



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE RELLENOS SANITARIOS CON
COAGULANTES NATURALES – FLOCULACIÓN SOSTENIBLE

HELVERTH CALDERÓN CUADROS 1098131775: INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

INGENIERIA CIVIL

JULIO DE 2021



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE RELLENOS SANITARIOS CON
COAGULANTES NATURALES – FLOCULACIÓN SOSTENIBLE

AUTORES:

HELVERTH CALDERÓN CUADROS 1098131775: INGENIERÍA CIVIL

PRESENTADO PARA OBTENER EL TITULO: INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR

ING. JULIO ISAAC MALDONADO MALDONADO

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

INGENIERIA CIVIL

JULIO DE 2021



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Dedicatoria

Este trabajo de investigación, está dedicado especialmente a mi familia y a Dios que es el cimiento, en el cual están sustentados todos mis sueños.

HELVERTH CALDERON CUADROS



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Agradecimientos

Este trabajo está dedicado especialmente a DIOS que es nuestra fuente de sabiduría e inteligencia.

También a nuestra familia fuente indispensable durante todo el proceso universitario

Y a cada una de esas personas que con el aporte de un granito de arena hizo que llegáramos hasta donde hoy estamos, incluyendo a cada uno de los docentes de nuestra alma mater que la llevamos en nuestro corazón.

HELVERTH CALDERON CUADROS



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Tabla de contenido

	Pag.
Introducción.....	9
1. Planteamiento del problema de investigación.....	11
2. Justificación.....	13
3. Objetivos.....	15
3.1 Objetivo general.....	15
3.2 Objetivos específicos.....	15
4. Marco de referencia.....	16
4.1 Marco Conceptual.....	16
4.1.1 Ph.....	16
4.1.2 Coagulación.....	17
4.1.3 Floculación.....	18
4.1.4 Vertedero de residuos sólidos.....	18
4.1.5 Lixiviados.....	20
4.1.6 DBO ₅	21
4.1.7 DQO.....	21
4.1.8 Coloides.....	22
4.2. Marco teórico.....	24
4.2.1 Composición de un lixiviado.....	24
4.2.2 Tratamiento de lixiviados.....	26
4.2.3 Etapas del tratamiento físico-químico.....	28
4.2.4 Deficiencias en los tratamientos.....	28
4.2.5 Tratamiento físico-químico de lixiviados.....	29
4.2.6 Coagulación – Floculación.....	32



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL

Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



4.2.7 Usos y pasos del proceso de coagulación – floculación.....	32
4.2.8 Condiciones que afectan el proceso de coagulación.	33
4.2.9 Dosis de coagulante.....	34
4.3. Marco legal.....	35
5. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	39
5.1. Moringa Oleífera	39
5.2. Quitosano.	47
5.3. Biocoagulante de hongos del quitosano.....	54
5.4. Cactus.....	58
5.4.1. Métodos analíticos	62
5.4.2 Optimización de la dosis	62
5.5 Eficiencia de floculación en la mezcla de (aloe vera y citrus reticulata)´	63
5.6 Evaluación de la dosis y concentración del almidón de zea mays (maíz) en el proceso de floculación	65
5.7 Cassia obtusifolia.....	66
5.8 Plantago mayor L.	71
5.9 Escamas de pescado.....	75
5.10 Tratamientos combinados	81
6. Discusión-de resultados.....	85
7. Conclusiones.....	93
Referencias	99



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Lista de ilustraciones

	Pag.
Ilustración 1	20
Ilustración 2.	23
Ilustración 3	35
Ilustración 4	40
Ilustración 5	45
Ilustración 6	48
Ilustración 7.	49
Ilustración 8.	58
Ilustración 9	60
Ilustración 10.	67
Ilustración 11.	68
Ilustración 12	72
Ilustración 13.	73



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Lista de tablas

Tabla 1 control y monitoreo de calidad. _____	38
Tabla 2 Composición de lixiviados percolados de un relleno sanitario _____	26
Tabla 3 Tratamientos disponibles para los lixiviados _____	31
Tabla 4 Cantidad de bacterias según la concentración de MO. _____	42
Tabla 5 Resumen de la actividad coagulante y floculante de diferentes especies vegetales en el tratamiento de aguas residuales _____	86



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Introducción

Con la llegada de la revolución industrial, la vida humana cambió drásticamente y el desarrollo de las grandes urbes se vio afectada por un crecimiento poblacional eminente; la demanda de numerosos empleos mejoró la economía de familias que en su mayoría migraron de sus parcelas en los inmensos campos, a las ciudades industrializadas con el fin de mejorar su calidad de vida. Esta gran época industrializada trae consigo una cadena de consumo de productos empacados, como alimentos y prendas de vestir que requieren grandes cantidades de material plástico para su envoltura, la que es desechada por los consumidores; de ahí radica el gran problema ambiental que se ha venido presentando en mayor escala con el transcurso del tiempo y el manejo inadecuado que se les ha dado a esos residuos. (Calderón, H,2021)

Con el fin de contener dichos residuos, las grandes ciudades han ingeniado un depósito que denominaron relleno sanitario, lugar de disposición final de todos los elementos que en nuestros hogares consideramos desechos, son muy pocos los rellenos sanitarios en los que se da una disposición diferente a elementos que se pueden reciclar, en porcentajes muy pequeños. Siempre que un relleno cumple su vida útil, la única solución que se considera es abrir otro debido a la gran producción de CO₂, junto con malos olores, que producen estos focos de contaminación. (Torres,j,2021)



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Hoy en día tenemos los fenómenos de calentamiento global y el efecto invernadero, además de contaminación en nuestras fuentes hídricas producto de lixiviados provenientes de los respectivos rellenos, que se crean con aguas originadas de lluvias, que al mezclarse con los desechos originan corrientes y flujos que van a depositarse en las fuentes hídricas más cercanas, por esta y muchas razones más, la ingeniería civil, junto con la ingeniería ambiental y sanitaria, se han encargado de crear sistemas de tratamientos para estas agua residuales; más específicamente de los lixiviados.(Calderon,h,2021)

Los lixiviados pueden ser tratados mediante dos procesos llamados de coagulación o floculación, para poder remover todos aquellos contaminantes, y así poder devolver un producto a una fuente hídrica natural. Para esto se han consultado diferentes artículos de investigación, que darán a conocer todos los avances que han desarrollado en el tema, junto con beneficios, desventajas y resultados obtenidos. (Calderón, H,2021)

Es muy importante entender el beneficio ambiental y sanitario que conlleva un buen manejo de los lixiviados, de ahí radica el cuidado de especies que tiene su hábitat cerca de afluentes hídricos y que podrían ser afectados drásticamente si se hace un incorrecto tratamiento y vertimiento de lixiviados. (Torres, J,2021)



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



1. Planteamiento del problema de investigación

La contaminación en la actualidad es alarmante, el crecimiento de la agricultura, la población y la industrialización, generan cantidades grandes de desechos sólidos al día siendo causantes de lixiviados, grandes contaminantes de recursos hídricos (Wu, y otros, 2013) y en Colombia la contaminación crece en la medida que la industrialización aumenta, razón para realizar una investigación en torno al tema y dar a conocer las diferentes innovaciones obtenidas sobre coagulantes naturales y floculantes para el tratamiento de lixiviados.

La eliminación de desechos es una acción importante de la gestión integrada de los desechos. El crecimiento exponencial de la población, el urbanismo y el desarrollo económico han llevado a una intensificación de la generación de residuos, lo que hace que la gestión de residuos sea un gran desafío para países de todo el mundo.

En muchos países en desarrollo en América Latina no se reconoce como sector formal al de residuos, por lo tanto, no ha contado hasta ahora con el desarrollo ni el protagonismo necesarios para que el manejo de los residuos tenga prioridad. La falta de un organismo rector líder afecta la disponibilidad de recursos, los procesos de información y la cobertura de los servicios de control de residuos. Por lo tanto, los problemas de gestión de residuos a menudo representan importantes problemas ambientales debido a los presupuestos municipales limitados, y la falta de un manejo eficiente de la descarga y control de lixiviados. Ya que con base en los conocimientos con que se cuenta en la actualidad, los volúmenes de lixiviados



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



deberían estar de acuerdo con el grado que posea el relleno en lo que respecta a su compactación en cuanto a: Rellenos que han sido compactados a través de compactadores: con un porcentaje de 25% con respecto a la tasa de precipitación anualizada (alrededor de 5 m³/ha/d para el caso de 750 mm de precipitación anual), Rellenos que han sido compactados por medio de orugas: 40% de la tasa de precipitación anual (poco más o menos 9 m³/ha/d para el caso de 750 mm de precipitación cada año), situación que no se ha venido cumpliendo (Tenodi, y otros, 2020),

En la actualidad Colombia no ha sido inmune a la problemática ambiental que generan los rellenos sanitarios, por esta razón ~~es que~~ este estudio se enfoca en investigar un poco más a fondo el manejo de lixiviados que se generan en estos ambientes de contaminación.

Teniendo en cuenta el problema planteado, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué elementos de tipo natural, se están experimentando para ser usados como coagulantes y floculantes en lo que respecta a los sistemas que son utilizados para el tratamiento de lixiviados en rellenos sanitarios? ¿Cuáles son sus características y ventajas?



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



2. Justificación

Muchos países enfrentan serios problemas con la gestión de desechos sólidos debido a la creciente cantidad de desechos orgánicos y la eliminación común en vertederos abiertos. La producción de una gran cantidad de lixiviados de vertederos como aguas residuales contaminadas puede llegar al medio ambiente circundante, lo que puede contaminar los recursos hídricos naturales (Ittisupornrat, Phetrak, Theepharaksapan, Mhuantong, & Tobino, 2021).

Más recientemente, también se ha informado que el lixiviado de vertedero es una fuente importante de sustancias perfluoroalquílicas y polifluoroalquilo (PFAS) en el medio ambiente. Las (PFAS) son un grupo de contaminantes emergentes que ha atraído la atención en todo el mundo debido a la distribución ubicua, persistencia ambiental y severos impactos en el ecosistema y la salud humana (por ejemplo, cáncer, debilitamiento del sistema inmunológico y alteración de la hormona tiroidea). Las concentraciones de las PFAS informadas anteriormente en el lixiviado de vertederos oscilaron entre 5,1 y 298,559 ng / L en todo el mundo. (Feng, Song, & Mo, 2021).

La composición de los lixiviados es muy variable dependiendo principalmente del tipo de residuo en el relleno sanitario, la edad del relleno sanitario, las condiciones climáticas y las características geoquímicas del sitio del relleno sanitario. Estos efluentes complejos se caracterizan por un color oscuro, mal olor y valores significativos de demanda química de



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



oxígeno (DQO), amoníaco-nitrógeno y metales pesados (Catarina, Catarina, Mota, Gouveia, & Gonçalves, 2021).

Por todos esos contaminantes que están conformando a compuesto un lixiviado, es que se requiere mejorar los sistemas de tratamiento, contribuyendo con el medio ambiente. Por lo tanto en este trabajo investigativo se realiza una recopilación de información reciente, relacionada con coagulantes y floculantes naturales que se están estudiando y que muy probablemente remplazaran los productos sintéticos o químicos, que se usan con mayor frecuencia.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Seleccionar y recopilar información científica de diferentes fuentes de investigación bibliográfica, en torno a los coagulantes naturales y floculantes utilizados para la descontaminación de lixiviados.

3.2 Objetivos específicos

- Investigar los diferentes coagulantes naturales y floculantes utilizados en los últimos años para realizar la descontaminación de lixiviados.
- Definir los procesos utilizados y adelantos en coagulantes naturales y floculantes según la bibliografía consultada.
- Identificar en diferentes artículos bibliográficos la efectividad de los coagulantes naturales y floculantes utilizados en lixiviados
- Elaborar el documento producto de la revisión bibliográfica.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



4. Marco de referencia

4.1 Marco Conceptual.

4.1.1 Ph.

Es una unidad de medida de alcalinidad o acidez de una solución, el pH mide la cantidad de iones de hidrógeno que contiene una solución determinada, el PH es una manera práctica de manejar cifras de alcalinidad, en lugar de otros métodos un poco más complicados. Este se mide de manera precisa a través de la utilización de una herramienta conocida como pH-metro, aparato diseñado para medir la diferencia de potencial entre un par de electrolitos (Cultura Científica, 2019).

La escala del PH puede variar según su potencial de hidrogeniones que está enumerada del 1 al 14, si esta sustancia se encuentra del 1 al 6 nos puede indicar que es ácida, si está en el 7 su valor es neutro, pero si está entre los valores del 8 al 14 la sustancia es alcalina. Para medir el PH se utilizan tres tipos de indicadores, indicadores líquidos, papeles indicadores y el PH-metros.

Los indicadores líquidos nos ayudan a descifrar por cambios de color, en sustancias incoloras ya que así se puede observar el cambio y saber su pH. Los pH-metros surgen en los laboratorios, son utilizados para generar los valores exactos de este parámetro. Los papeles



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



indicadores están hechos de papel tornasol, que al entrar en contacto con la solución se puede tornar de color azul o rojo lo que nos indica el pH de la solución que puede ser líquida o gaseosa.

4.1.2 Coagulación.

La coagulación es un proceso fisicoquímico que se utiliza a menudo para eliminar la turbidez y el color de los materiales que suelen ser de naturaleza coloidal (1 a 200 μm). Se han utilizado coagulantes tanto orgánicos como inorgánicos. El tiempo óptimo para una mezcla rápida a menudo se logra en pocos minutos. El mezclado rápido es seguido frecuentemente por floculación por lo que tiene lugar la aglomeración de partículas turbias sedimentadas en flóculos más grandes. Luego, los flóculos se sedimentan y eliminan los contaminantes del lodo. La coagulación se lleva a cabo a menudo utilizando productos químicos como cloruro férrico, sulfato ferroso, sulfato férrico, alumbre, cal, polímeros o una combinación de estos productos químicos. A veces se utiliza una combinación de procesos de coagulación y adsorción (Cabrera, Fleites, & Contreras, 2009).

La coagulación elimina siempre la cantidad de partículas, sin importar el peso, la densidad o su origen y se puede tener dos tipos: Coagulación por adsorción donde el recurso contiene una gran concentración de partículas coloides, se adiciona el químico coagulante que absorben la sustancia y generan floculos de manera inmediata, y el otro tipo es por barrido, cuando el recurso posee una baja concentración de partículas.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



4.1.3 Floculación.

Este es un proceso químico utilizado para el tratamiento del agua, utilizado mediante un proceso físico que puede hacerse mediante dos tipos de tratamiento sedimentación o filtración, así pudiendo mejorar la eliminación de partículas. El proceso que consiste en la agitación de la masa coagulada, que se realiza para lograr el crecimiento de los flóculos formados con la finalidad de poder remover de forma efectiva. Se puede realizar mediante métodos pericínética en el cual se aplica a las partículas más pequeñas y la ortocinética se aplica en diferentes velocidades y direcciones.

La floculación, en definitiva, supone una agregación de partículas. De este modo muchas partículas de tamaño pequeño se aglutinan para dar lugar a grandes grumos conocidos como flóculos. Es habitual que la floculación se lleve a cabo en el marco del tratamiento y la potabilización del agua. Por lo general se impulsa la coagulación, la floculación y la sedimentación para permitir el filtrado de residuos e impurezas (Nihon kasettsu, 2020).

4.1.4 Vertedero de residuos sólidos

Son lugares preparados para verter residuos, basuras o escombros, pero antes de realizar estas prácticas la zona es preparada para poder realizar el almacenaje de desechos, el terreno tiene que pasar por un procedimiento necesario en el que se utilizan diferentes tipos de máquinas que ayudan a realizar un revestimiento artificial que nos permiten evitar que todas estas basuras



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



y residuos contaminen el suelo, por lo general los vertederos deben estar en ubicaciones alejadas de zonas habitadas, aguas potables, entre otros.

Todos los residuos que llegan a este lugar, son depositados al aire libre, donde se compactan por medio de equipos móviles cuya función es hacer que estos residuos ocupen el menor espacio posible, para poder generar una capa de tierra encima de estos residuos con el fin de que queden enterrados y comience su descomposición, aunque después de muchos estudios y pruebas realizadas estos residuos tardan décadas y siglos en descomponerse, debido a las condiciones de los vertederos (Tecpa, 2020).

Según las fuentes de información e investigaciones, los vertederos son los responsables de la mayor contaminación en el planeta ya que estos generan cantidades inmensas de gases de invernadero por año, como por ejemplo el gas metano y dióxido de carbono, gases causantes del aumento de temperatura en el planeta.

Por otra parte, los vertederos son responsables en muchas ocasiones de la contaminación de suelos y aguas subterráneas por medio de los lixiviados que estos producen por medio de la acumulación de residuos.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Ilustración 1

Vertedero de residuos



Fuente: Vertederos, un grave problema para el medio ambiente. Disponible en: <https://www.ambientum.com/ambientum/residuos/vertederos-un-grave-problema-para-el-medio-ambiente.asp>. 2020.

4.1.5 Lixiviados

son líquidos percolados, provenientes de la descomposición y estabilización de la basura dispuesta en los rellenos sanitarios y que se suman a la lluvia que se infiltra a través de los intersticios de las celdas de residuos y al mismo contenido de humedad original de estos. Cuando estos líquidos o lixiviados se abren paso infiltrándose entre las basuras, se presentan reacciones y procesos fisicoquímicos y microbiológicos que generan una gran cantidad de altos contaminantes con presencia de materia orgánica recalcitrante y sustancias inorgánicas que incluyen metales pesados, nitrógeno amoniacal y elevadas cargas de cloruros, cuyos rangos de concentraciones dependerán, principalmente, de la edad, el pH, la temperatura, la fase de



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



estabilización en la que se encuentren los desechos confinados y las características propias de los residuos depositados, (Lozano, 2012).

4.1.6 DBO₅.

Es la demanda bioquímica de oxígeno que tiene un agua, podemos decir que es la cantidad de oxígeno que bacteria, hongos y plancton, consumen mientras ocurren los procesos de degradación de las sustancias orgánicas que se encuentran en la muestra, para realizar este proceso es necesario realizar un proceso cuidadoso y delicado, ya que este proceso puede tardar bastante tiempo y se hace mediante unos procesos de descomposición el cual depende de la temperatura. Este proceso es realizado durante cinco días en los que esta muestra se mantiene a una temperatura constante de veinte grados centígrados, este proceso es delicado y se debe seguir adecuadamente y mantener la temperatura, podemos añadir que entre mayor sea la contaminación en la sustancia a tratar, mayor será la cantidad de DBO en esta (Carranza, 2013).

4.1.7 DQO

Es la demanda química de oxígeno en el agua, su proceso se basa en utilizar una cantidad de oxígeno suficiente para oxidar la materia orgánica, se realiza mediante la ayuda de químicos, convirtiéndola en dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O), si el porcentaje de DQO es muy elevado el grado de contaminación en el agua es mayor, esta prueba es corta y se realiza en tan solo tres horas por lo que el resultado es mucho más rápido que la prueba del DBO. Un dato muy importante y tras realizar un estudio la DQO en aguas industriales puede obtener valores



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



de 2000 mg O₂/l, teniendo en cuenta que este valor no es constante, este depende y varía según el tipo de industria a la que se le realice el procedimiento.

Tras varios estudios realizados en industrias, se puede decir que las pruebas de DBO Y DQO tienen resultados diferentes, el DBO solo detecta el material orgánico degradado biológicamente presente en la muestra o sustancia, mientras que el DQO busca la oxidación completa lo que nos dice que esta prueba oxida tanto el material orgánico, como el material biodegradable y no biodegradable. Las pruebas de DBO y DQO se expresan en miligramos de oxígeno diatómico por litro y miden el grado de contaminación (IDEAM, 2007).

4.1.8 Coloides.

Estas partículas son las responsables de la turbidez del agua y de su color superficial, añadiendo así que son de diámetro muy bajo tanto que pueden tener diámetros entre 1nm y 1µm, para realizar la eliminación de estas partículas en el agua es necesario aplicar los métodos de coagulación y floculación.

Los coloides son partículas de diferentes clases, los hidrofóbicos son responsables de la coloración del agua y tienen un origen orgánico, generando partes electronegativas que crean enlaces de hidrogeno con las moléculas de agua, generando estabilización. Por otra parte, tenemos coloides hidrofílicos los cuales tienen un origen mineral, su mayor característica es que sus cargas negativas están ubicadas en la superficie del agua lo cual hace que la aglomeración sea imposible (Lozano, 2005). Para realizar una buena eliminación de coloides



SC-CER96940



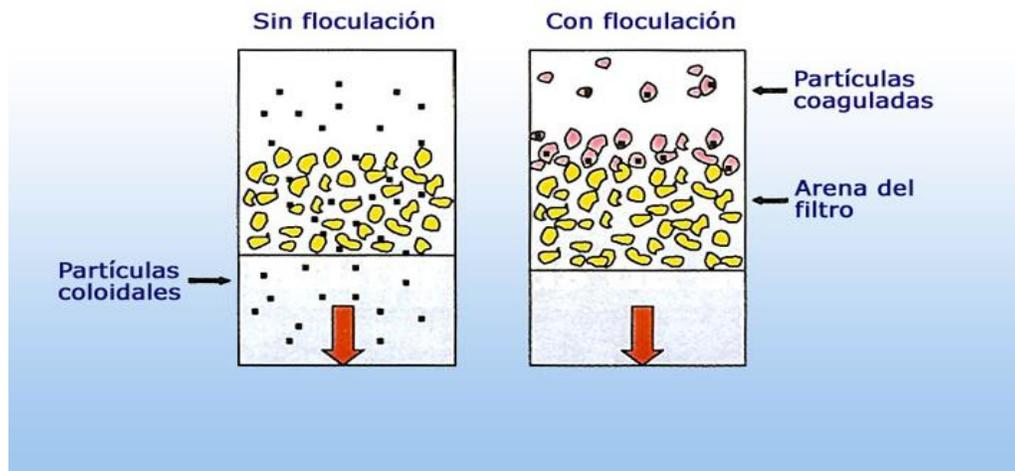
"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750

en el agua es necesario realizar un proceso coagulante en el cual el agente coagulante desestabiliza la carga electrostática coloidal promoviendo así que estas partículas generen aglomeración para dar paso al proceso de floculación.

Ilustración 2.

Principios de la floculación:



Fuente: Tratamiento Primario del Agua y Aguas Residuales – Sistema de Coagulación y Floculación. Disponible en:

<https://spenagroup.com/tratamiento-primario-del-agua-aguas-residuales-sistema-coagulacion-floculacion>. 2020



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



4.2. Marco teórico

4.2.1 Composición de un lixiviado.

Tal como se ha mencionado, el lixiviado es un líquido que percola a través de los residuos sólidos depositados y que extrae sólidos disueltos o suspendidos materiales a partir de ellos. El lixiviado está formado por la mezcla de las aguas de lluvia infiltradas en el depósito y otros productos y compuestos procedentes de los procesos de degradación de los residuos. Por lo general, los lixiviados de Relleno Sanitario contienen una alta concentración de materia orgánica, sólidos suspendidos totales, alto contenido de nitrógeno y fósforo, y bajas concentraciones de metales pesados (Emgirs, 2020).

Además, los lixiviados pueden tener diferentes tipos de compuestos un estudio realizado por el centro de investigación de materiales avanzados en México, dice que más de 200 compuestos orgánicos han sido detectados en los lixiviado, realizando una buena identificación de estos se pudieron clasificar en varios tipos de compuestos entre esos en hidrocarburos cíclicos, hidrocarburos aromáticos, bencenos, alcoholes, éteres cíclicos, ácidos y esteres, fenoles, lantanos y furanos, compuestos que contienen nitrógeno, fósforo, sulfuro y sílice, y trazas inidentificables (Chavez, 2011).

Entre los compuestos mencionados están sustancias reconocidas por su capacidad contaminante, entre las que se encuentran el tolueno, etilbenceno, xilano, estireno, naftaleno, pireno, entre otras (FAO, 2019).



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Los lixiviados que se han formado por la degradación de desechos sólidos varían ampliamente en términos de composición. Por otra parte, el riesgo de obtener un lixiviado concentrado depende de una serie de factores que controlan su cantidad y calidad, tales como la percolación del agua a través de los desechos, los procesos bioquímicos en la célula desechos y el grado de desechos compactación (Abbas, Jingsong, Ping, Ya, & Al-Rekabi, 2009). Por lo general, los estudios realizados en los diferentes rellenos sanitarios indican que los parámetros de estos varían según la edad del relleno sanitario. Por ejemplo, el lixiviado joven (1 a 2 años) se caracteriza por una alta fracción orgánica de peso molecular relativamente bajo, como ácidos orgánicos volátiles, alta DQO, carbono orgánico total (COT), DBO_5 y $DBO_5 / DQO > 0,6$ (Umar et al. 2010).

Por el contrario, el lixiviado antiguo (> 10 años) se caracteriza por una demanda química de oxígeno (DQO) relativamente baja (<4.000 mg / L), ligeramente básica ($pH > 7,5$) y baja biodegradabilidad ($DBO_5 / DQO < 0,1$) (Li, y otros, 2010). Aparte de eso, el ácido húmico y fúlvico y el $NH_3 - N$ también se producen en gran medida en esta etapa debido a la descomposición anaeróbica (Bashir, Aziz, & Yusoff, 2011). Después del período de vertido, el contenido de DBO_5 se degradará durante la etapa de estabilización. Por lo tanto, la relación DBO_5 / DQO disminuye con el tiempo porque la parte no biodegradable de la DQO permanece sin cambios en este proceso (Ahmed & Lan, 2012). Alternativamente, el clima, la cobertura del vertedero y el tipo de desechos en el vertedero jugaron un papel importante en la tasa de generación de lixiviados. (Kamaruddin, y otros, 2018).



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



Tabla 1.

Composición de lixiviados percolados de un relleno sanitario

Componentes	Rango (mg/l)
Cloruros	100 - 400
Cobre	0 - 9
Fierro	50 - 600
Flúor	0 - 1
Cadmio	0 - 17
Cromo (VI)	2
Plomo	2
Sodio	200 - 2000
Sulfatos	100 - 1500
Nitratos	5 - 40
Dureza (CaCO ₃)	300 - 10000
DBO	2000 - 30000
DQO	3000 - 45000
pH	5.3 - 8.5

Fuente: sistemas de tratamientos para lixiviados generados en Rellenos sanitarios. Disponible en:

[https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/](https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/.). 2008

4.2.2 Tratamiento de lixiviados.

Cuando se habla de lixiviados es importante tener en cuenta que existen varios tratamientos para estos, entre los más notables y conocidos están los tratamientos primarios como son los procesos fisicoquímicos, donde lo que más enfatiza es la coagulación, proceso por el cual se utilizan productos químicos que tienen la capacidad de reducir el potencial Zeta que es el potencial de atracción de cargas entre partículas, afectando a su estabilidad lo cual favorece su precipitación, disminuyendo la concentración de parámetros como la turbidez, concentración



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



de sólidos, olor, color, Sólidos Disueltos Totales (SDT), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), (Sandoval & Laines, 2013).

En los vertederos se necesita una respectiva caracterización del material o el lixiviado para así realizar, el primer paso que sirve para definir el modelo y la estructura de un sistema de tratamiento efectivo para su adecuado manejo. A continuación, se dará a conocer cinco tratamientos donde se presentan los procesos más tradicionales para el respectivo tratamiento.

1. Tratamiento de lixiviados en el sitio o traslado a la planta central de tratamiento de aguas residuales: laguna de lixiviados y recirculación al cuerpo del vertedero o en superficie, lixiviados combinados con el sistema de alcantarillado doméstico y tratamiento en la planta de tratamiento de aguas residuales.

2. Procesos biológicos: diferentes combinaciones de los procesos aeróbicos y anaeróbicos.

3. Procesos químicos y físicos: oxidación química, adsorción sobre carbón activado, precipitación química, coagulación, floculación, bandas de aire.

4. Procesos de membrana: ósmosis inversa (RO), combinación de membranas con tratamiento biológico (MBR), ultrafiltración (UF), nanofiltración (NF).

5. Procesos térmicos: evaporación. (Serdarevic, , 2017)



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



4.2.3 Etapas del tratamiento físico-químico

Para poder tratar las aguas y aguas residuales se requieren varios tipos de procesos unitarios u operaciones. Estos procesos unitarios (por ejemplo, cribado, pretratamiento químico, coagulación / floculación, filtración, desinfección, adsorción con carbón activado granular, aireación, ósmosis inversa, electrodiálisis, etc.) se combinan para formar un único sistema de tratamiento. El sistema de tratamiento puede contener todos los procesos unitarios o una combinación de cualquiera de ellos. Por lo tanto, una o más de estas operaciones pueden usarse para tratar agua o aguas residuales. Según la naturaleza precisa del tratamiento y la extensión del tratamiento que puede garantizarse mediante un procedimiento de tratamiento particular, los procedimientos de tratamiento de agua y aguas residuales se clasifican en general en métodos de tratamiento primarios, secundarios y terciarios. Tratamiento primario (por ejemplo, cribado, sedimentación previa, y adición química) proporciona un amplio grado de tratamiento y la especificidad es baja. El tratamiento secundario (p. Ej., Coagulación-floculación, filtración, desinfección) proporciona una mayor magnitud de tratamiento y es más específico que el tratamiento primario, mientras que los métodos de tratamiento terciario (p. Ej., Adsorción, ósmosis inversa, etc.) a menudo se aplican cuando hay un grado de tratamiento más alto es necesario y, a menudo, es específico de un contaminante. (Abiola, 2016)

4.2.4 Deficiencias en los tratamientos.

A pesar del estado convencional de las sales metálicas y los polímeros orgánicos sintéticos, se ha atribuido una serie de deficiencias a su uso continuo. Algunas de las deficiencias incluyen



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



- (i) Los altos costos de compra que los hacen inasequibles en la mayor parte del mundo en desarrollo y subdesarrollado.
- (ii) La toxicidad del coagulante primario, el coagulante residual en el agua tratada y los subproductos del coagulante para los seres humanos.
- (iii) La producción de grandes volúmenes de lodos, lo que hace que la manipulación y gestión de lodos sea un gran desafío.
- (iv) La gran influencia en el pH del agua producida, lo que hace necesaria la adición de sustancias químicas auxiliares para la corrección del pH.
 - (v) Los impactos ecotoxicológicos negativos de los lodos que dificultan y dificultan la descarga y gestión de los lodos. Abiola, (2016).

4.2.5 Tratamiento físico-químico de lixiviados.

Los métodos físicos y químicos incluyen extracción por aire, precipitación / coagulación / floculación, procesos de oxidación química, adsorción de carbón activado, procesos de membrana (microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa), intercambio iónico, tratamiento electroquímico y flotación. Estas técnicas se aplican a menudo para eliminar compuestos no biodegradables e indeseables del lixiviado del vertedero. Estos pasos de pretratamiento son útiles, especialmente para lixiviados frescos, antes del tratamiento biológico, o un paso de postratamiento (purificación) para lixiviados parcialmente estabilizados y cuando el proceso de oxidación biológica se ve obstaculizado por la presencia de materiales



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



biorrefractarios. Estos métodos se utilizan junto con los métodos biológicos para mejorar la eficiencia del tratamiento o hacerlos posibles, o para tratar un contaminante específico (Fernández-Alba, y otros, 2016).

Los lixiviados pueden contener niveles elevados de sólidos en suspensión, normalmente asociado a episodios de tormentas en los que las aguas de escorrentía del vertedero arrastran sólidos que acaban en la balsa de lixiviados. Estos niveles de sólidos se concentran en los reactores como consecuencia del proceso de ultrafiltración posterior. Para ello se tienen que realizar purgas habituales y un tratamiento físico-químico para coagular, precipitar y centrifugar esos sólidos, asegurando la calidad del lixiviado a tratar y por lo tanto la capacidad de la instalación.

- a) Coagulación-floculación-precipitación, mediante la adición de reactivos.
- b) Ósmosis inversa, mediante el empleo de membranas semipermeables que separan los lixiviados en dos fracciones. Es un sistema relativamente costoso, debido a la corta duración de los filtros.
- c) Oxidación química. El agente oxidante puede ser gaseoso (ozono), líquido (peróxido de hidrógeno) o sólido (permanganato potásico).
- d) Evaporación. Proceso consistente en la concentración de los contaminantes



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



mediante evaporación y destilación.

e) Adsorción en carbón activo. El material utilizado es carbón activado granular, que se caracteriza por una elevada relación entre su superficie específica y su volumen. Con los pretratamientos adecuados, es capaz de eliminar hasta el 99% de los componentes orgánicos del lixiviado. Su principal inconveniente es su coste de instalación y mantenimiento, que es muy elevado.

f) Arrastre por aire (Air Stripping). Habitualmente se emplea como pre tratamiento para la eliminación del metano y del amoníaco disueltos en el lixiviado (López, 2017).

Tabla 2

Tratamientos disponibles para los lixiviados

Tratamientos Térmicos	Tratamientos Biológicos	Tecnologías de Membranas	Tratamientos Físico-químicos
Secado	Fangos Activos	Ósmosis inversa	Stripping amoníaco
Evaporación	Lechos bacterianos	Ósmosis directas	Carbón activo
Evapocondensación	Biodiscos	Filtración	Procesos avanzados de oxidación
	Lagunaje	Ultrafiltración	Coagulación-floculación

Fuente: Tecnologías de tratamiento aplicadas al manejo de lixiviados. Disponible en: <https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/2020>



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
 Pamplona - Norte de Santander - Colombia
 Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



4.2.6 Coagulación – Floculación.

La coagulación-floculación se considera una solución eficaz y de bajo costo cuando se trata de compuestos específicos en el lixiviado de vertederos. Muchos estudios han informado de la eficacia de las sales tradicionales de aluminio y hierro para tratar los lixiviados de los vertederos. La aplicación de coagulantes metálicos para el tratamiento de lixiviados de vertedero ha sido testigo recientemente de una evolución representada por la aparición de coagulantes híbridos y la combinación in situ con procesos electroquímicos y de oxidación. Por ejemplo, un estudio reciente realizado por Mohd-Salleh et al. descubrió que un compuesto de cloruro de poli aluminio (PAC) y polvo de cáscara de tapioca era eficaz para tratar el lixiviado de los vertederos, (Ilaria, abRaed, Al-JubooriaJuho, & KaljunenaAnna, 2021).

4.2.7 Usos y pasos del proceso de coagulación – floculación.

El proceso de coagulación/floculación (CF) se usa generalmente para remover sólidos suspendidos del agua, ya sea agua que se someterá a proceso de potabilización o agua residual. Las ayudas de coagulación/floculaciones más comunes son: alumbre, cloruro férrico y polímeros de cadena larga. La coagulación consiste en reducir la carga eléctrica de las partículas suspendidas. Las partículas de aguas residuales generalmente están cargadas negativamente. Las cargas eléctricas similares generan fuerzas de repulsión que promueven la suspensión de las partículas. El método de coagulación minimiza la carga negativa, favoreciendo a la incorporación de partículas para establecer micro flóculos. La floculación radica en la



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



adherencia de partículas para constituir flóculos mayores. La sedimentación alcanza la precipitación de sólidos, conteniendo los sólidos causados por la contaminación y los sólidos creados por los químicos. La floculación obedece a la temperatura y el pH presente en el agua. El proceso de CF implica los siguientes aspectos:

i) Mezclado rápido. Igualmente, denominado mezcla flash, en la que los refuerzos de coagulación y floculación y los componentes de ajuste de pH son adicionados a la muestra experimental de agua, y se realiza una mezcla rápida. Por lo tanto, el objeto es diseminar los químicos en el agua, aminorar las fuerzas repelentes entre las partículas, con el fin de admitir la coagulación.

ii) Mezclado lento. Este tipo de mezclado se realiza con una velocidad contenida. Puesto que la finalidad es conservar los elementos de agua mezclados y causar la conformación de flóculos dilatados, es decir floculación.

iii) Sedimentación. El mezclado es interrumpido, para originar la precipitación del flóculo. (Trujillo, y otros, 2014).

4.2.8 Condiciones que afectan el proceso de coagulación.

Identificar la condición óptima de un proceso de coagulación es crucial, ya que utiliza completamente el coagulante agregado para eliminar la mayoría de los contaminantes. Los diferentes coagulantes tienen diferentes condiciones óptimas. Comprender la interacción entre



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



el coagulante y el contaminante es importante para identificar la máxima eficiencia del coagulante, además de minimizar el costo operativo y el volumen de lodos. Varios factores que afectan los procesos de coagulación en el tratamiento de agua y aguas residuales incluyen los tipos de coagulantes, la dosis de coagulante, los procesos de mezcla y las características del agua / aguas residuales a tratar.

4.2.9 Dosis de coagulante.

El efecto de la dosis de coagulante contra la eliminación de contaminantes se puede analizar a través de tres condiciones diferentes, a saber, subdosificación, dosis óptima y sobredosis. La infradosificación puede definirse como una dosis de coagulante insuficiente para adherirse al contaminante existente en las aguas residuales y requerir coagulantes adicionales para lograr una condición óptima. La adición de más coagulantes a las aguas residuales proporcionará sitios de coagulantes más activos para atraer y absorber contaminantes.

Los coagulantes químicos agregados al agua pasarán por el proceso de hidrólisis donde se descompondrán en varios productos de hidrólisis. Estos productos de hidrólisis son responsables de la eliminación exitosa de contaminantes. Un pH diferente producirá diferentes productos de hidrólisis y diferentes productos son efectivos para un mecanismo diferente.

Mientras tanto, el efecto del pH en los coagulantes naturales depende del agente coagulante activo y su mecanismo. Si el agente coagulante activo es una proteína como la semilla de



SC-CER96940



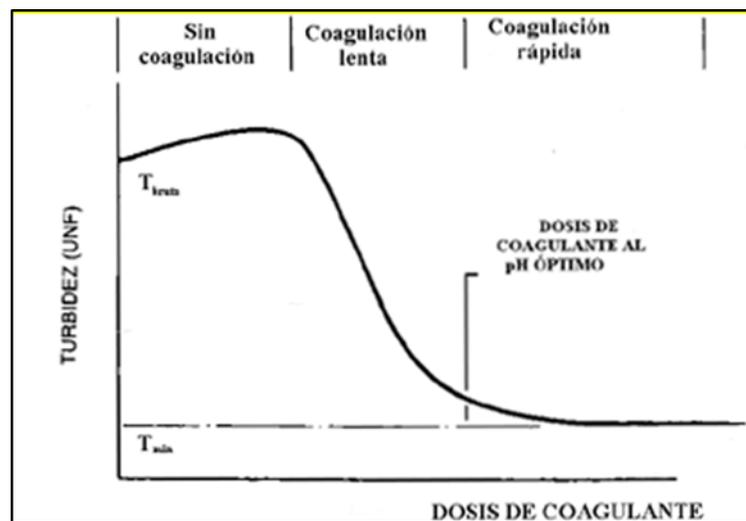
"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750

Moringa oleifera y su mecanismo es la neutralización de carga, el efecto del pH es más prominente. Proteína (Bahrodin, MB, Zaidi)

Ilustración 3

Dosis de coagulantes



Fuente: Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua – CIDTA. Disponible en: <https://docplayer.es/52288213-Unidad-5-capitulo-1-generalidades.html>. 2008

4.3. Marco legal

Resolución 0631 de 2015: Por medio del cual se normaliza el artículo 28 del Decreto 3930 de 2010 y modifica el Decreto 1594 de 1984 (el cual ha estado vigente por 30 años) dando respuesta a las nuevas realidades urbanas, industriales y ambientales del país. Esta aprueba la inspección de los elementos contaminantes que se integran a los cuerpos de agua



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



esparcidas por 73 procesos productivos que hacen presencia en ocho sectores económicos del país (Minambiente , 2015)

El Decreto 1076 de 2015 (Decreto 3930 de 2010) promueve el Reúso de las Aguas Residuales a través de los Planes de Reconversión a Tecnologías Limpias en Gestión de Vertimientos – PRTLGV y lo incluye en la gradualidad para el cumplimiento de la norma de vertimientos. Minambiente , (2015).

Decreto 2811 de 1974. Específicamente:

Artículo 1o. El ambiente es patrimonio común. El Estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo, que son de utilidad pública e interés social.

La preservación y manejo de los recursos naturales renovables también son de utilidad pública e interés social.

Artículo 2o. Fundado en el principio de que el ambiente es patrimonio común de la humanidad y necesario para la supervivencia y el desarrollo económico y social de los pueblos, este Código tiene por objeto:

1o. Lograr la preservación y restauración del ambiente y la conservación, mejoramiento y utilización racional de los recursos naturales renovable (ministerio de ambiente)

Artículo 13. Con el objeto de fomentar la conservación, mejoramiento y restablecimiento del medioambiente y de los recursos renovables naturales, el Gobierno establecerá incentivos económicos.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Artículo 15. Por medios de comunicación adecuada, se motivará a la población para que formule sugerencias y tome iniciativas a la protección ambiental y para el mejor manejo de los recursos naturales renovables y se adelantarán programas de divulgación y adiestramiento en la identificación y manejo de sustancias nocivas al ambiente. Decreto 2811 de 1974. .

Artículo 75. Diseño de edificaciones para el aprovechamiento. En el diseño de edificaciones destinadas al aprovechamiento de residuos sólidos deben considerarse como mínimo los siguientes aspectos constructivos:

1. El diseño arquitectónico de la zona operativa debe ser cerrado a fin de mitigar los impactos sobre el área de influencia.
2. Contar con un área mínima para la recepción de los residuos a recuperar y prever la capacidad de almacenamiento del material recuperado, teniendo en cuenta las situaciones de contingencia y comportamiento del mercado.
3. Tener vías de acceso de acuerdo al tipo de equipos de transporte a utilizar en el servicio ordinario de aseo.
4. Contar con un sistema de ventilación adecuado.
5. Contar con sistema de prevención y control de incendios.
6. Contar con el sistema de drenaje para el control de las aguas lluvias e infiltración y sistema de recolección y tratamiento de lixiviados.

Artículo 90. Parámetros básicos de diseño. Para el diseño de los rellenos sanitarios debe considerarse, entre otros, los siguientes parámetros:



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Sistema de drenaje de aguas lluvias.

Sistemas de impermeabilización.

Generación, manejo y monitoreo de lixiviados

Artículo 94. Manejo de lixiviados. Las personas que operen los rellenos sanitarios son irresponsables de asegurar que el líquido lixiviado generado se trate antes del vertimiento final, de tal manera que el efluente cumpla con las de vertimiento vigentes, lo cual será objeto de evaluación en los estudios ambientales correspondientes.

De acuerdo a los decretos y leyes dados por el presidente en acuerdo con el ministerio de ambiente, se debe realizar una supervisión y manejo adecuando de tiempo.

Tabla 3.

Control y monitoreo de calidad del recurso agua

Parámetros	Mayor de 15TM/día	Menor o igual 15 TM/día
pH	Semestral	Anual
Conductividad eléctrica	Anual	Bianual
Oxígeno Disuelto	Semestral	Anual
Metales pesados	Semestral	Anual
DQO	Semestral	Anual
Amoniaco	Anual	Bianual
Nitritos	Semestral	Anual
Nitratos	Anual	Bianual
Lixiviados y calidad del vertimiento a fuentes superficiales	Frecuencia	

Fuente: Minambiente decreto número (0838). Disponible en:

https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Normativa/Decretos/dec_0838_230305.pdf. 2005.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



5. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

La transición del uso de un coagulante químico a un coagulante natural puede ser una solución alternativa para minimizar la contaminación ambiental y los riesgos para la salud, al mismo tiempo que se promueve la tecnología verde en la aplicación de tratamiento de agua y aguas residuales. Los coagulantes naturales se pueden extraer de fuentes naturales de plantas o animales. Un coagulante natural de origen vegetal no es nuevo, ya que se descubrió por primera vez hace décadas. (Bahrodin, Zaidi, & Hussein, 2021).

Coagulantes y floculantes naturales: Las aplicaciones de transición de sustancias químicas a los recursos naturales han atraído mucha atención de investigadores de todo el mundo. Los investigadores empezaron a tener un profundo interés por los recursos naturales debido a sus inmensas ventajas; por ejemplo, los recursos naturales son relativamente más baratos en comparación con las sustancias químicas y producen menos volumen de lodo. En todo el mundo, los países están explorando varias fuentes de materias primas, ya sea de plantas o de animales, para desarrollarlas como coagulantes naturales. Países como Malasia, Brasil e India documentaron muchas investigaciones relacionadas con el coagulante natural. Bahrodin, Zaidi, & Hussein, (2021).

5.1. Moringa Oleífera.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Es un árbol originario de la India que contiene proteínas catiónicas con un peso molecular que oscila entre 6,5 y 30 kDa según la complejidad de la proteína y la distribución ecológica de la planta. La extracción de componentes de MO se realiza normalmente con sal o agua desionizada. Además, los principales componentes coagulantes activos del MO pueden obtenerse mediante métodos de purificación avanzados como la ultrafiltración, el intercambio iónico, la precipitación y la liofilización. Sin embargo, los métodos de purificación suelen implicar pasos complejos y costosos que perjudican la viabilidad del proceso. Los componentes activos coagulantes son capaces de desestabilizar los coloides de las aguas residuales a través del componente de coagulación de concentración y neutralización de carga o formación de puentes. (Vega, Ferreira, Alcioneía, Yumi, & Gonçalves, 2020).

Ilustración 4

Moringa Oleifera



Fuente. <http://www.fao.org/typo3temp/pics/ef68c7ead5.jpg>



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



A continuación, se muestran los resultados de la investigación realizada en Pahang, Malasia publicado en un artículo escrito por (Shan, Matar, & Makky, 2017), donde se muestra como afecto este coagulante a los diferentes lixiviados.

Las muestras se recolectaron en dos sitios objetivo: el río “Sungai baluk”, el Polígono Industrial Gebeng y el vertedero. El río “Sungai baluk” se encuentra en la principal zona industrial de Kuantan, estado de Pahang, Malasia. El estudio de la calidad del agua del río “Sungai baluk” se considera muy significativo debido al enorme volumen de efluentes industriales vertidos en este río que provocan el deterioro de la calidad del agua. El tipo de agua residual utilizada en este estudio fue lixiviado. Las muestras se recolectaron del vertedero ubicado a lo largo de la carretera Jabor-Kerangau, distrito de Kuantan, estado de Pahang, Malasia. La ubicación del relleno sanitario es $3^{\circ} 56'53''$ N, $103^{\circ} 21'03''$ E. (Shan, Matar, & Makky, 2017).

El tratamiento de las aguas residuales se realizó usando un aparato de prueba de jarras ~~tarró~~ de paleta PB-700 6. Se etiquetaron seis vasos de precipitados y se añadieron aproximadamente 500 ml de muestra de agua a cada vaso de precipitados y se colocaron en el aparato de la prueba de jarras. Se añadió la concentración correcta de solución madre en cada vaso de precipitados y se hizo funcionar a una velocidad inicial de 150 rpm durante 2 min. Luego, la velocidad se redujo a 50 rpm y se continuó durante 25 min. Las paletas se detuvieron y el agua se dejó reposar durante 1 h. Después de 1 h, se recogió una muestra de



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



agua clara en un matraz cónico y se almacenó a 4° C para su posterior análisis. (Shan, Matar, & Makky, 2017).

La semilla de MO exhibió una alta eficiencia en la reducción y prevención del crecimiento bacteriano en muestras de aguas residuales y del río “Sungai baluk”. La turbidez se eliminó hasta un 85-94% y el oxígeno disuelto (OD) mejoró de $2,58 \pm 0,01$ a $4,00 \pm 0,00$ mg / L. Sin embargo, no hubo alteración significativa del *pH*, conductividad, salinidad y sólido total disuelto después del tratamiento. Los metales pesados como el Fe se eliminaron por completo, mientras que el Cu y el Cd se eliminaron con éxito hasta en un 98%. La reducción de Pb también se logró hasta en un 78,1%. En general, el 1% de la torta de semillas de MO fue suficiente para eliminar los metales pesados de las muestras de agua. Este resultado preliminar de laboratorio corrobora el potencial grande que presenta la semilla de MO en estudios orientados a tratar aguas residuales. (Shan, Matar, & Makky, 2017).

Tabla 4

Cantidad de bacterias según la concentración de MO.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Concentración de MO (%)	Recuento de bacterias de diferentes muestras de agua (CFU / mL)	
	Río "Sungai baluk"	WW
0,0	$1,70 \times 10^5$	$1,06 \times 10^6$
1,0	$9,50 \times 10^4$	$2,10 \times 10^5$
2,0	$8,60 \times 10^4$	$9,70 \times 10^4$
3,0	$7,50 \times 10^4$	10^4

Fuente. Base de datos UniPamplona. Disponible en: <https://link-springercom.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/article/>. 2017.

Promoción y desarrollo de *M. oleífera*: Como coagulante natural ofrece muchas y diversas ventajas a muchos países del mundo en desarrollo. Podría verse como un medio de tratamiento de agua sostenible, apropiado, eficaz y robusto. La mejora eficaz de determinados procesos de tratamiento de aguas residuales puede reducir la dependencia de la importación y distribución de productos químicos de tratamiento, creando un nuevo cultivo comercial para los agricultores y oportunidades de empleo para los habitantes de las zonas rurales en particular, (Shan, Matar, & Makky, 2017).

En el año 2020 se publicó otro artículo donde se hace referencia al uso de un polvo extraído de la moringa oleífera como coagulante natural, para tratar aguas residuales.

Se tomaron muestras de agua superficial que se recolectaron en tres lugares, a saber, Tan Luong Ferry (S1) (provincia de Binh Duong), Nguyen Van Tri Park (S2) (provincia de Dong



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Nai) y Hoi Son Ferry (S3) (Ciudad Ho Chi Minh). Los tres sitios se encuentran en Dong Nai río, Vietnam. Las muestras de agua se recolectaron seis veces durante la temporada de lluvias (octubre) y la temporada seca (junio). A cada sitio estudiado se le tomaron tres muestras de agua superficial. El análisis del agua residual se hizo siguiendo los Estándares Nacionales de Vietnam TCVN 6663-1: 2011 calidad del agua con base en un procedimiento de muestreo. Los prototipos de agua se recolectaron a un nivel de profundidad de 10 a 30 cm desde la superficie superior del cuerpo de agua y en puntos alejados de la ribera del río con una distancia mínima de 5 m. (Nhut, Hung, & Lap, 2020)

Preparación del polvo de MO: En este estudio, las semillas fueron tonadas después del proceso de exprimir el aceite y, a continuación, se cortaron en piezas de 3-4 cm y se colocaron en la amoladora (1000A, China) con la rotación fija de 25.000 rpm. Después de 1 min, se obtuvo la cantidad de polvo fino. El polvo extraído (10 g) se disolvió en 200 ml de agua destilada para obtener el coagulante de reserva. La mezcla se ~~mezcló~~ realizó usando un agitador magnético (IK 85-2, China) durante 10 min a alta velocidad para extraer las proteínas activas de *M. oleifera*. Investigaciones anteriores informaron que la tela de muselina podría usarse para eliminar los sólidos que quedaron en suspensión que después de que el polvo de *M. oleifera* se mezclara con agua (Muyibi y Evison, 1995; Katayon et al., 2006 ; Pritchard y col., 2010). En consecuencia, la mezcla se filtró a través de una tela de muselina para obtener una solución madre con una concentración del 5% (p / v). (Nhut, Hung, & Lap, 2020)



SC-CER96940

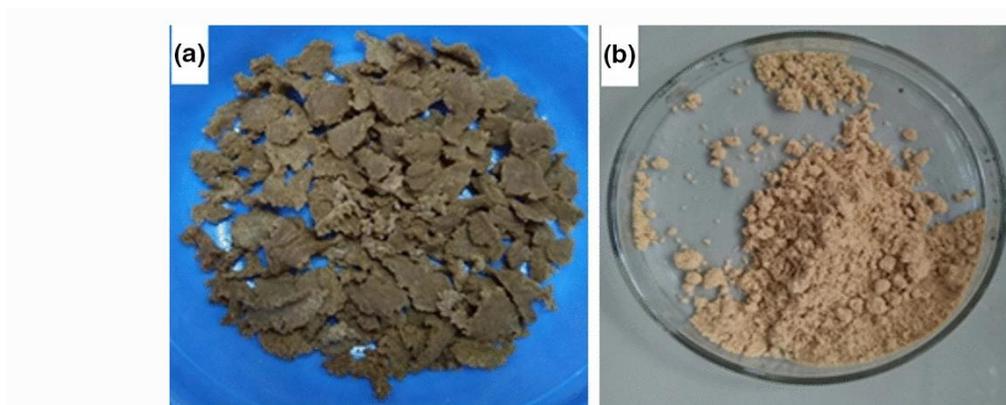


"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750

Ilustración 5

Proceso de pulverización de la semilla de Moringa Oleifera.



Semilla de *Moringa oleifera* (a después de desgrasar; b semilla en polvo)

Fuente. Base de datos Unipamplona. Disponible en: <https://link-springer-com.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/article/10.1007/s13762-020-02935-2/figures/2>. 2020.

La simulación del ensayo de realizo mediante la prueba de jarras y se realizó en situ y en laboratorio. Se utilizaron métodos para la caracterización de las muestras siguiendo Métodos Estándar para el Examen de Aguas y Aguas Residuales (APHA-AWWA-WEF), en el DQO se se realizó en el laboratorio con base en el método SMEWW 5220-D. El análisis de las concentraciones de NTK y SS se realizó mediante el método APHA 4500-N_{org} B y APHA 2540, respectivamente. Otros parámetros, como el pH y la turbidez, se midieron directamente en el turbidímetro y el multiparámetro (WQC-22A, Japón). Nhut, Hung, & Lap, (2020)



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Los ensayos de jarra propuestos por (Velp Científica, 2020), se utilizaron para evaluar el proceso de coagulación con una dosis de biocoagulante de 0.05-0.3 ml L⁻¹ para las muestras de agua. Se vertió un litro de la muestra de agua en seis vasos de precipitados y se etiquetó con la dosis de *Moringa*. Para una distribución eficaz de los coagulantes, la velocidad de rotación de la paleta durante la mezcla rápida fue a 120 rpm durante 2 min y luego se redujo a 50 rpm durante 30 min. A continuación, las suspensiones se dejaron reposar durante 30 minutos para facilitar la sedimentación. Finalmente, se midieron estos parámetros: pH, turbidez, nitrógeno Kjeldahl total (TKN) y demanda química de oxígeno (DQO). Todos los ensayos se llevaron a cabo a temperatura ambiente ($27 \pm 0,5$ ° C). El pH de las muestras de agua no cambió durante el proceso de coagulación porque el pH de las muestras de agua de río estaba alrededor de 6.5. Según informes anteriores, el pH óptimo obtenido con semillas de *M.oleifera* (proteína coagulante) ha sido de 6,0 a 8,0 (Nhut, Hung, & Lap, 2020).

Según Nhut, Hung, & Lap, (2020), en éste estudio se concluye que, con el uso de este coagulante natural, las muestras lograron mejoras importantes en su PH y turbidez cuando se aplica la dosis optima del coagulante; porque una dosis alta traería consecuencias, en el aumento del pH.

En resumen, en los dos estudios, muestran la impórtate relevancia de este producto natural, que con un buen uso se puede obtener resultados importantes con respecto a la remoción de la



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Turbidez de las muestras, en los dos estudios mostraron resultados satisfactorios si afectar los valores del PH.

5.2. Quitosano.

El quitosano se puede producir a un costo relativamente bajo. En muchos países, los desechos de la pesca se utilizan como fuentes excelentes para producir quitina y quitosano. Para aplicaciones en el tratamiento de aguas residuales, los quitosanos se suelen ofrecer en escamas o polvos con precios que oscilan entre 10 y 50 US \$/kg, dependiendo principalmente del grado de desacetilación (70% <valor <90%), peso molecular y pureza (técnica grado) parámetros. (Lichtfouse, 2019).

El quitosano es un recurso no tóxico, biocompatible y biodegradable, y una posible alternativa a los polímeros sintéticos como producto ecológico. También tiene la ventaja de ser no corrosivo y seguro de manipular, es decir, producto no peligroso, no irritante (Lichtfouse, 2019).

Además de ser natural y abundante, este aminopolisacárido también posee otras características útiles como hidrofiliidad, polifuncionalidad, reactividad, propiedades complejantes y de adsorción. Lichtfouse, (2019).



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750

Ilustración 6

Imagen del quitosano

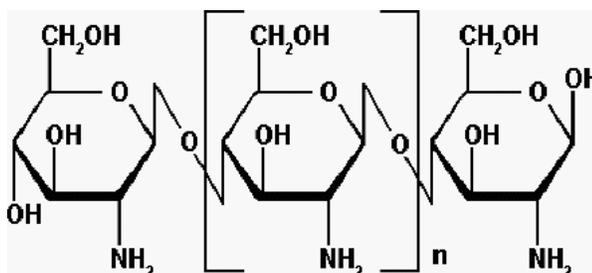


Fuente. Asesorías Ecoambientales. Disponible en: <https://i1.wp.com/asesoriasecoambientales.com.co/wp-content/uploads/2018/09/IMG-20180918-WA0009-e1538061705939.jpg?w=1280>. 2020

A pesar de la gran cantidad de estudios sobre el uso de quitosano para la biofloculación en la literatura, este campo de investigación no ha logrado encontrar aplicaciones prácticas a escala industrial. De hecho, aparte de algunos estudios piloto en acuicultura o en aplicaciones específicas, por ejemplo, recuperación de metales preciosos, la biofloculación con quitosano se encuentra en la etapa de estudio a escala de laboratorio en tratamientos de agua y aguas residuales. (Lichtfouse E. y col.,(2019).

Ilustración 7.

Formula química del quitosano.



Fuente. Universidad de Granada. Disponible en:
http://www.ugr.es/~iquimica/PROYECTO_FIN_DE_CARRERA/lista_proyectos/imagenes/p173.h3.gif. 2019

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de un estudio realizado por (Campo, Delgado, Roa, Mora, & Carreño, 2019), del tratamiento de lixiviados utilizando este novedoso producto (quitosano).

Tabla 5. Factores evaluados para el tratamiento de las muestras de aguas residuales

Factores	Niveles Concentración			Réplicas	Variable de respuesta
	(%)				
Quitosano(Q)	1	1,5	2	3	Porcentaje de remoción de turbidez % DBO DQO SST SS
Extracto acuoso de cascara de naranja (EACN)	1	1,5	2		
Quitosano + extracto acuoso de la cascara de naranja (Q+EACN)	0,5 + 0,5	0,75 + 0,75	1+1		



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Fuente: Los resultados obtenidos fueron tratados estadísticamente, a un nivel de 95% ($P < 0,05$); con el fin de discernir mejor los resultados del ANOVA, se utilizó la prueba post hoc de Diferencias Mínimas Significativas (DMS), paquete de software estadístico SPSS versión 22.0.

Se utilizó un equipo de Prueba de Jarra modelo JLT4; se agregó 2L de la muestra de agua residual, a cada uno de los cuatro vasos de precipitado, tomando uno de estos como control. Posteriormente, se procedió a agregar 1;1,5 y 2% de quitosano y extracto acuoso de la cáscara de naranja; las mezclas, se agitaron en dos etapas rápida, a 250 rpm, por 5min y lenta, a 40rpm, por 20min, a $25 \pm 2^\circ\text{C}$ y pH de 5,5 (para ajustar el pH, se utilizó ácido sulfúrico al 0.1N); los ensayos se realizaron por triplicado (Álava, 2016)

Para la caracterización de las muestras de aguas residuales, se realizaron en SIAMA LTDA., acreditadas por IDEAM Resolución 0833/2016, Ext. Resolución 0805/2017, donde se determinó la turbidez en un turbidímetro marca HACH, dureza (método SM 2340C), pH (método SM2310B), demanda química de oxígeno DQO (mg/l)(método SM5220C), petición bioquímica de oxígeno (DBO) (método SM5210B), sólidos suspendidos totales (SST) (método SM2540D), sólidos sedimentables (SS) (méto (método SM2540F); se midieron antes y después del tratamiento.

En los resultados, se puede observar que todas las muestras superan el valor máximo permisible de 200mg O₂/L del parámetro de DQO de la Resolución 0631/2015, que establece



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



los valores límites permisibles en los vertimientos puntuales, a cuerpos de agua superficiales (Campo, Delgado, Roa, Mora, & Carreño, 2019).

Por otra parte, durante las últimas dos décadas ha habido un rápido aumento en el uso de quitosano como biofloculante y en el desarrollo de nuevos materiales basados en quitosano, por ejemplo, quitosanos injertados, compuestos y materiales híbridos, para procesos de biofloculación directa. Las principales aplicaciones potenciales son en agua y tratamiento de aguas residuales, deshidratación de lodos y la cosecha de microalgas y la de flotación por aire disuelto. (Lichtfouse, Morin-Crini, & Fourmentin, 2019).

Los lixiviados de los vertederos tienen altas concentraciones de nitrógeno amoniacal, materia orgánica biodegradable, compuestos recalcitrantes como sustancias húmicas, metales pesados y compuestos orgánicos xenobióticos. Los tratamientos biológicos se usan comúnmente para eliminar la mayor parte de la materia orgánica biodegradable y el nitrógeno amoniacal, debido a la confiabilidad, simplicidad y alta rentabilidad. Como complemento al tratamiento biológico, se ha empleado el proceso de coagulación-floculación para reducir la concentración de materia orgánica recalcitrante y la toxicidad del lixiviado del vertedero. No obstante, los coagulantes químicos pueden presentar consecuencias adversas sobre el medio ambiente. Por lo tanto, se sugiere que el quitosano podría ser una mejor alternativa. (Lichtfouse, Morin-Crini, & Fourmentin, 2019).



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



(Nascimento et al., 2017), realizaron una determinación de la dosis óptima y los valores de pH para la coagulación-floculación de lixiviados tratados biológicamente utilizando quitosano como biocoagulante para la remoción de materia orgánica recalcitrante. Se comparó el rendimiento del quitosano con el del sulfato de aluminio, que es un coagulante metálico muy utilizado en las plantas de tratamiento de aguas residuales. La dosis de coagulante investigada osciló entre 700 y 1100 mg / L para el quitosano y entre 1300 y 1700 mg / L para el alumbre; el valor del pH varió de 6,0 a 9,0 para el quitosano y de 8,0 a 10,0 para el alumbre. El gradiente para el mezclado rápido, el tiempo para el mezclado rápido, el gradiente para el mezclado por floculación y el tiempo de floculación se mantuvieron constantes. Los ~~Sus~~ valores del gradiente para mezcla rápida para el quitosano y alumbre fueron 400 s^{-1} y 869 s^{-1} , con tiempo para mezcla rápida de 30 s y 10 s y gradiente de floculación de 30 s^{-1} y 30 s^{-1} con tiempos de floculación de 10 min y 10 min, respectivamente. Basado en un modelo matemático y de optimización gráfica, los resultados mostraron que dosis de quitosano por debajo de 700 mg / L y valores de pH entre 6.0 y 6.5 o dosis de quitosano cerca de 900 mg / L y valores de pH entre 8.0 y 8.5, conducen a mayores eficiencias de remoción de recalcitrante materia orgánica (50 a 80%); la mayor remoción de turbidez (90%) se obtuvo a una dosis menor, menor a 900 mg /L, con un pH entre 6.5 y 9.5; y una dosis de alumbre entre 1542 y 1762 mg / L con un pH entre 8.5 y 10.0 conduce a valores de eficiencia de remoción mayores.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Emplear la función de optimizador de respuesta (Minitab[®] 16), la máxima eficiencia de remoción de color verdadero (80%) y la remoción de turbidez (91%) se encontraron usando 960 mg / L de quitosano a pH 8.5; y el uso de 1610 mg / L de alumbre a pH 9,5, la verdadera eficacia de eliminación del color fue del 87% y la eliminación de turbidez alcanzó el 81% Nascimento et al, (2017).

Como explicación a la disminución del pH de la solución, parte de las sustancias húmicas que en el lixiviado se volvía insoluble, lo que resultaba en un nivel reducido de materia orgánica restante. En consecuencia, la cantidad de quitosano necesaria para la desestabilización del sistema coloidal es menor. Además, a un pH de 6,0 o menos, más del 90% de los grupos amina están protonados. Por lo tanto, se requiere una dosis más baja de quitosano para una coagulación-floculación eficiente a un pH más bajo. Esto puede explicarse por las propiedades ácido-base del quitosano y el grado de disociación del polielectrolito. El pK_a de los grupos amina está cerca de 6.3-6.4 para el quitosano completamente disociado con un grado de desacetilación cercano al 90%. (Morin-Crini, Lichtfouse, & Crini, 2021)

Al respecto se ha concluido que la alta sensibilidad del desempeño del quitosano para eliminar el color verdadero y los niveles de turbidez abre posibilidades para el uso del quitosano como coagulante para ayudar en la eliminación de contaminantes recalcitrantes en el lixiviado de vertederos.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



5.3. Biocoagulante de hongos del quitosano

Este Biocoagulante se halla compuesto por un polisacárido lineal conformado por cadenas aleatoriamente distribuidas de β -(1-4) D-glucosamina, unidades desacetiladas, y N-acetil-D-glucosamina, unidad acetilada. Y es el principal derivado que se obtiene al tratar quitina con soluciones ácidas y básicas a altas temperaturas. Fue descubierto por el profesor C. Rouget en 1859, quien al tratar quitina con una solución caliente de hidróxido de potasio obtuvo un producto soluble en ácidos orgánicos; la llamó *quitina modificada*, pero más tarde fue, en 1894, estudiada por Félix Hoppe-Seyler quién la denominó quitosano. A pesar de que su principal fuente es la desacetilación térmica de la quitina; es posible encontrarlo, en estado natural en otras fuentes no muy comunes:

“Es también un polisacárido que se halla de forma natural en las estructuras celulares de ciertos hongos; sin embargo, su principal fuente de producción es la hidrólisis de la quitina, en medio alcalino, usualmente hidróxido de sodio o de potasio, a altas temperaturas.” (Lárez, 2013)

Durante la recopilación de información, también se ha encontrado un artículo que contiene un estudio muy novedoso, respecto a la extracción del quitosano a partir de hongos.

En este trabajo (Fuentes, Contreras, Perozo, Mendoza, & Villegas, 2018), examinaron el desempeño del quitosano obtenido de hongos como un nuevo agente coagulante natural para



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



la remoción de turbidez a diferentes dosis de coagulante y a varios valores de pH. El quitosano se comparó con el alumbre cuando se aplicó para eliminar los sólidos suspendidos del caolín y la pepita como modelos de aguas residuales.

El CM fue proporcionado por Xi'an Surnature Biological Technology Co. Ltd., China. Las especificaciones de CM fueron las siguientes: peso molecular $161,16 \text{ g mol}^{-1}$, desacetilación DD 90,1%, contenido de cenizas $\leq 1,5\%$ y viscosidad 1-2 CPS. La solución de quitosano se preparó según Guibal y Roussy. Se añadió un gramo de quitosano en polvo a 98 ml de agua desionizada y se dejó la solución durante 24 h. A continuación, se añadió a la mezcla 1 ml de ácido acético y también se dejó durante 24 h. Finalmente, la solución se mantuvo bajo mezcla durante 1 hora y se obtuvo la solución final.

Para determinar la actividad antimicrobiana de la MC, se llevó a cabo una prueba antimicrobiana probando la eficacia de la MC en el tratamiento y la inhibición de bacterias. Esta prueba se llevó a cabo colocando un disco de papel (6 mm de diámetro) que contenía antibiótico (CM) en una placa de prueba donde crecían los microbios. Se han utilizado cuatro tipos de microbios, a saber, *Bacillus subtilis* B29, *Staphylococcus aureus* S276, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 15442 y *Escherichia coli* E266. Cada muestra de microbio se preparó de acuerdo con los estándares de 0,5 McFarland (108 células). Se utilizó el estándar de estreptomycin para cada tipo de bacteria. El estándar de nistatina se utilizó para levaduras y hongos.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Las placas se incubaron a 30–37 ° C durante 18–24 h para asegurar que se haya producido un crecimiento suficiente. Después de la incubación, se examinó cada placa. Luego, se midieron los diámetros de las zonas incluyendo el diámetro del disco. La zona de inhibición se midió usando calibradores deslizantes o una regla que se sostenía en la parte posterior de la placa de prueba.

Por último, del estudio se deduce los siguientes resultados:

Este estudio ha examinado la eficacia de un nuevo quitosano obtenido comercialmente de un hongo para la eliminación de sólidos en suspensión de caolín y pepita. CM mostró un contraste significativo en términos de dependencia del pH en el tratamiento de caolín y pepita. La CM es muy activa en condiciones alcalinas (pH 11) cuando se trata con caolín y en condiciones ácidas (pH 3) cuando se trata con pepita. Esto puede atribuirse a la propiedad anfótera de CM que permite que los compuestos trabajen en varios valores de pH.

Una dosis de 10 y 20 mg l⁻¹ elimina hasta el 99% de los sólidos del caolín y la pepita, respectivamente, con una turbidez inicial de 2500 NTU sin necesidad de filtración. El floculo producido durante el proceso de coagulación es lo suficientemente suelto como para precipitar en aproximadamente 8 minutos en las condiciones óptimas. El costo estimado para producir casi el 99% de remoción de turbidez debido a la aplicación de CM en el tratamiento de muestras de pepitas con una turbidez inicial de 2500 UNT es de Ringgit Malaysia (RM) \$4.52



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



por metro cúbico, mientras que RM \$84 como costo para la aplicación de alumbre no fue suficiente. para alcanzar la misma eficiencia de CM para igual turbidez inicial.

En los estudios revisados se evidencia el gran potencial que tienen los hongos extraídos del quitosano y usado también como coagulante natural, que se basan en almidón, tanino, extracto de semilla y goma guaran (polisacárido de reserva nutricional de las semillas), que se pueden modificar fácilmente para que sean más efectivos.

(Ahmed, Sumath, & Hameed, 2006), compararon siete coagulantes naturales diferentes con alumbre, cloruro férrico y PAC, y midió el valor de la DQO; turbidez, SST, metales pesados y $\text{NH}_3\text{-N}$ para todos ellos e informó que algunos de los coagulantes naturales eran más eficientes que los coagulantes tradicionales. Por ejemplo, la eliminación de DQO más baja se logró con PAC, mientras que la hoja de tabaco tuvo la eliminación de DQO más alta. La eliminación de SST fue mayor para los siete coagulantes naturales en comparación con el alumbre y el cloruro férrico.

Otro estudio realizado por (Chen, y otros, 2011), exploraron el uso de goma de guaran como coagulante para tratar el lixiviado de vertederos y reportó una eliminación de DQO del 22,6% cuando trabajaban en condiciones óptimas.

Pocos otros estudios informan sobre la eficacia de los productos naturales cuando se utilizan como coagulantes o coagulantes en el tratamiento de lixiviados de vertederos, y



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



notifican generalmente remociones de DQO, color, SS, turbidez y eliminación de amoniaco (Righetto, Al-Juboori, Kaljunen, & Mikola, 2021)

5.4. Cactus.

El cactus es una planta perteneciente a la familia Cactaceae y comúnmente conocida como tuna, atún, nopal u opuntia ficus-indica (Prakash & Manikandan, 2012). Es autóctona de las regiones áridas y semiáridas de México y luego se introdujo en el norte de África

El cactus se caracteriza por su alta capacidad de retención de agua (92%) en sus almohadillas reconocidas como cladodios haciéndolos muy jugosos. La composición de los cladodios está bien documentada en términos de su valor nutricional y ambiental. Contienen principalmente agua (80 a 95%), fibra (1 a 2%), proteínas (0,5 a 1%) y carbohidratos (3 a 7%)

Ilustración 8.

Cactus Cladodios.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Fuente: https://st2.depositphotos.com/16122460/46548/i/1600/depositphotos_465487706-stock-photo-beautiful-exotic-cactus-outdoors-blue.jpg

En los últimos años, el uso de extractos de cactus como coagulantes / floculantes se ha investigado ampliamente para tratar varios tipos de aguas residuales. Dentro de este marco, (Souza, y otros, 2014) demostraron que el jugo de cactus permitió casi el 64,8% de la eliminación de DQO y aproximadamente el 91,3% de la eliminación de la turbidez en el tratamiento de un efluente de lavandería de jeans. Asimismo, utilizando mucílago de cactus, estos académicos estudiaron la remoción de tinte de un efluente de malla de teñido de telas y obtuvieron una turbidez máxima 93.6% y una reducción de DQO del 87.2%. El mucílago de cactus se preparó disolviendo 1 g de polvo de cactus en diferentes soluciones salinas (NaCl, KCl, NaNO₃). Sorprendentemente, la extracción con NaCl mostró la actividad coagulante más prometedora y eliminó el 95% de la turbidez del agua turbia sintética. Sin embargo, con las soluciones de KCl y NaNO₃, la reducción de la turbidez fue, respectivamente, 91,2% y 93,6%.

Además, en un estudio relacionado con el tratamiento de efluentes textiles utilizando el jugo de cactus como bio-floculante en combinación con alumbre, (Bouatay & Mhenni, 2014), encontraron tasas de remoción de 88.76%, 91.66% y 99.84%, respectivamente, para DQO, turbidez y el teñir.



SC-CER96940

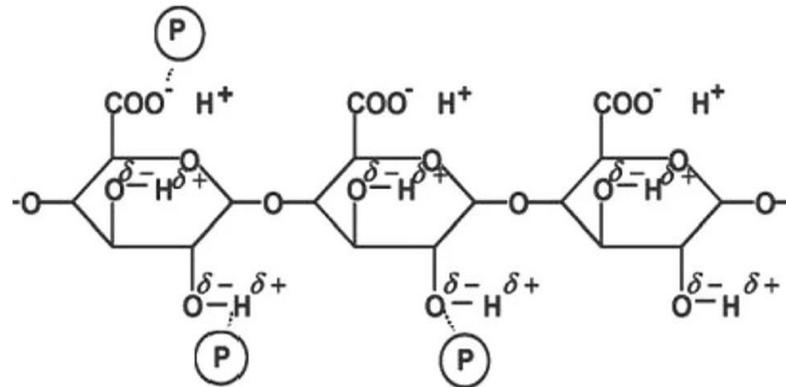


"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750

Ilustración 9

Estructura química del cactus.



Fuente. https://media.springernature.com/full/springer-static/image/art%3A10.1007%2F978-93-319-1858-3/MediaObjects/10098_2020_1858_Fig4_HTML.png?as=webp

Conociendo un poco más las propiedades del cactus como coagulante y floculante, para tratar aguas residuales, producto de la revisión bibliográfica se coloca en conocimiento el estudio realizado en la ciudad de Agadir, ubicada en el suroeste de Marruecos y como se ha decidido solucionar la problemática ambiental generada por los lixiviado del relleno sanitario, que tiene una producción de RSU que supera las 800 toneladas / día.

La gestión y operación del vertedero técnico de Tamellast se inició en 2010 y los RSU que se reciben se caracterizan por un alto contenido de materia orgánica (70%), y un alto nivel de humedad que supera (60% en peso) y los lixiviados generados se almacena en estanques como muchos vertederos de RSU en Marruecos.



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



El principal problema ambiental encontrado en esos rellenos sanitarios resultó de la pérdida de lixiviados del sitio y la subsiguiente contaminación de la tierra y del agua superficial circundantes, así que, para reducir estos efectos nocivos sobre el medio ambiente, se han aplicado diferentes procesos de tratamientos individuales ó combinados el caso de utilizar los procesos de coagulación-floculación.

(Nouj, Heddadi, Azougarh, & Hafid, 2021), basaron el trabajo en el uso de materiales naturales disponibles para tratar el lixiviado de RSU, combinando dos técnicas sencillas, la coagulación como tratamiento primario y la infiltración-percolación sobre arena como tratamiento secundario, empleando *el cactus Opuntiaficus-indica* como coagulante, demostrado la eficiencia de este vegetal como coagulante en el campo del tratamiento de aguas residuales industriales

El cactus *Opuntiaficus-indica* se preparó dos formas: mucílago y en polvo y se utilizó para tratar el lixiviado crudo, mientras que el suelo infiltrado utilizó arena titanífera caracterizada por SEM y EDX. Se realizaron pruebas de laboratorio sobre efluentes reales recogidos en el vertedero de Tamellast. Se determinaron los parámetros fisicoquímicos, incluyendo pH, temperatura, conductividad eléctrica y turbidez. Las muestras de lixiviados se analizaron antes y después del tratamiento mediante coagulación y filtración-percolación sobre arena. (Nouj, Heddadi, Azougarh, & Hafid, 2021); se recogieron muestras desde el



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



estanque más antiguo y se realizaron las mediciones de los respectivos parámetros en situ además se preservaron muestras a 4°C grados para realizar ensayos de laboratorio.

5.4.1. Métodos analíticos

Para caracterizar el lixiviado antes y después del tratamiento se realizaron las determinaciones del pH, conductividad, turbidez, DQO y DBO₅. El pH y la conductividad eléctrica del lixiviado se monitorizaron con un multiparámetro digital calibrado (Consort C864). Se utilizó TURB 430 IR para medir la turbidez. La DQO y la DBO₅ se midieron utilizando el método de reflujo cerrado y el método de Winkler modificado de acuerdo con los procedimientos estándar definidos en el manual de la Asociación Estadounidense de Salud Pública (APHA). Para la determinación de la DQO, la digestión de las muestras se realizó en un digester de DQO (Tipo RD125). Se utilizó la incubadora de DBO₅ (Velp Científica, Italia) para medir la DBO₅ (Nouj, Heddadi, Azougarh, & Hafid, 2021).

5.4.2 Optimización de la dosis

Para determinar la dosis óptima de cada coagulante, el efluente se ajustó al pH óptimo variando solo la dosis de los coagulantes. Se agregaron al lixiviado cinco dosis por cada coagulante: para el mucílago de cactus 20, 40, 80, 120 y 160 ml / L y para el polvo de cactus de 2, 4, 6, 8 y 10 g L⁻¹ (Nouj, Heddadi, Azougarh, & Hafid, 2021).



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



5.5 Eficiencia de floculación en la mezcla de (aloe vera y citrus reticulata)´

Con relación a este tema (Terrones, 2019), realizó una investigación para la disminución de la turbidez en las aguas grises que desembocan en el Río Chico, con el propósito de evaluar el efecto de cada variable independiente en la variable dependiente. Se tuvieron representadas las variables independientes de la siguiente manera:

- Recurso vegetal, Aloe Vera (Sábila) - RV1
- Recurso vegetal, Citrus Reticulata (Mandarina) – RV2
- Cantidad de recurso vegetal – CRu
- Tiempo de contacto – TC
- Velocidad de agitación – VA

Se presenta los resultados correspondientes a las pruebas realizadas con las especies “Aloe Vera y Citrus Reticulata”, las cuales fueron puestas a prueba como floculante natural en el tratamiento de las aguas grises que desembocan en el río Chico de San Miguel, Cajamarca, dicho proyecto de investigación tuvo una duración de 3 meses, tomando en cuenta variables como la velocidad de agitación, tiempo de contacto y la cantidad del recurso vegetal a usar. La población se constituyó por las aguas del río Chico, tomando en cada toma de muestras de



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



80 litros de agua, necesarios para la aplicación del tratamiento mediante el uso del equipo de test de jarras y los respectivos análisis químicos.

La técnica de investigación que se usó para el experimento fue usar el procedimiento de “Jar-Test” para realizar las pruebas de floculación de partículas presentes en el agua. Esta prueba, según (Galvin, 2003): indicó: “La estandarización del Jar-test arranca como una norma ASTM norteamericana que fue publicada en 1980. En ella se establece que el ensayo se enfoca a la evaluación del tratamiento de un agua en orden a reducir su contenido en sólidos disueltos, sólidos en suspensión, materias coloidales y otras materias no sedimentables, mediante coagulación y posterior decantación por gravedad. Con este ensayo se puede evaluar a escala de laboratorio la reducción de color, turbidez y dureza del agua bruta investigada”.

Una vez efectuadas las pruebas se llegó a la conclusión que la disminución de la turbidez del agua se realizó de manera favorable, logrando reducir la turbidez. Se determinó que la dosis óptima de coagulante- floculante a agregar al agua es de un volumen de 0.50 ml Aloe Vera y 0.50 ml de Citrus Reticulata, cuyas concentraciones son de 10 % y 3 % respectivamente, con una velocidad de agitación de 100 RPM y un tiempo de reposo de 30 minutos para su aplicación a una muestra de agua cruda de aproximadamente 110 NTU, obteniéndose una disminución de turbidez de 70 %.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



En conclusión, comparando la eficiencia de cada uno de los vegetales naturales de Aloe Vera, Citrus Reticulata y la mezcla, se tiene los siguientes valores de remoción de turbidez 25.83, 99.43 y 33.96 NTU respectivamente, encontrando la mayor eficiencia en el floculante Aloe Vera seguido por la mezcla de ambos vegetales y finalmente el Citrus Reticulata (Terrones, 2019).

5.6 Evaluación de la dosis y concentración del almidón de zea mays (maíz) en el proceso de floculación

(Palacios, 2016), realizó una investigación donde se evaluó la dosis y concentración óptimas del almidón de Zea Mays (Maíz), y su eficiencia en la remoción de la turbiedad y color en el proceso de floculación utilizando agua del río Casca. La metodología de investigación se efectuó, primero, una etapa de campo que tiene que ver con la obtención del coagulante natural a emplear en el tratamiento, se hizo la compra y respectiva caracterización de la materia prima, Maíz blanco (zea mays I), en el mercado de la ciudad de Huaraz, esta materia se extrajo el almidón por procesos recomendados y empleando un método de gelatinización (en caliente), con lo cual se logró producir el coagulante natural; la segunda fase tiene que ver con la identificación de la zona de muestreo (río Casca), en la zona del distrito de Independencia, la toma de muestra y su respectiva caracterización físico-química y microbiológica de la muestra de aguas superficiales para consumo humano; en la tercera fase se realizó una serie de experimentos en el laboratorio, la prueba de test de jarras, con el cual



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



se evaluó la dosis y concentración de almidón de Maíz en el proceso de floculación utilizando el agua del río Casca; por último la cuarta fase de resultados y análisis de datos obtenidos, de acuerdo a las normas locales, como también la interpretación de análisis estadístico.

Los resultados obtenidos en esta investigación demostraron, que el almidón de Zea Mays (Maíz) posee buena propiedad coagulante, se obtuvo una remoción de turbiedad máxima de 77.45% en cuanto al color no hubo cambios significativos. En general las dosis y concentraciones optimas de almidón de Zea Mays (Maíz), fueron de 25 mg/l y 10000 ppm respectivamente en su mayoría de los muestreos. Luego de la prueba de jarras, simulando procesos de coagulación y floculación. También mencionar los parámetros de floculación óptimos según la experimentación fueron los siguientes: tiempo de floculación de 25 minutos y gradiente de velocidad 40 S-1, en casi todos los muestreos realizados, excepto en el muestreo N° 02 que el tiempo de floculación fue de 30 min y la gradiente de velocidad de 40 S-1

5.7 Cassia obtusifolia

Esta planta Cassia obtusifolia corresponde a la familia de las Fabaceae, la cual es distinguida como mala hierba, es esencialmente originaria del Norte, Centro y América del Sur, pero igualmente tiene presencia en Asia, África y Oceanía. Con base a los informes relacionados con esta planta, los tejidos que más se utilizan por lo general son las semillas que se secan previamente tal como se puede observar en la (ilustración 13), estas semillas se



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



han venido estudiando con el objeto de que sean útiles en el tratamiento de aguas residuales, que presentan una alta contaminación de sólidos totales suspendidos (SST) y demanda química de oxígeno (DQO), con lo cual se obtiene incluso hasta un 86,9% y 36,2%, proporcionalmente (Subramonian, 2014).

Ilustración 10.

Planta de Cassia obtusifolia y vainas de semillas



Fuente: Subramonian et al., 2014

En estudios científicos realizados orientados a caracterizar los agentes coagulantes y floculantes, se ha podido observar que utilizan la espectroscopia infrarroja como una técnica transformada de Fourier (FTIR), con el fin de despejar los grupos de muestras presentes funcionales del extracto de *C. obtusifolia*, usando como solvente agua destilada tal como se puede observar en la ilustración siguiente:



SC-CER96940



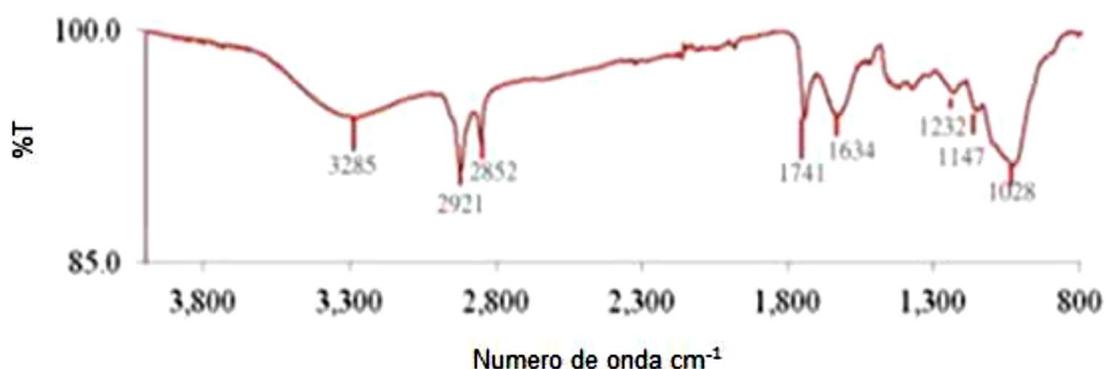
"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



Ilustración 11.

Espectro infrarrojo de flóculos formados con C.obtusifolia



Fuente: Structural elucidation, modification and characterization of seed gum from Cassia javahikai seeds: a non-traditional source of industrial gums. 2009

Con base en el espectro que se genera para semillas de *C. obtusifolia*, se han observado picos que muestran la presencia de galactomanano (Singh, Srivastava, & Tiwari, 2009). Al mismo tiempo, se pueden observar picos fuertes que muestran dos grupos de tipo funcional (Ilustración. 14): una ancha banda en la región que presenta una medida de 3285 cm⁻¹ (estiramiento de O-H), al igual que bandas en las zonas 2921 y 2852 cm⁻¹ (simétrica y asimétrica de estiramiento de C-H). Desde el inicio de de los análisis espectrales se ha podido llegar a la conclusión de que estos dos grupos funcionales presentes en *C. obtusifolia* son atribuidos probablemente a las disposiciones de proteínas y ácidos grasos. Singh, Srivastava, & Tiwari, (2009).



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Por otra parte, la representación de grupos cis-hidroxilo o quelantes de metales en la goma de la semilla de *C. obtusifolia*, igualmente contribuye a implantar y tener un entendimiento de la capacidad que posee como adsorbente (Singh, Srivastava, & Tiwari, 2009). En varios estudios de tipo experimental, proponen la utilización de goma de semilla de *C. obtusifolia* sin que presenta alguna modificación química, esto a causa de que es un polímero de tipo natural no iónico, que ocasiona alta acción coagulante y floculante a un pH de 4 (Yongabi, 2010). Se hace necesario resaltar que este es un coagulante de tipo natural y es por esta característica que para poder lograr una óptima coagulación de los contaminantes que se hallan en suspensión es necesario contar con valores de pH bajos, puesto que en un medio ácido, las partículas del polímero natural suministran una superficie saturada positivamente alcanzando que las partículas puedan reaccionar con coloidales que posean cargas negativas (Perng, 2014). Con el fin de poder establecer la actividad coagulante de *C. obtusifolia* se han empleado dosis de 0,75 g / L de agente coagulante para lograr la coagulación de los sólidos suspendidos y la demanda química de oxígeno para las aguas residuales, puesto que las concentraciones de estos contaminantes presentaron los siguientes valores: 841 mg / L, y 1453 mg / L, respectivamente.

Por lo tanto, con base en la óptima dosis 0,75 g / L del análisis acuoso de las semillas de *C. obtusifolia*, los porcentajes de coagulación pueden presentar unos porcentajes de hasta 86,9 % de los sólidos en suspensión y el 36,2% de requerimiento químico de oxígeno. Con base en los resultados, las proteínas que hacen presencia en las semillas de *C. obtusifolia* pueden



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



alcanzar una buena eficacia como coagulante y floculante natural. Además, los elementos de coagulación creados en los dispositivos activos de *C. obtusifolia* con las partículas que generan contaminantes coloidales que se presentan en el agua, es a causa de la mezcla de varios mecanismos, como son adherencia e interrupción de la carga, floculación de despejado, adsorción y puente entre partículas, las cuales se hallan en función del tipo de coagulante.

Por lo tanto, partiendo de la relación entre estos mecanismos, se genera una actividad óptima de coagulación encaminada a la supresión de SST y de la DQO. Además, el mucílago de las semillas de *C. obtusifolia*, ostenta componentes no iónicos, que logran funcionar a través del mecanismo de coagulación de puente que se genera entre las partículas (adsorción por medio de interacciones electrostáticas) en solución ácida (Kursun, 2010). Al mismo tiempo un mecanismo de puente de hidrógeno se puede evidenciar, en el momento que las partículas del polímero *C. obtusifolia* se impregnan encima de los sitios de la superficie de las partículas coloidales que generan contaminación, este mecanismo se conoce como la desestabilización de las partículas, conforma complejos de partículas de polímero integradas a partículas coloidales (Singh et al., 2009). En general, esta eficiencia alta de eliminación de DQO y SST manipulando el extracto de *C. obtusifolia*, puede estar ocasionado por sinergias que se dan entre los componentes de adsorción y el puente de hidrógeno. Para una remoción óptima de DQO y SST, se requiere el estudio de los efectos de aglutinamiento de la muestra de agua, la dosis de coagulante, pH inicial del agua, lapso de tiempo para el establecimiento, de la velocidad de agitación y la temperatura. Diversos investigadores han empleado como



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



coagulantes de tipo natural el extracto de *Cassia obtusifolia*, con el fin de tratar aguas agroindustriales que presentan contaminación con aceite de palma, y partiendo de este proponen la utilización de una cantidad de dosis de coagulante que esté de acuerdo con la concentración inicial de los contaminantes que presentan las aguas residuales, con el fin de que la eliminación del SST y DQO se realice con éxito (Sanghi, Bhattacharya, Dixit, Singh, & Environ., 2006).

5.8 Plantago mayor L. emple

Plantago mayor L. (llantén mayor) esta planta corresponde a la familia Plantaginácea. Planta que se desarrolla en zonas húmedas y con presencia en múltiples países (Webb, Sykes, & Garnock-Jones, 1988). de *P. mayor* Las partes principales que se emplean en los procesos de coagulación y floculación, son las semillas que llevadas al proceso de secado y posteriormente y desintegradas, y que al ser mezcladas con agua destilada y solución de NaCl al 0,9% son utilizadas para la extracción de los agentes coagulantes (Beltrán, Sánchez, Delgado, & Jurado, 2009), estos investigadores aseveran que los principales componentes activos de las semillas de *P. mayor* son polisacáridos que presentan propiedades glutinosas, que tercián en los procedimientos de coagulación y ulteriormente el de floculación, para la exclusión de colorantes que se presentan en las aguas residuales.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Ilustración 12

Semillas de Planta de Plantago mayor



Fuente: plantasyhongos. Disponible en: https://www.plantasyhongos.es/herbarium/htm/Plantago_majior.htm. 2009

Con el objeto de lograr resultados concretos con relación a la acción coagulante de esta planta, ha sido evaluada en prototipos de agua con colorante rojo neutro C.I. 50040, (Sarwan, Pare, Acharya, & Jonnalagadda, 2012).



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750

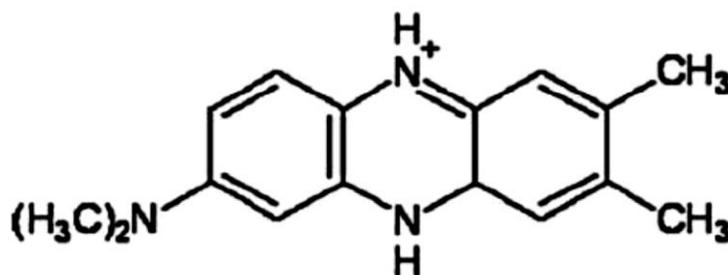


ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Ilustración 13.

Estructura química de rojo neutro



Fuente: (Sarwan et al., 2012).

Con base en los resultados obtenidos, teniendo en cuenta circunstancias extremadas de 297,6 mg / L y a pH 6,5 se han podido obtener disminuciones del 92% de exclusión de color y 82% de DQO. Por otra parte, la supresión del color, se considera que depende en alta medida del Ph, al igual que de las dosis del agente coagulante, consecuentemente, la mayor acción coagulante para supresión de color rojo se halla en el rango de pH de 5,5 a 6,5. No obstante las desviaciones en el pH no perturban significativamente la eficacia de los coagulantes naturales (Mishra & Bajpai, 2005). Por consiguiente, dicha eficacia en la eliminación podría estar ocasionada por las partículas catiónicas del colorante. Efectivamente, se ha sugerido que el mecanismo más importante de coagulación es el de adherencia y neutralización de las cargas de las moléculas del colorante, que al llenarse positivamente a un pH más elevado, acarrea a su desestabilización y ulteriormente al proceso de floculación. La desestabilización



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



de los coloides se origina a causa de las interacciones químicas que se presentan entre las moléculas del colorante y las del coagulante *P. mayor*. A continuación, se forma el proceso de floculación con la conformación de flóculos, los cuales empiezan a desarrollarse a través del componente de adsorción y afinidad electrostática tipo puente de hidrogeno, a causa de que el mucilago de *P. mayor* es un polisacárido, que presenta grandes cadenas divididas, las cuales constituyen estructuras fibrosas a través de los procesos de coagulación y floculación (Beltrán Heredia et al., 2009).

Diversos autores indican que, para la obtención de un proceso de coagulación eficiente, se considera de importancia que la estructura de los contaminantes (colorante rojo neutro) deban presentar un contenido de moléculas lineales (Beltrán Heredia et al., 2009). Por esto mismo la capacidad que presenta de coagulación en la supresión del color con la utilización del extracto de semillas de *P. mayor* se observó que se presenta una eficacia comparativamente alta. Al igual que con el uso de otros colorantes aniónicos, como el azul de metileno, ya que este presenta una estructura análoga a la del rojo neutro, pero basicidad diferente. No obstante, la eficiencia del coagulante no se observa impactada irreversiblemente por causa del pH. Usando *P. mayor*, distintos colorantes como verde malaquita y el rojo básico no indicaron ser eficaces, a causa de sus estructuras no lineales. Acorde a lo anterior, algunos autores insinúan que para que exista un óptimo proceso de coagulación con este tipo de especie, a través de la cual se deben distinguir moléculas lineales a cambio de no lineales (Beltrán Heredia et al., (2009).



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



5.9 Escamas de pescado

Los residuos generados por las escamas de pescado presentan una abundante fuente de material. Es debido a esta situación que estos elementos biológicos se convierten en un elemento de interés para ser estudiado. Además, hay que destacar que existe literatura, en la cual existen reportes relacionados con la utilización de las escamas de pescado que pueden ser empleados como coagulantes para tratar aguas residuales (Hood & Zall, 1990). Además, se puede establecer a través de investigaciones realizadas, que los componentes activos de las escamas del pescado que actúan en la actividad coagulante están compuestos por proteínas, que pueden ser utilizadas para la eliminación de color en aguas residuales, como también para la eliminación de iones metálicos.

Por otra parte, la actividad coagulante y floculante que realizan las proteínas para la supresión de color y los metales pesados que existen en las aguas residuales, el cual es realizado con el test de jarras. Además, las dosis de coagulantes gestionadas muestran una variabilidad entre 1 a 5 g con un pH en un rango entre 5 y 8, con el objeto de identificar la eficiencia del coagulante. Puesto que originalmente la demanda química de oxígeno DQO que tiene presencia en las aguas residuales presenta un resultado de 4700 ppm y la agrupación de color fue de 2,120 m-1.

Por otra parte, una cantidad considerable de metales pesados se midieron para determinar el beneficio que presenta el coagulante, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg y Pb con valores de las



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



concentraciones de 0,31, 2,23, 6,78, 2,26, 3,33 y 16,13 ppm proporcionalmente (Musa et al 2015).

Conforme a los efectos que arrojan las investigaciones, partiendo de dosis de 5,0 g/ml que presentan un pH de 5,0, se ha obtenido una concentración de 0,01 ppm del ion cadmio, en cuanto a que el ion cromo residual ostenta una concentración de 0,39 ppm. Es por esto que las dosis bajas del coagulante que se obtiene de las escamas de pescado que presenta un pH de 5,0 realiza una remoción de forma eficiente el color de aguas industriales hasta un 90% y una reducción del 98% de la demanda química de oxígeno (DQO). Asimismo, con dosis equivalentemente bajas de coagulante se consigue un óptimo porcentaje de supresión de metales pesados como lo es el cobre (Cu) y plomo (Pb).

Además, la exclusión de los contaminantes de las aguas residuales y lixiviados provenientes del segmento industrial textil, a través de la utilización de las proteínas provenientes de las escamas del peces, lo cual depende del mecanismo de coagulación originado por la neutralización de carga, en el momento en el cual los coagulantes contrarrestan las cargas eléctricas de las partículas coloidales en el agua, lo que consiente que partículas de coagulantes y partículas contaminantes se acerquen entre sí, admitiendo la conformación de flóculos grandes (Sharma, Dhuldhoya, & Merchant).



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



5.10 *Acacia mearnsii*

Acacia mearnsii, se denomina vulgarmente como (zarzo negro) es una planta leguminosa cuyo origen es Australia (fig. 20). Se caracteriza dentro de las especies más invasivas y que presenta una gran toxicidad a nivel mundial. Esta planta existe en una diversidad de países como fuente de taninos, siendo utilizada de forma tradicional en el proceso del curtido del cuero. Unas diversidades de estudios a nivel científico han manipulado la síntesis de agentes coagulantes con base en taninos modificados a través del fenómeno de cationización, que persigue la reacción de Mannich utilizando como base orgánica los taninos provenientes de esta planta (Beltrán et al., 2011).

En una multiplicidad de investigaciones experimentales, han empleado Tanfloc como medio coagulante en el tratamiento de los sumideros de aguas residuales que presentan contaminación con colorantes dentro de los que se destacan la Violeta de alizarina, tintes antraquinónicos y tensioactivos como el dodecibenceno sulfonato de sodio, que presentan una gran demanda química y biológica de oxígeno (Zollinger, 2007). Con base en las características anteriores estas conllevan a que los efluentes industriales que sujetan este colorante presentan alta toxicidad (Cabaço, Machás, Vieira, Santos, & wastewater, 2008). En la literatura se hallan varios estudios acerca de la coagulación de prototipos de aguas residuales contaminadas con tensioactivo dodecibenceno sulfonato de sodio, debido a que



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



concibe una gran demanda química de oxígeno DQO (Patterson, Metcalfe, Xiong, & Livingston, 2006).

En un estudio realizado por (Gutierrez, Ferrer, Garcia, & Uggetti, 2015), los autores efectuaron un estudio con base en el uso de biomasa de microalgas verdes (*Monoraphidium Scenedesmus* y *Stigeoclorium* y diatomeas *nitzchia*, *Navivcula* y *Amphora*) cultivadas en una planta empírica que ha estado en marcha continua durante más de 1 año. Conforme a las deducciones, a partir de varias pruebas de jarras, las dosis de floculante óptimas fueron 10 mg / L de Ecotan y 50 mg / L de Tanfloc, manejados para tratar la turbidez preliminar de biomasa de microalgas vario de 277 a 573 NTU (Beltrán et al., 2011). Los porcentajes de desempeño de la biomasa fueron desde 91,8 hasta 99,4% y 51,6 a 93,3% con Ecotan y Tanfloc, comparativamente. Algunos de los efectos que logran alterar la prontitud coagulante es el pH, no obstante, Ecotan y Tanfloc por ser derivados de especies naturales, no presenta alteraciones significativas en el pH de medio, puesto que ambos son eficaces en un intervalo de pH de 4,5 a 8.

Es por lo anterior que ambos floculantes, son convenientes para aplicaciones de procedimientos de tratamiento de aguas residuales, y sus consecuencias proponen suplir productos basados en metales con cloruros de aluminio y de hierro.

En otros trabajos de tipo experimental realizados por (Freitas, y otros, 2015), los autores partiendo de la modificación química han extraído los taninos de *Acacia* para la eliminación



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



de la contaminación en los estudios que se han llevado a cabo con muestras de agua superficiales del río, contaminadas artificialmente con *Oocystis* a diferentes concentraciones, (Dupas, y otros, 2015). Algunas cuantificaciones físicas y químicas a tener en cuenta para el adecuado funcionamiento del coagulante se hallan establecidos a través de la dosis de Acquapol C1 y la agrupación inicial de algas y el pH. Partiendo de una serie de ensayos de los autores, se ha podido encontrar que la eficacia de la exclusión, presenta una tendencia a incrementar la medida en que aumenta la dosis de Acquapol C1.

Sin embargo, hay estudios de autores como (Gu & Zhu, 1992), los cuales proponen el dispositivo de adsorción que sirve para el proceso de coagulación y floculación, a través de dos etapas: (1) la filtración de iones y moléculas del tensioactivo y (2) en definitiva esto conduce al incremento de adsorción, constituyéndose agregados en la parte superficial, por medio de la interacción de las cadenas hidrofóbicas de las moléculas de tensioactivos.

Para establecer la acción coagulante del tanino Tanfloc procedente de *Acacia mearnsii* en la supresión de colorantes, se han esgrimido muestras de agua con desiguales colorantes azoicos (azul, negro y rojo); (carmín de índigo), trifenilmetano (cianina de Eriocromo) y antraquinónicos (Violeta de alizarina), cada cual con una concentración de 100 mg/L y una dosis de 100 mg/L de coagulante reformado. Acorde a los reportes hallados, los colorantes antraquinónicos como el violeta de alizarina ostenta una alta aproximación, con taninos



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



transformados como son Silvafloc (derivado de *Schinopsis balansae*), *Acquapol C-1* y *Tanfloc* (derivados de *Acacia mearnsii*), Beltrán, Sánchez, Delgado, & Jurado, (2009).

Tanfloc, coagulante a base de tanino modificado, ha sido empleado en la eliminación de tensioactivos que están presentes en las aguas residuales. Según descrito en la literatura científica se pudo determinar la capacidad del coagulante con dosis de 100 mg / L de taninos procedentes de *Acacia mearnsii* (Tanfloc, *Acquapol C-1* y *Acquapol SST*) y *Schinopsis balansae* (Silvafloc) en la exclusión del tensioactivo dodecibenceno sulfonato de sodio (DBSS) a una concentración de 50 mg/L de tensioactivo. Hallando como efectos que el coagulante presenta una mayor eficiencia para la eliminación de tensioactivos son los taninos que se derivan de la *Acacia mearnsii*. Esto a causa de la estructura molecular larga del tensioactivo DBSS (Beltrán et al., 2009).

En lo que respecta a las aguas residuales municipales y vertederos, se han seleccionado por que presentan altos valores de turbidez, DQO y DBO5, al igual que las concentraciones significativas de tensioactivos (Mungray y Kumar, 2008). Conforme a los resultados, el porcentaje de exclusión de materia orgánica (DQO y DBO5) estuvo en un porcentaje de 40% y 60%, proporcionalmente. Por otra parte, la exclusión de turbidez inicial de 50 NTU ostentada en muestras de agua del rio fue del 60%. Las dosis que presentan mayores valores de coagulante podrían ocasionar una mayor eliminación de la turbidez. Por lo tanto, Tanfloc y otros derivados de tanino como Silvafloc son agentes que muestran actividad coagulante para



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



tratar aguas superficiales y aguas residuales de origen industrial (Sánchez, González, Beltrán, & de, 2009). Un numero considerable de parámetros fisicoquímicos dentro de las que se destaca la temperatura y la cantidad de amina, las cuales se hace necesario tener en cuenta. Las temperaturas óptimas se presentaban en un valor de 30 °C en ambos casos. No obstante, la suma de amina tuvo una influencia significativa más que la temperatura para la obtención de una coagulación y floculación eficaz en lo que respecta al tratamiento de aguas residuales (Beltrán et al., 2010).

5.10 Tratamientos combinados

Para cumplir con los estándares de calidad cada vez más estrictos para la descarga de lixiviados en cuerpos de agua, es indispensable la combinación de métodos fisicoquímicos tradicionales y/o innovadores con procesos biológicos (Oloibiri, Demeestere, & Hulle, 2015) En los últimos años, se han probado diferentes combinaciones de tratamiento, como:

- Coagulación/floculación (Coag.) + Fenton o foto-Fenton solar (SPF)
- Oxidación biológica de lodos activados (ASBO) + Coag. + foto-Fenton (PF), electro-Fenton (EF) o fotoelectro-Fenton (PEF) Reactor de biopelícula por secuencia de lotes (SBBR) + EF
- EF + ASBO
- Reactor granular de Biofiltro por secuencia de lotes (SBBGR) + SPF, electrólisis, H₂O₂, H₂O₂/UV u O₃



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



- Eliminación de nitrógeno autotrófica (ANR) + carbón activado granular (GAC) y en combinación con Coag., O₃ o Fenton
- ASBO + Ultra filtración + Oxidación Química
- ASBO + Ultra Filtración + Ósmosis Inversa
- Biorreactor de membrana (MBR) de ósmosis inversa (RO)
- Biorreactor de membrana anaerobia/aerobia + nanofiltración.

Según (Gomes, Santos, Silva, Boaventura, & Vilar, 2019), el proceso fisicoquímico puede usarse como un paso útil de pretratamiento, especialmente para lixiviados frescos, antes del tratamiento biológico, o como un paso posterior al tratamiento (pulido) para lixiviados parcialmente estabilizados, la combinación de estos dos métodos es considerado como las mejores tecnologías disponibles para tratar los lixiviados (Chemlal, y otros, 2014); un ejemplo de ello son los estudios realizados por (Xu, Siracusa, Di Gregorio, & Yuan, 2018), sobre tratamiento biológico seguido de tratamientos químicos usando de H₂O₂, Fe²⁺ y O₃ indicando nuevamente que la combinación de estos dos métodos elimina eficazmente los contaminantes orgánicos de los lixiviados de vertederos maduros.

En Colombia, en la ciudad de Pereira departamento de Risaralda se cuenta dentro del relleno sanitario la Glorita con un sistema de tratamiento combinado, compuesto por un sistema biológico (laguna anaerobia, UASB, filtro anaerobio) + un proceso fisicoquímico (coagulación/floculación) para tratar los lixiviados generados obteniendo



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



concentraciones inferiores al límite permisible por la normativa nacional (Servicios ambientales, 2019).

Otro ejemplo es la combinación de la capacidad de separación de la membrana con en un sistema de digestión biológica, resultando en los biorreactores de membrana (BRM) permitiendo la retención de la mayoría de las células microbianas en el reactor, dando como resultado excelentes remociones de demanda biológica de oxígeno (DBO5) y de amoníaco del 90%, con tiempos de residencia hidráulica mucho más cortos y una tasa de carga orgánica mucho mayor en comparación con los sistemas biológicos convencionales ((Ahmed & Lan, 2012a)

En tratamientos combinados de extracción de aire-Fenton-SBR-coagulación se obtienen remociones de DQO, DBO5 y NH 3-N del 92,8%, 87,8% y 98,0%, respectivamente, demostrando ser indispensable la combinación de sistemas de tratamiento para lograr el cumplimiento de los requisitos ambientales (Liu, Wu, Shi, Guo, & Cheng, 2015). En la actualidad, el enfoque principal para tratar los lixiviados de rellenos sanitarios maduros combinan métodos de tratamiento biológico con un tratamiento avanzado de membrana (Wang, y otros, 2020a).

En China, los procesos fisicoquímicos + biorreactor de membrana + nanofiltración se aplican para el tratamiento de lixiviados en más del 80% de las plantas de tratamiento de rellenos sanitarios de ese país. Wang, y otros, (2020a).



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



En un estudio realizado en 2014 por CESUR en Portugal, se identificó que el 35% de los sistemas de tratamiento de lixiviados existentes, utilizan el proceso biológico seguido de un sistema de ósmosis inversa y un 31% utilizan la combinación de lodos activados con tratamiento fisicoquímico (De Barros, 2018)

En Colombia en ciudades como Santa Marta en el departamento del Magdalena y en Ibagué en el departamento del Tolima, los rellenos sanitarios presentan sistemas de tratamiento que combinan procesos biológicos + filtración avanzada (microfiltración, ultrafiltración y ósmosis inversa) para el tratamiento de sus lixiviados (Servicios ambientales, 2019a; Servicios ambientales, 2019c).



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



6. Discusión-de resultados

Teniendo en cuenta el análisis bibliográfico realizado hay que destacar que en investigaciones de tipo científico, se realizan diferente tipo de observaciones relacionadas con coagulantes y floculantes que son derivados de recursos naturales, como alternativa de utilización de coagulantes sintéticos en las operaciones de tratamiento de agua, puesto que estos últimos han estado afectando el medio ambiente. Por lo tanto se considera de importancia la investigación de coagulantes y floculantes que tengan una afectación mínima o ninguna para el medioambiente, es por esto que se ha orientado la revisión bibliográfica a este tema, teniendo en cuenta principalmente las semillas como parte importante de las plantas donde se han extraído los agentes coagulantes activos, a causa de un contenido elevado de polisacáridos de peso molecular alto y que presenta compuestos proteínicos utilizados para la remediación de lixiviados y aguas residuales que presentan contaminación con tintes, elevados niveles de turbidez, sustancias químicas, demanda Química de Oxígeno y los iones de metales pesados. Lo anterior debido a que existen diversos estudios que han demostrado la capacidad que presentan los agentes coagulantes y floculantes extraídos de fuentes naturales los cuales presentan porcentajes de supresión de contaminantes de hasta más del 90%.

Además, los resultados de los estudios que se han venido realizando, destacan la importancia que tienen las fuentes naturales que se han venido empleando como coagulantes para la remediación de aguas en vertimientos y residuales, donde presentan un gran potencial



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



como alternativa de los coagulantes inorgánicos debido a la toxicidad con el medio ambiente. No obstante que a diferencia de los inorgánicos, para realizar de forma eficaz en la actividad coagulante se hace necesario poseer algunos parámetros fisicoquímicos dentro de los que se destacan principalmente dosis del agente coagulante, concentración de contaminantes y pH. Sin embargo, se puede establecer que estos son componentes que se derivan de fuentes naturales, los cuales no presentan una mayor afectación al medioambiente como si lo hacen los coagulantes inorgánicos.

En la Tabla 5 se resumen las actividades de los coagulantes y floculante de diferentes especies vegetales en el tratamiento de aguas residuales industriales

Tabla 6 Actividad de coagulantes y floculantes en el tratamiento de aguas residuales industriales

ESPECIE VEGETAL/ANIMAL	PARTES UTIL	COAGULANTE	pH	DOSIS	FACTORES REMOVIDOS	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS
Moringa Oleífera.	Semillas	Proteína	6-8	0.15 ml L ⁻¹	Turbidez, material orgánico	Nhut, HT, Hung, NTQ, 2020)
Quitosano	Escamas	Desechos exoesqueletos.	6-9	1100 mg/L	Color, turbidez y contaminantes recalcitrantes	Lichtfous e E. y col., 2019)
Cactus.	mucilago	Proteína	10-8.8	30 ml / 70ml mucílago/lixiado	Turbidez, conductividad	(Nouj, N., Heddadi, 2021)



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
 Pamplona - Norte de Santander - Colombia
 Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



En la tabla anterior se puede evidenciar y comparar algunas propiedades de los productos seleccionados para este estudio investigativo. Se puede resaltar los grandes beneficios que la Moringa Oleífera, cumple a la hora de mejorar la turbidez y poder eliminar los diversos materiales orgánicos que un lixiviado contiene.

Si se observa el quitosano, posee tan solo un litro de residuos, pero las soluciones que proporciona, de color, turbidez y contaminantes son muy importantes. El mucilago, producto extraído de los cactus, proporciona cambios en turbidez y conductividad representativa en las muestras de residuos.

Al observar la tabla se observa que si es posible contribuir con el medio ambiente al remover contaminantes con coagulantes naturales y que los coagulantes sintéticos o químicos; en un futuro serán historia.

Por otra parte, se realizó una revisión bibliográfica de otras fuentes naturales utilizadas como coagulantes, como lo es el aloe vera y la cascara de naranja, cuya actividad coagulante se encuentra ligada a la pectina (Hernández, Moreno, Hernández, & Crespo, 2017), esta se encuentra asociada a la capacidad de gelificación natural de los compuestos que a su vez permite que sea soluble en agua y a que sea eficiente para ser utilizada en procesos de tratamientos de coagulación de aguas crudas, donde además su capacidad coagulante se encuentra estrechamente relacionada con la disponibilidad de cationes bivalentes (Perazzo, Goulart, Figueiredo, Oliveira, & Silva, 2015)



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



En relación con lo obtenido con el extracto de sábila y la dosis óptima de coagulante determinada para dicho tratamiento, se observa un comportamiento similar a lo reportado por (Diestra & Ramos, 2019) los cuales obtuvieron una remoción de turbidez con extractos de sábila desde un 80.98% hasta un 88.5% con tiempos de floculación de 25 minutos, coincidiendo que dicho tiempo es óptimo y evita que los flocs se destabilicen y comiencen nuevamente a aumentar los valores de turbidez.

Lo primero, también se relaciona con lo propuesto por (Munavalli, 2017), quien alcanzó remociones entre un 75% a un 81% en aguas con turbidez entre 70-90 NTU, lo que puede deberse a lo afirmado por (Morales, 2018), donde se logró demostrar que a mayor cantidad de extracto de sábila se pueden obtener mejores resultados en la remoción de turbidez, lo que permite inferir que en el presente estudio un aumento en la concentración del extracto podría presentar remociones incluso mayores al 90%.

En lo que respecta a la cascara de naranja el porcentaje de remoción máxima con el extracto de naranja ha sido de 69%, que en comparación con lo reportado por T (Ticona, 2018), quien realizó igualmente una extracción en base salina, logró una remoción de hasta un 81.99%. Este porcentaje presenta entonces, un beneficio en cuanto al tratamiento de aguas grises, o lixiviados, puesto que las cascara en etapa madura utilizadas para la extracción de coagulante, en relación con los antecedentes químicos de la naranja se asocia con un aumento de las azúcares presentes en la misma y una disminución en la acidez natural de dicho fruto.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



No obstante en lo que respecta a la mezcla de Aloe Vera y Citrus Reticulata se ha podido establecer que existe una gran eficiencia de la floculación a través de esta mezcla para disminuir la turbidez en vertimientos de aguas grises, lixiviados y que comparando la eficiencia de cada uno de los vegetales naturales de Aloe Vera, Citrus Reticulata y la mezcla, se ha, encontrando la mayor eficiencia en el floculante Aloe Vera seguido por la mezcla de ambos vegetales y finalmente el Citrus Reticulata.

Por otra parte, en lo que respecta al análisis procedente de la actividad coagulante del extracto de maíz para disminuir la turbidez en vertimientos y aguas grises, el componente activo que le da la capacidad coagulante-floculante es el almidón, el cual es un polímero natural que cuenta además con una alta biodegradabilidad; con dicho componente activo se ha logrado en algunos casos remociones de hasta un 90% de turbidez y color en vertimientos hídricos superficiales.

Lo anterior, con base a los resultados obtenidos para el tratamiento más eficiente con el maíz en relación con la remoción de turbidez y la dosis optima de coagulante, coincide con lo reportado por (Jiménez & Piscal, 2015), quienes consiguieron una remoción del 86.77%, y afirman que los altos valores de turbidez permiten que el almidón contenido en el maíz funcione como catalizador y logre que más partículas coloidales se adhieran para formar flocs de mayor peso, promoviendo la remoción de turbidez en aguas grises. Por su parte (Aguirre, Piraneque,, & Cruz, 2018)lograron obtener una remoción del 68% y (Sotheeswaran, Nand,



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Matakite, & Kanayathu, 2014) obtuvieron una eficiencia del 19%; estos resultados demuestran la influencia de las diferentes metodologías aplicadas para la extracción del componente activo.

En lo concerniente a la *Cassia obtusifolia*, se pudo establecer que las proteínas que se extraen de las semillas, suministran una actividad eficiente de coagulación con la solución de NaCl a 0,5 M, a través de la eliminación de turbidez en un rango de hasta el 99% con una turbidez inicial de 500 NTU proveniente de las aguas residuales, en cotejo con solventes como NaOH y agua destilada. Consecuentemente, a medida que la concentración de NaCl presenta un incremento de hasta 0,5 M, más agente coagulante se puede extraer de las semillas, acrecentando la eficacia en la supresión de turbidez, esto puede ser ocasionado porque las altas concentraciones de sal incrementan las disociaciones proteína-proteína y solubilidad de la proteína en la solución en balance con otros disolventes.

En lo que respecta al *Plantago mayor* según las observaciones que se han venido realizando, la eficiencia en la función como mecanismo coagulante es el de adsorción y neutralización de las cargas que muestran las moléculas, las cuales al cargarse de forma positiva con relación a un pH más alto, lo cual conduce a su desestabilización y posteriormente al proceso de formación de flóculos, iniciando estos a crecer a través del mecanismo de adsorción y atracción electrostática tipo puente de hidrogeno, a causa de que el mucilago de



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



P. mayor es un polisacárido, que contiene largas cadenas ramificadas, forman estructuras fibrosas por medio de los procesos de coagulación y floculación.

La utilización de las proteínas de las escamas de pescado, muestran una utilidad para la eliminación de contaminantes en los vertimientos de aguas provenientes de la industria textil por medio del mecanismo de coagulación neutralizando la carga, para la eliminación de contaminantes del agua en la industria textil durante este período el coagulante neutraliza la carga. Partículas coloidales en el agua, permitiendo que las partículas coagulantes y contaminantes están cerca unas de otras, lo que permite la alineación de grandes flóculos, obteniendo una eficiencia del 77% para mucilago de Llantén.

Finalmente, en relación con lo obtenido en el presente trabajo y los posibles usos de los extractos naturales como coadyuvantes en el tratamiento de vertimientos de aguas grises, lixiviados, los cuales se encuentran actualmente regulados por normativa y teniendo en cuenta los estudios realizados por (World Health Organization., 2013) y (Llopis & Ballester, 2020), donde demuestran que la exposición a floculantes y coagulantes no orgánicos pueden generar danos irreversibles en el sistema inmune humano e incluso permitir el desarrollo de enfermedades asociadas a daños cerebrales que afectan las capacidades psíquicas y cognitivas. Por lo anterior se destaca el aporte que se puede dar al utilizar extractos naturales de fuentes vegetales e incluso animales, en el proceso de coagulación floculación de aguas grises y lixiviados, enfocado en soluciones con fines de potabilización. Además tienen



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



un grado de toxicidad bajo, buena biodegradabilidad y poca variabilidad del pH, presentan un rango de dosis efectiva más amplio para la floculación de varias suspensiones coloidales y producen lodos inocuos y una menor cantidad de los mismos.

Como último aspecto se consideró de importancia tener en cuenta el tema de Tratamientos combinados, esto debido a la gran variabilidad en la composición de los lixiviados de un lugar y tiempo a otro donde no existe un tipo de tratamiento específico y generalizado, por lo que se encontró que la combinación de dos o más tecnologías logra mayores eficiencias y abarca un número mayor de parámetros a remover. Las tecnologías de tratamiento adecuadas dependen principalmente de las características propias de cada lixiviado, es por esto que se debe comprender completamente su composición y concentración. El cambio en la normativa ambiental cada vez más estricta para los vertimientos de lixiviados, ha permitido mejorar e instalar tecnologías avanzadas para el tratamiento de este tipo de efluentes garantizando su cumplimiento.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



7. Conclusiones

Teniendo en cuenta la revisión bibliográfica realizada donde se ha podido establecer que debido a la contaminación de los vertederos y cuerpos de agua debido al gran volumen de desechos que generan lixiviados los cuales producen efectos ambientales más serios provocados por el manejo inadecuado de los residuos sólidos como lo es la contaminación de las aguas superficiales, las cuales muchas veces son fuentes de abastecimiento de agua potable. Lo cual como consecuencia, se produce la pérdida del recurso agua, ya sea para consumo humano o para recreación, se destruye la fauna acuática y también se deteriora el paisaje, lo que acarrea una afectación medioambiental importante.

Por otra parte, se ha podido establecer que se han buscado soluciones a esta problemática, dentro de las cuales se han desarrollado diversos métodos del proceso de tratamiento de lixiviados, siendo esto una tarea compleja, con lo cual se ha podido establecer que no existe, por tanto, un sistema de tratamiento exclusivo para el lixiviado, por el contrario, se proponen normalmente numerosos métodos de tratamiento, que normalmente se combinan; desde el tratamiento biológico, precipitación química, adsorción con carbón activado, sedimentación, flotación y filtración (tratamientos generales), hasta los tratamientos específicos como la oxidación química, reducción química, intercambio iónico, membranas, stripping y oxidación húmeda, estos últimos con afectaciones a la salud y al medioambiente.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Es por lo expuesto que se consideró realizar una revisión de los métodos de coagulación floculación naturales que utilizan materiales orgánicos con el fin de poder establecer las ventajas que estos representan, puesto que muchas de las investigaciones que se han venido realizando con relación a este tipo Coagulantes-Floculantes, son considerados una fuente que presenta un gran potencial alternativo, por sus características biodegradables, además de no generar afectaciones al medio ambiente, en relación a lo que sucede con los coagulantes inorgánicos y polímeros de tipo sintético, ya que al ser de origen natural presentan agentes coagulantes activos como carbohidratos, taninos y proteínas.

También se considera de importancia destacar que de las especies naturales que se han investigado la que presenta mayor grado de importancia son las semillas de Moringa oleífera, puesto que estas presentan componentes activos, como proteínas catiónicas de diferentes pesos moleculares, al mismo tiempo de poseer gran capacidad antimicrobiana, que representa una alternativa importante de biorremediación en el saneamiento de aguas grises o superficiales. Además, las semillas de moringa ostentan propiedades antimicrobianas, con capacidad de eliminar los microorganismos que están presentes en el agua como son los coliformes totales y fecales, puesto que según estudios realizados *in vitro* se ha podido comprobar la actividad existente en diferentes partes de la planta, con relación a los microorganismos patógenos. Puesto que a partir de los resultados de investigaciones, los autores pudieron demostrar que la actividad antimicrobiana de los extractos de semillas de moringa, que floculan bacterias Gram



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



positivas y Gram negativas, lo pueden realizar de la misma forma que lo hacen con los coloides del agua.

Otro tipo de tipo coagulante-floculante que merece importancia según las investigaciones que se han realizado es la *Cassia obtusifolia*, la cual al ser un coagulante natural muestra porcentajes de coagulación en un rango de hasta el 86,9 % de sólidos suspendidos y el 36,2% en cuanto a la demanda química de oxígeno. Conforme a los resultados obtenidos, las proteínas que se presentan en las semillas de *C. obtusifolia*, con lo se puede obtener un eficaz coagulante y floculante natural.

Por otra parte, el *Plantago mayor L.*, presenta según las investigaciones realizadas establecen la utilidad que presenta en cuanto a que los componentes activos de las semillas de *P. mayor* son polisacáridos con propiedades viscosas, que intervienen en los procesos de coagulación y posterior el de floculación, para la eliminación de colorantes presentes en verdaderos y aguas residuales.

Otro coagulante-floculante natural que se analizó es el Quitosano, el cual posee propiedades que le permite unirse a algunos metales, con una afinidad mayor o menor y variable en función del pH, fuerza iónica y presencia de otros metales. Por lo tanto, varias tecnologías ya hacen uso de estas propiedades para descontaminar aguas residuales utilizando membranas de gel, la ultrafiltración con complejos de quitosano, ósmosis inversa, nano filtración, vaporación, coagulación – floculación, entre otros. Además, varios estudios concluyen que el



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



quitosano es un coagulante y floculante eficaz en el tratamiento de aguas residuales industriales, con reducciones del 70 al 98% del material suspendido, y del 55-80% de la demanda química de oxígeno.

En lo que respecta al cactus se ha podido concluir la importancia que representa el principio activo del mucílago de nopal, como elemento que presenta buenas cualidades para la reducción de turbidez en el agua, siendo este posiblemente un ingrediente activo que puede proporcionar la capacidad de coagulación de *Opuntia spp*, esto si se tiene en cuenta los ensayos que se han realizado con anterioridad, combinados con otros azúcares que tienen presencia en el cactus y han mostrado reducciones de turbidez del 50 %, lo que indica que la presencia de elementos adicionales en el mucílago del cactus son en parte responsables. Estos resultados se deben probablemente a al predominio en especies vegetales en forma polimérica (ácido poligalacturónico) que presenta el ácido galacturónico, donde el predominio de esta estructura indica que es aniónico, y la existencia de grupos carboxílicos a lo largo de la cadena involucra que se puede proporcionar la adsorción química entre las partículas cargadas y suspendidas en el agua, que presentan porcentajes de eliminación de turbidez hasta un 93,78 % y de 65 % siendo este aplicado solo cactus como coagulante, por debajo de resultados obtenidos con otro tipo de coagulantes, tales como los sintéticos destacándose el cloruro férrico y sulfato de aluminio.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



En lo que respecta a la mezcla de aloe vera con y citrus reticulata, se ha podido concluir según las investigaciones realizadas que el que el floculante Aloe Vera tiene el mayor porcentaje de remoción de turbidez en aguas de vertimientos, superficiales o grises. No obstante, hay que destacar que Reticulata tiene una eficiencia muy parecida a la del Aloe Vera, sin embargo no se puede decir lo mismo para el floculante Citrus Reticulata ya que tiene un porcentaje muy bajo de remoción de turbidez por lo cual no se recomienda el uso de este floculante, por tanto respectivamente se encuentra respectivamente, la mayor eficiencia en el floculante Aloe Vera seguido por la mezcla de ambos vegetales y finalmente el Citrus Reticulata.

En cuanto al tratamiento con maíz a una concentración de 0.5 molar de NaCl, la eficiencia más alta se presentó con un porcentaje de remoción de turbidez de un 85% con dosis de 7 y 12 ml, pasando de valores de turbidez de 269 NTU a 40.6 y 41.2 NTU; respectivamente. Mientras que con las dosis de 10 y 15 ml se lograron remociones de un 83,5% con valores finales de turbidez de 44.3 y 46.9 NTU, respectivamente.

Otro elemento de tipo biológico que presenta utilidad son las escamas de pescado las cuales muestran según la literatura reportes sobre el uso de estos elementos como coagulantes para el tratamiento de aguas residuales donde se aprovechan las proteínas para eliminar iones metálicos. Alcanzando a través de dosis bajas del coagulante de las escamas de pescado y con un pH de 5,0 una eliminación eficaz del color de aguas industriales en un porcentaje de hasta



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



un 90% y una reducción de un 98% de la demanda química de oxígeno (DQO). Al mismo tiempo, con dosis igualmente bajas de coagulante se puede obtener un porcentaje óptimo de eliminación de metales pesados como el cobre (Cu) y plomo (Pb).

Por último, hay que destacar los tratamientos combinados, los cuales debido al incremento de residuos y su disposición en rellenos generando como subproductos lixiviados, los cuales deben ser tratados antes de ser vertidos a cuerpos de agua superficial con el fin de evitar daños a la salud y al medio ambiente. Por lo tanto, a causa de a la gran variabilidad en la composición de los lixiviados, por lo que se encontró que diversas investigaciones proponen la combinación de dos o más tecnologías, con el fin de lograr mayores eficiencias e incluir un número mayor de parámetros a remover.

En conclusión, se podría conceptuar que en la actualidad se han desarrollado diversos estudios en la búsqueda de coagulantes naturales, algunos de ellos han mostrado una gran eficiencia tal como se ha venido reseñando. No obstante, hay que destacar que por medio de coagulantes y floculantes naturales no se puede obtener un tratamiento completo con eficiencia del 100% de descontaminación de los lixiviados y de las aguas residuales, ya que solo se logran realizar remociones promedio del 90% de eliminación de los contaminantes presentes en estas aguas residuales de los rellenos sanitarios y de los vertederos.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Referencias

- Abbas, A., Jingsong, G., Ping, L., Ya, P., & Al-Rekabi, W. (2009). *Review on landfill leachate treatments*. *AJAS* (ISSN: 1546-9239) 6 (4): 672-684.
- Abiola, O. N. (2016). *Appropriate technology for domestic wastewater management in under-resourced regions of the world*. Adekunle Ajasin University.
- Aguirre, S., P. N., & Cruz, K. (2018). *Sustancias naturales Alternativa para el tratamiento de agua del río Magdalena*. Scielo, 29, n. 3.
- Ahmed, A., Sumath, S., & Hameed, B. (2006). *Coagulation of residue oil mill effluent by chitosan, alum and PAC*. *Chem. by chitosan, alum and PAC*. *Chem.* . Eng. J., 99–105.
- Ahmed, F., & Lan, C. (2012). *Tratamiento de lixiviados de vertederos utilizando biorreactores de membrana: una revisión*. *Desalinización 287: 41–54*. *Desalinización 287: 41–54*.
- Ahmed, N., & Lan, C. (2012a). *Treatment of landfill leachate using membrane bioreactors*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.12.012>
- Álava, J. (2016). *Aplicación de quitosano como biocoagulante en aguas residuales contaminadas con hidrocarburos*. Obtenido de <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v6n3.69>
- Bahrodin, ., M., Zaidi, N., & Hussein, N. (2021). *Avances recientes en el tratamiento de aguas residuales basado en la coagulación: transición de coagulante químico a natural*. . Obtenido de <https://doi-org.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/10.100>
- Bashir, M., Aziz, A., & Yusoff, M. (2011). *Nuevo tratamiento secuencial para lixiviados de vertederos maduros mediante procesos catiónico / aniónico y aniónico / catiónico: optimización y estudio comparativo*. *J Hazard Mater* 186: 92–102.
- Beltrán, H., Sánchez, M., Delgado, R., & Jurado, B. (2009). *La eliminación de alizarina Violet 3R (tinte antraquinónicos) a partir de soluciones acuosas mediante coagulantes naturales*. . *Diario de materiales peligrosos*, 170, pp. 43-50.
- Bouatay, F., & Mhenni, F. (2014). *Use of the cactus cladodes mucilage (Opuntia Ficus Indica) as an eco - friendly flocculants: process development and optimization using stastical*



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



analysis. *International Journal of Environmental Research*. Obtenido de https://ijer.ut.ac.ir/article_822_15a052324d6b84181184bdd275322bb6.pdf

Cabaço, S., Machás, R., Vieira, V., Santos, R., & wastewater, (. I. (2008). *Impacts of urban wastewater discharge on seagrass meadows (Zostera noltii)*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Coastal and Shelf Science.

Cabrera, X., Fleites, M., & Contreras, A. (2009). *Estudio del proceso de coagulación-floculación de aguas residuales de la empresa textil "desembarco del granma" a escala de laboratorio*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543760009.pdf>

Campo, V. Y., Delgado, M., Roa, Y., Mora, G., & Carreño, O. J. (2019). *Evaluación preliminar del efecto del quitosano en la coagulación-floculación de aguas residuales*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v21n2/0123-4226-rudca-21-02-00565.pdf>

Carranza, M. (2013). *Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5)*. Universidad Técnica Estatal De Quevedo.

Catarina, V. a., Catarina, N. b., Mota, C. V., Gouveia, M., & Gonçalves, a. (2021). *Un enfoque circular para el tratamiento de lixiviados de vertederos: precipitación química con cenizas de biomasa seguida de biorremediación a través de microalgas*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343721001640>

Chavez, W. (2011). *Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la Cd. de Chihuahua, Méx.* Centro de investigación en materiales avanzados.

Chemlal, R., Azzouz, L., Kernani, R., Abdi, N., Lounici, H., Grib, H., & Drouiche, N. (2014). *Combination of advanced oxidation and biological processes for the landfill leachate treatment*. . Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.043>

Chen, X., Zhuang, J., Liu, J., Lei, M., Ma, L., Chen, J., . . . Hu, L. (2011). *Potential AMPK activators of cucurbitane triterpenoids from *Siraitia grosvenorii* Swingle*. *Bioorg Med Chem* 19: 5776 - 5781.

Cultura Científica. (2019). *Qué es el pH*. Obtenido de <https://culturacientifica.com/2019/11/28/que-es-el-ph/>

De Barros, T. I. (2018). *D a g l p a s r u c e : s i*. Facultad de ciencias e tecnología.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



- Diestra, S., & Ramos, P. (2019). *Efecto de la concentración de Aloe Vera (Sábila) y tiempo de floculación en la remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica biodegradable de aguas residuales municipales*. Biblioteca Digital - Dirección de Sistemas de Informática y Comunicación.
- Dupas, R., Delmas, M., Dorioz, J., Garnier, J., Moatar, F., & Gascuel-Odoux, C. (2015). *Evaluación del impacto de las presiones agrícolas en las cargas de N y P y el riesgo de eutrofización*. *Ecol Indic* 48: 396–407.
- Dupas, R., Delmas, M., Dorioz, J., Garnier, J., Moatar, F., & Gascuel-Odoux, C. (Evaluación del impacto de las presiones agrícolas en las cargas de N y P y el riesgo de eutrofización.). 2015. *Ecol Indic* 48: 396–407.
- Emgirs. (2020). *Tratamiento de lixiviados*. Obtenido de <https://www.emgirs.gob.ec/index.php/zentools/zentools-slideshow/zentools-carousel>
- FAO. (2019). *Contaminación de suelos a partir de residuos peligrosos*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>
- Feng, D., Song, C., & Mo, W. (2021). *Implicaciones ambientales, para la salud humana y económicas del tratamiento de lixiviados de vertederos para la eliminación de sustancias perfluoroalquílicas y polifluoroalquílicas*. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33857713/>
- Fernández-Alba, A., Letón, G. P., Rosal, G. R., Dorado, V. M., Villar, F. S., & Sanz, G. J. (2016). *tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Madrid: Fundación para el conocimiento.
- Freitas, Oliveira, Souza, d., Geraldino, Almeida, Fávaro, & Garcia. (2015). *Optimization of coagulation-flocculation process for treatment of industrial textile wastewater using okra (A. esculentus) mucilage as natural coagulant*. *Monit. Assess.* 186, 5261–5271.
- Fuentes, L., Contreras, W., Perozo, R., Mendoza, I., & Villegas, Z. (2018). *Uso del quitosano obtenido de Litopenaeus schmitti (Decapoda, Penaeidae) en el tratamiento de agua para consumo humano*. *Multicias*, vol 8.
- Galvin, M. (2003). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos*. Tratamiento y control de calidad de aguas.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



- Gomes, I., Santos, S., Silva, V., Boaventura, R., & Vilar, P. (2019). *Science of the Total Environment Treatment train for mature land fill leachates : Optimization studies. . Science of the Total Environment*, 673, 470-479. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.027>.
- Gu, & Zhu. (1992). *Rupprecht, Advances in colloid structure*. Progress in Colloid and Polymer Science 88, 74.
- Gutierrez, R., Ferrer, I., Garcia, J., & Uggetti, E. (2015). *Influence of starch on microalgal biomass recovery, settleability and biogas production. . Bioresource technology* 185 (2015)341-345.
- Hernández, C. C., Moreno, Q. M., Hernández, R. D., & Crespo, Z. L. (2017). *Acid hydrolysis of Aloe Vera (Sábila) bagasse for obtaining pectin*. Centro Azúcar, 44.
- Hood, L., & Zall, R. (1990). *Recovery, utilization and treatment of seafood processing wastes. In: Conell JJ (ed) Advances in fish science and technology*. Fishing News Books, Ltd., Surrey, England.
- IDEAM. (2007). *La Demanda Química de Oxígeno (DQO)*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb#:~:text=La%20Demanda%20Qu%C3%ADmica%20de%20Ox%C3%ADgeno,agente%20oxidante%2C%20temperatura%20y%20tiempo>.
- Ilaria, R., abRaed, A., Al-JubooriaJuho, U., & KaljunenaAnna, M. (2021). *Tratamiento polivalente de lixiviados de vertederos utilizando coagulantes naturales - Pretratamiento para la recuperación de nutrientes y eliminación de metales pesados y microcontaminantes*. Journal of Environmental Chemical Engineering Volume 9.
- Ittisupornrat, S., Phetrak, A., Theepharaksapan, S., Mhuantong, W., & Tobino, T. (2021). *Efecto de los tiempos prolongados de retención de lodos sobre el rendimiento del biorreactor de membrana y la comunidad microbiana para el tratamiento de lixiviados bajo aireación restringida*. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34214930/>



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



- Jiménez, B. L., & Piscal, V. (2015). *Estudio y evaluación del almidón de maíz como alternativa natural en el proceso de coagulación de agua para consumo humano*. San Juan de Pasto:: Universidad de Nariño.
- Kamaruddin, M., Yusoff, M., Adam, M., Maz, M., Abdullah, M., & R Alrozi, A. (2018). *Degradación de la materia orgánica del lixiviado estabilizado mediante el uso de sulfato de zinc como agente coagulante*. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/374/1/012047/meta>
- Kursun. (2010). *Determination of flocculation and adsorption-desorption characteristics of Na-Feldspar concentrate in the presence of different polymers*. *Physicochem. Probl. Miner. Process.*, 44, pp. 127–142.
- Lárez, V. (2013). *Algunos usos del quitosano en sistemas acuosos*. Obtenido de <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/ABR03/Cristobal2003.pdf>
- Li, W., Hua, T., Zhou, Q., Z. S., Li, F., & vertederos, (. T. (2010). *Tratamiento de lixiviados de vertederos estabilizados mediante el proceso combinado de coagulación / floculación y adsorción de carbón activado en polvo*. *Desalinización* 264: 56–62.
- Lichtfouse, E. (2019). *Lichtfouse E. y col. (2019) Quitosano para procesos de biofloculación directa*. En: Crini G., Lichtfouse E. (eds) *Sustainable Agriculture Reviews 36. Sustainable Agriculture Reviews, vol 36. Springer, Cham*. Obtenido de <https://doi-org.unipamplona.basesdedatosezproxy>
- Lichtfouse, E., Morin-Crini, N., & Fourmentin, M. (2019). *Quitosano para la biofloculación directa de aguas residuales*. Obtenido de <https://doi-org.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/10.1007/s10311-019-00900-1>
- Liu, Z., Wu, W., Shi, P., Guo, J., & Cheng, J. (2015). *Characterization of dissolved organic matter in landfill leachate during the combined treatment process of air stripping , Fenton , SBR and coagulation*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.03.044>
- Llopis, S., & Ballester, D. (2020). *Revisión de los estudios sobre exposición al aluminio y enfermedad de Alzheimer*. *Salud Pública*, 76, 645-658.
- López, P. M. (2017). *Tratamiento de residuos urbanos o municipales (UF0285)*. CEP. .



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



- Lozano , A. (2005). *Coloides*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rca/v33n2/v33n2a07.pdf>
- Lozano, R. W. (2012). *Uso del extracto de fique (furcraea sp.) como coadyuvante de coagulación en tratamiento de lixiviados*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. (28), 0-0. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. (28), 0-0.
- Minambiente . (2015). *Norma de Vertimientos*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1933-disponibilidad-del-recurso-hidrico>
- Mishra, A., & Bajpai, M. (2005). *Flocculation behavior of model textile wastewater treated with a food grade polysaccharide*. *J. Hazard. Mater.*, 118, pp. 213–217.
- Morales, O. (2018). *Determinación del poder coagulante de la sábila para la remoción de turbidez en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Morin-Crini, N., Lichtfouse, E., & Crini, G. (2021). *Contaminantes emergentes*. Obtenido de <https://www.springer.com/gp/book/9783030690892>
- Munavalli, G. (2017). *Use of Aloe Vera as Coagulant aid in Turbidity Removal*. *Engineering Research and Technology*, 10, 1.
- Nascimento et al;. (2017). *Congreso Interamericano de residuos solidos*. Obtenido de https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2020/02/MEMORIAS-7mo-Congreso-Residuos-Solidos__.pdf
- Nhut, H., Hung, N., & Lap, B. (2020). *Uso de polvo de semillas de Moringa oleifera como biocoagulantes para el tratamiento de aguas superficiales*. Obtenido de <https://doi-org.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/10.1007/s13762-020>
- Nihon kasetsu. (2020). *La floculación*. Obtenido de <https://nihonkasetsu.com/es/el-mecanismo-de-coagulacion-y-floculacion/>
- Nouj, N., Heddadi, N., Azougarh, Y., & Hafid, N. (2021). *A combined treatment of municipal solid waste landfill leachate using Opuntia ficus-indica cactus as coagulant and*



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



- titaniferous sand as filter material*. Obtenido de Nanotechnology for Environmental Engineering 6 (1), 1-14
- Oloibiri, V. U., Demeestere, K., & Hulle, S. (2015). *A comparative study on the efficiency of ozonation and coagulation – flocculation as pretreatment to activated carbon adsorption of biologically stabilized landfill leachate*. . Waste Management, 43, 335-342.
- Palacios, C. O. (2016). *Evaluación de la dosis y concentración del almidón de zea mays (maíz) en el proceso de floculación, utilizando agua del río Casca*. Obtenido de <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2832>
- Patterson, D., Metcalfe, I., Xiong, F., & Livingston, A. (2006). *Wet air oxidation of linear alkylbenzene sulfonate: 1. Effect of temperature and pressure*. Industrial and Engineering Chemistry Research 40 (23), 5507 e 5516.
- Perazzo, G., Goulart, C., Figueiredo, D., Oliveira, C., & Silva, J. (2015). *Economic and Environmental Impact of Using Exogenous Enzymes on Poultry Feeding*. International Journal of Poultry Science. 7, 311-314.
- Perng, B. (2014). *Perng, Bui. (2014). The feasibility of Cassia fistula gum with polyaluminium chloride for decolorization of reactive dyeing wastewater*. Serb. Chem. Soc.
- Prakash, M., & Manikandan, S. (2012). *Esponse surface modeling and optimization of process parameters for aqueous extraction of pigments from prickly pear (Opuntia ficus-indica) fruit*. Dyes Pigments 95: 465-472.
- Righetto, I., Al-Juboori, R., Kaljunen, J., & Mikola, A. (2021). *Wastewater treatment with starch-based coagulants for nutrient recovery purposes: Testing on lab and pilot scales*. . J Environ Manage. .
- Sánchez, M. M., González, V. J., Beltrán, H., & de, (. A. (2009). *Acacia mearnsii de wild tannin-based flocculant in surface water treatment*. . Journal of Wood Chemistry and Technology 29 (2) 119–135.
- Sandoval, A. M., & Laines, C. J. (2013). *Moringa oleifera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas*. Universidad Autónoma de Yucatán Ingeniería, vol. 17, núm. 2, mayo-agosto, 2013, pp. 93-101.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



- Sanghi, Bhattacharya, Dixit, Singh, & Environ., J. (2006). *Ipomoea dasysperma seed gum: an effective natural coagulant for the decolorization of textile*. J. Environ. Manage. 81 36–41.
- Sarwan, B., Pare, B., Acharya, A., & Jonnalagadda, S. (2012). *Mineralization and toxicity reduction of textile dye neutral red in aqueous phase using BiOCl photocatalysis*. J. Photochem. Photobiol. B 116, 48–55.
- Serdarevic, . (2017). *Gestión de lixiviados de vertederos: control y tratamiento*. (A. S. En: Hadžikadić M., Ed.) Obtenido de https://doi-org.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/10.1007/978-3-319-71321-2_54
- Serdarevic, A. (2017). *Gestión de lixiviados de vertederos: control y tratamiento*. . (A. S. En: Hadžikadić M., Ed.) Obtenido de <https://doi->
- Servicios ambientales. (2019). *Servicios ambinetales*, G. (2020). *Informe de resultados caracterización calidad de lixiviado crudo, relleno sanitario Colomba el Guabal*. GAIA-INF-U4-037-20.
- Shan, T., Matar, M., & Makky, E. (2017). *El uso de semilla de Moringa oleifera como coagulante natural para el tratamiento de aguas residuales y remoción de metales pesados*. Appl Water Sci 7, 1369-1376 (2017). Appl Water Sci 7, 1369-1376.
- Sharma, Dhuldhoya, & Merchant. (s.f.). *Flocculants—an ecofriendly approach*. J. Polym. J. Polym. Environ. 14, 195–202.
- Singh, Srivastava, & Tiwari. (2009). *Singh, Srivastava, Tiwari. Structural elucidation, modification and characterization of seed gum from Cassia javahikai seeds: a non-traditional source of industrial gums*. Int. J. Biol. Macromol., 45), pp. 293–297.
- Sotheeswaran, S., Nand, V., Matakite, M., & Kanayathu, K. (2014). *Moringa oleifera and other local seeds in water purification in developing countries*. . Chemistry and Environment, 15.
- Souza, C, Silva, A. F., Veiga, J. V., de Lima, D. B., Dantas, M. A., & Pereira Santana, D. (2014). *Characterization of atomized extract of Opuntia ficus indica (L.) Mill. and assessment of its pharmaceutical potential*. . Revista de Ciências Farmacêuticas Básica E Aplicada, 35(2), 195-203.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



- Subramonian, W. C. (2014). *Comprehensive study on coagulant performance and floc characterization of natural Cassia obtusifolia seed gum in treatment of raw pulp and paper mill effluent*. Ind. Crop. Prod.
- Tecpa. (2020). *El vertedero de residuos*. Obtenido de <https://www.tecpa.es/vertedero-residuos/>
- Tenodi, S., Krčmar, D., Agbaba, J., Zrnić, K., Radenović, M., Ubavin, D., & Dalmacija, B. (2020). *Evaluación del impacto ambiental de partes sanitarias e insalubres de un relleno sanitario municipal de residuos sólidos*. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31929060/>
- Terrones, C. L. (2019). *Determinación de la eficiencia de floculación en la mezcla de (aloe vera y citrus reticulata) para la disminución de la turbidez*. Obtenido de <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/1007>
- Ticona, V. (2018). *Estudio de la determinación de la actividad floculante en agua tratados con pectina obtenidos a partir de la cáscara de naranja*. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.
- Trujillo, D., Duque, L., Arcila, J., Rinco, A., Pacheco, S., & Herrera, O. (2014). *Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2014000100003
- Vega, A. P., Ferreira, P. C., Alcionéia, C. d., Yumi, K. I., & Gonçalves, d. R. (2020). *Use of Moringa oleifera seed as a natural coagulant in domestic wastewater tertiary treatment: Physicochemica*. Physicochemica.
- Velp Científica. (2020). *Floculadores para prueba de jarras*. Obtenido de <https://www.velp.com/es-sa/jlt-series.aspx>
- Wang, Hui, Cheng, Z., Sun, Z., Zhu, N., Yuan, H., . . . Chen, X. (2020a). *Chemosphere Molecular insight into variations of dissolved organic matters in leachates along China 's largest A / O-MBR-NF process to improve the removal efficiency*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125354>



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



- Webb, Sykes, & Garnock-Jones. (1988). *Flora of New Zealand, Volume IV: Naturalised Pteridophytes, Gymnosperms, Dicotyledons*. Botany Division, DSIR, Christchurch,.
- World Health Organization. (2013). *Aluminium in drinking-water: background document for development of WHO Guidelines for drinking-water quality*. World Health Organization. Obtenido de <https://apps.who.int/iris/handle/10665/75362>.
- Wu, A., Dai, X., Blot, W., Xu, Z., Dom, X., & Xiaoe, H. (2013). *Lung cancer among women in northeast China*. . British Journal of Cancer;1990;62:982–987.
- Xu, Q., Siracusa, G., Di Gregorio, S., & Yuan, Q. (2018). *COD removal from biologically stabilized landfill leachate using Advanced Oxidation Processes (AOPs)*. (1. 2.-2. Process Safety and Environmental Protection, Ed.) Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.09.014>
- Yongabi, K. (2010). *Biocoagulants for water and waste water purification*:. Rev. Chem. Eng., 2 pp. 444–458.
- Zollinger, H. (2007). *Colour Chemistry e Synthesis, Properties and Application of Organic Dyes and Pigments*. . VCH Publishers, New York.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750