online.com/tamarindo.htm> [en línea]. 2018. [Consulta: 24 noviembre 2018]. Disponible en: <https://www.botanical->

online.com/tamarindo.htm.

Cegarra, I.-D. *Magister scientiarum en ciencias del ambiente (I/A)* [en línea]. Universidad Del Zulia - Facultad De Ingeniería - División De Postgrado - Programa De Postgrado Ciencias Del Ambiente. Venezuela: 2011. [Consulta: 24 noviembre 2018]. Disponible en: http://tesis.luz.edu.ve/tde_arquivos/39/TDE-2014-05-29T15:27:15Z-4850/Publico/cegarra_badell_diana_dielui.pdf.

Corena Luna, M. De J. *Sistemas de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios* [en línea]. Sincelejo: Universidad de Sucre, Facultad de Ingeniería - Departamento de Ingeniería Civil. [Consulta: 24 noviembre 2018]. 2008. Disponible en: <http://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/304/2/628.44564C797.pdf>.

De Vargas, L. Capítulo 3 Procesos Unitarios y Plantas de Tratamiento, [en línea]. 2004. pp. 47. [Consulta: 24 noviembre 2018]. Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomoI/ma1_tomo1_cap3.pdf

Deffis Caso, A. *Diseño de protección ambiental proyectos autosuficientes edificación sostenible arquitectura sustentable*. [en línea]. 1994. S.l.: s.n. [Consulta: 22 noviembre 2018]. Disponible en: <http://www.armandodeffis.com.mx/libros.php>.

Deng, Y. Y Englehardt, J.D. Electrochemical oxidation for landfill leachate treatment. *Waste Management*, [en línea]. 2007 vol. 27, no. 3, pp. 380-388. [Consulta: 22 noviembre 2018]. ISSN 0956-053X. DOI 10.1016/j.wasman.2006.02.004. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X06000663>

Díaz, J.A. Granada Natural. [en línea], 2008. [Consulta: 24 noviembre 2018]. Disponible en: http://www.gradanatural.com/blog.php?codigo_blog_articulo=21.

El Fadel, M., et.al. Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. *Waste Management*. [en línea], 2002. vol. 22, no. 3, pp. 269-282. [Consulta: 24 noviembre 2018]. ISSN 0956-053X. DOI 10.1016/S0956-053X(01)00040-X. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X0100040X>

El Siddig, K., et.al. *Tamarind - Tamarindus indica L.* [en línea]. 2006. 1. S.l.: s.n. [Consulta: 24 noviembre 2018]. ISBN 0-85432-859-9. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.452.9515&rep=rep1&type=pdf>.

Fornieles, J. A. Tratamiento de Lixiviados. *Seminario Nacional de Limpieza Publica* [en línea]. 2011. [Consulta: 26 abril 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/67093174/Dia-15-Juan-Fornieles>

Fu, F. Y Wang, Q. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management*, [en línea]. 2011. vol. 92, no. 3, pp. 407-418. [Consulta: 24 noviembre 2018]. ISSN 0301-4797. DOI 10.1016/j.jenvman.2010.11.011. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479710004147>

Gálvez Pérez, A. *Aplicabilidad de procesos de coagulación-floculación y de sistemas de biopelícula en el tratamiento de lixiviados de vertederos de residuos urbanos (Tesis) (doctoral)*. [en línea]. Universidad de Granada. Granada – Departamento de Ingeniería Civil: Granada – España. 2008. pp. 1-718 Editorial de la Universidad de Granada. [Consulta: 24 noviembre 2018]. Disponible en: <https://hera.ugr.es/tesisugr/17465151.PDF>

García Serrano, J. Y Corzo Hernández, A. Depuración con Humedales Construidos. [en línea]. 2008. pp. 108. [Consulta: 24 noviembre 2018]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/2474/JGarcia_and_ACorzo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

García Martínez, E., et.al. *Determinación de polifenoles totales por el método de Folin - Ciocalteu* [en línea]. 2017. S.l.: s.n. [Consulta: 24 noviembre 2018]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/52056/Garcia%20Mart%C3%ADnez%20et%20al.pdf?sequence=1>.

Giraldo, E. Tratamiento De Lixiviados De Rellenos Sanitarios: Avances Recientes. *Revista de Ingeniería*, [en línea]. 2014. vol. 0, no. 14, pp. 44. [Consulta: 24 noviembre 2018]. ISSN 20110049, 01214993. DOI 10.16924/riua.v0i14.538. Disponible en: <http://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/view/538>

Gurdián López, R., Coto Campos, J.M. Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la coagulación-floculación de aguas residuales. *Tecnología en Marcha*, [en línea]. 2011. vol. 24, no. 2, pp. 18-26. [Consulta: 24 noviembre 2018] ISSN 0379-3962. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835564>

Inorganic Nonmetallic Constituents, 1999. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 1999. S.l.: s.n.

Jorgensen, P.M., et.al. Tropicos Name *Tamarindus indica* L. [en línea]. 2009. [Consulta: 24 noviembre 2018]. Disponible en: <http://www.tropicos.org/Name/13033329?projectid=2>.

Kettunen, R.H., Rintala, J.A. Performance of an on-site UASB reactor treating leachate at low temperature. *Water Research*, [en línea]. 1998. vol. 32, no. 3, pp. 537-546. [Consulta: 24 noviembre 2018] ISSN 0043-1354. DOI 10.1016/S0043-1354(97)00319-9. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135497003199>

Köfalusi, G.K., Encarnación Aguilar, G. Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final. [en línea]. 2006. vol. 1, no. 79, pp. 39-51. [Consulta: 24 noviembre 2018]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2877246.pdf>

Kurniawan, T.A., Lo, W. y Chan, G.Y. Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*, [en línea]. 2006. vol. 129, no. 1, pp. 80-100. [Consulta: 24 noviembre 2018]. ISSN 0304-3894. DOI 10.1016/j.jhazmat.2005.08.010. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030438940500467X>

Lopes De Morais, J. y Peralta Zamora, P. Use of advanced oxidation processes to improve the biodegradability of mature landfill leachates. *Journal of Hazardous Materials*, [en línea]. 2005. vol. 123, no. 1, pp. 181-186. [Consulta: 24 noviembre 2018]. ISSN 0304-3894. DOI 10.1016/j.jhazmat.2005.03.041. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389405001603>

Lozano Rivas, W.A. Uso del extracto de fique (*Furcraea* sp.) como coadyuvante de coagulación en tratamiento de lixiviados. *Revista internacional de contaminación ambiental*, [en línea]. 2012. vol. 28, no. 3, pp. 219-227. [Consulta: 24 noviembre 2018]. ISSN 0188-4999. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-49992012000300004&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Luna, Y., et.al. Use of zeolitised coal fly ash for landfill leachate treatment: A pilot plant study. *Waste Management*, [en línea]. 2007. vol. 27, no. 12, pp. 1877-1883. [Consulta: 24 noviembre 2018]. ISSN 0956-053X. DOI 10.1016/j.wasman.2006.10.016. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X06003126>

Manahan, S.E. *Introducción a la química Ambiental* [en línea] 2007. 1. México: Reverté. S.A. [Consulta: 22 noviembre 2018]. ISBN 968-36-6707-4. Disponible en: <http://blog.utp.edu.co/lilianabueno/files/2015/08/Introduccion-a-la-Quimica-Ambiental-S.-E.-Manahan2.pdf>.

Martínez Cruz, A. *Método alternativo para tratar lixiviados maduros mediante el proceso de*

coagulación floculación con mucílago de Opuntia ficus indica [en línea]. México: Universidad Nacional Autónoma de México - Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería - Ingeniería Ambiental - Residuos Sólidos. [Consulta: 22 noviembre 2018]. 2017. Disponible en: <http://132.248.52.100:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/13937/tesis.pdf?sequence=1>

Mathur, V. y Mathur, N.K. Fenugreek and other lesser known legume galactomannan-polysaccharides: Scope for developments. *SCHOLAR*. [en línea]. 2005. vol. 64, pp. 475-481. [Consulta: 22 noviembre 2018]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/4c93/02f89121830dd386695d1ed087c9de89994b.pdf>

Melo Vargas, G.R. y Turriago Ríos, F.A. *Evaluación de la eficiencia de la utilización de semillas de moringa oleifera como una alternativa de biorremediación en la purificación de aguas superficiales del caño cola de pato ubicado en el sector rural del Municipio de Acacias*. [en línea]. 2012. S.l.: Universidad Nacional Abierta y A distancia, Facultad de Ciencias Económicas, Villavicencio Colombia. [Consulta: 22 noviembre 2018]. Disponible en: <http://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/1428/1/TESIS%20DE%20GRADO-EFICIENCIA%20UTILIZACION%20DE%20SEMILLAS%20DE%20MORINGA%20-%20BIORREMEDIACION.pdf>.

Nieto Orellana, Ian R. y Orellana Ulloa, V.P. *Aplicación del quitosano como promotor de floculación para disminuir la carga contaminante* [en línea]. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca - Ecuador: 2011. [Consulta: 22 noviembre 2018]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1510/16/UPS-CT002068.pdf>.

Olascoaga Guerrero, L. *Programa de cálculo para estimar la cantidad de lixiviados generados en Rellenos Sanitarios* [en línea]. Instituto Politécnico Nacional - Centro de Investigación y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo. México: 2014. [Consulta: 22 noviembre 2018]. Disponible en: https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/13636/LIZZETH_OLASCOAGA.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Ospina Zúñiga, Ó.E. y Ramírez Arcila, H. Tratamiento casero alternativo de agua para consumo humano por medio de fitoquímicos. [en línea]. 2011. vol. 1, no. 84, pp. 7-17. [Consulta: 22 noviembre 2018]. ISSN 0121-5132. Disponible en: <http://repository.ucc.edu.co/bitstream/ucc/86/1/46-Tratamientocaseroalternativo.pdf>

Pineda M., S.I. *Manejo y disposición de residuos sólidos urbanos* [en línea]. Santafé de Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 1998. [Consulta: 22 noviembre

2018]. ISBN 978-958-96454-0-6. Disponible en: <http://www.worldcat.org/title/manejo-y-disposicion-de-residuos-solidos-urbanos/oclc/318278961>.

Piqueras, C.V. Los valores interiores menos conocidos de las plantas: poliaminas y metabolitos secundarios. [en línea]. 2012. vol. 5, no. 138-139, pp. 2. [Consulta: 22 noviembre 2018]. Disponible en: http://www.encuentros.uma.es/encuentros138_9/poliaminas.pdf

Pritchard, M., et.al. Potential of using plant extracts for purification of shallow well water in Malawi. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, [en línea]. 2009. vol. 34, no. 13, pp. 799-805. ISSN 1474-7065. DOI 10.1016/j.pce.2009.07.001. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S147470650900059X>

Ramírez Arcila, H. y Jaramillo Peralta, J. Agentes Naturales como Alternativa para el Tratamiento del Agua. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, [en línea]. 2015. vol. 11, no. 2, pp. 136-153. [Consulta: 22 noviembre 2018]. ISSN 2500-5316. DOI 10.18359/rfcb.1303. Disponible en: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/1303>

Ramos Rivera, J. Geotecnia de rellenos sanitarios. En: DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.4040.5121>, *ResearchGate* [en línea], 2011. vol. 1. [Consulta: 22 noviembre 2018]. DOI 10.13140/2.1.4040.5121. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/264332755_GEOTECNIA_DE_RELLENOS_SANITARIOS.

Reino, V.C. *Caracterización química inorgánica y orgánica de los lixiviados del relleno sanitario "La Bonanza"* [en línea]. Caracas - Venezuela: Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias - Escuela de Química. 2011. [Consulta: 22 noviembre 2018]. Disponible en: <http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/9220/1/Tesis%20Vanessa%20Carolina%20Reino.pdf>.

Reyes Medina, M. Lixiviados en plantas de residuos. Una contribución para la selección del proceso de tratamiento. *Ingeniería del agua*, [en línea]. 2014. vol. 18, no. 1, pp. ix. [Consulta: 22 noviembre 2018]. ISSN 1886-4996, 1134-2196. DOI 10.4995/ia.2014.3293. Disponible en: <http://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/3293>

Rigola Lapeña, M. Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales. *ResearchGate* [en línea]. 1999. [Consulta: 22 noviembre 2018]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/44518942_Tratamiento_de_aguas_industriales_aguas_de_proceso_y_residuales_Miguel_Rigola_Lapena.

Robles Martínez, F. *Generación de biogás y lixiviados en los rellenos sanitarios* [en línea]. 2005: s.n. [Consulta: 22 noviembre 2018]. ISBN 970-36-0214-2. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/31859864_Generacion_de_biogas_y_lixiviados_en_los_rellenos_sanitarios_F_Robles_Martinez.

Romero, C., et.al. Raw and digested municipal waste compost leachate as potential fertilizer: comparison with a commercial fertilizer. *Journal of Cleaner Production*, [en línea]. 2013. vol. 59, pp. 73-78. [Consulta: 22 noviembre 2018]. ISSN 0959-6526. DOI 10.1016/j.jclepro.2013.06.044. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652613004356>

Salamanca, M., Fuentes, L. y Caldera, Y. Producción científica luz. [en línea]. 2013. vol. 3, no. 1, pp. 91-96. [Consulta: 22 noviembre 2018]. Disponible en: <http://www.produccioncientifica.luz.edu.ve/index.php/redieluz/article/viewFile/19438/19410>

Sánchez Martín, J., et.al. Absorbentes naturales a partir de taninos. Una propuesta de reutilización de residuos forestales para la purificación de aguas. [en línea]. 2011. vol. 1, no. 7, pp. 125-139. [Consulta: 22 noviembre 2018]. ISSN 1889-0660. Disponible en:

Sandoval Arreola, M.M. y Laines Canepa, J.R. Moringa oleifera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. [en línea]. 2013. vol. 17, no. 2, pp. 93-101. [Consulta: 22 noviembre 2018]. ISSN 1665-529. Disponible en:

Santos, A.F.S., et.al. Isolation of a seed coagulant Moringa oleifera lectin. *Process Biochemistry*, 2009. vol. 44, no. 4, pp. 504-508. [Consulta: 22 noviembre 2018]. ISSN 1359-5113. DOI 10.1016/j.procbio.2009.01.002. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/467/46730913001.pdf>

Secretaría Desarrollo Social - Sedesol, M. *Problemática del tiradero «A cielo abierto»* [en línea]. 1996. S.l.: s.n. [Consulta: 22 noviembre 2018]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd61/tecnadmvo/cap2.pdf>.

Shiang Huang, Y., et.al. A Study on Aggregation of Group Decisions. *ResearchGate* [en línea]. 2009. [Consulta: 23 noviembre 2018]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/227641985_A_Study_on_Aggregation_of_Group_Decisions.

Teca Gavilanes, D.E. *Estudio de selección de Aditivos Tenso activos para el tratamiento de los Lixiviados generados en el Relleno Sanitario del Cantón Antonio Ante, provincia de Imbabura* [en línea]. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental - Carrera de Ingeniería Ambiental. Quito - Ecuador: 2013. [Consulta: 22 noviembre 2018]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1993>.

Thombare, N., et.al. Multipurpose applications of tamarind seeds and kernel powder. *ResearchGate* [en línea]. 2014. [Consulta: 24 noviembre 2018]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/306038753_Multipurpose_applications_of_tamarind_seeds_and_kernel_powder.

Vargas, G.R.M. Y Ríos, F.A.T. *Evaluación De La Eficiencia De La Utilización De Semillas de Moringa Oleifera como una alternativa de biorremediación en la purificación de aguas superficiales del caño cola de pato ubicado en el sector rural del Municipio de Acacias* [en línea]. Universidad Nacional Abierta y A distancia - Unad, Facultad de Ciencias Económicas - Programa Ingeniería Agroforestal. Villavicencio: 2012. [Consulta: 24 noviembre 2018]. Disponible en: <http://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/1428/1/TESIS%20DE%20GRADO-EFICIENCIA%20UTILIZACION%20DE%20SEMILLAS%20DE%20MORINGA%20-%20BIORREMEDIACION.pdf>.

Vásquez Yanes, C., et.al. *Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación* [en línea]. 1999. S.l.: s.n. [Consulta: 24 noviembre 2018]. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/inicio.pdf.

Villalba, L. *La Gestión de residuos y desechos sólidos en el Área Metropolitana de Caracas*. [en línea]. Caracas – Venezuela: Instituto Latinoamericano de Investigaciones Sociales. [Consulta: 28 enero 2019]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/320866415_La_Gestion_de_residuos_y_desechos_solidos_en_el_Area_Metropolitana_de_Caracas

Winnen, H., Suidan, M.T., et.al. Effectiveness of the membrane bioreactor in the biodegradation of high molecular-weight compounds. *Water Science and Technology*, [en línea]. 1996. vol. 34, no. 9, pp. 197-203. [Consulta: 22 noviembre 2018]. ISSN 0273-1223. DOI 10.2166/wst.1996.0211. Disponible en: [/wst/article/34/9/197/5550/Effectiveness-of-the-membrane-bioreactor-in-the](http://www.wst-article.com/34/9/197/5550/Effectiveness-of-the-membrane-bioreactor-in-the)

Yang Yin, C. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochemistry*, [en línea]. 2010. vol. 45, no. 9, pp. 1437-1444. [Consulta: 22 noviembre 2018]. ISSN 1359-5113. DOI 10.1016/j.procbio.2010.05.030. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359511310002114>

Yoo, H.-C., et.al. Modification of Coagulation and Fenton Oxidation Processes for Cost-Effective Leachate Treatment. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, [en línea].

2001. vol. 36, no. 1, pp. 39-48. [Consulta: 22 noviembre 2018]. ISSN 1093-4529. DOI 10.1081/ESE-100000470. Disponible en: <https://doi.org/10.1081/ESE-100000470>

Zamudio Pérez, E., *Acoplamiento del proceso de coagulación - floculación por biopolímeros y desinfección por ozono de aguas residuales municipales*. [en línea]. Instituto Politécnico Nacional Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología. México: 2013. [Consulta: 22 noviembre 2018]. Disponible en: https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/19534/Evelyn_Zamudio.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

ANEXOS

ANEXO A: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/L	0,3
Alkil mercuríco		mg/L	No detectable
Aluminio	Al	mg/L	5,0
Arsénico total	As	mg/L	0,1
Bario	Ba	mg/L	2,0
Boro total	B	mg/L	2,0
Cadmio	Cd	mg/L	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/L	0,1
Cinc	Zn	mg/L	5,0
Cloro activo	Cl	mg/L	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/L	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/L	1000
Cobre	Cu	mg/L	1,0
Cobalto	Co	mg/L	0,5
Coliformes fecales	NMP	NMP/ 100 ml	10000
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/L	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/L	0,5
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/L	100
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/L	200
Estaño	Sn	mg/L	5,0
Fluoruros	F	mg/L	5,0

Fósforo total	P	mg/L	10,0
Hierro total	Fe	mg/L	10,0
Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite máximo permisible
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/L	20,0
Manganeso total	Mn	mg/L	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/L	0,005
Níquel	Ni	mg/L	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/L	30,0
Nitrógeno total	N	mg/L	50,0
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/L	0,05
Compuestos organofosforados	Organofosforados totales	mg/L	0,1
Plata	Ag	mg/L	0,1
Plomo	Pb	mg/L	0,2
Potencial de hidrogeno	pH	mg/L	6-9
Selenio	Se	mg/L	0,1
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/L	130
Sólidos totales	ST	mg/L	1600
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/L	1000
Sulfuros	S ⁻²	mg/L	0,5
Temperatura	°C	mg/L	Condición natural ±3
Tensoactivos	Activas al azul de metileno	mg/L	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/L	1,0

Fuente: Acuerdo Ministerial 097 A, Tabla 9, publicado en el registro oficial edición especial N° 387 del 4 de noviembre del 2015

Realizado por: María Naranjo, 2019

ANEXO B: Resultados del Test de Jarras

Coagulante		Parámetro	Valor	Coagulante		Parámetro	Valor
Concentración	Volumen			Concentración	Volumen		
5%	10ml	Conductividad	14,60	5%	15ml	Conductividad	15,20
			14,40				14,90
			14,80				14,60
		SDT	8,10			SDT	8,40
			6,70				8,80
			8,00				7,98
		pH	8,30			pH	8,18
			8,38				8,24
			8,32				8,34
		Turbidez	712,00			Turbidez	775,00
			704,00				782,00
			708,00				778,00
10%	10ml	Conductividad	14,20	10%	15ml	Conductividad	15,30
			14,50				14,80
			14,80				15,00
		SDT	8,00			SDT	8,20
			8,20				8,32
			8,70				8,26
		pH	8,35			pH	8,29
			8,14				8,49
			8,48				8,50
		Turbidez	808,00			Turbidez	868,00
			811,00				856,00
			833,00				861,00
50%	10ml	Conductividad	15,00	50%	15ml	Conductividad	14,40
			15,70				14,50
			16,10				14,70
		SDT	8,30			SDT	7,90
			8,70				5,37
			8,80				8,00
		pH	8,00			pH	7,95
			8,69				8,29
			8,14				8,26
		Turbidez	931,00			Turbidez	730,00
			926,00				705,00
			914,00				714,00

Coagulante		Parámetro	Valor	Coagulante		Parámetro	Valor
Concentración	Volumen			Concentración	Volumen		
100%	10ml	Conductividad	15,00	100%	15ml	Conductividad	11,40
			15,40				13,20
			15,30				12,62
		SDT	8,30			SDT	6,40
			8,10				4,98
			8,10				5,90
		pH	8,15			pH	7,92
			8,17				8,22
			8,70				8,36
		Turbidez	934,00			Turbidez	961,00
			841,00				953,00
			850,00				989,00

Realizado por: María Naranjo, 2019