

**VARIACIÓN EN LA REDUCCIÓN DE LA TURBIEDAD DE LIXIVIADOS DEL
RELLENO SANITARIO LA ESMERALDA, MEDIANTE UN PROCESO DE
COAGULACIÓN/FLOCULACIÓN AYUDADO POR ALMIDÓN DE PLÁTANO
Y AGUAS TERMALES**

LINA MARÍA ÁVILA CASTRO

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
MANIZALES

2016

**VARIACIÓN EN LA REDUCCIÓN DE LA TURBIEDAD DE LIXIVIADOS DEL
RELLENO SANITARIO LA ESMERALDA, MEDIANTE UN PROCESO DE
COAGULACIÓN/FLOCULACIÓN AYUDADO POR ALMIDÓN DE PLÁTANO
Y AGUAS TERMALES.**

LINA MARÍA ÁVILA CASTRO.

Asistencia de investigación como modalidad de grado del proyecto de investigación docente "Variación en la reducción de la turbiedad de lixiviados del relleno sanitario la esmeralda, mediante un proceso de coagulación/floculación ayudado por almidón de plátano y aguas termales" para obtener el título de ingeniería ambiental.

ASESOR: SEBASTIÁN ISAAC PACHECO GONZÁLEZ

Ingeniero Químico

Docente Investigador

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
MANIZALES

2016

TABLA DE CONTENIDO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
2. JUSTIFICACIÓN	9
3. OBJETIVOS	11
3.1 OBJETIVO GENERAL	11
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
4. MARCO TEÓRICO	12
4.1 MUESTREO	12
4.1.1 TÉCNICAS DE MUESTREO	12
4.1.2 MUESTREO DE LIXIVIADOS	13
4.2 UBICACIÓN	20
4.2.1 RELLENOS SANITARIOS	20
4.2.2 RELLENO SANITARIO LA ESMERALDA	23
4.3 VALIDACIÓN DE VARIABLES	25
4.3.1 PRUEBA DE JARRAS	25
5. METODOLOGÍA	32
5.1 ESTADO DEL ARTE	32
5.2 MUESTREO	32
5.2.1 MUESTREO DE LIXIVIADOS	32
5.2.2 MUESTREO DE AGUA TERMAL	33
5.2.3 MUESTRA DE ALMIDÓN DE PLÁTANO	34
5.3 PREPARACIÓN DE MUESTRAS	34
5.3.1 PREPARACIÓN DEL LIXIVIADO	34
5.3.2 PREPARACIÓN DE AGUA TERMAL	35
5.3.3 PREPARACIÓN DE ALMIDÓN DE PLÁTANO	36
	37
5.4 VALIDACIÓN DE VARIABLES	37
6. RESULTADOS	39
6.1 ESTADO DEL ARTE	39
6.2 MUESTREO	41
6.3 PREPARACIÓN DE MUESTRAS	41
6.3.1 PREPARACIÓN DE LIXIVIADO	42
6.3.2 PREPARACIÓN DE AGUA TERMAL	42
6.3.3 PREPARACIÓN DE ALMIDÓN DE PLÁTANO	42
6.4 VALIDACIÓN DE VARIABLES	43
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS.	47
8. CONCLUSIONES.	48
9. RECOMENDACIONES	49
10. BIBLIOGRAFÍA	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros a evaluar en la toma de muestras de lixiviados.....	13
Tabla 2: Características típicas de los lixiviados jóvenes y maduros.	15
Tabla 3: Variables que intervienen en el desarrollo del experimento.	38
Tabla 4: Valores de Turbiedad y pH.	38
Tabla 5: Tabla bibliográfica	39
Tabla 6: Dosis de agua termal correspondiente a cada jarra.	42
Tabla 7: Dosis de almidón de plátano correspondiente a cada jarra.	43
Tabla 8: Velocidad y tiempo en la primera prueba de jarras en la coagulación.	43
Tabla 9: Velocidad y tiempo en la primera prueba de jarras en la floculación. .	44
Tabla 10: Dosis de agua termal y almidón de plátano correspondiente a cada jarra.	44
Tabla 11: Velocidad y tiempo en la coagulación.	45
Tabla 12: Velocidad y tiempo en la floculación.	45
Tabla 13: Dosis optimas resultantes de la prueba de jarras	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Importancia del agua.....	7
Figura 2:Imagen de un terreno disponible y adaptado para un relleno sanitario	21
Figura 3: Diagrama de proceso del lixiviado en el relleno sanitario La Esmeralda.....	25
Figura 4: Fotografía del equipo para la realización de la prueba de jarras de la Universidad Católica de Manizales.....	26
Figura 5: Proceso de coagulación y floculación.....	28
Figura 6: Fotografía de punto de recolección de muestra de lixiviado en el Relleno Sanitario La Esmeralda.....	33
Figura 7: Toma de muestra de agua termal en Termales del Otoño.....	34
Figura 8. Fotografía de plátano verde y almidón de plátano.....	34
Figura 9: Fotografía de lixiviado con presencia de grasas.....	35
Figura 10: Procedimiento general para la obtención de almidón de plátano.....	37
Figura 11: Fotografías de puntos de muestreos.....	41
Figura 12: Fotografía de prueba de jarras con el equipo disponible en la Universidad Católica de Manizales.....	45

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La gestión y el manejo adecuado de los residuos sólidos es hoy uno de los mayores problemas ambientales en el mundo, llegando a perjudicar desde fuentes hídricas hasta ecosistemas y poblaciones. Por esto, surge la necesidad de implementar estrategias para mitigar y combatir el problema, que a su vez maneje un enfoque ambiental.

Una de las alternativas para la disposición final de los residuos sólidos se lleva a cabo en los rellenos sanitarios, el cual se hace cargo del tratamiento, manejo y disposición de los lixiviados resultantes de la descomposición de los residuos allí presentes. Se debe tener en cuenta, que los lixiviados son líquidos altamente contaminantes, capaces de contaminar suelos y fuentes hídricas tanto superficiales como subterráneas.

Los lixiviados presentan contaminantes como metales pesados, nitrógeno y fósforo en altas concentraciones, entre otros. Es por esto que se hace necesario realizar un tratamiento, para que en el momento de entrar en contacto con los cuerpos de agua, estos no alteren abruptamente el sistema, y produzca contaminaciones severas obligando a recurrir a la utilización de tratamientos altamente costosos.

La presencia de los lixiviados en los cuerpos hídricos es cada vez mayor, generando la necesidad de plantear e implementar estrategias alternativas para su tratamiento que a su vez sean menos perjudiciales para el medio ambiente. Uno de los ítems a tener en cuenta en cuanto a los lixiviados, es la cantidad de coagulantes que se le debe adicionar en la fase de tratamiento y los costos que estos tienen, llevando a la investigación de la utilización de posibles coagulantes de menor costo y menor impacto, que a su vez aporten en el aprovechamiento de materiales vegetales de fácil acceso, razón que impulsa a la realización del proyecto y a la participación como asistente de investigación de este mismo.

Una de las razones para llevar a cabo la investigación, es la preocupación por la contaminación de fuentes hídricas, la cual es una problemática a gran escala y de gran impacto, ya que en primer lugar y como es sabido este líquido es vital.

También se sabe que en la naturaleza se puede encontrar fácilmente este líquido, pero cada vez es más preocupante la condición en que se encuentra, esto debido a las actividades antrópicas sobre los cuerpos de agua, haciendo que se vean afectados desmedidamente y su recuperación requiera de un proceso fisicoquímico para hacerla apta para el consumo humano y/o actividades secundarias.

En la siguiente imagen se hace una contextualización global de la importancia del agua en diferentes campos.

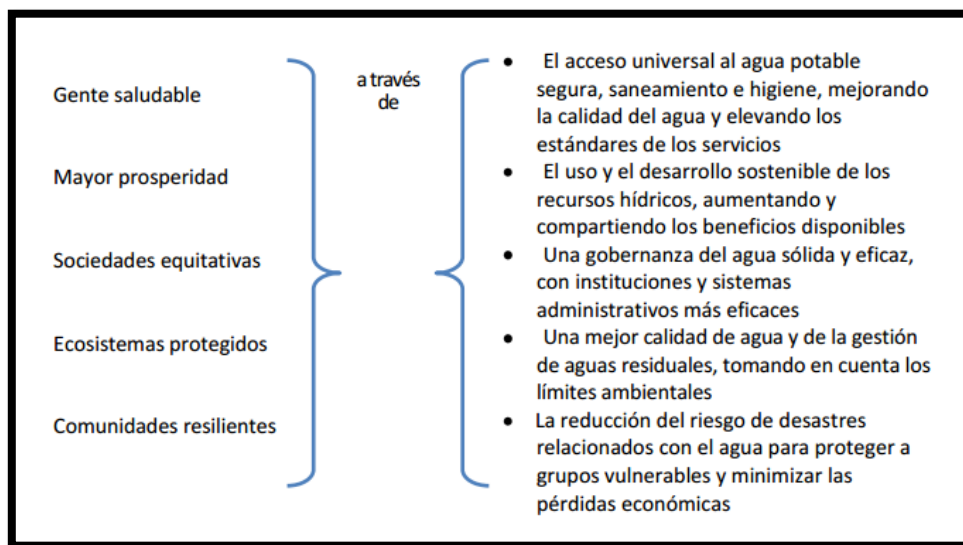


Figura 1: Importancia del agua. Fuente: (ONU Agua, 2014).

Es por ello que el proyecto de investigación enfatiza en buscar un tratamiento alternativo para los lixiviados, que además de tener como finalidad principal reducir los niveles de contaminación en los cuerpos hídricos por este líquido, también propone aplicar materiales coagulantes de origen orgánicos menos perjudiciales para el medio ambiente, de fácil acceso y que en el momento de implementar la técnica, ayudaría en la reducción de residuos orgánicos acumulados, ya que de cierta manera se estarían reutilizando.

Cabe resaltar, que el aumento en la disposición de residuos en rellenos sanitarios ocasiona que se deban aumentar el área de disposición para cubrir la alta demanda; y con las temporadas de altas precipitaciones y el incremento en la frecuencia de ellas ocasionan el incremento en la generación de lixiviados,

haciendo que la posible contaminación al agua se pueda dar en una mayor concentración y cantidad. Impulsando al desarrollo de las investigaciones pertinentes para generar nuevos tratamientos que sean ambientalmente más amigables, biodegradables y a su vez se incentive a la utilización de materiales de origen vegetal, ayudando inicialmente a minimizar la generación de residuos y puedan reemplazar los tratamientos químicos con sales inorgánicas convencionales actualmente utilizados para este fin.

Con el fin de participar como asistente de investigación del proyecto docente “VARIACIÓN EN LA REDUCCIÓN DE LA TURBIEDAD DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO LA ESMERALDA, MEDIANTE UN PROCESO DE COAGULACIÓN/FLOCULACIÓN AYUDADO POR ALMIDÓN DE PLÁTANO Y AGUAS TERMALES” y poner en práctica esta iniciativa investigativa, se dio inicio al estudio de factibilidad de tratamiento de los lixiviados generados en el relleno sanitario LA ESMERALDA de la ciudad de Manizales, utilizando como agente coagulante el almidón resultante del plátano y el agua termal.

2. JUSTIFICACIÓN

Según declaraciones de la ONU en el año 2010 durante una conferencia en Nairobi Kenia con motivo del Día del Agua, la importancia de la calidad del agua abarca todos los ámbitos, desde lo social hasta la salud; haciendo énfasis en la calidad de vida humana en relación con los peligros en potencia a causa de la contaminación generada por los residuos en las fuentes hídricas, con la preocupación concebida por el registro de muertes causadas por este hecho. Se hace una invitación extensiva a participar de planes y estrategias para la mitigación de la contaminación del agua por presencia de residuos (RPP Noticias, 2010).

Por lo anteriormente citado y en pro de la calidad de vida y la preservación de los recursos hídricos, aunado a la preocupante situación que se evidencia en diferentes partes del mundo en cuanto al deterioro de la calidad del recurso hídrico por la contaminación de lixiviados generados en rellenos sanitarios, la falta de tratamiento adecuado, los esfuerzos para la recuperación de los cuerpos de aguas que reciben estos lixiviados, sumado a la demanda e importancia que tiene este recurso hídrico en todos los procesos vitales, naturales y antrópicos, surge la necesidad de buscar alternativas de soluciones por medio de investigaciones prácticas.

Por tal razón se planteó el proyecto investigativo, en donde se buscó evaluar un proceso de tratamiento de coagulación y floculación a los lixiviados que se generan en el relleno sanitario LA ESMERALDA de la ciudad de Manizales, por medio de implementación de almidón de plátano y agua termal a los procesos mencionados. Los materiales a utilizar además de ser encontrados naturalmente en el medio, no generan sales inorgánicas evitando así los lodos contaminantes del proceso de coagulación, floculación y sedimentación.

En cuanto al almidón proveniente del plátano, contiene un sin número de beneficios y propiedades, entre ellas está el beneficio de poseer componentes coagulantes y floculantes, y lo más importante su obtención no genera impacto negativos al medio ambiente, por el contrario, se busca utilizar los plátanos que no sean útiles en el mercado y sean considerados como descarte, para que de

esta manera se pueda dar un uso a estos residuos vegetales y contribuir en una pequeña escala a la minimización de residuos.

Los coagulantes vegetales, además de tener una mayor capacidad de biodegradación en comparación con los coagulantes químicos, también tienen un menor costo de operación. Adicional a ello, con los coagulantes vegetales se pueden aprovechar los lodos resultantes del proceso de coagulación – floculación en un proceso de biodigestión anaerobio y así generar biogás que se puede transformar en energía eléctrica que logre abastecer a la planta encargada de los procesos de lixiviados, llevando a tener una posible planta de tratamiento auto sostenible.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar las dosis óptimas de almidón de plátano y aguas termales en función de la turbiedad para el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Revisar el estado del arte en la remoción de turbiedad por el proceso de coagulación/floculación ayudado por almidón y aguas termales.
2. Obtener diferentes dosis de coagulante de acuerdo a los parámetros de turbidez del lixiviado mediante la realización de ensayos utilizando la prueba de jarras.
3. Determinar en cada caso la dosis óptima de coagulante analizando los resultados obtenidos después de la prueba de jarras en base a los parámetros fisicoquímicos de turbidez.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 MUESTREO

Una de las partes fundamentales para llevar a cabo un trabajo experimental investigativo, es la toma de muestras a estudiar.

La toma de muestras debe garantizar la representatividad de las características y concentraciones del efluente o cuerpo de agua analizado. Esto implica una preparación previa en cuanto a la selección de los puntos de muestreo más representativos, material apropiado para su recolección, reactivo y/o medios de preservación, planillas de captura de información en campo, volumen apropiado del material captado, rótulos, y demás insumos que son necesarios para garantizar la trazabilidad del proceso y permitan conducir al laboratorio una muestra lo más representativa posible, que conserve las características originales. Para que la muestra que ingrese al laboratorio cumpla con todos los criterios de validez y representatividad (Fajardo, 2010).

4.1.1 TÉCNICAS DE MUESTREO

Se refiere a técnicas de muestreo, la forma en que se realiza la recolección de una muestra problema para un análisis o tratamiento posterior.

Las técnicas de muestreo varían según el tipo de análisis a realizar:

- **MUESTREO SIMPLE:** Es aquella que se recoge de una sola vez, reflejándose de esta forma las condiciones del medio en un momento concreto. Una muestra simple se lleva a cabo cuando se deseen analizar parámetros como el pH, el oxígeno disuelto, la temperatura, etc., que precisen una determinación rápida. Otras situaciones en las que es aconsejable un muestreo simple son:
 - Cuando ocurre una descarga ocasional y se desea evaluarla.
 - Si el efluente fluye sólo de forma intermitente.
 - Si el muestreo es constante en el tiempo.

- **MUESTREO COMPUESTO:** Está formada por varias muestras simples recogidas a lo largo de un período de tiempo y combinadas según unas proporciones concretas, referidas a parámetro de interés como el caudal.

Este muestreo nos da las condiciones medias de flujo del efluente en un tiempo determinado. La muestra compuesta puede ser de un volumen fijo o proporcional al flujo (Fajardo, 2010).

4.1.2 MUESTREO DE LIXIVIADOS

La toma de muestras de lixiviados se realiza con el fin de establecer la eficiencia del sistema de tratamiento y posterior a este, para determinar la eficacia del mismo, además de establecer sus características y potencial afectación al recurso, permitiendo así establecer medidas correctivas y/o preventivas para su manejo. Los puntos a monitorear son básicamente a la entrada y salida del Sistema de Tratamiento.

Los parámetros a evaluar en las muestras durante el monitoreo de lixiviados se establecerán teniendo en cuenta las características típicas de los lixiviados provenientes de los residuos dispuestos en el área de monitoreo, según el decreto Nacional 3930 de 2010 en el artículo 79, el cual deroga el DECRETO 1594 DE 1984, donde se establecían los parámetros a evaluar de un lixiviado.

Tabla 1: Parámetros a evaluar en la toma de muestras de lixiviados.

pH	Detergentes
Temperatura	Fenoles
Sólidos totales disueltos o conductividad eléctrica.	Cloruro y nitrato
Sólidos suspendidos totales	Hierro
Turbidez	Sulfatos
Color	Nitratos
Oxígeno disuelto	Cianuros
Carbono orgánico total	Aluminio
Metales pesados (Mercurio, Plomo, Cromo, Níquel, Plata)	Cobre y Zinc
DQO	Ácido sulfúrico
DBO	Límite bajo de explosividad
DBO5	L.E.L
Grasas y aceites	

Fuente: (Fajardo, 2010)

4.1.2.1 LIXIVIADOS

Existen numerosas caracterizaciones de los lixiviados, siendo su poder de contaminación quien caracteriza principalmente dicho lixiviado. Usualmente los lixiviados contienen toda característica contaminante principal como lo son: alto contenido de materia orgánica, alto contenido de nitrógeno y fósforo, presencia abundante de patógenos e igualmente de sustancias tóxicas como metales pesados y constituyentes orgánicos. (Giraldo, 2001)

Estas características son importantes en cuanto a indicar qué contaminante se debe remover a los lixiviados durante su tratamiento, sin embargo, desde el punto de vista de la selección de la tecnología, existen otras características que, sin ser necesariamente contaminantes, pueden afectar el funcionamiento de los procesos de tratamiento, como por ejemplo la presencia de grasas.

Otra característica importante en los lixiviados es el índice de biodegradabilidad, la cual se puede establecer en un rango de 0 a 0.7, en donde se determina que tan biodegradable puede llegar a ser un lixiviado. Para un lixiviado Maduro o con poca biodegradabilidad se fija un valor menor a 0.3; y para un lixiviado joven o biodegradable se tiene un valor superior a 0.3 (Red de Ingeniería en Saneamiento Ambiental, 2009).

En la siguiente tabla, se hace énfasis en los valores relacionados a los lixiviados jóvenes y maduros. Para entrar en contexto, los lixiviados jóvenes son aquellos que tienen un tiempo menor a dos años haciendo que sean biodegradables; al contrario de los lixiviados maduros, los cuales no son biodegradables a raíz de tener un tiempo mayor a dos años. Para determinar la maduración de un lixiviado se debe tener en cuenta el tiempo de los residuos en el relleno sanitario.

Tabla 2: Características típicas de los lixiviados jóvenes y maduros.

PARÁMETRO	UNIDADES	RELLENO SANITARIO (R.S) NUEVO < 2 AÑOS		R.S MADURO > 10 AÑOS
		Rango	Típico	
DBO ₅	mg/L	2000 – 30000	10000	100 – 200
DQO	mg/L	3000 – 60000	18000	100 – 500
SST	mg/L	200 – 2000	500	100 – 400
N _{org}	mg/L	10 – 800	200	80 – 120
P	mg/L	5 – 100	30	5 – 10
pH		4 – 7,5	6	6,6 – 7,5

Fuente: (Salazar & Saavedra, 2009).

Interpretando la Tabla 2, se puede decir que: “los lixiviados jóvenes contienen altas concentraciones de Nitrógeno Amoniacal (NH₄- N), Carbono Orgánico Total (COT), alta Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), elevadas concentraciones de nitrógeno amoniacal, persisten incluso en lixiviados viejos, y estos contaminantes son particularmente peligrosos si se encuentran en altas concentraciones, dentro de sistemas acuáticos. Por estas razones, el tratamiento de lixiviado es necesario a través de las fases de operación, restauración y cierre del relleno sanitario” (Salazar & Saavedra, 2009, pág. 3).

Adicional a la información anterior, se debe incluir la importancia de factores influyentes en la cantidad del lixiviado como lo son la precipitación, humedad, tipo de desperdicios, diseño de cubierta y operación; y en la calidad del lixiviado como la composición de desperdicios, la temperatura, humedad, oxígeno y tiempo de exposición de estos.

4.1.2.1.2 CALIDAD DE LOS LIXIVIADOS.

Retomando lo anteriormente citado, se encuentra que la calidad de los lixiviados en un relleno sanitario varía según el tiempo, temperatura, humedad y composición del residuo, así como también tiene influencia el tipo de relleno

sanitario en el que se encuentra el lixiviado, siendo de suma importancia la capacidad y tamaño de este; y la clase de residuo que se disponga regularmente en el relleno sanitario en cuestión.

En particular, vale la pena mencionar las diferencias que se identifican en las calidades de los lixiviados, entre aquellos de los países con economías avanzadas en comparación con los de los países con economías emergentes. De manera resumida, se puede decir que los lixiviados de los rellenos sanitarios de los países con economías avanzadas presentan concentraciones más grandes de DBO (Demanda bioquímica de oxígeno), amoníaco, metales y sustancias precipitables, que aquellos de países desarrollados (Franco & Castillo, 2011).

Las diferencias se originan principalmente en los altos contenidos de materia orgánica fácilmente biodegradable (MOFBD). La MOFBD tiene un contenido de humedad alto, y como su nombre lo indica se degrada rápidamente en el relleno sanitario, así mismo, produciendo altas concentraciones de ácidos grasos volátiles y de amoníaco. A su vez, estos ácidos se diluyen fácilmente en el lixiviado del relleno sanitario, le bajan el pH y contribuyen a la solubilización de los metales presentes en los residuos dispuestos en el relleno. Como consecuencia, los lixiviados de las áreas de los rellenos sanitarios que han sido recientemente rellenadas producen un lixiviado altamente contaminante, denominado lixiviado joven. A partir de ese momento, las concentraciones de las sustancias en el lixiviado de una cochada de basura en el relleno sanitario disminuyen continuamente en el tiempo, sin embargo, en algunos casos como metales que presentan reacciones de óxido-reducción, puede ocurrir que la concentración al inicio del proceso de lixiviación no sea la mayor, pero teniendo en cuenta que un relleno sanitario se opera por lustros o décadas, siempre va a haber una parte del relleno que aporta lixiviado joven, la que se está rellenando en ese momento, mientras que otras partes del relleno tienen lixiviado maduro, las que tienen unos años, y otras lixiviado viejo, las que tienen más de cinco años. (Franco & Castillo, 2011).

En la siguiente tabla, se muestra una comparación de los lixiviados jóvenes y maduros según sus características, con el fin de determinar el tipo de tratamiento a utilizar.

Tabla 3: comparación de características de los lixiviados en los rellenos sanitarios.

CARACTERÍSTICA	LIXIVIADO JOVEN	LIXIVIADO VIEJO
DBO	Muy alto	Bajo
DQO	Muy alto	Alto
AMONIACO	Muy alto	Alto
FÓSFORO	Usualmente deficiente	Suficiente
pH	Muy bajo	Bajo
DETERGENTES	Muy altos	Bajos
SALES DISUELTAS	Muy altas	Bajas (Relativamente)
AGENTES INCRUSTANTES (Fe, Ca, Mg)	Muy altos	Bajos
METALES PESADOS	Muy altos	Bajos

Fuente: Adaptado de (Giraldo, 2001).

Según Eugenio Giraldo, en la Tabla 3, se puede observar el tipo de problema del tratamiento que se enfrenta con un lixiviado joven y uno maduro, el cual es muy diferente para cada uno, debido a sus características y parámetros. Para empezar, las concentraciones de todos los parámetros son mucho mayores en un lixiviado joven que en un lixiviado viejo. En el caso de los lixiviados, donde están compuestos por diferentes sustancias químicas y orgánicas, es más sencillo y recomendable realizar un tratamiento. Por ejemplo, la relación DBO / DQO para un lixiviado joven es alta, indicando una buena biodegradabilidad, mientras que para un lixiviado viejo es baja, indicando una pobre biodegradabilidad de la materia orgánica. (Giraldo, 2001)

Las concentraciones de sales disueltas y metales pesados son mucho mayores en un lixiviado joven, generando problemas de toxicidad, en el caso de que se quieran utilizar procesos biológicos para la remoción de la DBO. Por otra parte, las concentraciones de agentes incrustantes (elementos que forman costras en su proceso de descomposición), como el hierro, el calcio y el magnesio, generan grandes problemas prácticos ya que taponan la mayoría de los conductos, tuberías, accesorios, válvulas, membranas, tanques etc. en donde el lixiviado entra en contacto con el sistema de conducción y de tratamiento. El atascamiento

de los sistemas de drenaje, de conducción y de tratamiento de los lixiviados es siempre un problema práctico de gran significancia en los rellenos sanitarios. El bajo pH a su vez puede interferir con el funcionamiento de numerosas tecnologías que se proponen, por ejemplo, la volatilización del amoníaco, para la cual se requieren pH básicos, o con algunos procesos biológicos como la nitrificación, o químicos como la oxidación del hierro. De igual manera, “la remoción de DBO se ve afectada por la toxicidad que generan los metales, pero a su vez, la remoción de metales, incluyendo aquellos incrustantes como el hierro, se ve interferida por la presencia de la DBO que sirve como agente acomplejante que mantienen los metales en solución dificultando y limitando severamente su remoción.” Entonces, es así, como los metales afectan la remoción de la DBO, y la presencia de DBO la remoción de los metales, sin dejar en claro por dónde empezar a tratar”. (Morales, 2007, pág. 18).

Por todo lo mencionado, se hace importante tener claridad sobre la calidad de los lixiviados a tratar, para que se facilite la realización del tratamiento adecuado según las características identificadas.

4.1.2.1.3 TRATAMIENTO DE LOS LIXIVIADOS

Según Salazar y Saavedra, “cuando no se utiliza el reciclaje, evaporación de los lixiviados, y no es posible evacuarlos directamente a una instalación de tratamiento, será necesaria alguna forma de pretratamiento o un tratamiento completo”.

En base a que según la legislación de la mayoría de los países, exige que los lixiviados reciban un tratamiento antes de ser vertidos a una fuente natural y al sistema de alcantarillado, esto debido a los índices de toxicidad y otras características, que al entrar en contacto con el medio puede presentar efectos negativos en el entorno y la salud humana.

Ya que las características de los lixiviados son muy variables, se disponen varias opciones para la realización de su tratamiento; estos procesos deben ser seleccionados dependiendo del contaminante a interés de separar y tratar, ya que no existe un proceso capaz de combatir todos los contaminantes presentes

en el lixiviado. Es por este motivo que surge la necesidad de aplicar una combinación de procesos para cada tipo de lixiviado.

Es recomendable tener en cuenta las siguientes características a la hora de aplicar un tratamiento:

- Los lixiviados presentan una elevada concentración de compuestos orgánicos e inorgánicos con valores de DQO de hasta 70.000 y 80.000 mg/L. La DQO de las aguas residuales urbanas puede ser hasta 200 veces menor.
- La producción de lixiviados es irregular en cuanto a su composición y su volumen ya que varía estacionalmente y de año en año.
- La fracción biodegradable de la materia orgánica disminuye a medida que aumenta la edad del vertedero.
- Los lixiviados presentan una concentración alta de nitrógeno amoniacal y baja concentración de fosfatos, a la inversa de lo que ocurre con las aguas residuales.

Cabe resaltar que el tratamiento correspondiente a los lixiviados es similar a los aplicados en el tratamiento de aguas residuales, con el agravante de tener parámetros y comportamientos distintos. Por tal razón existen tratamientos complementarios para lograr la reducción de algunos parámetros hasta llegar a niveles aceptables.

Algunos de los posibles tratamientos son:

- a. Tratamiento biológico.
 - Lagunaje.
 - Anaerobio.
 - Aerobio.
- b. Tratamiento físico – químico.
 - Precipitación química.
 - Oxidación química.
 - Adsorción con carbón activo.
 - Ósmosis inversa.

(Salazar & Saavedra, 2009, pág. 4 y 5).

4.2 UBICACIÓN

Es indispensable para el éxito de la fase de muestreo tener una ubicación precisa del lugar de donde se tomaran las muestras a analizar. La identificación del punto se realizara previamente a la toma de la muestra, determinando los parámetros de interés del investigador.

Para el caso puntual del proyecto en mención en este documento, la ubicación del muestreo se realizó en el Relleno Sanitario La Esmeralda de la ciudad de Manizales, siendo una plaza de amplio interés para el desarrollo de propuestas investigativas que aporten a un mejor tratamiento de sus productos, teniendo innovación y participación investigativa del gremio educativo presente en la ciudad.

Para entrar en contexto con los rellenos sanitarios y la importancia de tener un tratamiento adecuado a los lixiviados formados gracias a los residuos allí presentes, se presenta a continuación una breve pero concreta descripción y explicación sobre los rellenos sanitarios.

4.2.1 RELLENOS SANITARIOS

“Enterrar los residuos sólidos urbanos ha sido, y es aún, la práctica más utilizada por las sociedades del mundo para su manejo. A pesar de la creciente conciencia mundial sobre la necesidad de Reducir, Reusar y Reciclar los materiales que fluyen a través de la sociedad, la implementación real de estas políticas ha encontrado numerosos obstáculos que han impedido su materialización en hechos concretos. Parte del problema se encuentra en la poca internalización de los costos ambientales en que se incurre en la producción de bienes que finalmente se descartan convirtiéndose en residuos. La decisión final sobre qué hacer con un bien descartado se hace en términos de las alternativas para su manejo final, mas no en los impactos ambientales que generó su producción, distribución y uso, siendo con frecuencia la alternativa más económica su disposición en un relleno sanitario. En sociedades en donde el costo de vida es alto, como en Latinoamérica, y en donde existen numerosas necesidades insatisfechas que compiten por los recursos, con

frecuencia terminan los rellenos sanitarios siendo las opciones más utilizadas". (Giraldo, 2001, pág. 1).

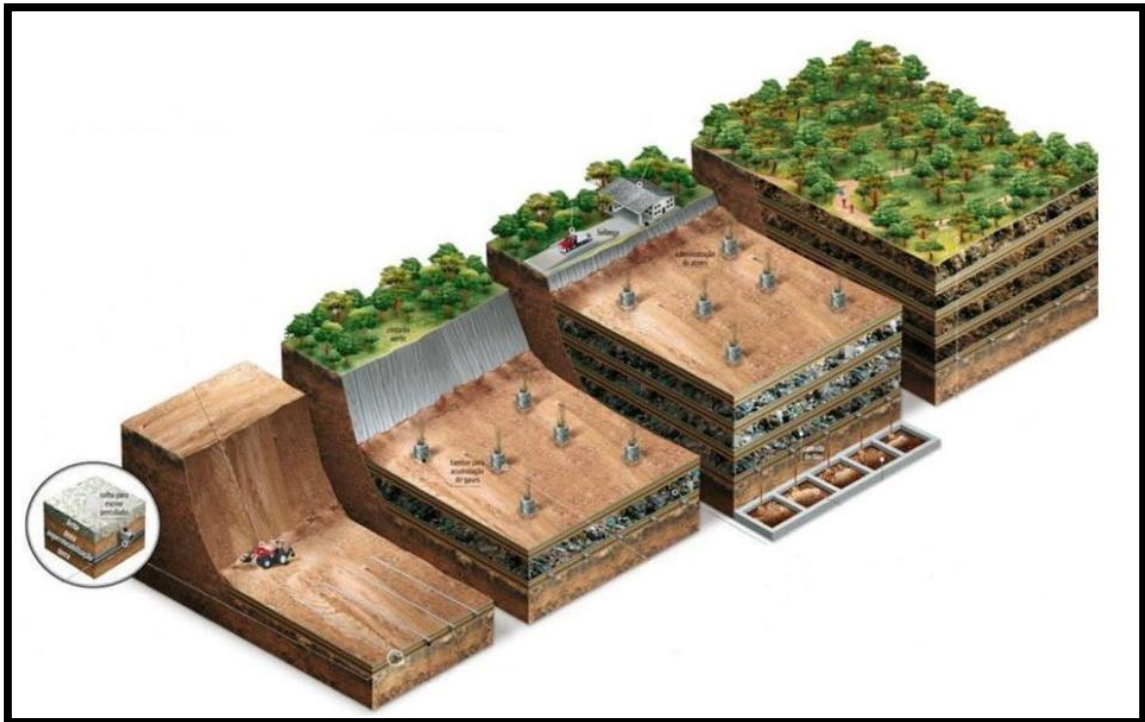


Figura 2: Imagen de un terreno disponible y adaptado para un relleno sanitario. Fuente: (Fundacion Azul Ambientalistas, s.f.)

El relleno sanitario es una técnica de disposición final de los residuos sólidos en el suelo que no causa molestia ni peligro para la salud o la seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de su clausura.

Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más estrecha posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos por efecto de la descomposición de la materia orgánica.

El relleno sanitario moderno se refiere a una instalación diseñada y operada como una obra de saneamiento básico, que cuenta con elementos de control lo suficientemente seguros y cuyo éxito radica en la adecuada selección del sitio, en su diseño y, por supuesto, en su óptima operación y control.

Existen varios tipos de relleno sanitario como lo son:

- **Relleno Sanitario Mecanizado:** Es aquel diseñado para las grandes ciudades y poblaciones que generan más de 40 toneladas diarias. Por sus exigencias es un proyecto de ingeniería bastante complejo, que va más allá de operar con equipo pesado. Esto último está relacionado con la cantidad y el tipo de residuos, la planificación, la selección del sitio, la extensión del terreno, el diseño y la ejecución del relleno, y la infraestructura requerida, tanto para recibir los residuos como para el control de las operaciones, el monto y manejo de las inversiones y los gastos de operación y mantenimiento.

Para operar este tipo de relleno sanitario se requiere del uso de un compactador de residuos sólidos, así como equipo especializado para el movimiento de tierra: tractor de oruga, retroexcavadora, cargador, volquete, etc.

- **Relleno Sanitario Semi mecanizado:** Cuando la población genere entre 16 y 40 toneladas diarias de residuos sólidos en el relleno sanitario, es conveniente usar maquinaria pesada como apoyo al trabajo manual, a fin de hacer una buena compactación de la basura, estabilizar los terraplenes y dar mayor vida útil al relleno.

En estos casos, el tractor agrícola adaptado con una hoja topadora o cuchilla y con un cucharón o rodillo para la compactación puede ser un equipo apropiado para operar este relleno al que podríamos llamar semi mecanizado.

- **Relleno Sanitario Manual:** Es una adaptación del concepto de relleno sanitario para las pequeñas poblaciones que por la cantidad y el tipo de residuos que producen -menos de 15 toneladas/día, además de sus condiciones económicas, no están en capacidad de adquirir el equipo pesado debido a sus altos costos de operación y mantenimiento.

El término manual se refiere a que la operación de compactación y confinamiento de los residuos puede ser ejecutado con el apoyo de una

cuadrilla de hombres y el empleo de algunas herramientas (Fundación Azul Ambientalistas, s.f.)

4.2.1.1 GENERACIÓN DE LIXIVIADOS EN EL RELLENO SANITARIO

Como se menciona anteriormente, la forma convencional de manejar los residuos disponibles en un relleno sanitario es enterrándolos en la tierra del predio adaptado con este fin. Una vez se han enterrado los residuos sólidos es necesario minimizar los impactos de esta práctica; usualmente se hace por medio de unas canaletas que dirigen el lixiviado resultante a unos tanques, para realizar su tratamiento y minimizar los niveles de toxicidad.

El agua que ha entrado en contacto con los residuos recoge gran cantidad de las sustancias que originalmente estaban dentro del residuo, quedando de esa manera altamente contaminada, conociendo a este proceso como “Percolación”; en donde el “agua” resultante del proceso se denomina lixiviado, siendo este, uno de los líquidos más contaminados y contaminantes que se conozcan.

De no recogerse adecuadamente y luego tratarse, el lixiviado puede contaminar a su vez aguas subterráneas, aguas superficiales y suelos. Por esta razón, y para evitar que esto ocurra, los rellenos sanitarios se impermeabilizan, se drenan apropiadamente y los lixiviados recogidos por estos drenes, se deben tratar. (Giraldo, 2001)

4.2.2 RELLENO SANITARIO LA ESMERALDA

El relleno sanitario La Esmeralda se encuentra ubicado al norte de la ciudad de Manizales próximo a la vía que conduce al municipio de Neira. El área del relleno está comprendida entre las coordenadas cartesianas 1'03.600 mN a 1'054.400 mN y 1'173.600 mE y 1'174.600 mE. Limita al Norte con la propiedad de la firma Botero y Serna, al Sur con los predios de Aura Gallego y José Gómez, al Este con la firma Sajonia de propiedad de Cristóbal Salinas y al Oeste con la vía que conduce al municipio de Neira y con la Hacienda La Palmera.

El relleno sanitario tiene una recepción de 400 toneladas de desechos diarios generados por actividades ordinarias humanas. Se atiende además de la población de 370.184 habitantes de las zonas urbanas y rurales, una cantidad generada por 27 municipios como Anserma, Neira, Villamaría, Belalcázar,

Chinchiná, Palestina, Arauca y Santágueda, Risaralda, San José, Aránzazu, La Merced, Salamina, Filadelfia, Supía , Riosucio, Santa Rosa, Santuario, La Virginia y Marmato. Se presta el servicio a estos municipios, ya que no cuentan con un relleno sanitario propio.

El relleno sanitario cuenta con canales y cámaras construidos para el transporte y tratamiento de los lixiviados; a finales del año 2003 se separaron también las aguas lluvias con la construcción de nuevos canales abiertos que no permiten la llegada de esta agua a los canales de lixiviados. La basura en la zona de disposición es compactada en capas de 30cm hasta obtener densidades de compactación de por lo menos una tonelada por metro cúbico. Para desarrollar el relleno en forma organizada, la zona se divide en terrazas y cada terraza se divide en franjas de 5m de altura y 10m de ancho aproximadamente, de manera que cada franja se pueda ir llenando en un ángulo de 30 grados hasta alcanzar la altura de la franja de 5m. Durante la adecuación de cada terraza, se construyen filtros sobre la capa de impermeabilización para evacuar los lixiviados hacia la zona de tratamiento. Pueden ser principales (tubería, piedra y geotextil) o secundarios (piedra) y van comunicados entre sí en espina de pescado. La adecuación del terreno consiste en la construcción de filtros para aguas subterráneas, impermeabilización del suelo de soporte para impedir el paso de los lixiviados hacia el suelo inferior y hacia los filtros de aguas subterráneas, construcción de filtros para lixiviados y construcción de chimeneas para gases. Actualmente, el lixiviado recolectado de la zona disposición nueva es conducido a una planta de tratamiento de tipo convencional que consiste en un sistema de coagulación, floculación y sedimentación, al salir se une con el lixiviado viejo crudo y juntos atraviesan por una serie de cámaras donde ocurren procesos de oxigenación hasta la desembocadura en la quebrada aguas frías (Mendoza, 2004).

Cuando los lixiviados son transportados a los tanques de tratamiento lo primero que se hace es la adición de peróxido de hidrogeno con el fin de disminuir los niveles de DBO iniciales y las grasas; y de esta manera facilitar el proceso de coagulación.

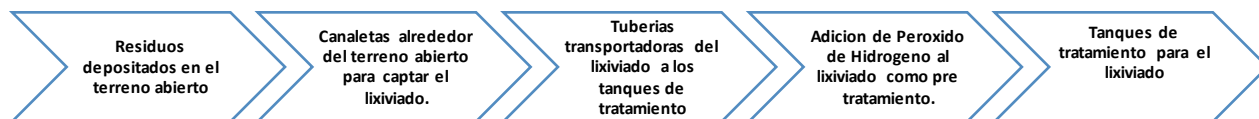


Figura 3: Diagrama de proceso del lixiviado en el relleno sanitario La Esmeralda. Fuente: (Propia).

El tratamiento preliminar se hace con el fin de evitar la generación de espuma resultante de las grasas presentes en el lixiviado y que al momento de la coagulación con sulfato de aluminio esta sea desbordante y escandalosa, asunto que afectaría la estética, control y manejo de la misma.

El parámetro que mayor porcentaje de reducción presenta posterior a todo el tratamiento aplicado es la DQO Y DBO, con un valor de 40%.

Por otra parte, es importante resaltar que el lixiviado presente en el relleno sanitario LA ESMERALDA no contiene fosforo, razón por la cual este debe ser adicionado manualmente en un cantidad aproximada de 10 a 15 mg/L (Muñoz, 2015).

4.3 VALIDACIÓN DE VARIABLES

Para llevar a cabo la realización del análisis de las pruebas de lixiviados recolectadas del relleno sanitario La Esmeralda, en donde se aplica el tratamiento a probar y analizar es necesario tener claridad sobre el tipo de prueba que se debe realizar y porque es importante cada variable.

4.3.1 PRUEBA DE JARRAS

El test de jarras es la simulación de la coagulación que ocurre a nivel de laboratorio, es muy importante esta simulación porque con ella se estudia el comportamiento del lixiviado, el factor más importante es la selección del protocolo para hacer la evaluación (Rios, 2006).

La unidad de mezcla típica consiste en una serie de agitadores de paletas acoplados mecánicamente para operar a la misma velocidad, generalmente entre 10 a 300 RPM. Como jarras de coagulación se recomienda, jarras rectangulares de 1 a 2 litros en acrílico transparente

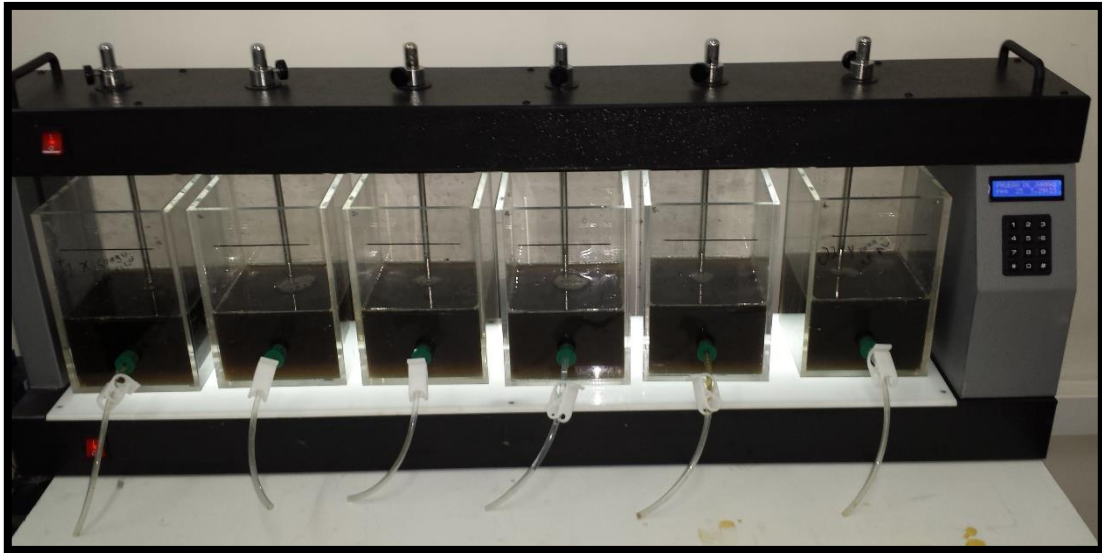


Figura 4: Fotografía del equipo para la realización de la prueba de jarras de la Universidad Católica de Manizales. . Fuente: (Propia).

El ensayo de jarras ha sido ampliamente usado; sus resultados tienen gran aplicabilidad en el diseño y la operación real de las unidades de tratamiento, así como en la optimización de plantas existentes. El procedimiento requiere como datos previos los valores de pH, turbiedad, color y alcalinidad del agua cruda.

Existe en el mercado una gran variedad de equipos para pruebas de jarras, pero en toda su versatilidad debe radicar en utilizar una serie de jarras al mismo tiempo y la posibilidad de variación de la velocidad de agitación (r.p.m) En este proceso influyen factores químicos e hidráulicos. Entre éstos tenemos:

- El pH, el cual desempeña un papel muy importante en el estudio de los fenómenos de coagulación- floculación, es así como una parte de la carga de las partículas coloidales que han absorbido iones OH^- , queda destruida por un aumento de la concentración de iones H_3O^+ - que ocasiona una disminución de la estabilidad de la suspensión coloidal. Preferiblemente

el pH debe quedar dentro de la zona correspondiente al mínimo de solubilidad de los iones metálicos del coagulante usado. Para sales de hierro la zona de pH es mucho más amplia, alcanzándose el mínimo de solubilidad a $\text{pH} > 5$ (Castrillon, 2012).

El pH inicial de la muestra a tratar afecta significativamente la coagulación, y generalmente hay un rango de pH óptimo que varía según la muestra de agua estudiada y los reactivos utilizados. El pH apropiado para los procesos de tratamiento generalmente está en el rango de 6,5 a 8,5. En el caso de valores de pH por debajo del rango de pH óptimo, se puede utilizar cal o hidróxido de sodio para aumentarlo. Si la coagulación se lleva a cabo fuera del rango de pH óptimo, es necesario aumentar la cantidad de coagulante. Se debe tener en cuenta que el pH de la muestra a tratar se afecta de acuerdo al tipo y cantidad de los coagulantes y ayudantes de coagulación utilizados (Trujillo, 2014).

- La Temperatura del agua también influye grandemente en la efectividad de la coagulación y en la velocidad de formación del floculo. Según disminuye la temperatura del agua debe aumentarse la dosis de productos químicos usados para coagular, con el objetivo de lograr o asegurar la formación de floculos adecuados (Castrillon, 2012)

4.3.1.2 COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

La coagulación y la floculación, son dos procesos presentes en la etapa de clarificación del agua.

Ambos procesos trabajan conjuntamente a la hora de su realización, ya que uno depende del otro para su éxito. Se pueden definir, como una etapa en la cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas llamadas flocs; su peso específico debe superar al peso del agua, para que se pueda dar su precipitación (Bustos, 2009).

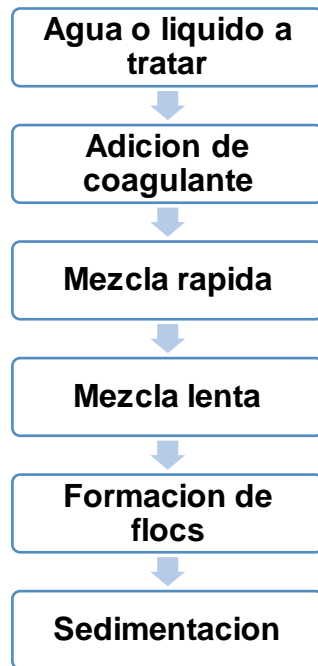


Figura 5: Proceso de coagulación y floculación. Fuente: (Propia).

4.3.1.3 COAGULACIÓN

La coagulación, es el proceso referente a la desestabilización de las partículas suspendidas, de modo que se reduzcan las fuerzas de separación entre ellas.

La coagulación, se utiliza para la remoción de materia orgánica, gracias a su eficiencia. Este proceso comienza al momento de agregar el coagulante que usualmente es químico al agua y dura fracciones de segundo.

La eficiencia en el proceso depende de la carga, solubilidad y característica molecular de la materia orgánica a tratar; también es proporcional al tamaño molecular, ya que con componentes de gran peso molecular es más efectiva que con las de menor peso (Puentes, 2005).

4.3.1.3.1 PRINCIPALES COAGULANTES

Coagulantes metálicos: Han sido los más utilizados para el tratamiento del agua cruda, poseen la capacidad de actuar como coagulantes y floculantes y, cuando son disueltos, forman compuestos complejos hidratados. Entre los más utilizados se hallan: sulfato de aluminio, sulfato férrico, sulfato ferroso, cloruro férrico y el aluminato de sodio.

Polielectrólitos: Son polímeros orgánicos sintéticos de gran tamaño molecular, con carga eléctrica neta; son muy eficaces en un amplio rango de pH y, debido a su alto costo, se utilizan junto con coagulantes metálicos. Se clasifican según su carga en:

- Catiónicos, con carga positiva, que al entrar en contacto con el agua forman aniones, que permiten remover las partículas de carga negativa y son más eficaces a pH bajo.
- Aniónicos, que tienen carga negativa, y al entrar en contacto con el agua forman cationes, que permiten remover las partículas de carga positiva y son más eficaces a pH alto.
- No iónicos, son neutros. Al entrar en contacto con el agua forman iones positivos y negativos, pero se necesitan dosis mayores en comparación con los anteriores para obtener resultados similares.

Coagulantes Naturales: Son una fuente alternativa con gran potencial aún no explotado suficientemente; se producen de manera espontánea, debido a reacciones bioquímicas que ocurren en animales y en plantas. Por lo general, presentan una mínima o nula toxicidad y, en muchos casos, son productos alimenticios con alto contenido de carbohidratos y de proteínas solubles en agua. Algunos de ellos tienen propiedades coagulantes o floculantes que actúan de modo similar a los coagulantes sintéticos, aglomerando las partículas en suspensión que contiene el agua cruda, facilitando su sedimentación y reduciendo la turbidez inicial; en muchos lugares son utilizados en forma empírica por nativos para aclarar el agua turbia, con muy buenos resultados (Guzmán, Villabona, Tejada, & Rafael, 2013).

- **ALMIDON:** Es un polímero en el que los monómeros se encuentran unidos por enlaces 1-4 y, ocasionalmente, se ramifican, formando un enlace adicional en posición 1-6. Es la forma principal en la que se almacena el carbohidrato en los tejidos de la mayoría de las especies vegetales superiores y se acumula en las hojas de las plantas y en tejidos no fotosintéticos, especialmente, los implicados en la reproducción, tales como semillas, frutos y tubérculos.

El almidón, además de ser consumido como tal, se puede someter a una variedad de procedimientos de transformación que cambian sus propiedades funcionales y lo convierten en estabilizante, emulgente y gelificante.

En Colombia, se han realizado investigaciones sobre la utilización de coagulantes naturales, como el almidón de yuca y el de maíz, los cuales, han sido evaluados junto con el sulfato de aluminio y un polielectrólito comercial, como agentes coagulantes de aguas crudas superficiales. Los resultados obtenidos mostraron un buen desempeño del almidón de maíz, comparable con el polielectrólito y mejor que el sulfato de aluminio; por el contrario, el almidón de yuca presentó un mal desempeño en estas condiciones y fue el menos efectivo de los agentes coagulantes evaluados (Rodríguez, 2007).

4.3.1.4 FLOCULACIÓN

La floculación tiene relación con los fenómenos de transporte dentro del líquido, para que las partículas hagan contacto; implicando la formación de puentes químicos entre partículas, teniendo como fin, la formación de una malla de coágulos, la cual tendrá forma tridimensional y porosa.

Por medio del proceso anteriormente mencionado, se generan partículas de un mayor tamaño llamadas Floccs, con las características de peso y tamaño necesarias para poder sedimentarse (Madiedo, 2006).

4.3.1.5 MEZCLA RÁPIDA

La primera fase del proceso de coagulación - floculación se denomina mezcla rápida y en ella, los coagulantes químicos son agregados al agua residual, para desestabilizar las partículas coloidales y mantenerlas separadas, permitiendo su aglomeración. El proceso de desestabilización ocurre unos pocos segundos después de la adición de los coagulantes. El gradiente de velocidad (G) es una medida de la intensidad de mezcla; en procesos de potabilización de agua, gradientes de velocidad de 300 s^{-1} son suficientes para realizar una mezcla rápida y algunos diseñadores han recomendado utilizar gradientes tan altos

como 1.000 s^{-1} . En el caso de las aguas residuales domésticas se reconoce una gran importancia del valor de G en la mezcla rápida, más que en el tratamiento del agua potable. 6 La mezcla rápida en las plantas de tratamiento de aguas residuales se realiza utilizando dispositivos como mezcladores mecánicos, bombas, compartimentos provistos de baffles, canaletas parshall, vertederos, tuberías con baffles y difusores. La intensidad de la mezcla en los primeros es independiente de la velocidad de flujo, pero presentan un costo elevado y pueden sufrir atascamiento con los SST contenidos en el agua residual. La mezcla con aire reduce problemas de obstrucción, pero es más costosa y tiene dificultades para alcanzar gradientes G altos (Surez, 2007).

4.3.1.6 MEZCLA LENTA

En la fase de floculación, las partículas desestabilizadas crecen y se aglomeran para formar grandes flocs. La floculación es más lenta y más dependiente del tiempo y del nivel de agitación que la mezcla rápida. Los tiempos de detención típicos para la floculación varían entre 5 y 30 minutos. Un incremento en el tiempo de detención por encima del rango mencionado solo ofrece beneficios marginales. La floculación puede realizarse en estructuras separadas, en canales con baffles, en las cámaras de distribución de flujos, localizadas aguas arriba de la sedimentación primaria. Los gradientes de velocidad (G) recomendados para la mezcla lenta varían entre 30 y 80 s^{-1} . Los tanques de sedimentación con coagulación química operan con cargas superficiales entre 69 y $80 \text{ m}^3 / \text{d} \cdot \text{m}^2$. Estas cargas son dos veces superiores a las utilizadas en un proceso de sedimentación convencional, las cuales son del orden de $33 \text{ m}^3 / \text{d} \cdot \text{m}^2$. Una investigación realizada por Sarnia y Windsor sobre los efectos de la coagulación en la sedimentación primaria muestra que es posible aplicar cargas superficiales hasta de $98 \text{ m}^3 / \text{d} \cdot \text{m}^2$ en el TPA, sin afectar la calidad del efluente del tratamiento. De esta forma, el tamaño y número de tanques de sedimentación primaria requeridos para realizar tratamiento primario puede reducirse sustancialmente con la adición de productos químicos (Surez, 2007).

5. METODOLOGÍA

La realización del proyecto de investigación “VARIACIÓN EN LA REDUCCIÓN DE LA TURBIEDAD DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO LA ESMERALDA, MEDIANTE UN PROCESO DE COAGULACIÓN/FLOCULACIÓN AYUDADO POR ALMIDÓN DE PLÁTANO Y AGUAS TERMALES” se desarrolló en cuatro fases:

5.1 ESTADO DEL ARTE

Con esta primera fase, se dio inicio al proyecto, mediante una revisión bibliográfica sobre todos los temas relacionados con el tratamiento de lixiviados. Se realizaron las búsquedas pertinentes para tener la información necesaria en cuanto a los tratamientos, procedimientos y propiedades de los coagulantes vegetales a utilizar en la parte experimental, así como también se indagó sobre los antecedentes en cuanto a proyectos similares y procesos exitosos, haciendo una recopilación de toda la información posible para obtener datos y registros reales para lograr el desarrollo exitoso del proceso a experimentar.

Este primer momento es de suma importancia el desarrollo ideal del proyecto, ya que es necesario tener información previa y conocimientos bases acerca de los temas a tratar. Se debe tener registro de casos similares, para tener una línea base en cuanto a errores y aciertos, y así plantear de una mejor manera y con mayor claridad los objetivos a alcanzar, la metodología de implementación del proyecto y los materiales, entre otras cosas.

5.2 MUESTREO

Para llevar a cabo la parte experimental de la investigación, donde se espera encontrar las variables ideales para la realización del tratamiento en los lixiviados, se necesita hacer un muestreo, el cual se realiza en dos lugares de la siguiente manera:

5.2.1 MUESTREO DE LIXIVIADOS

Para proceder a la recolecta de la muestra a tratar, se realiza una visita al relleno sanitario LA ESMERALDA, con el fin de capturar una cantidad de lixiviado. Para

este muestreo, se utiliza la técnica de muestreo simple, donde se hace la captura una sola vez en dos recipientes.

Inicialmente, se hace un recorrido por todo el relleno sanitario en compañía del ingeniero encargado de la supervisión de los procesos aplicados a los lixiviados, en donde se hace una recolección de datos de importancia para la identificación de falencias en los procesos allí aplicados



Figura 6: Fotografía de punto de recolección de muestra de lixiviado en el Relleno Sanitario La Esmeralda. Fuente: (Propia).

5.2.2 MUESTREO DE AGUA TERMAL

Luego de realizar el muestreo de lixiviados en el relleno sanitario La Esmeralda, el grupo de investigación procede a trasladarse a Termales El Otoño, donde se hace un muestreo simple directamente en el tubo de abastecimiento de agua termal del establecimiento.



Figura 7: Toma de muestra de agua termal en Termales del Otoño. Fuente: (Propia).

5.2.3 MUESTRA DE ALMIDÓN DE PLÁTANO

Para la muestra de almidón de plátano inicialmente se eligieron tres plátanos verdes, para luego proceder al secado y pulverización y así obtener el almidón a utilizar como coagulante del lixiviado en la prueba de jarras.



Figura 8. Fotografía de plátano verde y almidón de plátano. Fuente: (Propia).

5.3 PREPARACIÓN DE MUESTRAS

5.3.1 PREPARACIÓN DEL LIXIVIADO

Se recolecta una cantidad de lixiviado en el relleno sanitario La Esmeralda, en donde dicho lixiviado presentaba un tratamiento previo con el fin de evitar la generación de grasas como se muestra en la siguiente imagen:



Figura 9: Fotografía de lixiviado con presencia de grasas. Fuente: (Propia).

En la fotografía anterior se puede observar una muestra de lixiviado con presencia de grasas, la cual genera este tipo de espuma de manera desbordante. Esta espuma fue generada al adicionar sulfato de aluminio directamente al lixiviado, desconociéndose aún el motivo de la reacción.

Este “experimento” se realizó con el fin de demostrar, él porque es necesario realizar un pretratamiento a los lixiviados generados en el relleno sanitario La Esmeralda, antes de aplicar el coagulante químico sulfato de aluminio. Por lo anteriormente mencionado se realizó un pre tratamiento en las muestras de lixiviado donde se agregó peróxido de hidrogeno.

5.3.2 PREPARACIÓN DE AGUA TERMAL

En este caso, el agua termal obtenida directamente de Termales El Otoño, no sufrió ninguna alteración y/o dilución, se utilizó de manera pura, con el fin de

aprovechar al máximo sus propiedades coagulantes y determinar su eficiencia en procesos de tratamiento.

5.3.3 PREPARACIÓN DE ALMIDÓN DE PLÁTANO

Para la preparación del almidón de plátano, se utilizó el método mencionado en el documento de (Laines, Goñi, Howard, & Camacho, 2008), que consiste en preparación, separación de la muestra y extracción de la muestra.

El procedimiento en mención se evidencia en la figura 8.

Para la obtención del almidón de plátano se utilizaron los siguientes equipos y materiales:

- Horno
- Licuadora
- Cuchillo
- Plátano verde.
- Papel tamiz.

Cada uno de los tres plátanos fue cortado en trozos iguales, para ponerlos en agua al fuego durante 45 minutos, hasta ebullición. Luego fue licuado y pasado por el papel tamiz, para absorber el agua. La pasta resultante fue llevada al horno durante 24 horas para su secado, posteriormente se procede al pulverizado para así utilizarlo en la prueba.

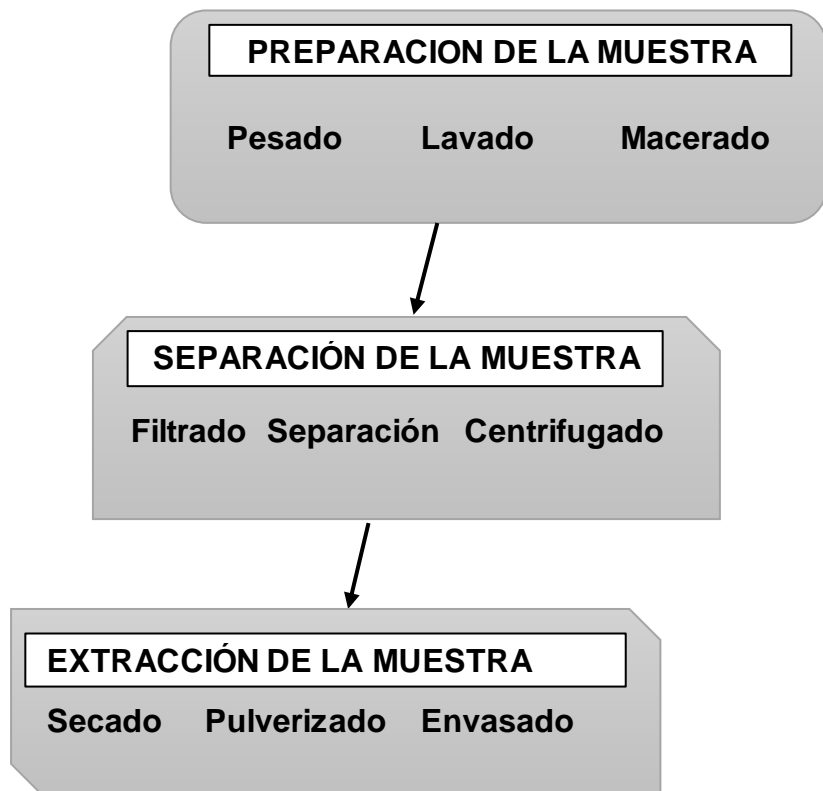


Figura 10: Procedimiento general para la obtención de almidón de plátano. Fuente: (Laines, Goñi, Howard, & Camacho, 2008).

5.4 VALIDACIÓN DE VARIABLES

Por medio de los análisis basados en diseño experimental se logró identificar la influencia de tres factores variables sobre la remoción de turbiedad.

- Las interacciones entre los factores variables
- Los factores variables con mayor efecto en remoción de turbiedad
- Rangos de valores de los factores variables.

A partir de ello, se determinó que la utilización de un diseño experimental factorial 2^k permitiría identificar los valores óptimos de los parámetros a analizar (Montgomery, 2004). Las variables se definieron de la siguiente forma.

Tabla 3: Variables que intervienen en el desarrollo del experimento.

FACTORES VARIABLES	FACTORES CONSTANTES	VARIABLES DE RESPUESTA
Dosis de coagulante	Tipo de coagulante	Turbiedad en NTU
pH	Tipo de agua	
Velocidad de mezcla rápida	Tiempo de mezcla rápida	
Velocidad de mezcla lenta	Tiempo de mezcla lenta	
	Tiempo de sedimentación	

Fuente: Adaptado de (Montgomery, 2004).

*La dosis de coagulante se refiere al porcentaje en peso de la mezcla de sulfato de aluminio y almidón de plátano.

A raíz de lo anterior, se utilizó agua lixiviada con la misma unidad de turbiedad para todos los experimentos, dado que el tipo de agua no es un factor variable sino un factor constante. Debido a que los factores variables son cuatro, el diseño factorial implica $2^4 = 16$ experimentos.

Los parámetros iniciales fueron los siguientes:

Tabla 4: Valores de Turbiedad y pH.

Parámetro	Valor
pH inicial	8.1
Turbiedad inicial	68 NTU

Fuente: Propia.

6. RESULTADOS

6.1 ESTADO DEL ARTE

En la revisión bibliografía realizada para entrar en contexto con el tema a intervenir, se encontraron varias referencias de gran utilidad para el progreso del proyecto.

En la siguiente tabla, se puede observar una recopilación de las referencias bibliográficas utilizadas en la fase anteriormente descrita, citando los valores encontrados en ellas para ayudar en la determinación de los valores a utilizar en la fase experimental del proyecto.

Tabla 5: Tabla bibliográfica

Autor	Tipo de agua tratada	Tipo de coagulante	Dosis optima (mg/l)	pH optimo	Velocidad de mezcla rápida	Velocidad de mezcla lenta
Suárez JJ, Navia GA.	Residual domestica	Agua termal	10 ml/L	6,89	100 rpm	35 rpm
Arcila, Pacheco, herrera	Fuente natural	Almidón de plátano	-	5	100 rpm	50 rpm
Ortega JA, Laines JR, Aparicio MA.	Lixiviados	Almidón de plátano	70	6,5	200 rpm	25 rpm
Cabrera G, Ramírez JE.	Fuente natural	Almidón de yuca	< 25	6,9	300 rpm	40 rpm
Solís R, Laines JR, Hernández JR.	Fuente natural	Almidón de yuca	30	6,5	200 rpm	25 rpm
Alvarado LN.	Agua potable	Cascaras de papa	-	7,46	100 rpm	40 rpm
Gómez NA.	Agua residual	Coagulación - Floculación	-	-	-	-
Sánchez JF.	Fuente natural	Mucilago	200	6,5 - 8	100 rpm	40 rpm
Laines JR, Goñi JA, Adams RH, Camacho w.	Lixiviados	Almidón de plátano.	75	7	-	-
Caicedo FJ.	Lixiviados		-	-	-	-

Gonzales GL	Residuos solidos		-	-	-	-
Alcaldía mayor de Bogotá.	Residuos solidos		-	-	-	-
Giraldo E.	Lixiviados		-	-	-	-
Morales CJ.	Lixiviados		-	-	-	-
Noeggerath IM, Salinas MA.	Lixiviados		-	-	-	-
Castellanos MC, Becerra NP, Carreño L, Páez LP.	Lixiviados	Mucilago de Opuntia ficus	-	7	150 rpm	30 rpm
Espinosa V.		Almidón de plátano y mango	-	-	-	-
Fatehah MO, Hossain S, Teng TT.	Agua residual	Almidón de tapioca	0,1 g/L	-	100 rpm	10 rpm
Montgomery	-	-	-	-	-	-
Salazar, Saavedra.	Lixiviados	-	-	-	-	-
Corena MJ	Lixiviados	-	-	-	-	-
Mendoza P, López V.	Relleno sanitario La Esmeralda	-	-	-	-	-
Rendon R, Garcia E, Güizado M, Salgado R, Rangel NA.	Almidón de plátano	-	-	-	-	-
Zambrano SL.	Muestreo de lixiviados	-	-	-	-	-
Galeano LA, Vicente MA, Gil A.	Lixiviados	-	-	-	-	-
Yin Yang C.	Agua residual y Agua potable	Cactus	10 - 60	7- 10		
Asaithambi P, Baharak Sajjadi, Abdul Raman Abdul Aziz, Wan Mohd Ashri Bin Wan Daud.	Lixiviados	Ozono	4	7	-	-
Zhang J, Zhang F, Yang H, Luo Y.	Agua potable	Cactus	5	7	125 rpm	70 rpm

Antov MG, Šciban MB, PetrovicNJ.	Agua superficial	Semilla de frijol	3,3	7,5	200 rpm	80 rpm
Antov MG, Šciban MB, PetrovicNJ, Klašnja M.	Agua superficial	Castaño y bellota	8	7,4	200 rpm	80 rpm
Gendy E, Mohamed SH	Agua residual	Hojas de plátano	25	-	-	-
Castanha N, da Matta Junior MD, Duarte PE.	-	Almidón de papa	-	-	-	-
Rodriguez JP.Lugo U, Rojas C, Malaver C.	Agua potable	Almidón de Maíz, Yuca	20 - 50	5-6	329 rpm	24 rpm

Fuente: Propia

6.2 MUESTREO

La fase de muestreo es exitosa, pues se logra capturar las cantidades necesarias para la prueba de jarras a realizar incluso si existen errores.

Las muestras están en las condiciones indicadas en las referencias bibliográficas y no se presenta inconveniente alguno, ya que cumplen con lo esperado.

Para el agua termal se recoge una cantidad de 20 litros en un recipiente de ese mismo volumen. Para el lixiviado se requiere una mayor cantidad ya que es la muestra problema; por tal razón se hace una colecta de 60 litros en dos recipientes de 30 litros de capacidad cada uno.



Figura 11: Fotografías de puntos de muestreos. Fuente: (Propia).

6.3 PREPARACIÓN DE MUESTRAS

6.3.1 PREPARACIÓN DE LIXIVIADO

El lixiviado obtenido en el relleno sanitario La Esmeralda presenta una reacción al ácido sulfúrico (coagulante sintético) sin conocerse aún los motivos del fenómeno, razón por la cual se realiza un pre tratamiento en las muestras de lixiviado donde se agregó peróxido de hidrogeno en una cantidad de 0,9 ml (200 ppm) en una dilución al 4%, para evitar la generación de espuma.

El pretratamiento anteriormente mencionado hace que las muestras de lixiviado se comporten con normalidad en el momento de poner en marcha la prueba.

6.3.2 PREPARACIÓN DE AGUA TERMAL

El agua termal se utilizó sin ninguna modificación en la prueba, siendo la selección de dosis optima de cada jarra la única preparación.

En la prueba de jarras se utilizó en cantidades desde 0 ml hasta 50 ml como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 6: Dosis de agua termal correspondiente a cada jarra.

JARRA N°	AGUA TERMAL (ml)
6	50
5	40
4	30
3	20
2	10
1	0

Fuente: Propia

6.3.3 PREPARACIÓN DE ALMIDÓN DE PLÁTANO

Luego del proceso de preparación, se establecieron las cantidades de almidón de plátano a utilizar en cada jarra, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7: Dosis de almidón de plátano correspondiente a cada jarra.

JARRA N°	ALMIDON (mg)
6	0
5	75
4	150
3	225
2	300
1	375

Fuente: Propia.

Con la intención de mejorar los resultados en la prueba de jarras, se realiza una segunda adición de almidón en una cantidad de 20 gr/L, en donde además se da una preparación diferente al almidón, ya que se satura en agua caliente.

6.4 VALIDACIÓN DE VARIABLES

Basados en la revisión del estado del arte, donde se evaluaron los valores de coagulación y floculación con mejores eficiencias, se determina una velocidad de mezcla rápida (coagulación) y lenta (floculación) en un rango de tiempo, para las cantidades de muestras también determinadas previamente como se muestra en las siguientes tablas.

COAGULACIÓN

Tabla 8: Velocidad y tiempo en la primera prueba de jarras en la coagulación.

VELOCIDAD	TIEMPO
200 rpm	50 segundos

Fuente: Propia

FLOCULACIÓN

Tabla 9: Velocidad y tiempo en la primera prueba de jarras en la floculación.

VELOCIDAD	TIEMPO
25 RPM	30 MINUTOS

Fuente: Propia

Tabla 10: Dosis de agua termal y almidón de plátano correspondiente a cada jarra.

JARRA N°	ALMIDON (mg)	AGUA TERMAL (ml)
6	0	50
5	75	40
4	150	30
3	225	20
2	300	10
1	375	0

Fuente: Propia

Todos los parámetros anteriores se hallaron con el fin de determinar la dosis óptima a utilizar en la muestra de lixiviado a tratar. Para esto se realizó una prueba de jarras con los datos establecidos en el diseño experimental, que fueron observados en las tablas anteriores.

Se utilizaron 6 jarras, las cuales contenían las concentraciones previamente determinadas de almidón de plátano y agua termal.

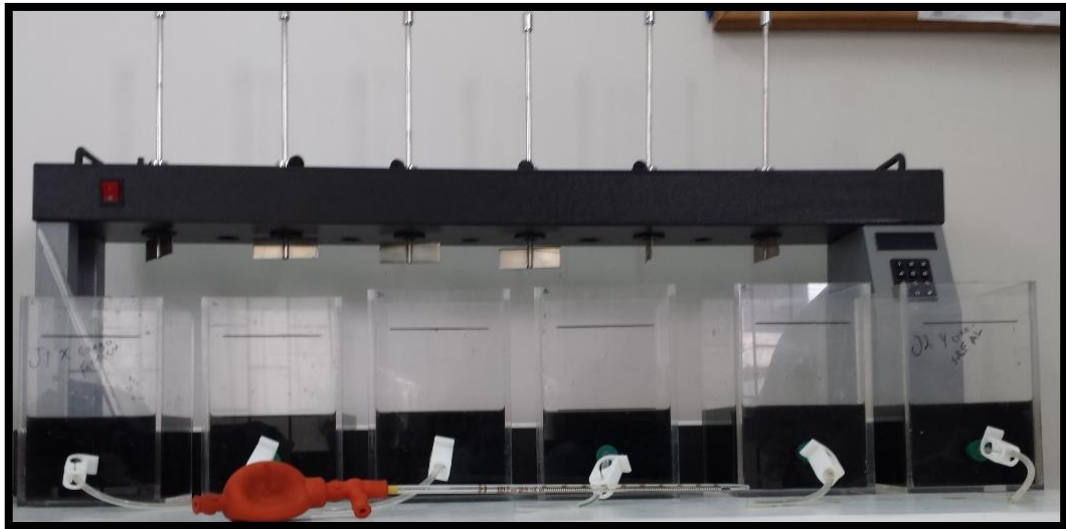


Figura 12: Fotografía de prueba de jarras con el equipo disponible en la Universidad Católica de Manizales. Fuente: (Propia).

Se realiza una segunda adición de almidón de plátano al test, con la modificación realizada en el este, donde se satura por medio de agua caliente y se agrega en una cantidad de 20 gr/L. Las condiciones de esta segunda adición de coagulante fueron las siguientes:

Coagulación

Tabla 11: Velocidad y tiempo en la coagulación.

VELOCIDAD	TIEMPO
200 rpm	50 segundos

Fuente: Propia.

Floculación

Tabla 12: Velocidad y tiempo en la floculación.

VELOCIDAD	TIEMPO

25 RPM	30 MINUTOS
--------	------------

Fuente: Propia.

RESULTADO DOSIS ÓPTIMAS

Tabla 13: Dosis optimas resultantes de la prueba de jarras

pH	Agua termal (ml)	Almidón de plátano (mg)	Velocidad de mezcla lenta (rpm)	Velocidad de mezcla rápida (rpm)
7.1	40	75	25	200

Fuente: Propia

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Ante la necesidad de realizar un tratamiento a los lixiviados presentes en rellenos sanitarios, en este caso al relleno sanitario local de la ciudad de Manizales “La Esmeralda” y que a su vez este sea menos agresivo con el medio ambiente, se toma la iniciativa de estudiar la viabilidad de la utilización de coagulantes vegetales con alto contenido de almidón. Se evalúa esta técnica como opción en los sin fines de procesos realizados para el tratamiento de aguas y en este caso lixiviados, y así aprovechar al máximo las propiedades naturales presentes en el plátano que generalmente se termina descartando.

- Durante la realización de la prueba de jarras se registró una turbiedad inicial de 68 NTU y un pH de 8,2; se realiza una adición de HNO_3 con la finalidad de reducir el índice pH, teniendo como resultado una turbiedad de 127 NTU. Con relación a lo anterior, se puede resaltar la importancia de evaluar otros parámetros en la prueba de jarras para la determinación de calidad del agua a tratar. Adicional se debe tener en cuenta que los parámetros en las aguas residuales se comportan de manera diferente en comparación del agua potable, distinguiendo el parámetro de sólidos totales para las pruebas de aguas residuales.
- El pH neutro es el más óptimo para que el coagulante natural realice un mejor proceso de coagulación. Se observa que al variar el pH de los lixiviados la turbiedad aumenta.
- Se obtiene una mejor remoción de turbiedad cuando se disminuye la concentración de almidón de plátano y aumenta la concentración de agua termal.
- Las aguas termales provenientes de la zona presentan un alto contenido de sulfatos, los cuales actúan como coagulantes ayudando al proceso de coagulación – floculación.

8. CONCLUSIONES.

- Los estudios previos y la revisión bibliográfica son una herramienta necesaria para la selección correcta de los parámetros a estudiar y métodos para continuar la guía de proyectos exitosos, siendo este primer paso una necesidad para el éxito del proyecto.
- Las propiedades presentes en el plátano y otros vegetales son un factor interesante para las investigaciones de tratamientos de aguas y lixiviados, apostando a su vez a la sostenibilidad de las plantas y la reducción de problemáticas ambientales; utilizando productos que se descartan para consumo dándole un valor en un proceso.
- Todos los coagulantes vegetales registrados en la revisión bibliográfica cumplen con la eficiencia ideal comparados con el sulfato de aluminio en cuanto a la remoción de turbiedad.
- La adición de coagulantes naturales, como ayudantes en la coagulación, reducen significativamente la dosis del coagulante sulfato de aluminio.
- Según la literatura revisada, los lodos producidos en el tratamiento de aguas crudas son biodegradables y reutilizables.
- Se debe tener en cuenta la importancia de la utilización de herramientas o métodos teóricos para la determinación de los parámetros a evaluar en la fase experimental, como lo es el desarrollo de diseños experimentales para facilitar el tipo de prueba a realizar y de qué manera.
- Es necesario hacer un estudio previo donde se estimen los posibles pre tratamientos que se deben aplicar a los lixiviados y prever situaciones como la encontrada en la investigación actual, donde se generan grasas en el lixiviado con la adición de ácido sulfúrico.
- Esta determinación de parámetros pueden servir de base para la realización de otros proyectos que sigan la misma línea.

9. RECOMENDACIONES

- Aunque los coagulantes vegetales tienen un potencial para implementar en los tratamientos convencionales de descontaminación, aun no cumplen completamente con lo requerido. Es por esta razón que se recomienda iniciar su implementación a manera de colaboración, es decir, pueden ser utilizados como ayudantes de los coagulantes químicos, utilizando en proporciones las dos alternativas, logrando un complemento e iniciando poco a poco la involucración de las propiedades vegetales en la sustitución de los tratamientos químicos.
- A pesar de que los coagulantes vegetales no son completamente exitosos en los procesos de tratamiento de lixiviados, es relevante profundizar si estos pueden ser utilizados como tratamiento a otro tipo de contaminantes, incentivando al cambio de químicos y dar un mayor aprovechamiento a las propiedades que poseen los vegetales que se encuentran cotidianamente en nuestro entorno; así se pueden tratar varias problemáticas utilizando el mismo material.
- Se debe continuar con investigaciones para hallar la manera de potencializar los coagulantes vegetales para su utilización en el tratamiento de los lixiviados, agua potable y agua residual, ya que se tiene una expectativa positiva frente a los indicadores de remoción de turbiedad y el bajo costo de operación con respecto a los coagulantes sintéticos.
- Estudiar el porqué del comportamiento del lixiviado presente en el relleno sanitario La Esmeralda, que reacciona con ácido sulfúrico generando grasas en forma de espuma de manera desbordante, ya que en el relleno sanitario aún no se sabe porque sucede este fenómeno.

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] (s.f.). Obtenido de <http://roble.pntic.mec.es/~mbedmar/iesao/quimica/tomademu.htm>
- [2] Alcaldía Mayor de Bogota. (2010). *Alcaldía Mayor de Bogota*. Obtenido de <https://drive.google.com/a/ucm.edu.co/file/d/0B812DGWi2wR7SXQ2VFo xd1Jkc0U/view>
- [3] Bustos, J. C. (2009). Obtenido de <http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1681/66028429M353.pdf;jsessionid=53F84AA0348770A2C4E4DC2AD8C8D40A?sequence=1>
- [4] Castrillon, D. y. (2012). *Universidad Tecnologica de Pereira*. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/3146/6281622H565.pdf?sequence=1>
- [5] Fajardo, S. L. (2010). *Corporacion para el desarrollo sostenible del sur del Amazonas*. Obtenido de http://www.corpoamazonia.gov.co/files/protocolo_para_toma_de_muestras_de_aguas_residuales.pdf
- [6] Franco, I. M., & Castillo, M. A. (2011). *UNIVERSIDAD VERACRUZANA*. Obtenido de <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/40334/1/noeggerathfrancoingridmelissa%20.pdf>
- [7] Fundacion Azul Ambientalistas. (s.f.). Obtenido de <http://www.azulambientalistas.org/rellenosanitario.html>
- [8] Giraldo, E. (2001). *Universidad de los Andes*. Obtenido de <https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/download/538/718>
- [9] González, G. L. (2010). *Camara Argentina de la Construcción*. Obtenido de <https://drive.google.com/a/ucm.edu.co/file/d/0B812DGWi2wR7QUdhQ3hi WWdGVms/view>
- [10] Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & Rafael, G. (Junio de 2013). Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262013000100029
- [11] Laines, C. J., Goñi, A. J., Howard, A. R., & Camacho, W. (2008). Obtenido de <https://drive.google.com/a/ucm.edu.co/file/d/0B812DGWi2wR7b3JwUINy TjVESUU/view>
- [12] Madiedo, S. C. (30 de Mayo de 2006). *Universidad Industrial de Santander*. Recuperado el Abril de 2016, de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/514/2/120090.pdf>
- [13] Mendoza, P. y. (2004). *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de http://www.bdigital.unal.edu.co/1059/1/patriciamendozasalgado.2004_.pdf
- [14] Mesa, F. J. (2006). Obtenido de <https://drive.google.com/a/ucm.edu.co/file/d/0B812DGWi2wR7RjE3am4y ZkN1QVU/view>

- [15] Montgomery. (2004). Obtenido de <https://www.yyy.files.wordpress.com/2013/02/disec3b1o-de-experimentosmontgomery.pdf>
- [16] Morales, C. J. (2007). Obtenido de <https://core.ac.uk/download/files/334/11051504.pdf>
- [17] Muñoz, C. C. (Noviembre de 2015). Ingeniero Químico . (G. d. Manizales, Entrevistador)
- [18] ONU Agua. (2014). *Universidad Nacional*. Obtenido de http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/findings_and_recommendations_post2015_goal_water_spa.pdf
- [19] Patricia Mendoza, V. L. (2004). *Universidad Nacional de Colombia* . Obtenido de http://www.bdigital.unal.edu.co/1059/1/patriciamendozasalgado.2004_.pdf
- [20] Puentes, N. A. (2005). *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1214/1/nestoralejandrogomezpuentes.2005.pdf>
- [21] Red de Ingeniería en Saneamiento Ambiental. (Septiembre de 2009). *REDISA*. Obtenido de <http://www.redisa.uji.es/artSim2009/TratamientoYValorizacion/Caracterizaci%C3%B3n%20y%20tratamiento%20fisiocqu%C3%ADmico%20de%20Olixiviados%20maduros%20producidos%20en%20el%20sitio%20de%20disposici%C3%B3n%20final%20de%20Tuxtla%20Guti%C3%A9rez.pdf>
- [22] Rios, S. C. (2006). Obtenido de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/514/2/120090.pdf>
- [23] Rodríguez, J. P. (2007). *Umbral científico*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30401102>
- [24] RPP Noticias. (2010). *Noticias del Perú y el mundo*. Obtenido de <http://rpp.pe/mundo/actualidad/onu-la-calidad-del-agua-en-el-mundo-esta-cada-vez-mas-amenazada-noticia-251801>
- [25] Salazar, L. L., & Saavedra, I. M. (2009). *REDISA*. Obtenido de http://www.redisa.uji.es/artSim2009/TratamientoYValorizacion/Tratamiento%20de%20lixiviados_casos%20pr%C3%A1cticos%20en%20diferentes%20temperaturas.pdf
- [26] Salgado, P. M. (2004). Obtenido de http://www.bdigital.unal.edu.co/1059/1/patriciamendozasalgado.2004_.pdf
- [27] Surez, J. J. (2007). *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/971/1/josejairosuarezgustavoanavia.2007.pdf>
- [28] Trujillo, D. (2014). *Universidad Católica de Manizales*. Obtenido de <https://drive.google.com/a/ucm.edu.co/file/d/0B812DGWi2wR7SIFxVFIXQXJDam8/view>
- [29] Universidad de los Andes. (s.f.). *Universidad de los Andes*. Obtenido de Facultad de Ingeniería : <http://www.acodal.com/docs/Rv14-A8.pdf>