



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**Evaluación del sistema de tratamiento móvil con
tecnología de flotación con aire disuelto para el
reacondicionamiento de aguas residuales**

Sara Ramírez Pérez

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Química
Carmen de Viboral, Colombia
2021



**Evaluación del sistema de tratamiento móvil con tecnología de flotación con aire disuelto
para el reacondicionamiento de aguas residuales**

Sara Ramírez Pérez

Informe de práctica como requisito para optar al título de
Ingeniero Bioquímico

Asesores:

Dalma Elizabeth Marsiglia López

Rodrigo Andrés Ríos Cuellar

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Bioquímica
El Carmen de Viboral, Antioquia, Colombia

2021

Resumen

La disponibilidad del agua es un problema actual y complejo en el que intervienen una serie de factores que van más allá de la incesante demanda para consumo humano, sino también para llevar a cabo actividades económicas. Diversos efluentes de industrias económicas presentan una alta carga orgánica, por lo que su tratamiento y purificación se dificulta, sin embargo, existen diferentes sistemas que se pueden emplear para tratar este tipo de afluentes. La multinacional alemana C-deg, una filial con sede en Colombia que ofrece soluciones a la medida para el tratamiento adecuado y ambientalmente amigable de efluentes utiliza el sistema de flotación por aire disuelto para disminuir la carga orgánica de afluentes. En este proyecto se buscó evaluar la eficacia del funcionamiento del sistema utilizado en la empresa, de tal manera que se planteó un enfoque experimental que consistió en 3 fases que se centraron en disminuir la conductividad del efluente. La primera fase se centró en la eficiencia de la concentración de coagulante y de ayudante en el test de jarras. La segunda fase evaluó la remoción de flocs mediante la inyección de microburbujas; mientras que la tercera fase consistió en la integración de la concentración de coagulante y ayudantes elegidos junto con el proceso de flotación en el DAF. Finalmente se estableció la oportunidad de aprovechamiento de las corrientes que salen del acondicionamiento.

Palabras clave: Aguas residuales, Flotación por aire disuelto, Efluentes, Reutilización del agua

Introducción

Durante años el crecimiento demográfico, la urbanización, la industrialización, la producción masiva y el consumismo han generado una demanda de agua dulce cada vez mayor ocasionando el agotamiento de estas fuentes hídricas. Como consecuencia, muchos investigadores y responsables de sanidad hídrica han buscado adoptar nuevos procesos y tecnologías unitarias para ayudar al medio ambiente e intentar devolver esta valiosa fuente hídrica a su origen natural de la mejor manera posible. Los contaminantes presentes en las aguas residuales normalmente son transportados a las plantas de tratamiento, donde se eliminan en gran medida por la capacidad de absorción de los lodos, los cuales son producto de un tratamiento físico, químico y/o biológico.

Una alternativa para el tratamiento de afluentes es el método de separación por aire disuelto, el cual busca separar el material sólido contenido en una fase líquida, esta separación se consigue introduciendo microburbujas en la fase líquida que se adhieren al material particulado (floculado y coagulado) y, gracias a la fuerza ascensional, el conjunto partícula-burbuja sube hasta alcanzar la superficie del líquido. Como resultado final de este tratamiento, se obtiene como subproducto un lodo residual, el cual es un consorcio de biosólidos que son difíciles de tratar e implican un costo adicional para un apropiado manejo y disposición. Este lodo resultante de estos procesos debe someterse a un análisis para determinar sus características físicas, químicas y microbiológicas, puesto que este podría presentar diferentes problemas por

el costo adicional de tratamiento que implica, los volúmenes y las cantidades que se generan, así como por su composición, ya que están constituidos principalmente por materia orgánica y por elementos contaminantes que fueron removidos del agua, tales como: metales pesados, material inorgánico y contaminantes emergentes (productos de limpieza, plaguicidas, medicamentos y productos de cuidado personal).

El proceso tanto de tratamiento del afluente como el de la adecuación final de los lodos residuales se convierte en un importante paso en la protección del medio ambiente, forzando la implementación de tecnologías ya existentes o en pleno surgimiento para su procesamiento y dando pie a la elaboración de diversas investigaciones que se fundamenten en la búsqueda de nuevas alternativas para su adecuada disposición final.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, el propósito de la investigación de este sistema de tratamiento móvil con tecnología de flotación con aire disuelto (DAF), será una herramienta que permitirá cumplir con los parámetros mínimos permisibles de las aguas residuales establecidos por la ley ambiental y además aportar con la conservación del agua, el cual constituye un recurso importante para el desarrollo de la vida.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Analizar el comportamiento bioquímico en el sistema de tratamiento móvil con tecnología de flotación con aire disuelto para mejorar la calidad de aguas residuales.

1.2 Objetivos específicos

- Recopilar información sobre las características fisicoquímicas de las aguas residuales no domésticas que ingresan al sistema de tratamiento.
- Analizar el comportamiento de los microorganismos presentes en el sistema de tratamiento con Flotación por Aire Disuelto.
- Sugerir una alternativa para el manejo y aprovechamiento de los lodos generados en la planta móvil de tratamiento de aguas residuales.

2. Marco teórico

Para el desarrollo de este trabajo es necesario conocer algunos términos, que dada su importancia merecen claridad, teniendo en cuenta que el foco de nuestra problemática se ubica en el Tratamiento de Aguas Residuales (PTARs).

- *Aguas residuales*: se definen como aquellas que han sido utilizadas en cualquier uso benéfico. El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental para el diseño, operación, y control de los sistemas de aguas residuales. Generalmente los

generadores de aguas residuales se pueden agrupar en: aguas residuales domésticas, municipales e industriales.

- *Plantas de tratamientos de aguas residuales (PTARS)*: herramienta indispensable en la conservación del agua, pues permite su reciclaje y resulta una aliada importante para el cuidado del medio ambiente, gracias a esta es posible convertir las aguas residuales en nuevamente potables, a través de procesos físicos, químicos y biológicos que consisten en eliminar los componentes contaminantes presentes en el líquido, con la intensidad requerida según el nivel de purificación que se desea. En la ejecución de estas plantas existe una clasificación ordenada la cual tiene un tipo de objetivo en cuanto a remoción de contaminantes.
- *Pretratamiento*: retiro de cuerpos de gran tamaño por medio de cribas, las cuales pueden ser de retiro manual o mecánico. También se hace uso de tamices estáticos, trituradores de canal, tanques de homogenización y desarenadores [2].
- *Tratamiento primario*: se llevan a cabo tres subprocesos; el primero es conocido como sedimentación (proceso físico donde las partículas sólidas y los contaminantes adheridos son removidos), luego se realiza la flotación (para separar aceites y grasas y aglutinar sólidos suspendidos), finalmente se realiza la coagulación (desestabilización de la suspensión mediante coagulantes químicos).
- *Tratamiento secundario*: existen dos tipos de sistemas, el de biomasa en suspensión y el de biomasa adherida (digestión aerobia o anaerobia).
- *Tratamiento terciario*: según el (Ministerio del Ambiente, 2009) este proceso sirve para remover el nitrógeno y el fósforo, los cuales podrían ocasionar eutrofización [2].
- *Operaciones físicas unitarias*: se conocen como operaciones unitarias a los métodos de tratamiento en los que predomina la acción de fuerzas físicas, fueron los primeros en ser aplicados al tratamiento de las aguas residuales. Son operaciones unitarias típicas el desbaste, mezclado, floculación, sedimentación, flotación, transferencia de gases y filtración.
- *Procesos biológicos unitarios*: son los procesos de tratamiento en los que la eliminación de los contaminantes se lleva a cabo gracias a la actividad biológica se conocen como procesos biológicos unitarios. La principal aplicación de estos procesos es la eliminación de las sustancias orgánicas biodegradables presentes en el agua residual en forma tanto coloidal, como en disolución.
- *Test de jarras*: es una de las pruebas más importantes en el control del proceso de coagulación química del agua, el objetivo del test de jarras es encontrar la dosis ideal para el proceso unitario que produzca la mejor calidad de agua posible a los menores costos.
- *Flotación por aire disuelto (DAF por sus siglas en inglés)*: es el método de tratamiento que clarifica las aguas residuales mediante la remoción directa de sólidos suspendidos totales, aceites y grasas, sólidos sedimentables y remoción indirecta del DBO5. Cuando a la flotación por aire disuelto se le agrega un tratamiento de coagulación floculación, el rendimiento en la separación de la materia sólida en suspensión es mucho mayor.
- *Coagulación*: mediante el uso de aditivos químicos (coagulantes), hacen posible la neutralización de las partículas coloidales en el efluente.

- *Floculación*: se encarga de la aglomeración de las partículas pequeñas para formar los flóculos, convirtiéndose en partículas sólidas de mayor tamaño que se sedimentan más rápido [4].
- *Adhesión microbiana*: es el comienzo del proceso de colonización de una superficie conocida como desarrollo de biopelículas que involucra interacciones fisicoquímicas y moleculares. Por tanto, la adhesión a superficies inertes generalmente se relaciona con interacciones no específicas y la adhesión a superficies biológicas está relacionada con una interacción ligando-receptor específica [8].
- *Biofilm*: comunidad estructurada de células bacterianas encerradas en una matriz polimérica autoproducida y adheridas a una superficie inerte o viva [9].
- *Lodos residuales*: son todos aquellos sólidos remanentes del proceso de tratamiento de las aguas residuales municipales, que son removidos para que el agua pierda sus propiedades contaminantes y pueda volver a utilizarse [5]. Los lodos residuales también deben ser tratados para eliminarlos o transformarlos, y para que sus elementos contaminantes no representen un riesgo a la salud o al ambiente. Por ello, es importante que las plantas de tratamiento de aguas residuales no solo contemplen cómo tratar el agua sino también deben explicar qué hacer con los lodos residuales generados [6].

Algunas de las maneras de tratar estos lodos, son mediante procesos como:

- *Digestión anaerobia*: Comprende dos fases, en la primera se forman ácidos volátiles y en la segunda las bacterias anaerobias producen gas metano a partir de dichos ácidos, todo esto en ausencia de oxígeno molecular (O_2).
- *Digestión aerobia*: Proceso de aireación prolongada (dotando al sistema de O_2) para provocar el desarrollo de microorganismos aerobios hasta sobrepasar el periodo de síntesis de las células y llevar a cabo su propia autooxidación, reduciendo así el material celular.
- *Tratamiento químico*: Realiza principalmente una acción bactericida, llevando al bloqueo temporal de fermentaciones ácidas. Por su reducido costo y alcalinidad, la cal es el reactivo que más se utiliza.
- *Incineración*: Conduce a la combustión de materias orgánicas de los lodos, y es el proceso con el que se consigue un producto residual de menor masa, las cenizas constituidas únicamente por materias minerales del lodo [7].
- *Medios de cultivos*: formulación de sustancias que contienen compuestos naturales y/o sintéticos, en forma líquida, semi-sólida o sólida que tienen como propósito permitir la multiplicación, o preservar la viabilidad de microorganismos. La mayoría de los hongos y bacterias fitopatógenas pueden cultivarse en medios de cultivos artificiales, sólidos o líquidos. La mayoría de los hongos crecen en medios de cultivo de alto contenido de carbohidratos, con un pH entre 5 y 6, mientras que las bacterias crecen mejor a un pH próximo a 7. No existe un medio perfecto para el cultivo de hongos y bacterias ya que las exigencias de las diferentes especies varían considerablemente [10].

3. Metodología

La metodología desarrollada en el proyecto se realizó tanto con un estudio de investigación como con un proceso experimental. Partiendo de la base que este proyecto se fundamenta en diseñar un sistema de tratamiento móvil con tecnología FAD; inicialmente se realizó un diseño conceptual, con el fin de definir la mejor alternativa para tratar las aguas objeto de este proceso.

Para realizar diferentes análisis del afluente, se siguió un serial de diferentes técnicas de medición, esto con el fin de conocer la disponibilidad microbiana y química que se encontraba dispersa en esta muestra, así mismo, con esta caracterización se pudo conocer cuál podría ser el enfoque que se le daría al reúso de los lodos provenientes del proceso. Con esta información identificaron cuáles son las necesidades y cómo se debía tratar este afluente, siendo C-deg el encargado de acoplarse a estas y brindar una solución.

3.1 Diseño sistema de flotación por aire disuelto

Los parámetros que se tuvieron en cuenta para el diseño del sistema FAD, fueron:

- Caudal de diseño
- Características de las aguas residuales
 - Caudal y sus variaciones
 - Temperatura
 - pH
 - Alcalinidad total
 - Sólidos totales (ST)
 - Sólidos suspendidos totales (SST)
 - Sólidos suspendidos volátiles (SSV)
 - Sólidos sedimentables (SSed)
 - Grasas y aceites (G y A)
 - Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)
 - Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) soluble
 - Demanda química de oxígeno (DQO)
 - Demanda bioquímica de oxígeno (DQO) soluble
- Ensayo de Jarras
- Ensayo de flotación
- Manejo e interpretación de la información

Las unidades que deben contener el equipo compacto de flotación por aire disuelto serán:

Tabla 1. Unidades que conforman el sistema FAD

Unidad compacta FAD	Tanque de homogenización
	Sistema de bombeo del agua cruda
	Cámara de flotación
	Dispositivo separador de lodos
	Canaleta de recolección de sólidos
	Bomba de recirculación
	Equipo de inyección de aire o compresor
	Tanque de presurización y contacto.
	Válvula reguladora de presión
	Válvulas de control y accesorios
	Difusor
	Tablero de control

Mientras se continuaba con el proceso de diseño de este sistema, se inició el ensayo de jarras, con el fin de ir determinando la cantidad de coagulante necesario para esta muestra.

3.2 Obtención de la muestra

Mediante el proceso de ósmosis inversa se obtiene un rechazo, comúnmente llamado concentrado, este dentro de su composición tiene una alta carga de moléculas de gran tamaño que fueron retenidas en el proceso por medio de las membranas, este concentrado compuesto por sales disueltas, las cuales hacen que la conductividad de esta fracción aumente. La relación que se maneja en la operación es 38/62 concentrado/permeado, siendo la fracción del concentrado, aunque menor que la del permeado, alta para tratar como residuo.

Debido a que no es posible volver a recircular el concentrado, se buscaron una serie de alternativas que permitieran bajar la conductividad, con el fin de evitar daños en las membranas de ósmosis inversa y que esta porción pueda volverse a tratar en la operación.

3.3 Caracterización de la muestra

3.3.1 Coliformes totales y *E. Coli*: con ayuda de la técnica de diluciones en tubo múltiple, se pudo realizar una caracterización para evaluar la presencia de estas dos bacterias, este método es una estrategia eficiente de estimación de densidades poblacionales especialmente cuando una evaluación cuantitativa de células individuales no es factible. La técnica se basa en la determinación de presencia o ausencia en réplicas de diluciones consecutivas de atributos particulares de microorganismos presentes en muestras de suelos u otros ambientes [11].

3.3.2 Recuento de Mohos y levaduras (Hongos): para evaluar la presencia de estos microorganismos se utilizó el método de siembra, con el fin de iniciar un cultivo microbiano, para su desarrollo y multiplicación. Específicamente la técnica que se utilizó fue siembra en superficie, la cual se recomienda para microorganismos aerobios estrictos [12].

3.3.3 Identificación *pseudomonas*: para determinar la presencia de *pseudomonas* en el efluente, se utilizó la técnica de filtración por membranas para la detección y enumeración de especies de *Aeromonas*. Este método utiliza un medio selectivo que inhibe parcialmente el crecimiento de especies bacterianas no objetivo mientras permite que crezcan la mayoría de las especies de *Aeromonas* [13].

3.4 Determinación de la dosis óptima mediante el proceso de Test de Jarras

El test de jarras se realizó con el fin de obtener una reducción de los coloides en suspensión y materia orgánica a través del proceso de floculación; es decir, simular los procesos unitarios de coagulación, floculación y sedimentación, permitiendo además realizar el ajuste en el pH de cada muestra hasta llegar a los valores en los que la floculación alcanza sus mejores resultados, con este procedimiento se buscó obtener a escala de laboratorio ciertos parámetros establecidos, para en el momento de llevar el proceso a escala industrial tener una estandarización de la cantidad de coagulante necesario para el tratamiento. Finalmente, se determinó el contenido de turbiedad de cada muestra, con ayuda del Cono Imhoff.

La operación inició con la recepción de la muestra, una vez obtenida se evaluaron los parámetros que dentro de los recursos de la empresa se podían medir (pH, conductividad y temperatura). Luego para iniciar el proceso se dispuso la muestra en cada jarra, seguido de esto se suministro cierta cantidad de coagulante, (Sulfato de aluminio tipo A), más un mililitro de ayudante de coagulación (aniónico) a cada jarra. El proceso inició cuando se activo el equipo, las condiciones operacionales iniciales eran 100 revoluciones por minutos durante 60 segundos, para tener un flujo turbulento y desestabilizar las partículas, esto en consecuencia de la adición de los químicos, pasados los 60 segundos las revoluciones por minuto bajaron a 40, y esto se mantuvo por 20 minutos, culminado el tiempo se dejo en etapa de sedimentación el sistema por 15 minutos.

Tabla 2. Condiciones operacionales primer ensayo Pruebas de Jarras

Unidades	Prueba			
	Jarras			
	1	2	3	4
Coagulante Tipo A (ml)	10	20	30	40
Ayudante Aniónico (ml)	1	1	1	1

Tabla 3. Condiciones operacionales segundo ensayo Pruebas de Jarras

Unidades	Prueba			
	Jarras			
	1	2	3	4
Coagulante Tipo A (ml)	20	25	30	45
Ayudante Aniónico (ml)	1	1	1	1

Después de tener los factores estandarizados en cuanto a la cantidad de coagulante y ayudante necesario en el proceso, se analizó en detalle el comportamiento que tienen los microorganismos tras la adición de estas sustancias químicas y la operación, esto con ayuda de una serie de ensayos.

3.5 Tratamiento de lodos

Finalmente se realizó una revisión bibliográfica, con el fin de proponer una alternativa apropiada para el aprovechamiento de los lodos resultantes del proceso, los cuales son difíciles de tratar e implican un costo adicional para un apropiado manejo y disposición.

4. Resultados y análisis

Por diferentes razones que no van adheridas al curso que lleva la práctica académica, la experimentación en el sistema de flotación por aire disuelto no se pudo realizar, pues aún la planta no logró llegar a la etapa de construcción física. Así mismo, los resultados conceptuales y estructurales que se tuvieron no se pueden anexar al documento porque la información obtenida es confidencial y como practicante, acepté y me comprometí a cumplir el compromiso de confidencialidad y de no divulgación de la información que me suministró o me suministrará la empresa C-deg. Sin embargo, para la ejecución del proceso de flotación por aire disuelto, es de gran importancia realizar los estudios de la reacción del coagulante frente al concentrado, los cuales se realizaron por medio del test de jarras, que es la experimentación a escala laboratorio de un sistema FAD. Con esta práctica se logró concluir cual es la cantidad de coagulante necesario para el proceso, y para ese determinado concentrado, pues es claro, que cada muestra es diferente y tiene una composición diferente, la cual permite funcionar con determinada cantidad de coagulante.

Después de tomar una muestra del concentrado procedente del relleno sanitario de Armenia, se dispusieron 900 ml en cada una de las 4 jarras (*Figura 1*). Para evaluar la efectividad del coagulante en el concentrado, se añadió a cada jarra: 10, 20, 30, 40 ml de Sulfato de Aluminio respectivamente. Así mismo, por las condiciones de esta muestra, se agregó en cada jarra 1 ml de ayudante aniónico de coagulación. Como el pH de la muestra estaba entre el rango aceptable (7-8) no se tuvo que ajustar.



Figura 1. Prueba 1. Test de Jarras

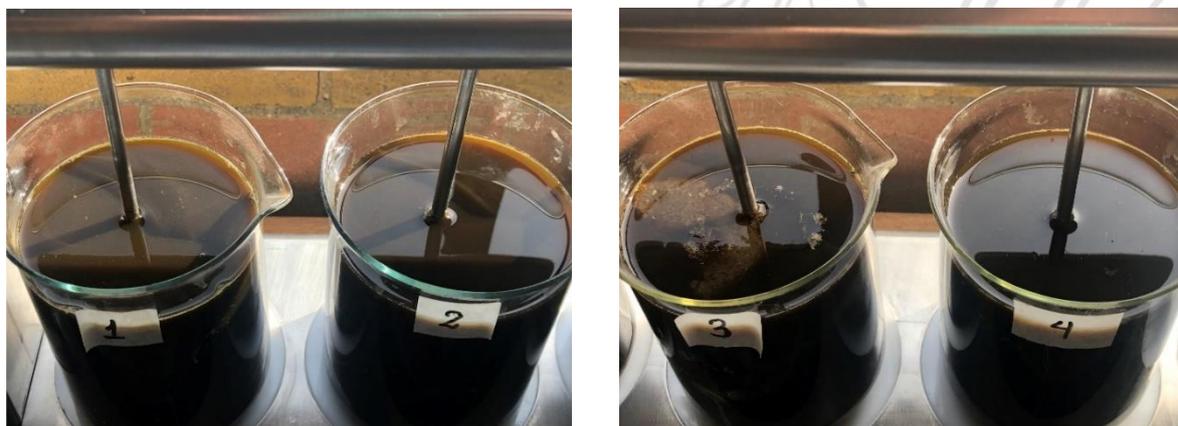


Figura 2. Prueba 1. Sedimentación de las muestras.

Una vez puesto el equipo en marcha, y tras pasar el tiempo de reacción de los químicos con el concentrado, inició el tiempo de sedimentación el cual permitió ver la formación de flocs, específicamente en la jarra 3 (*Figura 2*).

Para determinar la cantidad de sedimentos obtenidos tras el proceso se llevó la muestra que mayor formación de flocs tuvo, a un cono inhoff (muestra 3), pasados 30 minutos, se evidenció la sedimentación (*Figura 3*). Este instrumento permitió medir la cantidad de sedimentación producida en este procedimiento, la cual fue de 50 mL.

Los cambios que se tuvieron a lo largo del procedimiento, en cuanto a los factores que se podían medir en el laboratorio, fueron los siguientes, siendo la jarra 0 las condiciones iniciales del concentrado, y las siguientes las condiciones de las muestras después del proceso de coagulación.



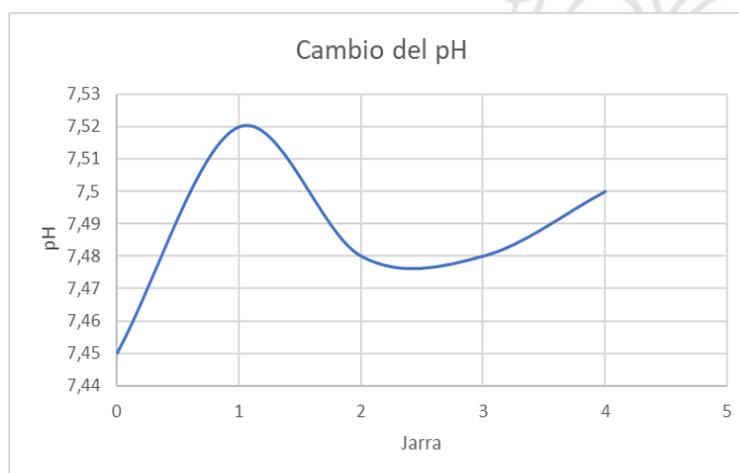
Figura 3. Prueba 1. Medición de sedimentación en cono Imhoff

A continuación, se muestran gráficamente los cambios que sufrió la muestra tras someterse al proceso. Las condiciones iniciales en las que estaba el concentrado fueron:

- pH: 7,45
- Conductividad: 62,15 mS/cm
- Temperatura: 17,96 °C

Es así como inicialmente se ve que la adición de los 10 ml de coagulante hace que la Jarra 1, sufra un incremento del 0,9% en las unidades de medidas del pH. Seguido se ve reflejado el cambio de la Jarra 2 y 3 en un 0,4%, finalmente en la Jarra 4 vemos como se incrementa de 0,6%. Todos estos cambios se ven reflejados en la tendencia que se muestra en la Grafica 1.

Gráfica 1. Prueba 1, cambio del pH



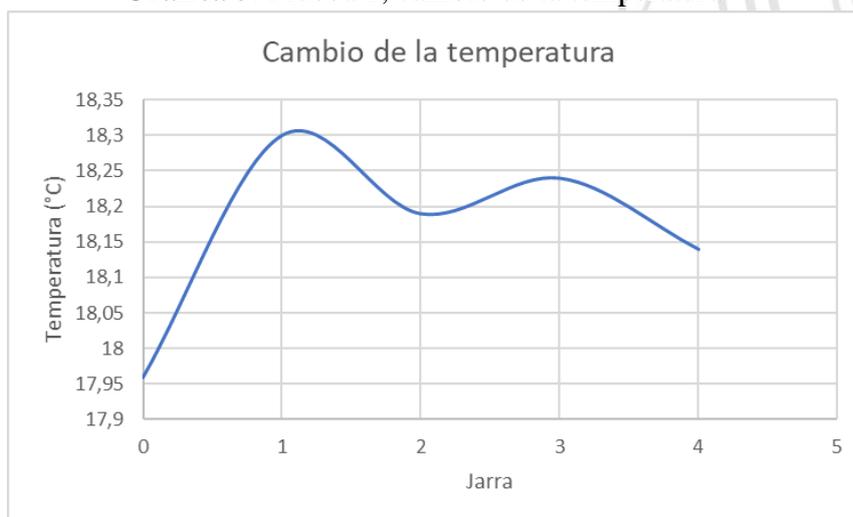
Es notorio el cambio que se ve en la baja de la conductividad, en la Jarra 1 incrementó este factor en un 0,2%, pero en el resto de las jarras consecutivamente hubo descenso de la conductividad, en la Jarra 2 bajo un 0.27%, seguida la Jarra 3 llegó a disminuir un 1,09% y por último, la Jarra 4 alcanzó bajar hasta un 1,3%.

Gráfica 2. Prueba 1, cambio de la conductividad



La temperatura fue el factor que menos estabilidad mostró en la tendencia y aunque este parámetro en esta escala no afecta la vida útil de las membranas, pues se recomienda que el agua que se trate en las plantas de ósmosis inversa no supere los 20 °C. La Jarra 1 incrementó su temperatura un 1,89% respecto a su condición inicial, en las siguientes jarras se evidencia el incremento 1,2%, 1,5%, 1,002% respectivamente al resto de jarras.

Gráfica 3. Prueba 1, cambio de la temperatura



Como en este proceso se evidenció que la muestra 3 (30 ml de coagulante) tuvo mejores resultados, se optó por volver a realizar el proceso acotando la dosis de coagulante, esta vez se dispusieron 4 jarras con 20, 25, 30, 35 ml de coagulante respectivamente (*Figura 4*), y

nuevamente 1 ml de ayudante en cada una de ellas fue así como se recolectaron los siguientes datos.



Figura 4. Prueba 2. Test de Jarras

En esta prueba se evidenció formación de flocs a simple vista, en las Jarras 2, 3 y 4. Un indicativo a simple vista agradable para los resultados esperados. Pasados 15 minutos la jarra con 25 ml de coagulante, presento mayor sedimentación por lo que se tomó esta como la muestra final a analizar.

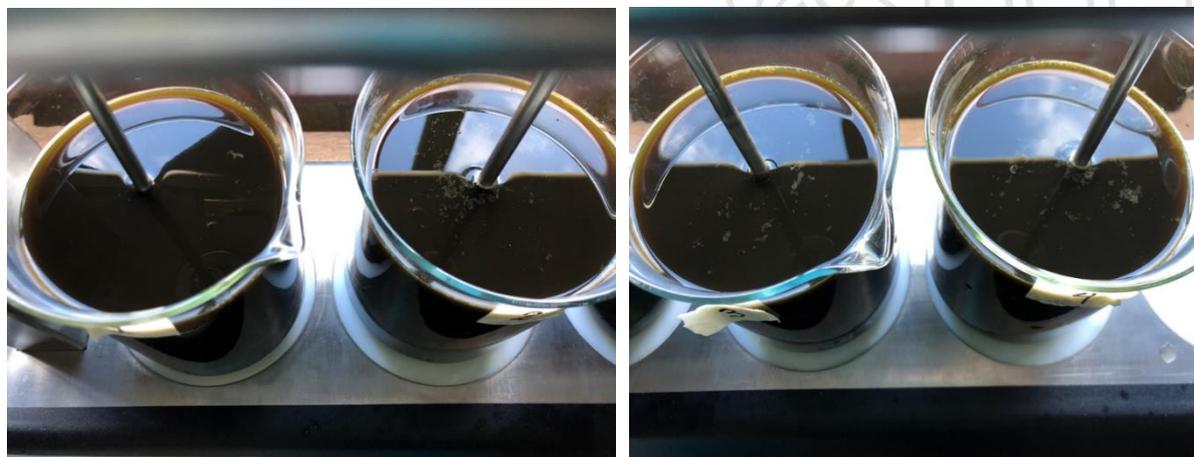


Figura 5. Prueba 2. Sedimentación de las muestras

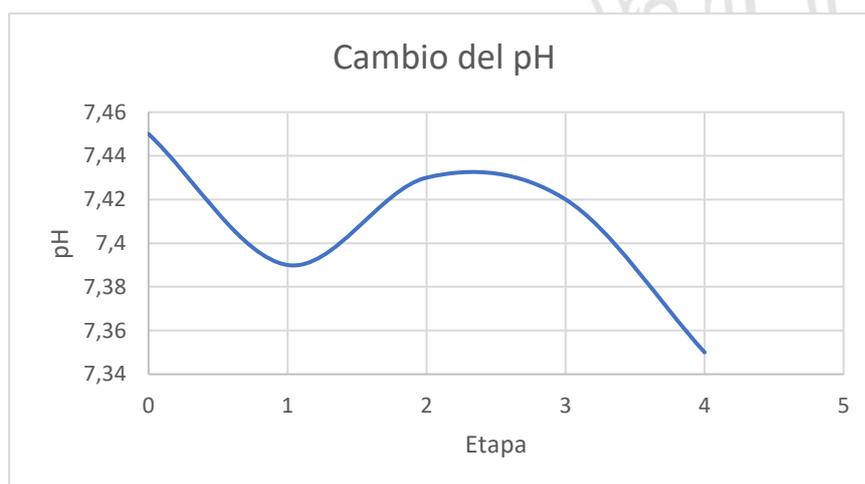
Una vez llevada la muestra de la Jarra 2 al cono Imhoff, con el fin de llevarle control de la cantidad de sedimento generado después del proceso, se pudo ver que existían 100 ml de sedimentación, lo que se conoce como lodos residuales. Un resultado muy eficiente para este proceso.



Figura 6. Prueba 2. Medición de sedimentación en cono Imhoff

Para analizar el comportamiento de este nuevo sistema, se analizaron nuevamente los factores por separado de cada jarra. Todas las jarras en este factor tuvieron una disminución respecto al valor inicial, empezando por la Jarra 1 con un 0,80% menos, seguida la Jarra 2 con una disminución de 0,26%, la Jarra 3 alcanzó una disminución de 0,40%. Finalmente, la Jarra 4 llegó hasta un valor de 7,35 bajando un 1,34%.

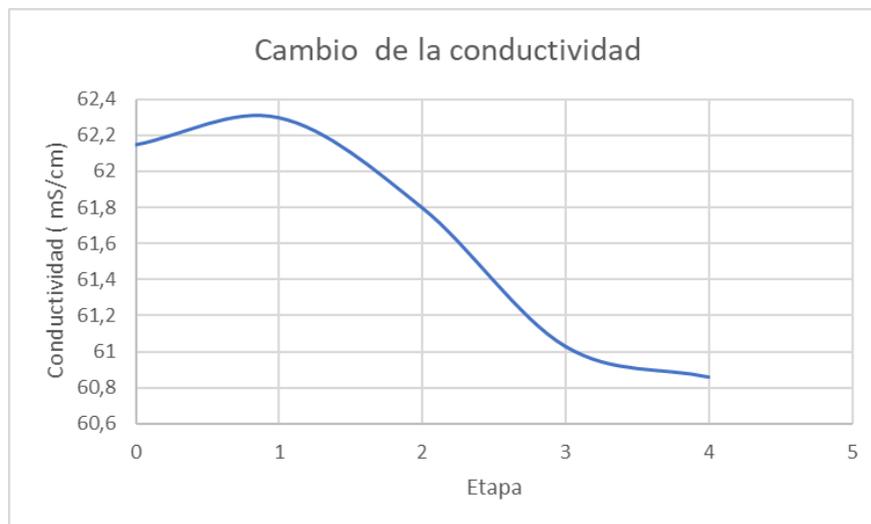
Gráfica 4. Prueba 2, cambio del pH



Aclarando que este es el factor de mayor importancia para la empresa, pues va ligado a la eficiencia y al adecuado funcionamiento de la planta, siempre hay que hacer énfasis en este análisis. Así como en la primera prueba, en esta también es notorio el cambio que se ve en la baja de la conductividad, en la Jarra 1 incrementó este factor en un 0,08%, pero en el resto de las jarras consecutivamente hubo descenso de la conductividad, en la Jarra 2 bajo un 0.56%,

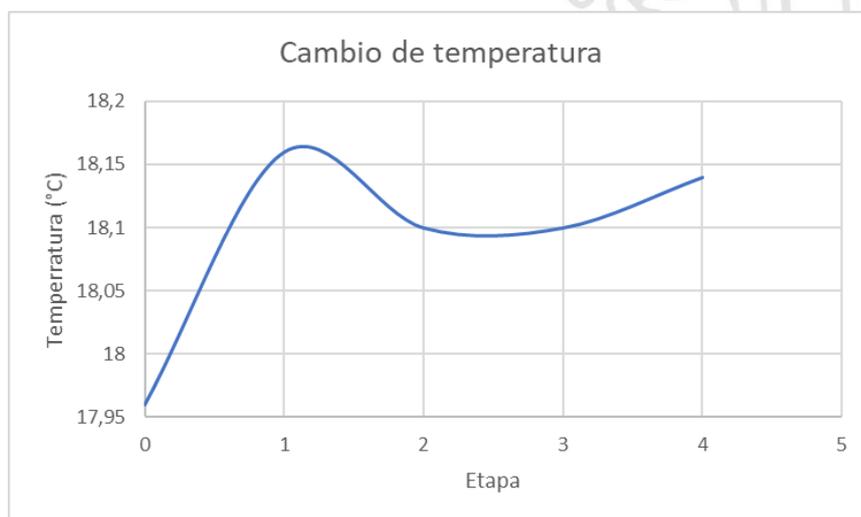
seguida la Jarra 3 llegó a disminuir un 1,8% y, por último, la Jarra 4 alcanzó a bajar hasta un 2,07%. El índice de disminución es mucho más alto en este experimento que en el primero.

Gráfica 5. Prueba 2, cambio de la conductividad

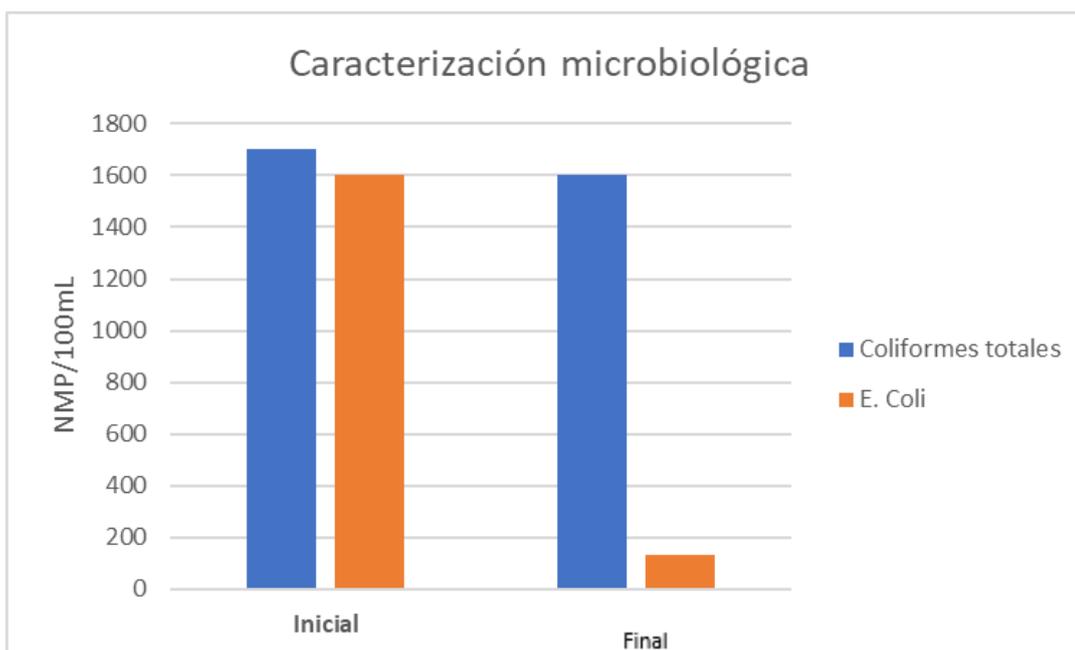


En esta segunda experimentación todas las jarras tuvieron un incremento en la temperatura, sin superar el límite aceptable para la ósmosis inversa. Empezó la Jarra 1 con un 1,11% más, seguido de ellas las demás con: 0,77%, 0,77% y 1,002.

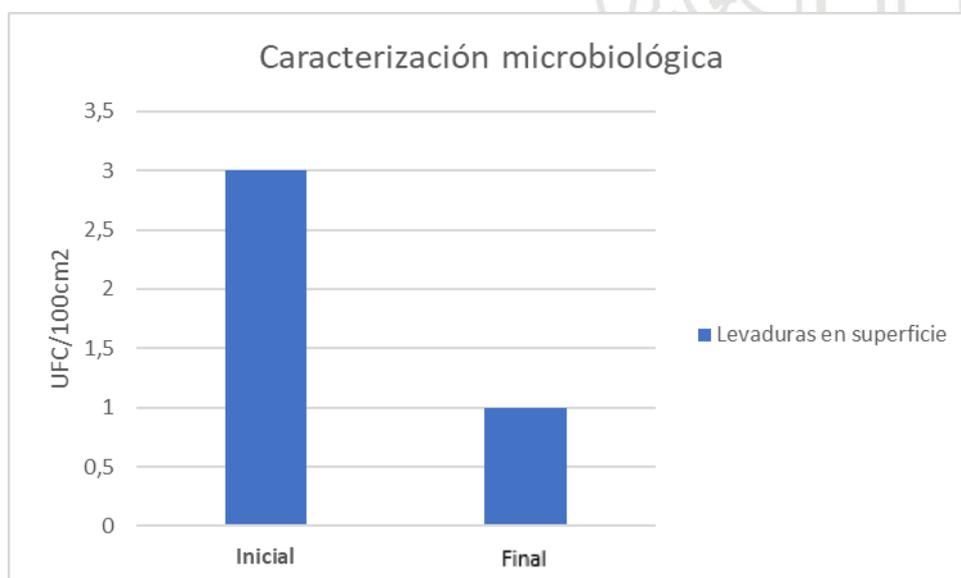
Gráfica 6. Prueba 2, cambio de la temperatura



Tanto el concentrado sin tratar (inicial) como el tratado (final) recibieron una previa caracterización sobre los coliformes totales, entre los resultados obtenidos se pudo evidenciar que la carga de estos era muy alta, pues el concentrado inicial tenía más de 1700 NMP y pasado el proceso de test de jarras se llegó hasta un límite de 1600 NMP, reduciendo alrededor de un 5,9% de esta carga microbiológica. En cuanto a los coliformes termo-tolerantes, especialmente *E. Coli*, se pudo evidenciar una reducción del 91,9 % respecto al valor inicial.

Gráfica 7. Caracterización microbiológica

Las levaduras en superficie que se pudieron identificar en la muestra inicial tuvieron un rango de 3 UFC, pasado el procedimiento disminuyeron estas colonias a 1, permitiendo una reducción del 66,7%.

Gráfica 8. Caracterización microbiológica

También se buscó caracterizar la *Pseudomona aeruginosa* y Mohos en superficie, pero de ninguna de estas dos especies se logró tener presencia, lo cual permite descartar que en este concentrado exista alguno de estos dos microorganismos, ni como es su reacción con el coagulante utilizado.

Una vez finalizado esta prueba de jarras se pudo evidenciar que, si es posible la remoción de lodos, lo que garantiza que hay un residuo de utilidad que puede disminuir gastos en la entidad, pues no se tendrá que contratar una empresa para que lo disponga, sino que se le puede dar un reuso, es por tal motivo que se establece el posible aprovechamiento que se le puede dar a los lodos.

Sugiriendo una alternativa razonable y viable para la empresa, enfoqué la investigación en el aprovechamiento de los lodos para generación de biogás, debido a que en esta empresa se implementa dentro de sus actividades laborales, el uso de biodigestores para producción de biogás, pero estos son alimentados con estiércol bovino o residuos orgánicos. Es por este motivo que me basé en el estudio sobre "Biogás a partir de lodos producidos en la Planta de Tratamiento de Aguas residuales del distrito de Comas 2019" realizado por Chuck Brian y acompañantes para plantear una metodología para el aprovechamiento de estos lodos.

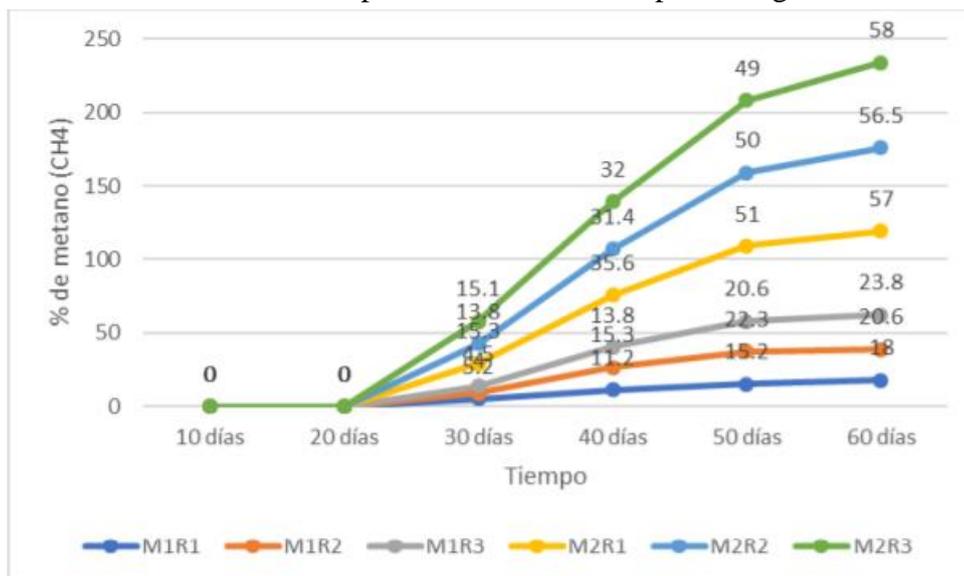
Inicialmente para el desarrollo de esta investigación se recolectó 11.7 Kg de lodo del proceso primario anaeróbico de la planta de tratamiento, para su análisis físicoquímico y microbiológico; luego se llevó a 6 biodigestores con una capacidad de 20 litros, en los cuales se colocaron dos tipos de muestras con 3 repeticiones cada una. En los primeros tres biodigestores se empleó 1.7 Kg de lodos para cada digestor, en los tres siguientes biodigestores se empleó 1.2 Kg de lodos más 500 gramos de vegetales (cáscara de papa + hojas de betarraga, ambos picados finamente); se inició el proceso anaeróbico por un período de duración de 60 días.

Las mediciones de los porcentajes de CH₄, CO₂, y O₂ se realizaron cada 10 días, con una agitación manual cada 5 días, la temperatura promedio en la que operaron los biodigestores fue de 19°C. En los tres últimos biodigestores se observó la producción de biogás, el cual se comprobó mediante prueba de llamas, y la composición de CH₄ y CO₂, que resultaron como óptimo con un 57% y 35.2 % respectivamente.



Figura 8: Digestión anaeróbica de lodos

Con ayuda de la gráfica g se puede concluir que las 3 muestras que tuvieron codigestión (lodos + residuos vegetales) fueron las que mejores resultados en cuanto a producción de metano tuvieron. La muestra M2R3 alcanzó su máxima producción fue 58% de metano en un período de 60 días. La curva indica que la producción de metano fue lenta hasta los primeros 30 días, sin embargo, a lo largo del proceso se incrementó hasta el día 60. [15]

Grafica 9. Curva de producción de metano por biodigestor

Fuente: “Biogás a partir de lodos producidos en la Planta de Tratamiento de Aguas residuales del distrito de Comas 2019”

Los resultados obtenidos en este estudio fueron gratificantes, pues después de determinar las características microbiológicas de los lodos para la producción de biogás; se destacó que la presencia de coliformes totales y fecales en altas concentraciones, genera una rápida fermentación de la lactosa con producción de gas. De acuerdo con ello, se concluye que la mayor concentración de coliformes totales y fecales, actúan como catalizadores acelerando los procesos de biodigestión, principalmente la primera etapa.

Para estudiar la disponibilidad de los lodos generados en las PTAR ubicadas en el sector nacional, como soporte para la viabilidad del proceso, se realizó una investigación de la cual se pudo obtener la siguiente tabla, en ella se ve reflejada la producción toneladas año de los lodos.

Tabla 4. Lodos PTAR

Sector	Residuo	Subproductos	Residuo t/año	Ciudad	Producción residuo t/año	Potencial teórico de biogás (TJ/año)	Potencial factible de biogás (TJ/año)
Lodos PTAR	Lodos	Energía, fertilizante orgánico y material de construcción	19.422.647	Agua Residual m3/s		1.420	2.355
				Bogotá	16,5		
				Medellín	5,1		
				Cali	4,9		
				Barramquilla	2,5		
				Cartagena	2		
				Cúcuta	1,3		
				Soledad	1,3		
				Ibagué	1,1		
				Bucaramanga	1,1		
Soacha	1,1						

Fuente: Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia 2010

4 Conclusiones

- De acuerdo con los resultados obtenidos en el test de jarras, se evidenció que la concentración de coagulante óptima para la muestra a tratar fue de 25 ml generando en el proceso una remoción de 100 ml de lodo residual.
- Una vez sedimentada la Jarra 2 de la segunda prueba, se pudo concretar que este proceso a gran escala puede generar gran cantidad de remoción de lodos, lo que permitirá disminuir costos para su disposición, ya que se le podrá dar un uso a estos lodos, en esta empresa en específico es recomendado darle un reúso de digestión anaerobio para la generación de biogás.
- El sistema de flotación por aire disuelto está en proceso de ejecución, para este se recibió toda la asesoría necesaria para que este sistema cumpliera con el estándar deseado por la empresa C-deg, así mismo, este sistema se pensó como un pretratamiento para el efluente a tratar en la ósmosis inversa, pues mediante el test de jarras que se considera como el sistema FAD a escala laboratorio, se evidenció gracias a este que se pueden remover cierta cantidad de sólidos presentes en el agua residual, lo que permite un mejor rendimiento de las membranas, así mismo, dentro del proceso de investigación se encontró que los coagulantes químicos pueden causar daños en las membranas, por lo que se inició un proceso de investigación de coagulantes naturales que estén libres de metales.
- Las condiciones operacionales que favorecen el proceso de ósmosis inversa son: para el pH un rango entre (7-7,5) y para la conductividad entre 19 mS y 40 mS. Con relación a la segunda prueba y a la Jarra dos que fue la que mayor remoción de sedimentación presentó, la conductividad en ella aún es un factor importante para tratar, pues finalmente esta quedó en 61,8 mS.
- Después del proceso, *E. Coli* fue el microorganismo que presentó mayor disminución de presencia en la muestra, pues inicialmente presentaba 1600 NMP y tras el procedimiento alcanzó 130 NMP.

5. Recomendaciones

Debido a diferentes dificultades que se presentaron en la práctica, no se pudo realizar una caracterización microbiológica de las muestras estudiadas, es por tal motivo que se recomienda a futuros ingenieros, la realización de una oportuna caracterización de microorganismos que están presentes tanto en la muestra sin tratar como en la muestra final. Se recomienda utilizar 4 medios de cultivos diferentes; con el medio de cultivo PDA se busca generar el crecimiento de hongos y levaduras, para el crecimiento e identificación de *Escherichia coli* se puede utilizar el medio Levine (EMB) BAM, para las bacterias lácticas es posible utilizar el medio de cultivo MRS, finalmente para la propagación de hongos se aconseja utilizar el medio Sabouraud.

Otra de las recomendaciones que se sugiere para el proceso de pretratamiento (test de jarras) es el ensayo de coagulantes naturales, ya que estos se consideran una fuente alternativa con un gran potencial, debido a que son biodegradables y no generan daños al medio ambiente en comparación con coagulantes inorgánicos y polímeros sintéticos En su mayoría son de origen

vegetal, con presencia de agentes coagulantes activos como carbohidratos, taninos y proteínas. Algunas de las ventajas que estos presentan son:

- Con el uso de coagulantes naturales los flóculos se forman en la mezcla rápida, aumentando el volumen de agua tratada y se obtienen flóculos más consistentes, por lo tanto, gradientes altos de velocidad de floculación.
- Los coagulantes naturales se obtienen a partir de los subproductos de alimentos consumidos por la población, como cascara de frutas, tallos, semillas y hojas de plantas, reduciendo la generación de residuos orgánicos. “El elemento que se extrae de los subproductos es comúnmente llamado mucilago”
- Los lodos generados por el uso de coagulantes naturales son biodegradables, no son tóxicos y se generan en menor volumen en comparación con los coagulantes convencionales, facilitando su disposición final, sin dejar de lado la reducción de costos por la recolección y disposición final de lodos.
- Los coagulantes naturales no tienen efecto significativo en la disminución del pH del agua tratada, evitando costos para la neutralización del pH, ya que el uso de coagulantes químicos generalmente viene acompañado con la disminución del pH y la posterior neutralización de este. Los coagulantes naturales son eficientes como coadyuvantes de coagulación, reduciendo la dosis de coagulantes inorgánicos.
- Se debe tener en cuenta que las especies vegetales deben someterse a extracción de sus componentes orgánicos no coagulantes, ya que si se aplica el producto completo (hojas, semillas, etc.) puede aumentarse la concentración de DQO [14].

Como adelanto de investigación se recolectaron una serie de empresas que dentro de su catálogo de productos ofertan coagulantes naturales, estas empresas son:

- Sabinur
- PPE ARGENTINA S.A
- Arquimia S.A.
- SUEZ Water - Agua y tecnologías hídricas
- Chemipol
- Servyeco
- Manathial.

5 Referencias Bibliográficas

[1] Paiva Periche, P. F. (2016). Propuesta de aprovechamiento del biogás obtenido a partir del tratamiento de las aguas residuales generadas en la Empresa Rico Cerdo F&G SAC para su uso como biocombustible en los sistemas de calefacción de las áreas de maternidad. Obtenido de: <https://core.ac.uk/download/pdf/84110368.pdf>

- [2] Quisocala, A., Paul, J., & Pomari Peralta, J. E. (2019). Análisis de métodos y tecnologías de productos de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales. Obtenido de: <https://core.ac.uk/download/pdf/275794547.pdf>
- [3] Fúquene, D. M., & Yate, A. V. (2018). Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales. Documentos de Trabajo ECAPMA, (1). Obtenido de: <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/workpaper/article/view/2771>
- [4] Vera, I. G. C. (2017). Diseño e implementación de un sistema de tratamiento de Aguas residuales. Dominio de las Ciencias, 3(1), 536-560. Obtenido de: <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/workpaper/article/view/2771>
- [5] Hernández, M. L. O., Ruiz, M. E. G., & Salinas, E. S. (1995). Propuesta de manejo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de la ciudad industrial del valle de Cuernavaca, estado de Morelos, México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 11(2), 105-115. Obtenido de: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/30992>
- [6] DAGUER, G. Gestión de biosólidos en Colombia. En: Congreso internacional ACODAL sociedad, ambiente y futuro. (29-31, octubre: Colombia). Memorias. Santiago de Cali. 2003.
- [7] García, O. N. (2006). Lodos residuales: estabilización y manejo. Caos conciencia, 1(1), 51-58. Obtenido de: http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006_Vol_1/Num_1/NO_Vol_I_21-30_2006.pdf
- [8] Di Martino, P. (2018). Bacterial adherence: much more than a bond. AIMS microbiology, 4(3), 563. Obtenido de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6604948/>
- [9] Dunne, W. M. (2002). Bacterial adhesion: seen any good biofilms lately. Clinical microbiology reviews, 15(2), 155-166 Obtenido de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC118072/>
- [10] Enríquez Niquinga, M. C. (2016). Elaboración y evaluación de un medio de cultivo sólido a partir de quinua, *Chenopodium quinoa*, para la producción del hongo *Lentinus* spp (Bachelor's thesis, Quito: UCE). Obtenido de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/8014/1/T-UC-0017-0038-2016.pdf>
- [11] Garcia, Q. (2014). *Número más probable (NMP)*. Obtenido de: <http://microbiologia3bequipo5.blogspot.com/2014/10/numero-mas-probable-nmp.html>
- [12] Técnicas y tipos de sembrado en placa y tubo. Obtenido de: <https://labdemicrobiologia.wixsite.com/scientist-site/t-cnicas-y-tipos-de-sembrado>

[13] Environmental Protection Agency. (2001). *Method 1605: Aeromonas in Finished Water by Membrane Filtration using Ampicillin-Dextrin Agar with Vancomycin (ADA-V)* . Obtenido de: Method 1605: Aeromonas in Finished Water by Membrane Filtration using Ampicillin-Dextrin Agar with Vancomycin (ADA-V) (epa.gov)

[14] Castellanos Pinzón, F. L. (2000). Revisión del uso de coagulantes naturales en el proceso de clarificación del agua en Colombia. Obtenido de: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/17102/CastellanosPinzonFredyLeonardo2017.pdf?sequence=1>

[15] Castro Abregú, C. B., & Flores Brusil, J. E. D. (2019). Biogás a partir de lodos producidos en la Planta de Tratamiento de Aguas residuales del distrito de Comas 2019. Obtenido de: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/42516>

