

Coagulación-Floculación en el Tratamiento de Lixiviados en Rellenos Sanitarios

Diego Iván López Romero

Sonia Narváez Grijalba



Universidad de Pamplona

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Programa Ingeniería Civil

Pamplona-Colombia

2021

Coagulación-Floculación en el Tratamiento de Lixiviados en Rellenos Sanitarios

Monografía para Optar el Título de Ingeniero Civil

Diego Iván López Romero

Sonia Narváez Grijalba

Director

PhD. Julio Isaac Maldonado Maldonado



Universidad de Pamplona

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Programa Ingeniería Civil

Pamplona-Colombia

2021

Agradecimientos

En este proceso de formación que no ha sido sencillo y que hoy culminamos con gran esfuerzo y dedicación queremos extender nuestros agradecimientos primeramente a Dios por permitirnos culminar un peldaño más en nuestras vidas, así mismo, agradecemos a todos aquellos que nos acompañaron en esta travesía principalmente a nuestros familiares por comprensión, apoyo económico y emocional de forma incondicional, a cada uno de nuestros amigos cercanos que nos acompañaron durante esta etapa de vida, a nuestros excelentes docentes que aportaron de la mejor manera su conocimiento con el fin de capacitarnos y formarnos como excelentes profesionales, a nuestra querida y destacada alma mater la Universidad de Pamplona por abrirnos sus puertas y ofrecernos los mejores escenarios de formación para recibir un conocimiento y educación digna. Por último, pero no menos importante a nuestro director del trabajo de grado Julio Isaac Maldonado M., por su constante participación en el desarrollo de nuestro trabajo, dando sus aportes como docente y profesional para poder concluir esta investigación de una manera destacable. A todos ellos gracias.

López Romero Diego Iván.

Narváez Grijalba Sonia.

Glosario

Lixiviado: El lixiviado es el líquido que circula en los residuos que se encuentran en los vertederos, ocurre durante la fermentación y descomposición de la materia orgánica, que es el resultado de la filtración a medida que el agua de lluvia penetra en los desechos y transporta compuestos químicos y materiales biológicos.

Biodegradables: Capacidad que tiene un material de descomponerse, de perder sus propiedades originales a nivel químico y físico.

Coagulación: Se define como la remoción de partículas suspendidas mediante la adición de sustancias químicas conocida como coagulante.

Contaminación: Proceso mediante el cual el medio ambiente es alterado por sustancias en altas concentraciones o niveles capaces de interferir con el bienestar de la flora y/o la fauna, degradar su calidad.

Floculación: Es la aglomeración de partículas desestabilizadas en microflóculos y después en los flóculos más grandes que pueden ser depositados llamados flóculo.

Freático: Nivel superior del agua en un acuífero o más correctamente como el lugar donde la presión del agua es igual a la de la presión atmosférica.

Membranas: Superficie flexible que soporta cargas mediante el desarrollo de esfuerzos de tracción, generalmente fabricada de material asfáltico y resistente.

Monitoreo: “Es el seguimiento y observación de los fenómenos contaminantes del ambiente, comparados con normas de calidad preestablecidas”. (Luna, 2008)

Relleno Sanitario (Vertedero): “Lugar donde se depositan residuos de origen urbano o industrial. Puede tratarse únicamente de una acumulación incontrolada, con los consiguientes riesgos de incendio, sanitarios y ambientales, o de una instalación o vertedero controlado donde los residuos reciben algún tipo de tratamiento o almacenamiento”. (Luna, 2008)

CONTENIDO

Introducción.....	11
1. Capítulo I. Generalidades.....	12
1.1 Planteamiento de la Justificación.	12
2. Objetivos	14
2.1 Objetivo General	14
2.2 Objetivos Específicos.....	14
3. Capítulo II. Marco de Referencias.....	15
3.1 Marco Teórico Conceptual.....	15
3.1.1. Residuos Sólidos y lixiviados.....	15
3.1.2. Coagulación- floculación de lixiviados.	17
3.1.3. Historia de los lixiviados en los rellenos sanitarios.	20
3.1.4. Tipos de rellenos sanitarios.	21
3.1.5. Ventajas y desventajas de un relleno sanitario para tratamiento de lixiviados.	22
3.1.6. Origen y tipos de desechos dispuestos en los rellenos sanitarios	23
3.1.7. Producción de los lixiviados en vertederos.....	25
3.1.8. Recirculación de los lixiviados.	26
3.1.9. Procesos en el tratamiento de lixiviados.....	27
3.1.10. Riesgos en el manejo de los residuos sólidos.	31
3.1.11. Impacto ambiental de los lixiviados	32
3.1.12. Soluciones a impactos ambientales de los lixiviados de rellenos Sanitarios	33
3.1.13. Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios.	34

3.1.14. Mecanismos de Coagulación y floculación en Lixiviados	35
3.1.15. Factores que intervienen en la Coagulación de Lixiviados	36
3.1.16. Clasificación de los Coagulantes.	37
3.1.17. Tipos de Coagulación	38
3.1.18. Aporte de coagulantes-floculantes naturales en el tratamiento de lixiviados.	39
3.1.19. Diferencia entre coagulador y floculante	41
3.1.20. Otros productos usados en relación con el proceso de coagulación-floculación.	44
3.2. Marco Legal	44
3.2.1. Normas que regulan el tratamiento, manejo y diseño de los rellenos sanitarios.	44
4. Capítulo III. Metodología	46
4.1. Tipo de estudio.	46
4.2. Técnicas de recolección de datos:.....	46
4.3. Base de datos.....	47
4.4. Concepto de inclusión.	47
5. Capítulo IV: Nuevas técnicas de tratamiento de Lixiviados	48
6. Capítulo V: Estado del Arte	49
6.1 Fuente de información utilizada en esta investigación o documentación.	49
7. Capítulo VI: Discusión	65
8. Conclusiones	67
9. Referencias.....	70

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Construcción de planta de tratamiento.	16
Ilustración 2: Tanque de reacción o tratamiento de lixiviados	16
Ilustración 3: Separación del sistema de coagulación-floculación.	18
Ilustración 4: Aglomeración de Partículas.....	18
Ilustración 5: Equipo Floculador-ensayo de la jarra.	19
Ilustración 6: Test de la Jarra.	20
Ilustración 7: Actividades generadoras de desechos.....	24
Ilustración 8: Vertedero de residuos sólidos.	24
Ilustración 9: Componentes y valores aproximados de lixiviados producidos en rellenos sanitarios.	26
Ilustración 10: Representación del balance de agua y control de volumen.	28
Ilustración 11: Características en función del tiempo.....	29
Ilustración 12: Valores típicos de los constituyentes de un lixiviado.	30
Ilustración 13: Biodegradabilidad del lixiviado en función del tiempo.....	31
Ilustración 14: Enfermedades relacionadas por residuos sólidos transmitidas por vectores.	32
Ilustración 15: Contaminación por lixiviados.....	33
Ilustración 16: Mecanismo de coagulación, neutralización de carga.	35
Ilustración 17: Planta de Moringa oleífera.	39
Ilustración 18: (a) Vainas y (b) plantas de Cassia obtusifolia.	40
Ilustración 19: Planta de Jatropha curcas.....	40
Ilustración 20: (a) Semillas y (b) planta de Phaseolus vulgaris.	41
Ilustración 21: Tamaño, clasificación y tiempo de sedimentación de partículas.....	42
Ilustración 22: Representación de fuerzas Van der Waals.....	43

Prólogo

La industria del sector construcción es una de las fuentes de contaminación al medio ambiente, siendo esto una de las principales preocupaciones ya que se ve reflejado como una problemática en el detrimento del ecosistema y la habitabilidad de las personas, en este caso la contaminación se relaciona directamente con la operación de los rellenos sanitarios construidos y los lixiviados que producen los sólidos depositados allí; El proceso de coagulación-floculación es un tratamiento primario muy utilizado actualmente porque llevan a cabo un proceso de descontaminación muy eficaz porque cuenta con la capacidad de remover los sólidos.

La contaminación del medio ambiente con respecto al tema de los lixiviados es inevitable, pero se puede mitigar y existen soluciones que se pueden poner en práctica, una de estas es la reducción de residuos sólidos y una mejor disposición de ellos, ya que con el crecimiento poblacional en Colombia y el mundo generando un aumento de producción de residuos sólidos, al aumentar los residuos habrá también un aumento de lixiviados y por tanto mayor contaminación orgánica de los suelos y del agua.

Palabras claves: coagulantes, floculantes, proceso químico-físico, tratamiento de aguas, sedimentos, medio ambiente, construcción, lixiviados, contaminación.

Abstract

The construction sector industry is one of the sources of pollution to the environment, this being one of the main concerns since it is reflected as a problem to the detriment of the ecosystem and the habitability of people, in this case the contamination is directly related to the operation of the sanitary landfills built and the leachates that produce the solids deposited there; The coagulation-flocculation process is a primary treatment widely used today because they carry out a very effective decontamination process because it has the ability to remove solids.

Environmental contamination with regard to leachate is inevitable, but it can be mitigated and there are solutions that can be put into practice, one of these is the reduction of solid waste and a better disposal of them, since with growth population in Colombia and the world generating an increase in solid waste production, as waste increases there will also be an increase in leachate and therefore more organic contamination of soils and water.

Keywords: coagulants, flocculants, chemical-physical process, water treatment, sediment, environment, construction, leachate, pollution.

Introducción

Hoy en día los residuos sólidos depositados generan una de las problemáticas más notables que alteran al entorno social mundial en cuando al medio ambiente se trata, y es por ello que la presente monografía se orienta de manera muy explícita, en dar a conocer los procesos primarios físico-químico que se aplican a los lixiviados originados en rellenos sanitarios y que pueden ser tratados mediante los procesos denominados coagulación-floculación; además se mencionarán los orígenes, causa, las variables influyentes en la creación, dado que los lixiviados son un tipo de fluidos percolados que contienen partículas coloidales difíciles de sedimentarse por sí solas, siendo necesario dar a conocer diferentes tipos de tratamientos aplicables a los lixiviados, que pueden ser primarios, secundarios y en algunos casos terciarios y se encargan de la eliminación de la turbiedad, olor y color aparente.

El agua (H₂O) es un vehículo de transmisión de muchas enfermedades y teniendo en cuenta que este fluido puede transportar diferentes tipos de materia, genera deterioro a la calidad del recurso agua por el contacto con lixiviados; se debe considerar realizar tratamiento antes de hacer la descarga final, con la intención de favorecer en lo posible a la no contaminación del medio ambiente, no solo del recurso agua, sino también de los recursos suelos y aire; así mismo esta investigación identificara los beneficios y aportes que producen los coagulantes y floculantes, en este tipo de tratamientos en Colombia.

Los impactos ambientales asociados a los rellenos sanitarios-no solo relacionan la contaminación del recurso agua, con la generación de lixiviados, sino que también hay vectores como insectos, ratas y demás, que participan en todo esto. (Espinosa Lloréns, 2010)

1. Capítulo I. Generalidades.

1.1 Planteamiento de la Justificación.

Muchas personas en el mundo no tienen acometida para el servicio de agua potable, y según estadísticas proporcionadas por la UNICEF, una (1) de cada tres (3) personas no cuentan con este servicio.

Si bien en algunos lugares no se cuenta con el suministro de agua potable otros sí, pero existe gran contaminación por diferentes razones, de las cuales muchas provienen de la operación de rellenos sanitarios; lo que impulsó la realización esta investigación es identificar, resaltar y detallar las alternativas que permitan solucionar la dificultad antes mencionada, ya que esta monografía centra en el tratamiento de los lixiviados mediante un proceso primario físico-químicos de coagulación y floculación.

Actualmente el mundo en casi que todos los sectores especialmente el de construcción y manejos de residuos orgánicos enfrenta una gran dificultad, por la contaminación de éstos sobre el ecosistema, que afecta las condiciones o la vida digna humana, animales y todo aquello que habite el planeta. (Maldonado, 2002)

La contaminación por desperdicios (residuos sólidos) es uno de las problemáticas más notables que alteran al entorno social mundial en cuando al medio ambiente se trata, y es por ello que la presente información se orienta de manera muy explícita, en dar a conocer los procesos primarios físico-químico que se aplican a los lixiviados originados en rellenos sanitarios y que pueden ser tratados mediante los procesos denominados coagulación-floculación; además se mencionarán los orígenes, causa, dado que los lixiviados son un tipo de fluidos percolados que contienen partículas coloidales difíciles de sedimentarse por sí solas, siendo necesario dar a

conocer diferentes tipos de tratamientos aplicables a los lixiviados, que pueden ser primarios, secundarios y en algunos casos terciarios y se encargan de la remoción de la turbidez, olor y color aparente.

El agua (H_2O) es un vehículo de transmisión de muchas enfermedades y teniendo en cuenta que el inoportuno empleo de los desechos orgánicos genera deterioro a la calidad del recurso agua por el contacto con lixiviados; se debe considerar realizar tratamiento antes de hacer la descarga final, con la intención de favorecer en lo posible a la no contaminación del medio ambiente, no solo del recurso agua, sino también de los recursos suelos y aire; así mismo esta investigación identificara los beneficios y aportes que producen los coagulantes y floculantes naturales, en este tipo de tratamientos en Colombia.

Los impactos ambientales asociados a los rellenos sanitarios no solo relacionan la contaminación del recurso agua, con la generación de lixiviados, sino que también hay vectores como insectos, ratas y demás, que participan en todo esto.

Sirva el presente trabajo para dar a conocer los tipos de coagulantes que se utilizan en el tratamiento de lixiviados su respectiva efectividad, dar a conocer que es un tratamiento que no solo se utiliza en Colombia sino también en otros países. (Espinosa Lloréns, 2010)

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Realizar investigación documental del proceso de coagulación-floculación como alternativa en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios.

2.2 Objetivos Específicos.

- ✓ Determinar el origen y la formación de los lixiviados producidos en rellenos sanitarios.
- ✓ Establecer el impacto ambiental que ocasionan los lixiviados sobre los recursos aire, agua y suelo.
- ✓ Recopilar información técnica de los coagulantes y floculantes, químicos y naturales viables en el tratamiento de los lixiviados.
- ✓ Formular alternativas de tratamiento para mitigar daños medio ambientales que se generan por los desechos líquidos (lixiviados).

3. Capítulo II. Marco de Referencias.

3.1 Marco Teórico Conceptual.

3.1.1. *Residuos Sólidos y lixiviados.*

La producción de residuos sólidos son directamente proporcionales al crecimiento poblacional y al grado de desarrollo económico que tenga la región cualquiera sea requiere de un relleno sanitario, teniendo en cuenta esto, es importante asociarlo la ingeniería civil aclarando que, es la ingeniería sanitaria y ambiental la que trata sobre este tema en específico, puesto que el diseño y construcción de estos debe ser lo suficientemente buenos para albergar adecuadamente los depósitos de residuos generados, hecho que podría inducir a una alternativa de tratamiento directo o indirecto de la contaminación ambiental producida allí, incluyendo el tema lixiviados.

El diseño y el método de construcción está determinado por la topografía de la superficie escogida, aunque también dependen del nivel freático; sin importar el tipo de relleno que se va construir, todos requieren de excavación de zanjas, todo este proceso de trabajo va de la mano del área de construcción, del personal que se necesita para construir rellenos sanitarios, desde ingenieros civiles, topógrafos, personal calificado en manejo de maquinaria pesada y demás. (Tobar Herrera, 2008)

Las obras civiles que se requieren para operar adecuadamente un relleno sanitario son de tipo vial por donde se transportan los desechos, son de tipo descapote, excavación, desvío de aguas pluviales; drenajes, conducción, almacenamiento y tratamiento de lixiviados, cárcavas, chimeneas para extracción de biogases, báscula, obras de almacén y oficinas administrativas, entre otras.

Dicho lo anterior, es importante complementar esta información con un detalle ilustrativo con el fin de conocer una planta de tratamiento. En la ilustración 1 se puede apreciar la estructura de una planta de tratamiento de estos fluidos percolados.

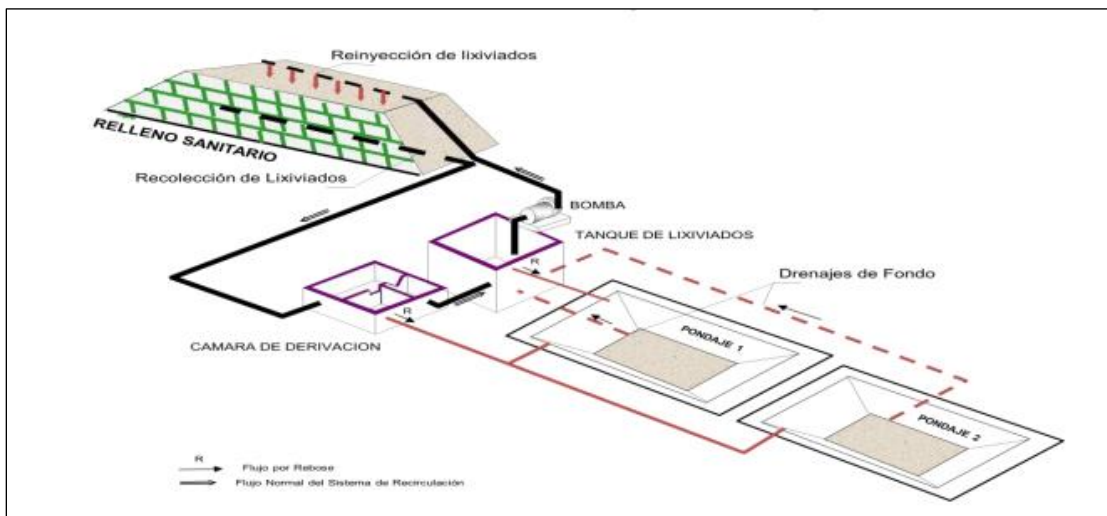


Ilustración 1: Construcción de planta de tratamiento.

Fuente (Tobar Herrera, 2008)



Ilustración 2: Tanque de reacción o tratamiento de lixiviados

Fuente (Tobar Herrera, 2008)

3.1.2. Coagulación- floculación de lixiviados.

La coagulación se define como un tratamiento primario físico-químico que se aplica a los lixiviados, donde la coagulación es la primera fase del tratamiento de estos, que tiene como objetivo principal desestabilizar las partículas coloidales y/o suspendidas en el fluido, esto se hace efectivo al seleccionar y dosificar minuciosamente la cantidad de coagulante los cuales pueden ser de tipo natural, orgánico, químico, sintético o inorgánico. Para alcanzar dicha desestabilización la única forma es determinar el tipo de coagulante y la dosificación optima lo cual se logra realizando ensayos de la jarra a diferentes muestras de lixiviado del relleno sanitario a tratar, con diferentes tipos de coagulantes solos o combinados, dosis y concentraciones variables en diversos rangos de pH.

Durante la coagulación, se forman pequeñas partículas coloidales agregando un coagulante al agua y usando energía de mezcla, donde las partículas suspendidas se desestabilizan al neutralizar las cargas coloidales cargadas negativamente, estas cargas son unidas a moléculas o iones en la superficie. (Díaz Claros, 2014)

Los principales coagulantes utilizados para desestabilizar partículas y formar floculación son: sulfato de aluminio, aluminato de sodio, cloruro de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico y sulfato férrico.



Ilustración 3: Separación del sistema de coagulación-floculación.

Fuente (Sigma, 2021).

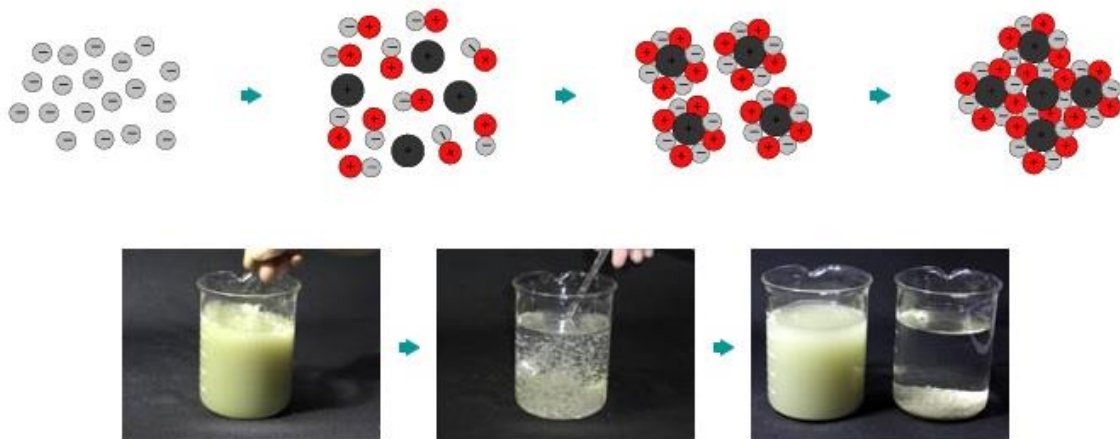


Ilustración 4: Aglomeración de Partículas

Fuente (Sigma, 2021).

Siguiendo con el proceso consecutivo, la coagulación desestabiliza las partículas previamente a la floculación, comúnmente se aplica una floculación ortocinética que en

resumidas palabras es un proceso en el cual se induce energía rotatoria en el medio acuoso a través de un agente externo; si bien es cierto existe la floculación pericinética, está muy pocas veces (casi nunca) se utiliza ya porque este método se basa en el movimiento browniano, el cual solo funciona cuando el tamaño de sus coloides es menor o igual a una micra.

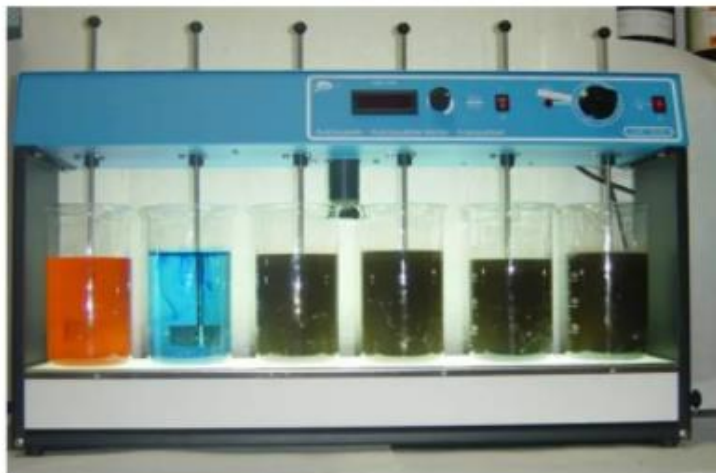


Ilustración 5: Equipo Floculador-ensayo de la jarra.

Fuente (Jaramillo, 2002).

El ensayo de la jarra se define como un proceso de coagulación/floculación por medio del cual se pueden eliminar coloides y fragmentos en disoluciones que pueden presentar turbidez y olor. (J, 2012)



Ilustración 6: Test de la Jarra.

Fuente (Jaramillo, 2002)

La prueba o test de jarras es una herramienta que usa generalmente (6) jarras de muestreo como se observa en la imagen N°5, y se fundamenta en la utilización de dosis en cada jarra, en un proceso que permite la eliminación de los coloides y materia orgánica, además permite hacer ajustes en el pH a cada muestra de jarra hasta obtener valores óptimos, estando sujetos al tipo de reactivo a utilizar, en otras palabras, el test de jarras tiene como finalidad encontrar la dosis ideal que permita alcanzar la mejor calidad de agua posible al menor costo. (Fúquene D., 2018)

3.1.3. Historia de los lixiviados en los rellenos sanitarios.

La revolución industrial y el progreso que trajo consigo el empleo de energía no renovable a gran escala, las ciudades crecieron con una inestabilidad entre infraestructuras y necesidades de servicios, aquí encontramos la gestión de los desechos o residuos, aunque para aquella época seguía siendo muy primaria, es decir no constituía problema medio ambiental ya que solo se limitaban al apartado de los desechos de las calles y a su traslado fuera de ella con la

mayor distancia posible; pero en la mitad del siglo XX, se empiezan a notar el manejo de los residuos como una cuestión ambiental de gran consideración. (EPM, 2008)

Actualmente los lixiviados generalmente se recirculan del depósito a las cárcavas de almacenamiento de residuos sólidos, sin ningún tratamiento previo, acción permitida siempre y cuando no afecte la estabilidad estructural del relleno; pero ya para el año 2001 se hace uso de instalaciones con tratamiento biológico, obteniéndose efluentes bajo en sedimentos y materia orgánica soluble líquidos a los efluentes y ya para principios del año 2006 se empieza a hacerse uso de transformaciones en el proceso de recuperación plena de los lixiviados, permitiendo que el líquido se transportara por trenes a una cámara de descarga directa al alcantarillado y luego para mejorar más el tratamiento se introdujo un procedimiento de tratamiento terciario conformado por un filtro de carbón, pero esta última alternativa no prosperó mucho por costos. Actualmente estas plantas de tratamiento de lixiviados contienen biopartículas que introducen un reactor sin o con oxígeno que biodegradan la materia orgánica, formando flocs biológico, que se precipitan en la fase final de sedimentación conformada por varias piscinas y un ramaje de tuberías. (Astorga del Canto, 2018)

3.1.4. Tipos de rellenos sanitarios.

Básicamente existen tres (3) clases de rellenos sanitarios:

- ✓ **Relleno sanitario mecanizado.** Creado solo para muy grandes poblaciones que producen muy altas cantidades de desechos que superan las 40 toneladas por día, donde se considera una planificación de la ingeniería calcular la capacidad que va a albergar, además de los equipos pesados que se requieren operar. (Jaramillo, 2002)

- ✓ **Relleno sanitario semimecanizado.** Creado para las poblaciones que dispongan de 16 a 40 toneladas diarias de residuos sólidos, en este diseño se hace el uso de maquinaria pesada y esfuerzo manual, de tal manera que se logre una alta compactación de desechos, nivelar los terraplenes y obtener mayor longevidad del relleno. (Jaramillo, 2002)
- ✓ **Relleno sanitario manual.** Este tipo de obra es diseñada para poblaciones que tengan menos de 15 t/d, poblaciones que no están en capacidad de adquirir maquinaria pesada por los elevados precios de operación y mantenimiento, esto quiere decir que el proceso de compresión y destierro de los desechos se realiza con la ayuda de un equipo de operarios empleando herramientas manuales. (Jaramillo, 2002)

3.1.5. Ventajas y desventajas de un relleno sanitario para tratamiento de lixiviados.

Las particularidades más positivas de un relleno sanitario son:

- ✓ Presupuestalmente el presupuesto es bajo para cumplir con los tratamientos de residuos sólidos vs la incineración o compostación.
- ✓ Generalmente se emplean en la operación de los rellenos personas que habitan en alrededor.
- ✓ De los rellenos sanitario se puede recuperar gas metano, lo que implica una nueva forma opcional de obtención de energía.
- ✓ Se puede evitar contaminación ambiental descontrolada y enfermedades en la población aledaña, a causa de lixiviados.

Las desventajas que tiene la utilización de rellenos sanitarios son:

- ✓ La dificultad de la población para entender las funciones de un relleno sanitario.
- ✓ Confunden el significado de "relleno sanitario" con "botadero de basuras a cielo abierto", son dos cosas diferentes.
- ✓ Se requiere de un costo por la inspección continua en la construcción y operación para sostener un buen nivel las operaciones.
- ✓ No se puede hacer uso o aprovechar el suelo aledaño cómo se presentaba en los dos primeros años antes de ser construido el relleno sanitario (Tobar Herrera, 2008)

3.1.6. Origen y tipos de desechos dispuestos en los rellenos sanitarios

Los desechos provienen de labores domésticas, comerciales, institucionales, establecimientos de educación, generados por el incremento de actividades formales y demás; dicho de otra forma, los desechos son todos aquellos que se originan de actividades en la materia en múltiples estados de deterioro es considerada como desechos cuando son expulsados del entorno a sitios de reciclaje o disposición final. (Jaramillo, 2002). La ilustración 7 detalla las actividades generadoras de desechos, los componentes y la composición entre los residuos sólidos municipales, en el Caribe y América latina.

Actividades generadoras	Componentes	% del total de RSM*
Residencial y domiciliario	Desperdicios de cocina, papeles y cartón, plásticos, vidrio, metales, textiles, residuos de jardín, tierra, etc.	50 a 75
Comercial Almacenes, oficinas, mercados, restaurantes, hoteles y otros	Papel, cartón, plásticos, madera, residuos de comida, vidrio, metales, residuos especiales y peligrosos	10 a 20
Institucional Oficinas públicas, escuelas, colegios, universidades, servicios públicos y otros	Semejantes al comercial	5 a 15
Industria (pequeña industria y artesanía) Manufactura, confecciones de ropa, zapatos, sastrerías, carpinterías, etc.	Residuos de procesos industriales, materiales de chatarra, etc. Incluye residuos de comida, cenizas, demolición y construcción, especiales y peligrosos.	5 a 30
Barrido de vías y áreas públicas	Residuos que arrojan los peatones, tierra, hojas, excrementos, etc.	10 a 20

* Fuente: Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe—ALC. Washington DC: BID, OPS/OMS; 1997.

Ilustración 7: Actividades generadoras de desechos.

Fuente (Jaramillo, 2002)



Ilustración 8: Vertedero de residuos sólidos.

Fuente (Sigma, 2021)

3.1.7. Producción de los lixiviados en vertederos

Se conoce como lixiviado al líquido producido por el arrastre, liberación o filtrado de los excesos de agua que van dentro de los desechos sólidos generados por una sociedad, gracias a la descomposición bioquímica de la basura que se desecha, fluidos se consideran como un residuo líquido altamente contaminante al medio ambiente, porque contienen una alta concentración de sales, amonio y/o materia orgánica, y muchas veces metales, sin embargo, la estructura de los lixiviados cambian dependiendo de los residuos que los generaron, cualidades del suelo que los alberga, particularidades de las precipitaciones y la edad del relleno sanitario. (Astorga del Canto, 2018), dicho de otra forma, los lixiviados son sustancias líquidas producidas por los desechos sólidos a lo largo del proceso de descomposición y putrefacción de productos orgánicos al tener contacto con el agua y los microorganismos. (Tito, 2021)

De lo dicho anteriormente se puede deducir de cierta forma su producción, porque los lixiviados se puede manifestar por exceso de agua presente en sus residuos sólidos, generados al interactuar con las lluvias que caen sobre las basuras del relleno, ya que al tener precipitaciones se presentan recorridos de agua a través de cada uno de los desechos consiguiendo con ello el arrastre y la disolución de los sólidos en suspensión, lo que se traducen en un aumento de este líquido, que algunos estudios realizados, han reportado concentraciones de hasta 60000 mg/L de demanda química de oxígeno, esto quiere decir que si se llegase a verter esta agua producido en los rellenos sanitario en fuentes hídrica sin antes aplicarle un respectivo tratamiento, se podría llegar a contaminar gravemente la vida acuática de los cuerpos receptores, acabando así, con cualquier esperanza de vida dentro de esa red hídrica en la que fue descargado.

La ilustración 9 presenta los componentes o parámetros típicos presentes en los lixiviados y el rango de las concentraciones (mg/l).

Componentes	Rango (mg/l)
Cloruro	100-4000
Cobre	0-9
Fierro	50-600
Flúor	0-1
Cadmio	0-17
Como (VI)	2
Plomo	2
Sodio	200-2000
Sulfatos	100-1500
Nitratos	5-40
Dureza (Ca CO ₃)	300-10000
DBO	2000-30000
DQO	3000-45000
pH	53-85

Ilustración 9: Componentes y valores aproximados de lixiviados producidos en rellenos sanitarios.

Fuente (Luna, 2008)

3.1.8. Recirculación de los lixiviados.

Eventualmente el lixiviado en exceso tendrá que ser removido y tratado dando se la técnica de recirculación, por lo que existen 3 tipos de sistemas de circulación de lixiviados dentro de los rellenos sanitarios. (Rodriguez, 2014)

Estos tipos de sistema son:

- ✓ **Irrigación por aspersión:** se ejecuta mediante el bombeo periódico de lixiviados a través de boquillas de aspersión situadas de 15 a 30 m entre sí; sistema de circulación que tiene como ventaja quedar sujeto a tratamiento por aireación durante el proceso de aspersión y vía de adsorción por el material de cobertura durante su infiltración del lixiviado. (Rodriguez, 2014)
- ✓ **Flujo superficial:** es una técnica que distribuye uniformemente el lixiviado que es periódicamente bombeado y permite la infiltración al interior del relleno. (Rodriguez, 2014)
- ✓ **Irrigación por inyección:** este sistema de circulación es enterrado bajo cubierta final lo que no es posible que este método sea afectado por condiciones climatológicas y minimiza los problemas de olores, a pesar de todas sus ventajas no es muy utilizada ampliamente porque esta operación conlleva a un alto costo de inversión. (Rodriguez, 2014)

3.1.9. Procesos en el tratamiento de lixiviados.

Antes de aplicar un tratamiento a un lixiviado, hay que considerar las distintas propiedades de este fluido percolado y así poder precisar un buen tratamiento para remover la concentración de los compuestos orgánicos presentes, como carbohidratos, proteínas, alcoholes, ácidos, entre otros (Bustos Castro, 2018).

Se deben tener en cuenta los factores climatológicos que determinan la generación de lixiviados, así como también los ácidos orgánicos que se crean en las diferentes etapas de la descomposición del fluido percolado (ácido fórmico, ácido acético o ácido láctico). (Luna, 2008)

Otro factor o aspecto importante para tener en cuenta para el tratamiento es el nivel freático del terreno del área del relleno sanitario ya que los altos niveles favorecen la procreación de lixiviados.

Además, se debe calcular (aproximadamente) el volumen de lixiviados producidos dentro de dicho relleno, mediante un estudio de la masa de líquido, información que se obtiene de las fuentes de agua presentes, filtración de agua superior, el agua propia de cada residuo y materiales que cubran la superficie y otros aspecto a tener en cuenta es la evacuación de la salida de fluido para lo cual se consideran variables con la evaporación atmosférica, la generación de gases y evaporación del agua (Astorga del Canto, 2018). En la ilustración 10 es una representación del balance de agua y un volumen de un relleno sanitario.

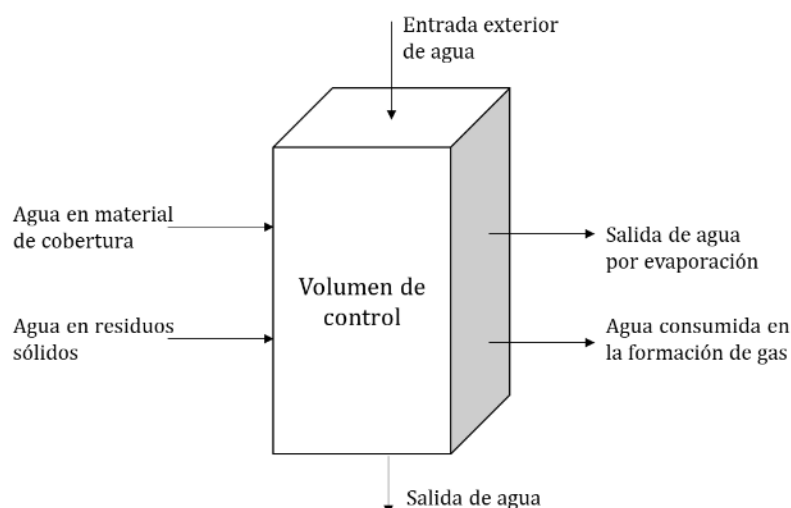


Ilustración 10: Representación del balance de agua y control de volumen.

Fuente (Astorga del Canto, 2018)

3.1.10. Edad de los lixiviados

El tratamiento de lixiviados requiere agruparlos en función del tiempo de operación de los rellenos sanitarios, que pueden clasificarlos en tres tipos: jóvenes (tipo 1), adultos (tipo 2), viejos (tipo 3).

- ✓ Tipo 1 (Jóvenes): presentan un pH por debajo del nivel neutro, acercándose al nivel ácido (valores menores a 6,5), gracias a la a la descomposición anaerobia se logra disminuir la demanda de materia orgánica biodegradable, a medida que se madura el lixiviado. Además, el lixiviado joven, posee grandes cantidades de DBO₅ y DQO, los cuales designan el índice de biodegradabilidad del lixiviado (Astorga del Canto, 2018).
- ✓ Tipo 2 (Adultos): denominados intermedios ya que tienen una edad de 5-10 años.
- ✓ Tipo 3 (Viejos): denominados viejos ya que cuentan con una edad mayor de 10 años.

TIPO DE LIXIVIADO	JOVEN	INTERMEDIO	VIEJO
Edad (Año)	<5	5-10	>10
pH	<6,5	6,5-7,5	>7,5
DBO ₅ /DQO	>0,5	0,1-0,5	<0,1
DQO	>15.000	5.000-15.000	<5.000
N-NH ₃ (mg/L)	<400	-	>400
Metales pesados(mg/L)	>2	<2	<2

Ilustración 11: Características en función del tiempo.

Fuente (Astorga del Canto, 2018)

En la ilustración N° 12 se observan algunos rangos dentro de los que fluctúan las composiciones de lixiviado para vertederos nuevos y maduros según (Salgado & Trujillo, 2004)

Constituyente	Vertedero nuevo mg/L	Típico	Vertedero maduro mg/L
	Rango		Rango
DBO ₅	2.000-30.000	10000	100-200
COT	1.500-20.000	6000	80-160
DQO	3.000-60.000	18000	100-500
SST	200-2.000	500	100-400
Nitrógeno Orgánico	10-800	200	80-120
Nitrógeno Amoniacal	10-800	200	20-40
Nitratos	5-40	25	5-10
Fósforo total	5-100	30	5-10
Ortofosfatos	4-80	20	04-8
Alcalinidad	1.000-10.000	3000	200-1.000
pH	4.5-7.5	6	6.6-7.5
Dureza (CaCO ₃)	300-10.000	3500	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
Cloro	200-3.000	500	100-400
Sulfatos	50-1.000	300	20-50
Hierro total	50-1.200	60	20-200

Ilustración 12: Valores típicos de los constituyentes de un lixiviado.

Fuente (Cunha, 2013)

El nivel de biodegradabilidad de estos fluidos percolados es otro aspecto a tener en cuenta, va de manera decreciente en función de su edad, es decir, que a medida que pasa el tiempo la relación DBO₅/DQO disminuye por lo cual se vuelve menos efectivos los tratamientos biológicos (Arbeláez Mesa, 2010).

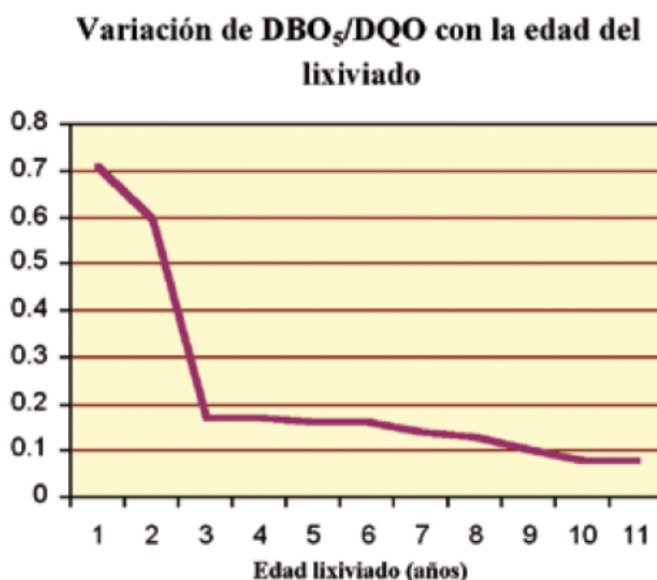


Ilustración 13: Biodegradabilidad del lixiviado en función del tiempo

Fuente (Arbeláez Mesa, 2010)

3.1.10. Riesgos en el manejo de los residuos sólidos.

Los riesgos que se manejan con los residuos sólidos se clasifican como riesgos directos e indirectos; los primeros hacen referencia a la salud de las personas que muchas veces se puede ver afectada directamente con la basura, por ejemplo, al tener contacto con vidrios rotos, jeringas, residuos hospitalarios y demás; los riesgos indirectos se refieren al incremento plagas, vectores y conductores de enfermedades como: moscas, mosquitos, ratas, cucarachas etc. Las enfermedades asociadas son: fiebres, diarreas, infecciones hasta cuadros severos de tifoidea entre otras enfermedades de gran peligro. (Jaramillo, 2002)

En la ilustración 14 se relacionan los vectores, formas de transmisión y enfermedades ocasionadas por rellenos sanitarios y los residuos sólidos que alberga.

Vectores	Formas de transmisión	Principales enfermedades
7 Ratas	7 Mordisco, orina y heces 7 Pulgas	7 Peste bubónica 7 Tifus murino 7 Leptospirosis
7 Moscas	7 Vía mecánica (alas, patas y cuerpo)	7 Fiebre tifoidea 7 Salmonellosis 7 Cólera 7 Amibiasis 7 Disenteria 7 Giardiasis
7 Mosquitos	7 Picadura del mosquito hembra	7 Malaria 7 Leishmaniasis 7 Fiebre amarilla 7 Dengue 7 Filariasis
7 Cucarachas	7 Vía mecánica (alas, patas y cuerpo)	7 Fiebre tifoidea 7 Heces 7 Cólera 7 Giardiasis
7 Cerdos	7 Ingestión de carne contaminada	7 Cisticercosis 7 Toxoplasmosis 7 Triquinosis 7 Teniasis
7 Aves	7 Heces	7 Toxoplasmosis

Ilustración 14: Enfermedades relacionadas por residuos sólidos transmitidas por vectores.

Fuente (J, 2012)

3.1.11. Impacto ambiental de los lixiviados

Los lixiviados son residuos que causan el mayor riesgo para fuentes hídricas y para el abastecimiento de agua a las poblaciones aledañas y el grado de contaminación pone en peligro la salud comunitaria en conjunto con la armonía del medio ambiental a corto y largo plazo. (Sanchez, 2019).

La contaminación ambiental de los lixiviados mantiene una latente posibilidad de impacto sobre los recursos agua, suelo, aire, por ejemplo, en el recurso suelo se presenta la

alteración de la calidad de este con la pérdida de nutrientes, en cuanto al recurso aire se denota contaminación a la atmosfera, alteración de los malos olores, en cuanto al recurso agua, en este caso la contaminación la podemos observar en los ecosistemas acuáticos, aguas subterráneas (Martinez Novas, 2018)



Ilustración 15: Contaminación por lixiviados

Fuente (Tito, 2021)

3.1.12. Soluciones a impactos ambientales de los lixiviados de rellenos Sanitarios

- ✓ Implementar una matriz ambiental que señale cuales son los daños más severos causados ambientalmente por los rellenos sanitarios y la producción de lixiviados para llevar un control aproximado de la magnitud del asunto en cuestión.
- ✓ Se considera como una solución factible la mitigación de estos impactos medio ambientales producidos por lixiviados, tratarlos mediante tecnologías apropiadas a fin de reducir la concentración de los parámetros contaminantes.

- ✓ Tener como viable la alternativa de solución tratamiento del lixiviado mediante el uso de coagulantes químicos o naturales provenientes de plantas que ayuden a la remoción de los sólidos en suspensión y de materia orgánica disuelta biodegradable.
- ✓ Implementarse un plan de supervisión ambiental, de monitoreo del estado del recurso agua y de los parámetros de interés a medir, la instrumentación disponible, condiciones físicas y meteorologías del sitio donde se encuentre ubicado el relleno, este sistema de monitoreo se puede implementar de dos formas periódicamente y continuamente, el primero se realiza a cada cierto intervalo de tiempo, mientras que el segundo, implica realizar mediciones continuas de los parámetros. (Rodriguez, 2014)

3.1.13. Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios.

El tratamiento de lixiviados tiene como objetivo la supresión de material orgánico, nitrógeno amoniacal y sólidos en detención, así como también las de otras mezclas peligrosas, que no pueden tratarse con los lixiviados, en un mismo tratamiento, porque los lixiviados tienen una alta dificultad y variación, hacia algunas de las alternativas de tratamiento: transferencia del lixiviado, tratamientos biológicos y tratamientos físico-químicos.

Los tratamientos biológicos son aquellos que utilizan microorganismos para la bioeliminación de contaminantes, se aplica a los lixiviados recientes porque poseen muchos compuestos orgánicos biodegradables, dicho de otra forma, los sucesos biológicos no son los adecuados para tratar lixiviados viejos porque estos poseen

compuestos orgánicos refractarios, por ello para la degradación de lixiviados viejos aplican propiedades fisicoquímicas. (Sigma, 2021)

Esta revisión bibliográfica se centra en los tratamientos físicos/químico como lo es la coagulación/floculación, mediante mezclas de coagulantes más aplicadas en los tratamientos como son: el sulfato de aluminio, policloruro de aluminio, sulfato ferroso o cloruro férrico.

3.1.14. Mecanismos de Coagulación y floculación en Lixiviados

Estos mecanismos se encauzan en la explicación de la interacción de los coagulantes y cómo funcionan:

Adsorción y neutralización de carga. Este mecanismo inicia cuando el coagulante y los gránulos de contaminación son de cargas contrarias, no hay estabilidad de las partículas coloidales y buscan agruparse por la influencia de las fuerzas de Vander Waals, para que funcione adecuadamente se debe mantener dosis de coagulantes óptimas, sin usar demasiada porque ocurriría una alteración de las cargas y los gránulos pueden separarse de nuevo. (Bravo Gallardo M. A., 2017)

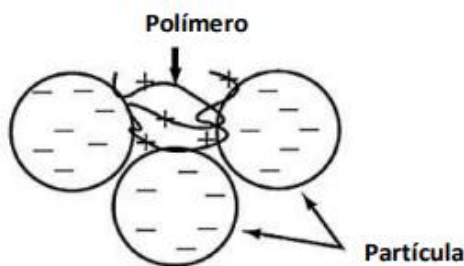


Ilustración 16: Mecanismo de coagulación, neutralización de carga.

Fuente (Bravo Gallardo M. A., 2017)

Puente de polímero: Para que este mecanismo sea eficaz se debe tener en cuenta agregar la cantidad exacta de coagulantes al igual que el mecanismo anterior, puesto que contenidos altos de coagulantes ocasionan coloides los altos valores de coagulante producen coloides establecidos de nuevo, sin embargo, esta relación no debe bajar porque no ocurriría la relación de unión entre los puentes. (Bravo Gallardo M. A., 2017)

Mecanismo de Coagulación de barrido: En este mecanismo establece una agregación de agentes coagulantes solo a muestras de agua con niveles de desechos bajos para luego ser apresadas por estos agentes coagulantes y después formas partículas coaguladas (flóculos) caracterizadas por contener estructuras tridimensionales grandes. (Bravo Gallardo M. A., 2017)

3.1.15. Factores que intervienen en la Coagulación de Lixiviados

Estos factores son:

Influencia del PH. Dependiendo de la calidad del agua los rangos de pH varían hasta conseguir que la coagulación se acelere. (Díaz Claros, 2014)

Factor sal de disueltas. Las sales modifican el intervalo de pH ideal, por tanto, se ve afectado la cuantía de coagulantes requerido, así mismo también se da el cambio de la porción de residuos del coagulante en el agua. (Díaz Claros, 2014)

Factor temperatura. Cuando la temperatura del agua varia la coagulación se da más lenta, y de alguna forma se vea afectado el PH. (Díaz Claros, 2014)

Dosis del Coagulante. la cuantía del coagulante determina su influencia directa en a la eficiencia, es decir, a menor cantidad de este no equilibra la carga de la partícula, en caso contrario se presenta la formación de micro flóculos, la dosis indicada es importante en: el buen o mal funcionamiento de los decantadores. (Díaz Claros, 2014).

Influencia del color del agua y demanda de oxígeno. son características cualitativas en la que el agua disminuye su calidad de limpidez debido al hallazgo de partículas suspendidas observándose sucia y con turbidez alta. Esto a su vez ocasiona disminución del oxígeno en el agua por la obstrucción de la luz y la generación de calor en el afluente, también decrece la actividad de la fotosintética en plantas y algas.

Oxígeno disuelto. el oxígeno es indispensable para toda forma de vida acuática, por ello la coagulación se crece en poco tiempo. (Díaz Claros, 2014).

3.1.16. Clasificación de los Coagulantes.

Algunos coagulantes son utilizados para el tratamiento del agua. (Bravo Gallardo M. A., 2017)

- ✓ **Coagulantes-floculantes inorgánicos.** Su función principal es el tratamiento de aguas, entre estos se encuentran un gran grupo de sulfatos de aluminio, férricos, ferroso, aluminato de sodio; estos tienen una alta capacidad de coagulación/floculación. (Bravo Gallardo M. A., 2017)

- ✓ **Coagulantes orgánicos sintéticos.** Estos coagulantes son materias primas basadas en petróleo y no renovables, su capacidad principal como coagulante está determinada por factores naturales de cargas, el peso molecular y densidad de las cargas. (Bravo Gallardo M. A., 2017)
- ✓ **Coagulantes naturales.** son sustancias que se disuelven en agua, tienen la función de ser coagulantes y desinfectantes de origen vegetal o animal, las partículas de suspensión se aglomeran donde contiene el agua cruda, reduciendo la turbidez inicial y agilizando su sedimentación, es importante mencionar que algunos de estos coagulantes poseen propiedades capaces de actuar en contra de los microbios existentes, esto hace que reduzcan o eliminen contenidos microorganismos susceptibles de producir enfermedades, dentro del grupo de sustancias conocidas con estas propiedades aglomerantes están las sustancias que se obtienen de moringa oleífera, la tuna, el frijol común, maíz, cassias obtusifoli, Jatropha curcas entre otros, siendo eficientes en la dispersión de un porcentaje normal de sólidos en aguas destacando dentro de los productos naturales las semillas de Moringa Oleífera (Espinosa Otálora, 2018)

3.1.17. Tipos de Coagulación

“Se expresan en dos formas básicas de coagulación, absorción y barrido.” (Martel, 2010)

- ✓ **Coagulación por absorción.** Se obtiene cuando se adiciona sales como sulfato de aluminio como coagulante al agua y con un pH requerido. (Martel, 2010)
- ✓ **Coagulación por barrido.** Este sistema solo es aplicable en aguas con partículas coloidales pequeñas o con poca turbiedad dándose lugar a la remoción de

contaminantes mediante la formación de un precipitado sólido (Gómez Puentes, 2005)

Según Stumm, O'Melia y sweep, la coagulación es muy utilizada en las estaciones de tratamiento donde la floculación y la sedimentación anteceden a la filtración. (Martel, 2010)

3.1.18. Aporte de coagulantes-floculantes naturales en el tratamiento de lixiviados.

Después de una investigación muy extensa y para complementar lo anteriormente mencionado sobre estos coagulantes de tipo natural hablaremos un poco acerca de cada uno de ellos.

- ✓ **Moringa oleífera.** Se define como un árbol tropical de la familia Moringaceae, subsiste en ambientes secos y con poca disponibilidad de agua, evidentes estudios afirman que en sus semillas se encuentran ingredientes activos ideales para la coagulación de agua cruda y turbia, este coagulante no provoca cambios en los valores de pH. (Feria Díaz, 2014)



Ilustración 17: Planta de Moringa oleífera.

Fuente (Bravo Gallardo M. A., 2017)

- ✓ **Cassia obtusifolia.** Botánicamente es un árbol con flores amarillas, corteza gris y frutos alargados los cuales poseen sustancias utilizados naturalmente como coagulantes sin afectar los valores de PH, sin embargo, estos ingredientes pueden afectar los niveles de alcalinidad en el agua. (Tarón Dunoyer, 2015)



Ilustración 18: (a) Vainas y (b) plantas de Cassia obtusifolia.

Fuente (Bravo Gallardo M. A., 2017)

- ✓ **Jatropha curcas.** Planta arbustiva que también se conoce por el nombre de piñón de templete, crece en climas tropicales. (Panadero Delgado & posada ramirez, 2012)



Ilustración 19: Planta de Jatropha curcas.

Fuente (Bravo Gallardo M. A., 2017)

- ✓ **Phaseolus vulgaris.** Phaseolus vulgaris, conocido como frijol alimenticio, es una planta anual, originaria de América tropical, y generalmente enana y trepadora. Su longitud total oscila aproximadamente entre 45 y 60 cm, se usa para la alimentación humana, además de esto cumple la función de coagulante para tratamiento de aguas, tomando sus extractos de las semillas, utilizando soluciones salinas como medio de extracción. (Guzmán, 2007)



Ilustración 20: (a) Semillas y (b) planta de Phaseolus vulgaris.

Fuente (Bravo Gallardo M. A., 2017)

Así como estas, existen muchas variedades de plantas que tanto su semilla o tallo pueden ser utilizados para tratamientos de agua como floculante.

3.1.19. Diferencia entre coagulador y floculante

La diferencia más notable entre coagulación y floculación es que el coagulante anula o elimina las fuerzas expansivas que existen entre los coloides, y en consecuencia de ello aparecen los microflocs; cosa contraria con la floculación ya que este proceso busca formar flóculos de mayor tamaño para acelerar el proceso de sedimentación. (Perez de la cruz & Urrea, 2011)

Todo el proceso de floculación se puede resumir en la aglomeración de partículas desestabilizadas por un agente coagulante, que al unirse con otras partículas forman microflocs, y estos a su vez, se aglomeran con más partículas coloidales de su misma característica desestabilizada hasta formar un flocs más grande que, con ayuda de su peso molecular, se depositará en el fondo disminuyendo así su tiempo de sedimentación.

En la tabla siguiente (Ilustración 21) se puede visualizar partículas comunes y al frente el tiempo requerido para sedimentarse. Se puede concluir que entre más pequeña es la partícula, su tiempo de sedimentación será más largo, incluso alcanzando años de espera, en consecuencia, de los largos tiempos requeridos para alcanzar su sedimentación, nace la necesidad de formar flocs que sean capaces de sedimentar fácilmente y con ello, reducir el tiempo necesario para realizar dicha acción. (Tzoupanos & Zouboulis, 2008).

Particle size (mm)	Classification	Examples	Total surface area (m ² /cm ³)	Time required to settle 100 mm, if specific gravity = 2.65
10	Coarse dispersion (visible to naked eye)	Gravel, coarse sand, mineral substances, precipitated and flocculated particles, silt, macroplankton	6×10^{-4}	0.1 s
1			6×10^{-3}	1 s
10^{-1}			6×10^{-2}	13 s
10^{-2}	Fine particulate dispersion (visible under microscope)	Mineral substances, precipitated and flocculated particles, silt, bacteria, plankton, and other organisms	0.6	11 min
10^{-3}			6	20 hours
10^{-4}			60	80 days
10^{-5}	Colloidal dispersion (submicroscopic)	Mineral substances, hydrolysis and precipitated products, macromolecules, biopolymers, viruses	600	2 years
10^{-6}			6000	20 years
$<10^{-6}$	Solution	Inorganic simple and complex ions, molecules and polymeric species, polyelectrolytes, organic molecules, undissociated solutes		

Ilustración 21: Tamaño, clasificación y tiempo de sedimentación de partículas.

Fuente (Tzoupanos & Zouboulis, 2008)

El termino floc puede variar de acuerdo al tamaño del mismo, es decir, puede haber microflocs, flocs o macroflocs, la creación de los flocs es la resultante de la agrupación o aglomeración de las partículas desestabilizadas con anterioridad, las cuales cuando logran acercarse lo suficiente las superficies sólidas de la misma se provocan choques y así las fuerzas resaltan y se da una separación (Lorenzo-Acosta, 2006)

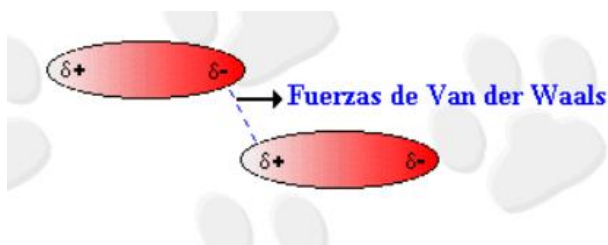


Ilustración 22: Representación de fuerzas Van der Waals.

Fuente (s.f)

Durante el proceso hay que realizar una agitación lenta y uniforme, ya que esto favorece la unión y formación de los flóculos, de lo contrario, al tener una velocidad de agitación irregular podría romper los flocs, lo cual afecta negativamente el proceso porque al unir nuevamente los elementos rotos no obtendrán la misma fuerza natural (Bulla Trujillo, 2019)

Dentro de la fase de floculación tenemos una clasificación en dos tipos, ortocinética y pericínética, pero esta funciona más que todo cuando el tamaño de sus coloides es menor o igual a una micra y el tipo ortocinético que es cuando se le induce energía al líquido mediante movimientos externos. (Lorenzo-Acosta, 2006)

Si bien es cierto el uso más común de la coagulación-floculación es tratar el agua cruda o residual cruda y/o lixiviados, sin embargo, existen otros fines, como lo es en la industria que utilizan leche como materia primera.

3.1.20. Otros productos usados en relación con el proceso de coagulación-floculación.

La arcilla es un material particulado tiene un impacto positivo en la creación de flocs, ya que mediante la adición de bentonitas y caolinitas en una textura de lechada aumentan considerablemente la frecuencia y número de colisiones entre los coloides desestabilizados y esto ayuda a su vez, a aumentar el peso molecular del floc para facilitar su sedimentación y disminuir el tiempo (Lorenzo-Acosta, 2006)

3.2. Marco Legal

3.2.1. Normas que regulan el tratamiento, manejo y diseño de los rellenos sanitarios.

- ✓ Decreto 1784 de 2017: En consecuencia, se reforma y complementa el decreto 1077 de 2015 que complementa las actividades de tratamiento y destrucción final de residuos sólidos en los servicios públicos de saneamiento.
- ✓ Ley 1259 DE 2008 art 1, ley colombiana que establece que el almacenaje es colocar transitoriamente los desechos en un depósito.
- ✓ Decreto 1505 DE 2003, que regula los planes de gestión integral de residuos sólidos.
- ✓ Ley 23 de 1973, esta norma es la primera en designar responsabilidad a todo aquel que ocasione daños al medio ambiente.

- ✓ Decreto 1594/1984, mediante este decreto se logra designar el uso del agua y los residuos líquidos; también regula el vertimiento de líquidos residuales a alcantarillados y cuerpos de agua superficiales o acuíferos
- ✓ Decreto 1601/1984, reglamenta de manera parcial la ley 09 de 1979 en relación a la sanidad y vigilancia epidemiológica en vehículos terrestres. Resalta que todos los terminales deben contar con un sistema de tratamiento de residuos sólidos producidos en el mismo.
- ✓ Resolución 2309/1986, especifica normas en cuanto al manejo de residuos de carácter especial, almacenamiento, transporte y tratamiento.
- ✓ Ley 142/1994, ley colombiana, esta ley se aplica a los servicios públicos domésticos de alcantarillado, saneamiento, distribución de gas y otras regulaciones.
- ✓ Norma técnica GTC 24/1996, esto proporciona pautas para la clasificación de desechos no peligrosos, peligrosos y especiales.
- ✓ Ley 99 de 1993, ley general ambiental del Colombia, su función diseñar y planificar el uso del territorio y recursos naturales renovables, para garantizar su adecuado desarrollo sostenible.

4. Capítulo III. Metodología

Es una investigación documental realizada tomando como punto de partida un rango de tiempo establecido con el fin de recopilar fuentes verídicas de información proporcionadas por diferentes autores mediante artículos, ensayos, revistas científicas, etc. Esto se realiza con el propósito de exponer y poder argumentar a favor o en contra respecto a los resultados obtenidos por dichos autores.

4.1. *Tipo de estudio.*

De tipo documental, basada en una selección de documentos producidos por investigadores que brindan información acerca de rellenos sanitarios, tratamiento, coagulantes, floculadores y lixiviados, esto con el fin de analizar los daños medio ambientales y posibles soluciones, ventajas y desventajas.

Esta información recopilada permitirá evidenciar claramente la utilidad del método de tratamiento de coagulantes y floculantes a las sustancias lixiviadas.

4.2. *Técnicas de recolección de datos:*

La recopilación de datos es documental, informativa ya que es posible tomar la información de referencias bibliográficas bastante extensa mediante una revisión sistemática, la cual simplemente se basará en la búsqueda de palabras que relacionen el tema en cuestión “**coagulación-floculación en el tratamiento de lixiviados en rellenos sanitarios**”, y en este caso se enfocó el tema a la parte ambiental y de construcción o ingeniería civil, esto fue posible gracias a la utilización de navegadores o buscadores como Google, Google académico, información proporcionada por ingenieros en su experiencia y docentes.

4.3. Base de datos.

Toda la información relacionada en esta investigación es producto de artículos primarios publicados en español, en revistas científicas en bases de datos como: Google académico, Scielo, Redalyc, páginas web, pdf, tesis de otras universidades como la de Antioquia, Unad, universidad nacional y las librerías de universidad de pamplona.

4.4. Concepto de inclusión.

- ✓ Tipo de investigación: documental investigativa basada en información de estudios primarios.
- ✓ Idioma: español e ingles
- ✓ Fechas de publicación: entre 2000 a 2021.
- ✓ Alcance: estudios referidos a países como Colombia, Chile, Cuba, México, España, Túnez y Malasia.
- ✓ Población: preparación de los desechos obtenidos en los rellenos sanitarios mediante los métodos de coagulación y floculación.
- ✓ Resultados: método de tratamiento para lixiviados en pro del medio ambiente.

5. Capítulo IV: Nuevas técnicas de tratamiento de Lixiviados

Los lixiviados producidos en los depósitos de desechos afectan a los recursos naturales especialmente el del agua el cual se clasifica básicamente en dos categorías: biológicas y fisicoquímicas, términos definidos anteriormente, por ello se considera una novedad en esta área el uso de tecnología ya que mediante esta también se puede realizar tratamiento de lixiviados, la tecnología para este tipo de tratamientos es:

- ✓ **Tratamiento térmico (evaporación):** este tratamiento utiliza la energía del gas biológico (biogás) que se origina en la basura para evaporizar los lixiviados, tiene la capacidad de moderar las emanaciones de lixiviados y por último quedar con sedimento en forma de lodo que se devuelve al depósito de basura. (Roper, 2020)
- ✓ **Biológico:** En este sistema se aprovecha la capacidad que tienen los microorganismos de tomar el oxígeno y depurar los compuestos orgánicos presentes en el lixiviado. (Roper, 2020)

Las ventajas más relevantes es que este sistema tiene una menor producción de lodos, y esto en consecuencia reduce los costos de inversión capital, mantenimiento y operación, todo en comparación al proceso aerobio. (Giraldo, 2003)

- ✓ **Recirculación de los lixiviados:** Este método se usa desde hace más de 20 años, pero más recientemente se conoce este proceso como una tecnología del relleno biorreactor. Actualmente se está estudiando en detalle en los Estados Unidos con apoyo de la EPA para aclarar algunas cuestiones pendientes sobre el uso de este método. (Giraldo, 2003)

6. Capítulo V: Estado del Arte

La elaboración del estado del arte es el proceso mediante el cual se hace mención sobre la búsqueda de información que indica la importancia de estudios ya realizados que ayudan a justificar y a recomendar el uso del proceso de coagulación floculación, su eficacia; debido a esto se adjunta y se selecciona información de diferentes estudios en relación al tratamiento de lixiviados y al final se obtiene el documento con la recopilación de información más utilizada y que se pueda trabajar en la presente investigación bibliográfica.

6.1 Fuente de información utilizada en esta investigación o documentación.

Todas las fuentes aquí consultadas son de gran importancia, de donde se determinó lo siguiente:

- ✓ En el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario los colorados (Astorga del Canto, 2018) en Chile, se evaluaron procesos de tratamiento para dar con un mejor manejo de los lixiviados. Este trabajo revisó el sistema de tratamiento existente, el cual consiste en un reactor anaeróbico primario, seguido de un aerobio secundario con su sedimentador desde donde se recirculaba los efluentes al relleno, pero que la eficiencia lograda no cumplía con las normas chilenas, razón por la cual se propusieron alternativas para complementar el tratamiento.
- La Coagulación – Floculación ha sido una alternativa útil para lixiviados maduros que usa sustancias químicas como coagulantes generalmente como sales de aluminio o hierro, cal y/o polímeros denominados polielectrolitos, que desestabilizan los coloides presentes en el agua y aglutinan partículas sólidas y disueltas, donde pueden eliminar hasta un 75% de los sólidos en suspensión, pero es menos eficaz en un 40% para la remoción de materia orgánica que los otros

sistemas, y además generan grandes volúmenes de lodo que deben extraerse con un gasto operativo adicional.

Otra alternativa fue tratar los efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) existente mediante dos humedales de flujo subsuperficial, uno vertical seguido de otro horizontal que ayuda a la nitrificación y desnitrificación, teniendo como medio granular, arena, zeolita, y dos capas de grava de tamaños variables y sólo grava para el de flujo horizontal, utilizando macrófitas *Phragmites australis* para el vertical y *Thypha angustifoli* en el horizontal y como medio impermeable una geomembrana de 1 [mm] de espesor, lográndose disminuir la concentración de contaminantes a por debajo de lo estipulado de la norma, pero a costos muy elevados.

- ✓ Los tratamientos fisicoquímicos de los lixiviados de un relleno sanitario, los investigadores (Méndez Novelo, y otros, 2004) afirman que la generación de lixiviados depende de muchos factores tales como el grado de compactación y humedad inicial de la basura, el material que cubre las celdas, la lluvia, humedad atmosférica, evaporación, evapotranspiración, la escorrentía, infiltración y la capacidad de campo del vertedero, etc. Siendo necesario determinar una estructura y composición de ensayos que den como resultado una dosificación de los coagulantes óptimos para el tratamiento fisicoquímico, razón por la cual en este estudio se llevaron a cabo 864 especímenes en la prueba de jarras a los lixiviados del relleno sanitario, y se analizaron 4 coagulantes metálicos (cloruro ferroso, sulfato ferroso, cloruro y sulfato de aluminio) con dosis de 50 a 300 mg/l,

esto nos indicaría un resultado del tratamiento de lixiviados, que es más eficiente cuando se aplican dosis superiores de coagulante ya que se puede obtener mejor eficiencia de remoción y hacer que la acción de barrido sea más intensa; como resultados se obtuvieron remociones del 25 al 38% de demanda química de oxígeno (DQO) en lixiviados frescos con dosis de 3000 g/l de Al, en un tratamiento fisicoquímico semejante con cloruro férrico se obtuvieron remociones del 70% de DQO.

Al final de este trabajo se concluye que la dosis y los tipos de los coagulantes deben ser mayores para obtener una mayor eficiencia de remoción de contaminantes como la demanda química de oxígeno (DQO), se obtuvieron dosis de 3000 mg/l confirmando lo antes dicho. La eficiencia de remoción DQO soluble de 864 ensayos fueron bajas, debido a que los lixiviados tratados son de baja concentración de sólidos suspendidos.

- ✓ En una investigación en Cali – Colombia, el tratamiento físico químico de lixiviados parcialmente estabilizados en el vertedero de Navarro. (Valencia, 2007), se realizó para evaluar el proceso de tratamiento de coagulación – floculación en los lixiviados a escala de laboratorio usando como coagulante el cloruro férrico (FeCl_3), las muestras para este tratamiento se tomaron de lagunas y se analizaron diferentes parámetros, pero los más representativos fueron el del pH y la dosis de coagulante.

Este relleno se opera desde 1968, los lixiviados son producidos en una tasa de 7.6 l/s y de las muestras obtenidas se determinó que los lixiviados son viejos o

parcialmente estabilizados ya que presentan un color y un valor de pH alto, según los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a las muestras que se llevaron al laboratorio de la estación de investigación y transferencia del Instituto CINARA, ubicada en Cali, la remoción del color de los lixiviados se dio en un 95% de efectividad ya que para el cloruro férrico a mayor pH mayor remoción de color, por tanto, queda demostrado que el tratamiento físico químico para lixiviados viejos es una técnica viable, para remover color.

- ✓ También se ha realizado investigaciones con mezclas de coagulantes para el tratamiento de lixiviados, donde investigadores tomaron ejemplares de lixiviados provenientes del Relleno Sanitario de la región de la Sierra (Laines Canepa J. R., 2008), con más de 5 años en operación, ubicado en el ejido Arcadio Zentella del municipio de Teapa, Tabasco, México.

Para este estudio se aplicó una metodología de coagulantes de origen vegetal (almidón de plátano) y mezclas con sustancias inorgánicas convencionales (cloruro férrico y sulfato de aluminio), con una previa determinación de turbiedad, color, pH, sólidos suspendidos totales y conductividad para el tratamiento de lixiviados. Todos estos parámetros utilizados en los análisis para evaluar la reducción de DQO arrojaron resultados variados para las mezclas basadas en almidón más sulfato de aluminio. Los coagulantes puros como el sulfato de aluminio y el cloruro férrico tienen un nivel más alto en la eliminación de DQO que cualquier mezcla de coagulantes. Esto se debe a que, aunque las mezclas

eliminan la DQO, lo hacen solo con la fracción de partículas, lo que se correlaciona con la eliminación de la turbidez y color aparente que también es favorable con la aplicación de coagulantes puros.

- ✓ Otro estudio evaluado fue el tratamiento de lixiviados provenientes de la etapa de compostaje, mediante el proceso de coagulación con mucílago de *Opuntia Ficus Indica*” (Damián Martínez, 2019), trabajo que se realizó en la Provincia de Concepción-Perú, con el propósito de encontrar una alternativa al tratamiento de estos fluidos percolados, con la reducción de algunos componentes como el metano producidos en rellenos sanitarios que hacen la sustitución de la adsorción de carbono. El método de coagulación utilizado fue un compuesto orgánico natural (mucílago de *Opuntia ficus-indica*), considerado un coagulante natural; la investigación buscaba disminuir parámetros de carga orgánica, así que la experimentación incluyó los resultados de porcentajes de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) y la turbiedad mediante la evaluación de la eficiencia de los parámetros de coagulante y el pH. En las pruebas experimentales desarrolladas se determinó que la mejor dosis fue 1 g/ L de coagulante de *Opuntia Ficus Indica*, en un medio con valor de pH de 7 y un tiempo de contacto de 30 minutos, bajo estos parámetros se pudieron obtener valores de 89,06% en la reducción de turbiedad, recomendándose el uso de coagulantes naturales para tratamiento de lixiviados, pero no obstante los investigadores recomendaron seguir investigando y realizando otros estudios que puedan seguir reduciendo la

demanda química de oxígeno, o realizar otro proceso que pueda incrementar la concentración de oxígeno en los lixiviados.

- ✓ En el nuevo vertedero de Guanabacoa, de la Habana en Cuba. se ha presentado otra propuesta para tratar los lixiviados en un vertedero municipal de residuos sólidos. (Pellón Arrechea, 2015), que generan lixiviados con alto poder contaminante, investigación en la que han realizado la evaluación físico-química de los lixiviados generados. Se trató de un estudio al sistema de tratamiento para el nuevo vertedero que recibe residuos sólidos urbanos (RSU) de una población de 334226 habitantes y que generan 189 ton/d de residuos sólidos. La propuesta incluye los siguientes pasos de tratamiento: tanque séptico, filtro anaeróbico, laguna facultativa y maduración. Las muestras objeto de este estudio fueron tomadas a nivel superficial, durante las épocas de seca (octubre y noviembre) y de lluvia (mayo y junio), como resultados del análisis del pH mostró una ligera tendencia hacia la basicidad, con respecto al oxígeno disuelto los valores fueron prácticamente cero, indicando anoxia en los lixiviados, con presencias de los coliformes y la mayoría de las muestras tenían origen fecal, razón por la cual todos los lixiviados mostraron una coloración carmelita oscuro, lo que llevo a la recomendación de implementar un sistema de tratamiento que asegura la descarga al medio ambiente sin peligro de una contaminación posterior.

De acuerdo a la evaluación físico-química se pudo proponer un sistema de tratamiento con las normativas correspondientes, donde el uso previo de coagulantes y floculantes es eficaz, en este caso la eficiencia alcanza una

eliminación de la DBO y DQO del 80-90 % respectivamente y un 70 % en la eliminación de materia orgánica, también se alcanza eficiencias de eliminación de sólidos suspendidos del 65 al 75 %, esto con respecto a las muestras recolectadas, son porcentajes bastantes buenos o eficaces que demuestran una vez más que el tratamiento lixiviados mediante coagulación-floculación es buena.

- ✓ En el relleno sanitario El Carrasco ubicado en Girón (Santander)-Colombia (Mosquera, 2012) realizaron una revisión del Estado del Arte en el tratamiento de lixiviados. Esta investigación estudia el proceso de tratamiento de lixiviados producidos en la disposición de residuos sólidos del área metropolitana de Bucaramanga y cinco municipios aledaños; el tratamiento aplicado es de tipo natural mediante la aplicación de los humedales artificiales.

Las remociones obtenidas son aproximadamente del 59,5 y el 53% para DQO y DBO₅ respectivamente, observando que una vez pasado el tiempo de adaptación de las especies vegetales y de formación de consorcios microbianos, la eficiencia del sistema puede llegar los valores mucho mayores, concluyendo que trabajar con humedales para tratamiento de lixiviados es viable porque puede tener un mejor mantenimiento, bajo consumo de energía y puede ser adaptable a diferentes niveles de contaminación.

- ✓ Otra investigación se realiza en el Parque ambiental “Loma de los Cocos” de la ciudad de Cartagena de Indias en Colombia, se estudió la capacidad del

coagulante natural como alternativa de tratamiento de los lixiviados del relleno sanitario (Lambis Ortiz, 2015).

El fin de este trabajo investigativo era proponer una alternativa para el tratamiento de los lixiviados provenientes de vertederos y evaluar la eficiencia de remoción de los contaminantes orgánicos y la demanda química de oxígeno (DQO), utilizando un coagulante natural (Quitina), en un estudio de tratabilidad que utilizó el test de jarras convencional, que se comparó con la eficiencia de remoción lograda por el sulfato de aluminio (alumbre). Debido a esto resultados sugirió que pH óptimo para los dos coagulantes era de pH de 4.0 y para efectos de la dosis óptima el coagulante químico de sulfato de aluminio de 6000 mg/l [muy alta] se encontró eliminación del 19.28% de DQO y el 73.87% de color. Por otra parte, el coagulante de quitina alcanzo a remover el 12.69% de DQO y 47.26% del color con una dosis de 10.000 mg/l (extremadamente alta), aunque no dejan de ser tratamientos de coagulación y floculación naturales se pueden recomendar como alternativas de tratamiento, sin embargo, deben realizarse más ensayos factoriales con el fin de encontrar una mayor eficacia sin utilizar dosis tan altas de coagulante.

- ✓ También en Colombia, en el relleno sanitario El Ojito ubicado en Popayán (Daza Cerquera, 2021), evaluaron del proceso de coagulación, floculación con sulfato de aluminio y centrifugado en tratamiento de lixiviados, donde el lixiviado que es generado allí se considera maduro, por tanto, se determinó, verificó y ajustó la dosificación del agente coagulante (Sulfato de Aluminio), para evaluar la

eficiencia en remoción de turbiedad a escala laboratorio y utilizando una máquina de centrifugado que sustituye el sedimentador convencional. Las muestras de lixiviados se tomaron durante las temporadas alta y baja de lluvias, teniendo en cuenta el cambio climático del área de estudio.

Se realizó un diseño factorial de tres réplicas, a nivel de laboratorio, con los factores iniciales la dosificación de sulfato de aluminio y el tiempo de centrifugación; De esta forma se evalúa la influencia de los dos factores sobre el volumen de lodos separados de la centrifugación del lixiviado, de modo que su turbidez se mantenga al mínimo. Se halló que la combinación de agentes coagulantes, específicamente sulfato de aluminio y el centrifugado son un tratamiento viable puesto que en temporadas de altas precipitaciones o con niveles de turbiedad dada en el rango de 26,4 a 39,1 UNT (Unidad Nefelométrica de Turbidez) se logra remover hasta el 85% de la turbiedad con una dosificación aproximada de 300 mg/l y 2 minutos como tiempo mínimo de centrifugación, concluyéndose que la eficiencia del proceso podría dar remociones superiores de DQO y una eliminación total de color combinado con filtraciones y sedimentaciones.

- ✓ En Granada, España, se desarrolló la investigación por parte de (Pérez, 2008) en cuanto a la combinación de coagulación-floculación y un sistema de biopelículas para el tratamiento de lixiviados de vertederos, esta investigación se concentró en la evaluación de la eficacia en cuanto al proceso físico-químico de coagulación-floculación en los procesos biológicos de biopelícula de lechos inundados con

combustible microbiano. Durante la ejecución se utilizaron muestras de lixiviados provenientes del relleno sanitario de Alhendín y de Harnhill, este último ubicado cerca de la ciudad de Bristol en Inglaterra.

Antes de iniciar con los ensayos, se hizo una previa caracterización de los lixiviados muestreados, encontrando lo siguiente: el lixiviado proveniente de la ciudad de Alhendín se ajustó a la cualidad de uno parcialmente estabilizado. Por otra parte, la muestra tomada de la ciudad de Bristol tuvo un comportamiento muy distinto, ya que este se caracterizó como un lixiviado en fase metanogénica de descomposición. (Pérez, 2008).

Luego de realizar pruebas relativas en cuanto al lixiviado provenientes del vertedero de Alhendín y de Harnhill, se logra llegar a unos parámetros iniciales ideales de coagulante y floculante; Cloruro férrico con una concentración de 0.5 ml/L + cloruro de sodio a una concentración de 1 ml/L (Pérez, 2008), con lo cual logra obtener resultados bastante bajos puesto que alcanza hasta un 30% de la eliminación de DQO y un 14% de los sólidos suspendidos. Esto permite cuestionar el uso de estos floculantes catiónicos para el tratamiento físico-químico de lixiviados, por lo cual debe seguir estudiándose estos coagulantes con el fin de encontrar una dosis mejorada o una combinación que ofrezca mayores beneficios.

- ✓ (Avelino, 2009) llevaron a cabo una investigación en la ciudad de Mérida en la región de Yucatán en México, donde buscaron la cantidad de semillas de moringa oleífera como coagulante necesarias para el tratamiento físico-químico de aguas

residuales, y así mismo poder reducir la absorbancia de las partículas en suspensión.

Durante el desarrollo de esta investigación, se realizaron diferentes ensayos de jarras con el fin de encontrar valores acertados en cuanto a los parámetros iniciales para el tratamiento de estos residuos líquidos.

Producto de esos experimentos con el test de jarras se pudo obtener un tiempo mínimo de reacción o agitación de 5 minutos, con lo cual reduciría en un 25% la absorbancia para el agua residual con menor densidad de materia orgánica, y un 82% de reducción en el agua residual de laguna con un mayor volumen de partículas suspendidas. Respecto a la eficacia de las semillas de la moringa oleífera se tienen valores bastante aceptables ya que con una concentración de 25 g/L de este coagulante natural, se logra una reducción de absorbancia de hasta un 78%.

Con estos resultados podemos destacar que la moringa es un coagulante bastante bueno en el proceso de coagulación durante la remoción de material orgánico presente en aguas residuales estudiadas. (terminar mostrando la cantidad necesaria).

- ✓ (Lozano-Rivas, 2012) llevó a cabo una investigación, en la cual utilizaba extracto de fique como coadyuvante de coagulación en el tratamiento de lixiviados provenientes del relleno sanitario Doña Juana en Bogotá, Colombia. Todo este

estudio se hizo con el objetivo de poder remover los sólidos que daban turbidez y color aparente al fluido percolado que allí se creaba.

Mediante la aplicación del test de jarras, se efectuaron pruebas con el fin de obtener la dosis ideal y así mismo otros parámetros fundamentales que son indispensables antes de un tratamiento.

A pesar de que los ensayos preliminares al fluido arrojaron que la presencia de sólidos era mínima (casi nula) el tratamiento tuvo puntos exitosos, con dosis de 3000 mg /L de cloruro férrico, 40 mg/L del extracto de fique y un pH ligeramente alcalino de 8.57 se obtuvieron valores aproximados de 15% en la remoción de la turbidez y el 9% en la eliminación de DQO.

Si bien es cierto la concentración de los coagulantes utilizados es elevada y los valores obtenidos fueron bastante bajos, no deja de tener respuestas positivas en el tratamiento físico-químico, sin embargo, se debe seguir realizando diferentes estudios con el fin de determinar si hay alguna mejor aplicación de estos dos coadyuvantes que ayuden a darle un mejor tratamiento a los lixiviados.

- ✓ Continuando con el desarrollo del estado del arte, en Veracruz, en el relleno sanitario de esta localidad, (Hernández, 2013) llevaron a cabo un estudio en el cual evaluó la eficiencia de la cal, sulfato e hidroxiclورو de aluminio para tratar lixiviados originados en el basurero de la ciudad de Poza Rica de Hidalgo mediante el proceso de coagulación floculación.

Durante el desarrollo de los diferentes ensayos se pudo observar y concluir que el CaO no tuvo la capacidad de comportarse como un floculante adecuado a pesar de someterlo a diferentes condiciones de ensayo; siguiendo con el sulfato de aluminio se logró observar que tiene un comportamiento aceptable, obteniendo un 0.97 de NTU en cuanto al valor de turbidez con 2250 partículas por millón de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, se obtiene una buena remoción de turbidez pero con una grandísima concentración de coagulante, lo cual aumenta el precio de tratamiento con este químico. Además, se logra evidenciar un aumento de efectividad en la segunda parte del tratamiento físico-químico, es decir en la floculación, ya que con una dosis de 1.5 ppm de e hidroxiclورو de aluminio y un pH de 7.63 (casi neutro) se alcanza un índice de turbidez de 0.83 NTU.

Al finalizar estos ensayos experimentales se logra apreciar que el hidroxiclورو de aluminio es la mejor opción como floculante, ya que logra remover casi toda la materia orgánica, disminuyendo con esto el precio de operación.

- ✓ (Laines Canepa J. R., 2008) llevaron a cabo el análisis de un tratamiento para lixiviados de vertederos, el cual consistía en una serie de mezclas con potencial coagulante para dicha operación; como agentes coaguladores se utilizaron proporciones de almidón de plátano, sulfato de aluminio y arcillas (LASA 55, LASA 73, LASAB 23530). El lixiviado extraído fue tratado con anterioridad realizando un ensayo de jarras con el fin de medir su turbiedad, olor, DQO, nivel de pH y SST. (Laines Canepa J. R., 2008) Como parámetros iniciales se obtuvieron 75 mg/L de LASA 55 y sulfato de aluminio, repartidos en dos

tratamientos, donde se obtuvo un valor de <5 UNT del nivel de turbiedad; por otro lado, el cloruro férrico fue el candidato que proporcionó una mayor remoción de color aparente, dejando en segundo lugar a la LASA 55 y el sulfato de aluminio, en un tercer puesto el LASAB 23530 y finalmente LASA 73 con un poco participación en la reducción de color.

Mediante ensayos cualitativos también se logra evidenciar que al mezclar el almidón de plátano junto con el sulfato de aluminio no genera mayor impacto, ya que el nivel de remoción de la DQO es casi nulo si se compara con la efectividad de LASAR.

Gracias a esta investigación y los resultados obtenidos de la misma, se logra establecer una breve factibilidad al realizar mezclas de coagulantes para el tratamiento de lixiviados. (Laines Canepa J. R., 2008).

- ✓ En la presente investigación los autores (Zaitan, 2021) evaluaron la eficiencia de la adsorción del cloruro férrico y el polvo de corteza de palma para tratar lixiviados producidos en vertederos de Túnez. De manera preliminar se contemplaron términos iniciales como DQO, color aparente y turbidez; estos parámetros son los que definirán la eficacia de dicha combinación en cuanto a la remoción de los mismos.

Luego de varios ensayos y pruebas a escala de laboratorio, se logró obtener valores bastante significativos que demuestran su efectividad, teniendo así los siguientes datos cuantitativos; al utilizar una dosis optima de 12 g/L Fe_3 se

alcanza valores de remoción de turbidez de un 90%, reducción de DQO de 50% , un 80% en la eliminación del color aparente y una DBO5 de 99%.

Pero eso no es todo, al realizar la mezcla entre el óxido de hierro III y el polvo de la corteza de palma, se alcanza valores de 99%, 90% y 59% en cuanto a la remoción de turbidez, color aparente y DQO.

Con estos resultados se logra confirmar que al combinar el proceso de coagulación-floculación y la adsorción, son un tratamiento bastante eficaz en cuanto a lixiviados de rellenos sanitarios se refiere.

- ✓ El estudio desarrollado por (Mohd-Salleh Siti ni Aishah, 2018) buscaba determinar dosis óptimas para el coagulante policloruro de aluminio dentro del rango de 2250 a 4500 mg/L y un pH delimitado entre 3 y 10. PAC fue probado con lixiviados tomados del vertedero de la localidad Simpang Renggam en Malasia. Al desarrollar diferentes parametrizaciones se llega a establecer cinco variables significativas siendo sólidos en suspensión, DQO, amoníaco, hierro y cromo.

Gracias a la prueba o test de jarras se pudieron determinar los valores acertados en cuanto a la dosis ideal y la efectividad que esta proporciona, siendo las siguientes; una dosis de 3750 mg/L y un medio neutro ($\text{pH} = 7$) son las condiciones ideales para que el policloruro de aluminio alcance una remoción de 95% de los sólidos suspendidos en el agua, 53% en la eliminación de DQO, una eliminación de hierro del 97% y un 79% en la remoción del cromo presente. Sin embargo, tuvo un

mal desempeño en la eliminación del amoníaco, ya que solo alcanzó un 18% de efectividad en cuando a su tratamiento.

Gracias a los valores obtenidos se puede afirmar el uso del policloruro de aluminio muestra un gran desempeño en el proceso de coagulación floculación para tratar lixiviados, pero aún no es posible establecer valores estandarizados de que satisfagan la necesidad de cualquier lixiviado, es por ello que deben realizarse ensayos particulares para cada fluido percolado originario de vertederos.

7. Capítulo VI: Discusión

En la última década además de tratamiento fisicoquímico de coagulación-floculación también se ha venido implementando otros tipos de tratamientos, como el uso de membranas selectivas, tratamientos con coagulantes de tipo químico o con productos naturales, unos amigables con el medio ambiente y otros no tanto, pero que se aplican dependiendo de la cantidad y composición de los lixiviados influenciados la cantidad total de desechos sólidos, el número de habitantes, actividades económicas y el grado de industrialización de la región.

Actualmente la contaminación que genera el vertimiento de lixiviados en recursos hídricos es un problema ambiental a nivel mundial, es de vital importancia y se debe tener asignada una atención detallada a todos los daños que esto provoca al ecosistema acuático, marino y al medio ambiente en general.

Esta investigación de tipo documental tuvo como propósito contribuir con información que ayude a mejorar los vertimientos y por ende a identificar y describir uno de los tratamiento que tiene efectividad del proceso, consistente en el tratamiento primario físico-químico de coagulación-floculación a realizar a los lixiviados producidos en rellenos sanitarios, tomando como referencias las fuentes bibliográficas con resultados obtenidos de ensayos realizados por diferentes autores que puede deducir como procedimiento muy útil en cuanto a un tratamiento que se le podría realizar a un residuo líquido antes de su disposición final.

Las realizaciones de los tratamientos son favorable y eficiente de alguna manera; pero el tipo de tratamiento se define si la relación costo beneficio es una favorable técnica y económicamente ya que todo depende de los parámetros, dosis, concentraciones, accesibilidad, disponibilidad, la facilidad de obtención de los coagulantes y costo de los mismos, indicándose

que aún persiste la pugna tecnológica de realizar los tratamientos biológicos o químicos o combinados, siendo los más favorables aquellos que con mejor eficiencia den al menor costo, según el objetivo de tratamiento, lo que induce a concluir que es esto de los tratamientos aún no hay nada definitivo, que cada uno tiene sus ventajas y desventajas desde la óptica que se les mire y que por ahora se debe continuar investigando hasta llegar **al tratamiento ideal** para remover todos los contaminantes, tratamiento que por ahora no se ha encontrado.

La utilización de coadyuvantes de origen natural en el tratamiento de lixiviados ha demostrado buenos resultados gracias a los ensayos que se han realizado de manera constante a lo largo de los últimos 20 años, constatando que muchos coagulantes naturales pueden ser una buena alternativa como un agente coagulador, sin embargo, es notable la discrepancia que presentan los naturales de los químicos para estos tratamientos, es por ello que debe seguir realizándose diferentes estudios con diferentes diseños factoriales de especímenes con el propósito de obtener mejores resultados de tratamiento disminuyendo la concentración de dichos coagulantes y por ende, el costo de operación.

8. Conclusiones

La gran mayoría de investigaciones consultadas -Estado del Arte – indican que:

La cantidad o volumen de los residuos sólidos que se disponen en rellenos sanitarios que producen lixiviados, están ligados directamente y de manera proporcional a un crecimiento poblacional y desarrollo económico del sector.

La demanda química de oxígeno (DQO), la concentración de sólidos, el color y el pH son parámetros importantes a la hora de determinar la dosis óptima del coagulante-floculante antes de iniciar el tratamiento de los lixiviados, diferentes autores como (Valencia, 2007), (Damián Martínez, 2019) y (Pellón Arrechea, 2015) indican que es recomendable la aplicabilidad de este tratamiento primario físico-químico en los lixiviados, sin embargo recalcan la importancia de seguir estudiando este procedimiento.

El tratamiento de lixiviados es un proceso importante que ayuda a disminuir el incremento de contaminación, siendo el ensayo o test de jarras el más representativo en este tratamiento físico-químico para la determinación del tipo y coagulante-floculante más efectivo, junto con la dosificación y concentraciones óptimas, datos que proporcionan los resultados de mayor interés para un tratamiento eficaz de los lixiviados.

No existe un tratamiento general para el tratamiento de todos los lixiviados ya que es un procedimiento con alta dificultad y con características particulares, porque la calidad y el tipo de lixiviado varía en función del pH, el entorno (terreno), climatología, tipo de desechos sólidos que se disponen y edad de los rellenos sanitarios que los producen, siendo por esto imposible establecer un tratamiento o dosis típico que se pueda usar de manera general en todo tipo de

lixiviado, aspecto que induce a realizar siempre un estudio de tratabilidad para obtener los parámetros óptimos en cada lixiviado.

El gradiente de velocidad junto con el tiempo de mezcla rápida y de floculación son factores a los cuales hay que darle mucha atención durante este proceso de coagulación-floculación, porque al determinarlos se logra darle la agitación ideal y los tiempos óptimos para formar flocs excelentes, que llevan a una fácil y rápida sedimentación en este tratamiento primario de lixiviados con altas eficiencias en la remoción de los parámetros contaminantes como la materia orgánica, el color y sólidos suspendidos, cabe aclarar que no existen valores estandarizados en cuanto a los parámetros mencionados anteriormente, ya que cada lixiviado presenta cualidades y particularidades únicas, obligando siempre a realizar ensayos para encontrar dosis y parámetros ideales para su correcto tratamiento, y además los lixiviados tienen respuestas diferentes en la remoción dependiendo del tipo de coagulante, dosis, tiempo y gradiente de agitación, ya que estos parámetros no están normatizados aún.

Quizá de las conclusiones más importantes que hoy en día se tiene es que los coagulantes o floculantes de tipo químico son los que mayor eficiencia reporta en comparación con los de tipo natural, en la remoción de la materia orgánica, demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos y color aparente.

Los coagulantes naturales como la moringa, son productos 100% natural, que tienen la ventaja de que se puede conseguir fácilmente, no son perjudiciales para el medio ambiente y son de bajo costo, pueden generar economía en cuanto al tratamiento de lixiviados producidos y aunque sirve como coagulante y floculante hasta ahora solo pueden ser considerados como una alternativa más en cuanto la reducción de turbidez y color aparente del lixiviado, porque no logra

altas eficiencias en la remoción de materia orgánica, ni solos, ni combinados con coagulantes químicos, teniendo como desventaja la lenta industrialización en la producción como producto como coagulante.

También se concluye que a pesar de los buenos resultados de la coagulación-floculación como tratamiento de los lixiviados, este proceso debe seguir siendo un tratamiento primario y que requiere de un tratamiento adicional (secundario) para eliminar la materia orgánica disuelta remanente que no logra ser removida inicialmente, por la alta concentración de contaminantes presente en los lixiviados crudos.

Adquirir conocimiento de los coagulantes y floculantes, ha permitido obtener beneficios que brindan en cuanto a la descontaminación de las aguas residuales, es por esto que es importante socializar en la comunidad académica y técnica, la importancia de utilizar este tipo de tratamiento químico para reducir la contaminación de los lixiviados, líquidos residuales que crudos son altamente impactantes de los cuerpos receptores.

9. Referencias

- Arbeláez Mesa, M. &. (2010). *Estudio de las tecnologías empleadas para el manejo de lixiviados y su aplicabilidad en el medio (Bachelor's thesis, Universidad EAFIT)*.
Obtenido de google academico:
https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/4284/ManuelaArbelaez_JuanGarcia_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Astorga del Canto, C. F. (2018). *Tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario: Propuesta y evaluación de un sistema de humedales artificiales*. Obtenido de Google academico:
https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=TRATAMIENTO+DE+LIXIVIADOS+DE+UN+RELLENO+SANITARIO%3A+PROPUESTA+Y+EVALUACION+DE+UN+SISTEMA+DE+HUMEDALES+ARTIFICIALES&btnG=
- Avelino, F. M. (2009). *Tratamiento de aguas residuales de rastro mediante semillas de Moringa oleifera Lam como coagulante*. Obtenido de Tropical and Subtropical Agroecosystems, 10(3), 523-529: <https://www.redalyc.org/pdf/939/93912996021.pdf>
- Bolivar, g. (16 de junio de 2020). *Floculación: reacción, tipos, aplicaciones, ejemplos*. Obtenido de lidefer: <https://www.lifeder.com/floculacion/>
- Bravo Gallardo, M. A. (2017). *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales*.
Obtenido de
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/5609/BravoGallardoMonicaAlejandra2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Bravo Gallardo, m. a. (2017). *Coagulantes y floculantes usados en la reduccion* . Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/5609/BravoGallardoMon?sequence=1>
- Bulla Trujillo, L. M. (2019). *Desarrollo de una propuesta para un sistema de tratamiento del agua residual de la empresa de Lácteos IBEL (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América)*. Obtenido de google academico: <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/7611>
- Bustos Castro, M. F. (2018). *Uso del óxido de grafeno como floculante para el tratamiento en el lixiviado del Relleno Sanitario Doña Juana*. Obtenido de Universidad de La Salle: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/761/
- Cunha, N. &. (2013). *Planta de tratamiento de lixiviados del sitio de disposición final de la ciudad de Montevideo (vertedero Felipe Cardoso)*. Obtenido de Universidad de la República: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/22515/1/CP13.pdf>
- Damián Martínez, Y. (2019). *Tratamiento de lixiviados en la etapa de compostaje mediante el proceso de coagulación con mucilago de Opuntia Ficus Indica*. Obtenido de https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5610/T010_45819869_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Daza Cerquera, N. O. (2021). *Evaluación del proceso de coagulación, floculación y centrifugado mediante sulfato de aluminio como tratamiento de lixiviado maduro generado en relleno sanitario El Ojito de Popayán (Doctoral dissertation, Uniautónoma del Cauca*. Obtenido de Facultad de Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible. Programa de Ingeniería

Ambiental y Sanitaria).:

<https://repositorio.uniautonoma.edu.co/bitstream/handle/123456789/609/T%20IA-M%20111%202021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Díaz Claros, J. N. (11 de diciembre de 2014). *Coagulantes-Floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados de plantas y del reciclaje de la chatarra, para el tratamiento de aguas contaminadas (Doctoral dissertation)*. Obtenido de <http://www.cervantesvirtual.com/obras/autor/diaz-claros-jose-nahum-77651>

EPM. (17 de 06 de 2008). *1. ESTADO DEL ARTE - Grupo EPM*. Obtenido de https://www.grupo-epm.com/site/Portals/1/biblioteca_epm_virtual/tesis/capitulo1.pdf

Espinosa Lloréns, M. D. (2010). *Análisis del comportamiento de los lixiviados generados en un vertedero de residuos sólidos municipales de la ciudad de la Habana*. Obtenido de Revista internacional de contaminación ambiental, 26(4), 313-325: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992010000400006&script=sci_abstract&tlng=pt

Espinosa Otálora, R. D. (2018). *Evaluación de la capacidad de dos coagulantes naturales para la remoción de cargas contaminantes en el efluente final de la empresa textil INRUZZ SAS con respecto al coagulante comercial sulfato de aluminio*. Obtenido de Universidad el Bosque: https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/3319/Espinosa_Ot%20a1lora_Rub%20a9n_Dar%20ado_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Feria Díaz, J. J. (2014). *Eficiencia de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú*. *Producción+ limpia*, 9(1), 9-22. Obtenido de

scielo: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552014000100001

Fúquene D., & Y. (18 de 10 de 2018). *Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales*. Obtenido de Documentos de Trabajo ECAPMA, (1).:

<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:3TaR00G4dZ8J:https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/workpaper/article/view/2771+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co>

Giraldo, E. (07 de 05 de 2003). *Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: avances recientes*. Obtenido de Revista de ingeniería, (14), 44-55:

<https://revistas.uniandes.edu.co/doi/pdf/10.16924/riua.v0i14.538>

Gómez Puentes, N. A. (2005). *Remoción de materia orgánica por coagulación-floculación*. Obtenido de Ingeniería Química.:

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2841/nestoralejandrogomezpuentes.2005.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Guzmán, L. V. (2007). *CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES-Artículo Técnico REDUCCIÓN DE LA TURBIDEZ DEL AGUA USANDO COAGULANTES NATURALES: UNA REVISIÓN REDUCTION OF WATER TURBIDITY USING NATURAL COAGULANTS: A REVIEW*. Obtenido de google academico:

<https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/download/881/1036?inline=1>

Hernández, I. G. (2013). *Evaluación De Cal, Sulfato E Hidroxicloruro De Aluminio En La Coagulación-Floculación Del Lixiviado Del Relleno Sanitario De Poza Rica, Veracruz*.

- Avances en Ciencias e Ingeniería*, 4(3), 1-10. Obtenido de Redalyc :
<https://www.redalyc.org/pdf/3236/323629167001.pdf>
- J, J. (12 de diciembre de 2012). *Test de jarras*. Obtenido de
<https://www.slideshare.net/Sandyvb78/test-de-jarras/5>
- Jaramillo, J. (2002). *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales*. Obtenido de Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 19-24.: <https://redrrss.minam.gob.pe/material/20090128200240.pdf>
- Laines Canepa, J. R. (2008). *Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario*. *Interciencia*, 33(1), 22-28. Obtenido de Scielo :
http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0378-18442008000100006&script=sci_arttext
- Laines Canepa, J. R. (2008). *Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario*. *Interciencia*, 33(1), 22-28. Obtenido de Scielo :
http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0378-18442008000100006&script=sci_arttext
- Lambis Ortiz, M. R. (2015). *Tratamiento de lixiviados mediante el uso de la quitina como coagulante natural. Caso de estudio: Parque ambiental Loma de los Cocos de la ciudad de Cartagena De Indias (Doctoral dissertation, Universidad de Cartagena)*. Obtenido de
<https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/1557>
- Lorenzo-Acosta, Y. (2006). *Estado d Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación*. *ICIDCA*. Obtenido de Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 40(2), 10-17.: <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120664002.pdf>

Lozano-Rivas, W. A. (2012). *Uso del extracto de fique (Furcraea sp.) como coadyuvante de coagulación en tratamiento de lixiviados*. Obtenido de Revista internacional de contaminación ambiental, 28(3), 219-227:

<http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v28n3/v28n3a4.pdf>

Luna, M. D. (2008). *Sistemas de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios*.

Obtenido de UNIVERSIDAD DE SUCRE FACULTAD DE INGENIERÍA.:

<http://www.ods.org.pe/material-de-consulta/37-sistemas-de-tratamientos-para-lixiviados-generados-en-rellenos-sanitarios-colombia/file>

Maldonado, J. M. (2002). Obtenido de

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

Martel, Q. A. (01 de mayo de 2010). *CAPÍTULO 4 COAGULACIÓN*. Obtenido de Ingeniero

Ambiental,[En línea]. Available: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/cuatro.pdf>.

[Últim accés: 19 desembre 2017].:

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/51569176/4_COAGULACION-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1639817406&Signature=ZLF9KZQolQE7UGwcSo21AVEh3KzX2eU4hrfoWeDHZZ8UWhpLhv8Ed5XyGYCqPt4Wm8RymwU0C9aIb9ZkEZLztEqmdFBAQLD6A3vxCIGUNMdriH06qJVeAtDNy1roKF98I7fLnhiN-7Jbsp

Martinez Novas, A. Y. (2018). 8). *Análisis y comparación del manejo ambiental de lixiviados como propuesta para el mejoramiento de sus procesos*. Obtenido de Caso de estudio

Relleno Sanitario Doña Juana (RSDJ) de la ciudad de Bogotá y el Relleno Sanitario La

Miel de la ciudad de Ibagué.: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/21135>

Méndez Novelo, R., Castillo Borge, E., Sauri Riancho, M., Quintal Franco, C., Giacomani

Vallejos, G., & Jiménez Mejía, B. (2004). *Tratamiento fisicoquímico de los lixiviados de un relleno sanitario*. Obtenido de Redalyc:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46780213>

Mera, c., Gutierrez, M., salamanca, c., & paz, j. (16 de 08 de 2016). *EFECTO DE LA Moringa*

oleífera. Obtenido de file:///C:/Users/migue/Downloads/483-

Texto%20del%20art%C3%ADculo-1690-1-10-20160819.pdf

Mohd-Salleh Siti ni Aishah, M.-Z. N.-A.-S. (2018). *Optimización de la dosificación y el pH en el lixiviado de vertedero estabilizado mediante el proceso de coagulación-floculación*.

Obtenido de Doaj: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201825006007>

Mosquera, Y. N. (2012). *Tratamiento de lixiviados mediante humedales artificiales: revisión del estado del arte*. *Revista Tumbaga*, 1(7). Obtenido de

<http://revistas.ut.edu.co/index.php/tumbaga/article/view/377/314>

Panadero Delgado, e., & posada ramirez, l. (12 de 07 de 2012). *EFICIENCIA DEL*

COAGULANTE NATURAL A PARTIR DE LA SEMILLA DE Jatropha. Obtenido de

google academico:

<https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/1796/Eficiencia>

%20Del%20Coagulante%20Natural%20A%20Partir%20De%20La%20Semilla%20De%

20Jatropha%20Curcas%20Para%20Aguas%20Crudas%20Evaluando%20Variables%20F

%C3%ADsico-%20Qu%C3%ADmicas%20

Pellón Arrechea, A. L. (2015). *Propuesta para tratamiento de lixiviados en un vertedero de*

residuos sólidos urbanos. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 36(2), 3-16. Obtenido de

Scielo: <http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680->

03382015000200001&script=sci_arttext&tlng=en

Perez de la cruz, f., & Urrea, m. (07 de 07 de 2011). *abastesimiento de agua*. Obtenido de https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod_resource/content/1/Tema_06_COAGULACION_Y_FLOCULACION.pdf

Pérez, A. G. (2008). *Aplicabilidad de procesos de coagulación-floculación y de sistema de biopelícula en el tratamiento de lixiviados de vertederos de residuos urbanos*. Obtenido de Universidad de Granada.: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/dctes?codigo=70413>

Rodriguez, D. (14 de 06 de 2014). *caracteristicas e importancia d ellos rellenos sanitarios*. Obtenido de http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/16306/1/decd_5173.pdf

Ropero, S. (30 de abril de 2020). *Lixiviados: definición, ejemplos y tratamiento*. Obtenido de Ecología Verde: <https://www.ecologiaverde.com/lixiviados-definicion-ejemplos-y-tratamiento-2713.html>

s.f, c. (s.f.). *Obtenido de 100ciaquimica*. Obtenido de <http://www.100ciaquimica.net/temas/tema4/punto3h.htm>

Sanchez, W. A. (OCTUBRE de 2019). *EVALUACIÓN DE LOS LIXIVIADOS GENERADOS EN EL BOTADERO DE CARHUASHJIRCA Y LOS IMPACTOS AMBIENTALES*. Obtenido de

http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/4239/T033_70604812_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sigma. (28 de abril de 2021). *Lixiviados: soluciones eficaces para el medio ambiente y tratamientos propuestos por SIGMA*. Obtenido de <https://aguasigma.com/es/articulos-tecnicos/tratamiento-de-lixiviados-en-vertederos>

Tarón Dunoyer, a. (11 de mayo de 2015). *Tarón-Dunoyer, A. A., Guzmán-Carrillo, L. E., & Barros-Portnoy, I.* Obtenido de Evaluación de la Cassia fistula como coagulante natural en el tratamiento primario de aguas residuales. Orinoquia, 21(1), 73-78.:
<https://orinoquia.unillanos.edu.co/index.php/orinoquia/article/view/396/1002>

Tito, B. (18 de julio de 2021). *Que es lixiviados de un relleno sanitario o vertederos*. Obtenido de Página especializada en temas ambientales para el público en general:
<https://ingenieriaambiental.net/que-es-lixiviados/>

Tobar Herrera, J. M. (2008). *Parámetros de construcción para un relleno sanitario*. Obtenido de <https://bdigital.uniquindio.edu.co/bitstream/handle/001/5772/Parametros%20de%20construccion%20para%20un%20relleno%20sanitario.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Tzoupanos, & Zouboulis. (2008). *COAGULATION-FLOCCULATION PROCESSES IN WATER/WASTEWATER TREATMENT: THE APPLICATION OF NEW GENERATION OF CHEMICAL REAGENTS*. Obtenido de google academico:
https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/TZOUPANOS%20and%20ZOUBOULIS%202008.%20Coagulation-flocculation%20processes.pdf

- Valencia, V. A. (2007). *Evaluación del Tratamiento Físicoquímico de Lixiviados Parcialmente Estabilizados Estudio de Caso: Vertedero de Navarro*. Obtenido de In I Conferencia Latinoamericana de Saneamiento-LATINOSAN 2007.:
https://www.researchgate.net/profile/Viviana-Valencia-2/publication/331166139_Evaluacion_del_tratamiento_fisicoquimico_de_lixivados_parcialmente_estabilizados_Estudio_de_caso_Vertedero_de_Navarro/links/5c6a3b37a6fdcc404eb743b4/Evaluacion-del-tratamiento-
- Zaitan, Z. C. (2021). *Tratamiento de un lixiviado de un vertedero de la ciudad de Casablanca mediante un proceso de coagulación-floculación y adsorción utilizando un polvo de corteza de palma (PBP)*. Obtenido de Scientific African:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227621000259>
- Zea, n. (noviembre de 2005). *CARACTERIZACION DE LA ARCILLA PARA LA FABRICACION DE LADRILLOS*. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2549_C.pdf