

**ESTUDIO DE TRATABILIDAD DE TRATABILIDAD DE EXTRACTOS DE *EICHHORNIA*
CRASSIPES PARA LA REMOCIÓN DE TURBIEDAD EN AGUAS SINTETICA**

ANGELA MARIA NAVARRO CONDE

MAURA ALEJANDRA QUINTERO LOPEZ

Universidad Católica de Manizales

Facultad de Ingeniería y arquitectura

Manizales, Caldas

2021

TRABAJO DE GRADO:

**ESTUDIO DE TRATABILIDAD DE TRATABILIDAD DE EXTRACTOS DE *EICHHORNIA*
CRASSIPES PARA LA REMOCIÓN DE TURBIEDAD EN AGUAS SINTETICA**

Presentado Por:

Angela María Navarro Conde

Maura Alejandra Quintero

Tutor:

Sebastián Isaac Pacheco Gonzales

Universidad Católica de Manizales

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Ingeniería Ambiental

Manizales, Caldas.

2021

CONTENIDO

1. AGRADECIMIENTOS	6
2. RESUMEN	7
2.1 ABSTRACT	7
3. INTRODUCCIÓN	8
4. MARCO TEÓRICO	9
5. POLÍTICA PÚBLICA A LA QUE SE DA RESPUESTA CON EL DESARROLLO DEL PROYECTO	13
6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
7. JUSTIFICACIÓN	15
8. OBJETIVOS	15
8.1 OBJETIVO GENERAL	15
8.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
9. METODOLOGÍA	16
9.1. REVISIÓN DE LA LITERATURA	16
10.1 METODOLOGÍA PARA LA EXTRACCIÓN DEL COAGULANTE	23
9.2 METODOLOGÍA DE PREPARACIÓN PARA EL AGUA SINTÉTICA	26
9.3 METODOLOGÍA PARA PRUEBA DE JARRAS	27
9.4 METODOLOGÍA PARA DETERMINACIÓN DE GLUCOSA Y AZUCARES REDUCTORES CON DNS	29
9.5 METODOLOGÍA PARA CARACTERIZACIÓN DE CARBOHIDRATOS	29
10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
10.1 Prueba de Jarras	30
10.2 Determinación de glucosa y azúcares reductores con DNS	34
10.3 Caracterización de carbohidratos	35
11. CONCLUSIONES	37
12. RECOMENDACIONES	37
13. BIBLIOGRAFÍA	38

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Eichhorniacrassipes	10
Ilustración 2 Desestabilización de cargas en el proceso de coagulación-floculación	11
Ilustración 3 Proceso de coagulación-floculación	11
Ilustración 4 Documentos publicados por año (bibliometría)	17
Ilustración 5 Documentos publicados por año y fuente bibliográfica (bibliometría)	18
Ilustración 6 Documentos publicados por autor (bibliometría)	19
Ilustración 7 Documentos publicados por institución (bibliometría)	19
Ilustración 8 Documentos publicados por país o territorio (bibliometría)	20
Ilustración 9 Documentos publicados (bibliometría)	21
Ilustración 10 Documentos por área de estudio	22
Ilustración 11 Instituciones que han patrocinado más publicaciones	23
Ilustración 12 Eichorniacrasipesse	24
Ilustración 13 Eichorniacrasipesse picada	24
Ilustración 14 Filtración del licuado	25
Ilustración 15 Hidrolisis ácida	25
Ilustración 16 Proceso de calentamiento	26
Ilustración 17 Rotulación del coagulante	26
Ilustración 18 Agua sintética	27
Ilustración 19 Grafica 3D. pH, dosis, % remoción	33
Ilustración 20 Concentración vs absorbancia	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. calidad del agua Resolución 2115 de 2007	13
Tabla 2 Variables del estado del arte	15
Tabla 3 Datos propiedades fisicoquímicas del agua antes de la prueba de jarras. Experimento 1	26
Tabla 4 Datos propiedades fisicoquímicas del agua antes de la prueba de jarras. Experimento 2	27
Tabla 5 Datos propiedades fisicoquímicas del agua antes de la prueba de jarras. Experimento 3	27
Tabla 6 Datos propiedades fisicoquímicas del agua antes de la prueba de jarras. Experimento 4	27
Tabla 7 Datos propiedades fisicoquímicas del agua antes de la prueba de jarras. Experimento 5	27
Tabla 8 Resultados pruebas de caracterización de carbohidratos	29
Tabla 9 resultados experimento 1	30
Tabla 10 Resultados experimentos 2	30
Tabla 11 Resultados experimento 3	31
Tabla 12 Resultados experimento 4	31
Tabla 13 Resultados experimento 5	31
Tabla 14 Grafica 3D pH, Dosis, % remoción	32
Tabla 15 Concentración vs absorbancia	33
Tabla 16 Resultado de concentración azúcares reductores	34

1. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos en primer lugar a Dios, que después de esta impredecible pandemia ,nos permitió la vida, para desarrollar el presente trabajo y de esta forma, culminar nuestro proceso académico en la Universidad Católica de Manizales; En segundo lugar, dar nuestros agradecimientos a nuestra familia, quienes nos han apoyado en este proceso, e incondicionalmente han hecho parte de nuestra formación; día a día nos motivan para continuar en la búsqueda de nuestros propósitos, y la realización de los mismos; sin ellos, probablemente la culminación de este importante trabajo no hubiese sido posible; a la universidad, sus directivas, su parte administrativa, Su cuerpo de docentes y demás integrantes, que durante estos años fueron parte fundamental de nuestras vidas, les agradecemos por su dedicación, colaboración, compromiso con la educación y sobre todo con la formación integral humana, importantes características propias de la universidad católica de Manizales. Hoy somos el reflejo, como próximos egresados de esta alma mater, de este compromiso humano. Finalmente, y sin restar importancia, expresamos nuestros agradecimientos al profesor Sebastián Isaac Pacheco, quien, desde nuestros primeros pasos por la universidad nos ha acompañado en nuestro proceso de formación y, quien hizo posible; con su dedicación, recomendación y orientación, la culminación de este trabajo de gran valor para nuestra vida académica.

2. RESUMEN

Este estudio evaluó el uso de la planta acuática *eichornia crasipesse* como coagulante natural para remoción de turbidez en el tratamiento de agua sintética y agua residual de la industria metalúrgica. Se desarrolló una metodología de extracción a través del estudio del estado del arte respecto a coagulantes naturales para extraer los carbohidratos encargados de la coagulación. Se realizaron pruebas de jarras para cada tipo de agua con el fin de determinar a qué pH y dosis se obtiene el mayor porcentaje de remoción de turbidez. Se demostró la efectividad del coagulante al arrojar porcentajes de remoción del 96,78% para el agua sintética y de 100% para el agua residual industrial, además, se determinó que el coagulante tiene presencia de carbohidratos monosacáridos reductores en bajas concentraciones.

2.1 ABSTRACT

This study evaluated the use of the aquatic plant *eichornia crasipesse* as a natural coagulant for turbidity removal in the treatment of synthetic water and wastewater from the metallurgical industry. An extraction methodology was developed through the study of the state of the art regarding natural coagulants to extract the carbohydrates responsible for coagulation. Jug tests were carried out for each type of water in order to determine at what pH and dose the highest percentage of turbidity removal is obtained. The effectiveness of the coagulant was demonstrated by yielding removal percentages of 96.78% for synthetic water and 100% for industrial wastewater, in addition, it was determined that the coagulant has the presence of reducing monosaccharide carbohydrates in low concentrations.

3. INTRODUCCIÓN

La calidad del agua se ha ido deteriorando a medida que crece la demanda del recurso hídrico en diferentes actividades como las antrópicas, las industriales y de la agricultura. Desde el 2015 miembros de las naciones unidas aprobaron 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS) para mejorar la calidad de vida de las población actual y de las futuras generaciones, esto debido a razones como que, en el año 2015 el 40% la población mundial había sufrido afectaciones por la escasez de agua y esta cifra podría aumentar debido a los efectos del cambio climático [1], el ODS 6 se orienta a “garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos” con metas hasta 2030, que se enfocan en el acceso universal al agua para consumo humano y al saneamiento básico, y se logre la gestión integral del recurso hídrico [1]. La organización mundial de la salud OMS estableció que al menos el 11% de la población mundial, equivalente a 783 millones de personas, no tiene acceso al agua potable antes del año 2015 [2]. Además, En Colombia solo alrededor del 11,8 % del sector rural tiene acceso al agua potable [3], mientras que en el sector urbano el 97.6 % de la población tiene acceso [1].

A lo largo del tiempo se han desarrollado diferentes tecnologías para el saneamiento y purificación del recurso, una de ellas es la coagulación-floculación, la cual usa coagulantes para disminuir el porcentaje de turbidez en el agua. Muchos agentes coagulantes se utilizan en los procesos de tratamiento de agua, los cuales pueden ser clasificados como coagulantes inorgánicos como las sales de aluminio y hierro; estas tienen desventajas asociadas a altos costos de adquisición, la producción de altos volúmenes de lodo, cambios de pH y alcalinidad del agua [4]. Por otro lado, los coagulantes convencionales no cumplen con lo indicado en la resolución 2115 del 2007, en el artículo 7, donde se expresa unos valores máximos aceptables para diferentes compuestos entre estos aluminio (Al) y hierro (Fe) en unidades de (mg/L) teniendo valores máximos muy pequeños para el caso del Al: 0,2 y Fe: 0,3. [5] Por lo que realizar los procesos de coagulación/floculación con sales metálicas inorgánicas no cumple la estipulado en la resolución. Sin embargo, las sales de aluminio se encuentran en el mercado a bajos precios lo que genera que su uso sea favorable a nivel económico y que tengan una alta demanda en el medio.

Los coagulantes naturales son principalmente carbohidratos (polisacáridos); son compuestos que pueden tener incluso carácter iónico o no iónico (cationes o aniones), donde los iónicos son comúnmente conocidos como polielectrolitos. Las ventajas de implementar coagulantes naturales son: eliminación de turbidez orgánica, reducción del color aparente, producción de lodos fáciles de tratar, destrucción de patógenos, además, tiene bajo costos [6]. El objetivo del estudio es desarrollar un coagulante natural aprovechando los carbohidratos presentes de la *Eichhorniacrassipes* como amilosa y amilopectina y; entregar un valor agregado e innovador a esta planta acuática; resolviendo problemáticas como servicio de agua potable y saneamiento, problemas de salud y la proliferación de la *Eichhorniacrassipes* más en los cuerpos de agua como el embalse cameguadua (CHEC). Además, basados en la revisión del estado del arte desarrollar un procedimiento para la

obtención del coagulante y, realizar pruebas de jarra para conocer variables como dosis, porcentaje de remoción, y pH.

4. MARCO TEÓRICO

COAGULANTE NATURAL

Los coagulantes naturales se han desarrollado a través del tiempo por la necesidad de cubrir un gran número de desventajas que tienen asociados los coagulantes convencionales. Muchas investigaciones han estudiado diferentes tipos de plantas para evaluar su capacidad coaguladora y usarlas como alternativas al cambio de los coagulantes tradicionales químicos o sintéticos, esto con el fin de promover la utilización de materiales orgánicos que no contaminen y no generen contraindicaciones, logrando en los coagulantes naturales una eficiencia similar o mayor a los químicos. [12]

En la actualidad se encuentran diferentes tipos de coagulantes naturales provenientes de plantas o microorganismos que tienen una efectividad de remoción de turbiedad y presencia de metales en del 90%, usando extractos de proteína y almidón obtenidos de la planta mediante diferentes procesos fisicoquímicos. [12]

EICHHORNIA CRASSIPES

La *Eicchorniacrassipes*, más comúnmente llamada buchón de agua, lirio de agua, lampazo, violeta de agua, flor de agua, cuchatilla, camalote, carolina, papalacate, pico de pato, reina, tamborcillo, o ninfa; es una macrófita acuática. Pertenece a la familia Pontederiaceae, su tamaño puede variar entre 20 a 30 centímetros, el tallo es alargado y horizontal, sus hojas son redondas y tiene una raíz fibrosa, la cual es un excelente soporte para la planta [16]. Dentro de la localización geográfica en donde se encuentra, se puede decir que es originaria de Sur América, se encuentra en Brasil, la Amazonía, en países de centro América, Estados Unidos, México, las Antillas y partes cálidas del hemisferio occidental; algunos trópicos en Europa, en Colombia, y también en países como África, Indonesia y Australia [16].



Ilustración 1 Eichhorniacrassipes
Fuente: Propia

COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

La coagulación y la floculación, considerados como dos procesos que deben ejecutarse uno seguido del otro en el orden mencionado, dado que son operaciones que actúan en el proceso de potabilización de agua con el fin de llevar a cabo la remoción de la turbiedad orgánica e inorgánica o sólidos suspendidos que no son susceptibles a sedimentarse rápidamente, así como la remoción de color verdadero y aparente, eliminación de virus, bacterias y microorganismos patógenos que presenten respuesta a estos métodos y también contribuyen con la destrucción de sustancias productoras de olor y sabor [9]. Por medio de la Coagulación se adiciona al fluido a tratar un agente coagulante que se encarga de desestabilizar las cargas de las partículas coloidales que se encuentran en solución como se puede observar en la ilustración 2. Los coloides (responsables de la turbidez y el color en el agua), generalmente poseen cargas eléctricas negativas y al encontrarse en presencia de partículas pequeñas que poseen su misma carga se presenta una repulsión eléctrica que evita que dichas partículas se aglomeren para formar partículas de mayor tamaño y dar lugar a su sedimentación [17]. El agente coagulante que permite la neutralización de las fuerzas que las mantienen separadas, lo cual se logra al someter al flujo a una agitación muy intensa o mezcla rápida, como se observa en la ilustración 3, que permita la dispersión de la totalidad del coagulante en el volumen de agua a tratar dentro del menor tiempo posible, dando lugar a la generación de un efecto de desestabilización más efectivo y en un menor período de tiempo [17]

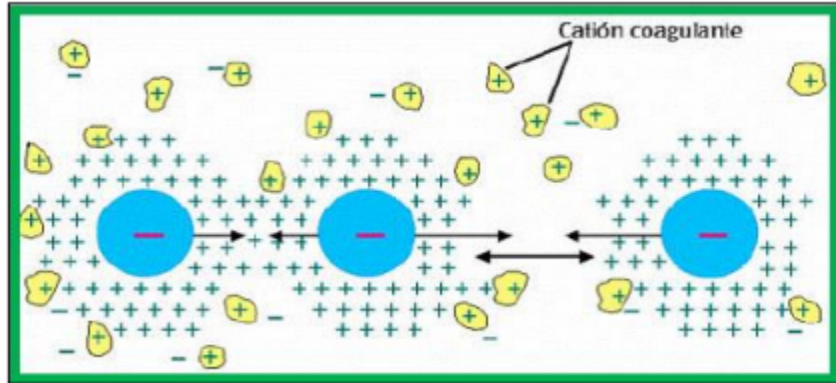


Ilustración 2 Desestabilización de cargas en el proceso de coagulación-floculación
Fuente: Universidad Santo Tomas (2015).

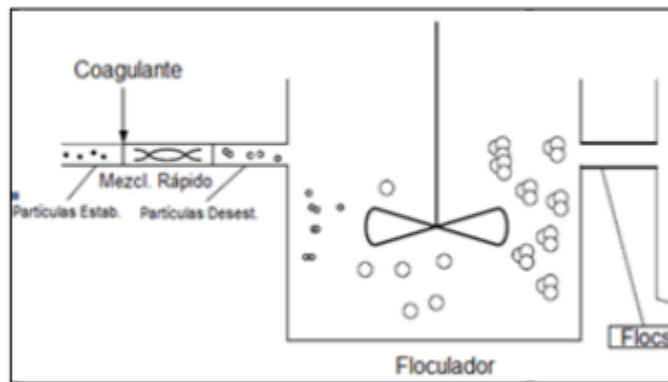


Ilustración 3 Proceso de coagulación-floculación
Fuente: Universidad Santo Tomas (2015).

TURBIDEZ

La turbidez es una característica óptica o propiedad de un líquido, que en términos generales describe la claridad u opacidad del líquido. La turbidez se relaciona con la pérdida de transparencia debido a partículas en suspensión. La turbidez del agua se debe a la presencia de arenas, lodos, limo u otros precipitados químicos que generan partículas suspendidas, materia en suspensión como arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica, plancton y diversos microorganismos [18]. La determinación de la turbidez es de gran importancia en aguas para el consumo humano ya que los valores de turbidez sirven para determinar el grado de tratamiento requerido, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración. Este parámetro se mide por medio de un turbidímetro midiendo la cantidad de luz que es dispersada por las partículas suspendidas en el agua por medio de un haz de luz y un detector de luz. Las unidades de turbidez son NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez) [19]

Dentro del desarrollo de la metodología de extracción del coagulante natural, se buscaron fuentes de información de trabajos investigativos que se enmarcan en el adelanto de coagulantes naturales; en los procesos de coagulación-floculación para la remoción de turbidez de las aguas residuales o sintéticas. De acuerdo, a los estudios previos publicados se pueden evidenciar los siguientes más importantes:

EVALUATION OF LEACHATE TURBIDITY REDUCTION IN SANITARY LANDFILLS FOLLOWING A COAGULATION/FLOCCULATION PROCESS ENHANCED BY VEGETABLE STARCH AND THERMAL WATER

En este artículo se estudió el uso de almidón de plátano como adyuvante en el proceso de floculación, mientras se mezcla con agua termal para promotor en la fase de clarificación porque el agua termal proporciona un porcentaje significativo de sulfatos y fosfatos para eliminar la turbidez. Las propiedades presentes en el plátano y otros vegetales son interesantes para la investigación del tratamiento de aguas e investigación en el tratamiento de lixiviados, contando a su vez con la sostenibilidad de la planta y la reducción de los problemas ambientales al tiempo que, desechando los productos de consumo, generando así un valor añadido [8]. El uso del diseño factorial experimental permitió establecer los factores de influencia y relevancia en el proceso de forma consistente y con un menor número de ensayos, minimizando así los costes y determinando los factores óptimos del proceso [8]. Si bien, los coagulantes vegetales poseen un potencial en los procesos donde se lleva a cabo descontaminación convencional, no es suficiente para terminar el proceso de clarificación, por ello que se recomienda empezar a introducirlos proporcionalmente como coadyuvantes a los coagulantes químicos de dos maneras: 1) como complemento de los químicos convencionales e involucrando gradualmente el uso de tratamientos vegetales en sustitución de los productos químicos convencionales [8]. Según el estudio las aguas termales de la ciudad de Manizales contienen un alto nivel de sulfatos, que actúan como coagulantes en el proceso de coagulación-floculación. Por último, concluyen que el almidón de plátano cumple la función de polielectrolitos naturales, sustituyendo los productos químicos sintéticos utilizados en el tratamiento convencional [8].

MEZCLAS CON POTENCIAL COAGULANTE PARA CLARIFICAR AGUAS SUPERFICIALES

En este artículo comprueban la capacidad de coagulación-floculación de la mezcla de un polímero natural basado en almidón extraído de la yuca, ya que, el tipo de acción de los polielectrolitos puede clasificarse como una acción de coagulación-floculación de puentes, que resulta al emplear polielectrolitos catiónicos de alto peso molecular. El almidón contiene generalmente alrededor del 20 % de una sustancia soluble en agua llamada amilosa y el 80 % de una insoluble conocida como amilopectina. Ambas fracciones corresponden a dos carbohidratos diferentes, de peso molecular elevado. Tanto la amilosa como la amilopectina están constituidas por unidades de D-(+)-glucosa, pero difieren en tamaño y forma [20]. con sulfato de aluminio, comparando la eficacia de cada uno para clarificar aguas superficiales mediante la remoción de partículas suspendidas, utilizando muestras de agua superficial del río Carrizal en cual es de suma importancia en la región sureste de México. Haciendo hincapié en los problemas de salud pública por los procesos potabilización para consumo humano con sulfato de aluminio en el trabajo se menciona que existe una preocupación creciente de la relación entre el aluminio residual y efectos neurológicos adversos, principalmente manifestado en la enfermedad del Alzheimer.

En este trabajo se llevaron experimentos de pruebas de jarras para la determinación de dosis óptima del sulfato de aluminio, posteriormente se procedió a emplear 6 mezclas en proporciones diferentes del polímero natural a base de almidón de yuca más sulfato de aluminio, de modo que la concentración de la mezcla coincidiera con la concentración en del sulfato de aluminio comercial. Como resultado, se compararon las eficiencias de remoción de partículas de cada una de las mezclas con la dosis óptima del sulfato de aluminio de grado comercial. [20]

En el trabajo se logró comprobar que las mezclas de sulfato de aluminio con almidón de yuca tienen un potencial de coagulación-floculación y podrían ayudar al tratamiento de las aguas superficiales. El empleo de almidón como agente coadyuvante en la remoción de color, mezclado con sulfato de aluminio (agente coagulante), permitiría reducir el costo económico, el impacto ambiental y los efectos a la salud pública. [20]

PLANTAS ACUÁTICAS: ASPECTOS SOBRE SU DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA, CONDICIÓN DE MALEZA Y USOS

En este ensayo se expone la tendencia a la dominancia de algunas especies de plantas acuáticas en detrimento de otras y es esa característica, la que guarda relación con su potencial para convertirse en maleza o invasora, términos que se adjudican a ciertas especies ecológicamente bien adaptadas y distribuidas ampliamente en nuestro continente y en el mundo, y cuyo potencial es escasamente aprovechado por el hombre.

El ensayo plantea que la *Eichhornia crassipes* tiene una gran capacidad adaptativa, al parecer su origen no solo es en la Amazonia, brasileña. La FAO (2004) señala su dispersión hacia Centroamérica, pero no hacia Suramérica, en la cual es tratada como invasora y maleza.

Barret (1988) demuestra con la presencia de los tres morfos de *E. crassipes*, un área natural de distribución en la porción noroccidental de Suramérica que incluye amplias porciones de los territorios de Venezuela, Colombia, las Guayanas, Brasil, Bolivia y norte de Argentina; área aledaña al Amazonas desde donde se ha podido dispersar naturalmente gracias a las interconexiones fluviales y las ventajas que el hábito flotante libre (pleustofito) y la efectiva propagación asexual le proveen. Por otra parte, Barret (1988) advierte que estas condiciones ventajosas, hacen que sea cada vez más raro encontrar poblaciones con los tres morfos florales, pues se ha producido un cuello de botella genético asociado a la dispersión a largas distancias y a la colonización de hábitats -tales como las planicies inundables del Orinoco-, en donde el régimen de inundación y sequía, desestimula la tristilia, tendiendo a reducir con ello el polimorfismo de la especie. La FAO (2004) afirman que esta planta es una de las peores malezas del mundo por su proliferación e infestación en los cuerpos de agua, está también puede contrarrestar algunas de las causas que la convierten en maleza, por ejemplo, en el tratamiento de aguas residuales atenuación de procesos de eutrofización y rehabilitación de lagunas someras de Suramérica. También ha sido probada su capacidad de absorber metales pesados de los sistemas acuáticos. [21].

5. POLÍTICA PÚBLICA A LA QUE SE DA RESPUESTA CON EL DESARROLLO DEL PROYECTO

La exposición del agua a las sales metálicas para procesos de coagulación genera un problema de salud pública ya que puede provocar alteraciones en diversos organismos y tejidos como riñones, huesos y el sistema nervioso central. La exposición al metal se ha relacionado con el Alzheimer, enfermedad de Parkinson y alteraciones neuro comportamentales [22].

En la resolución 2115 del 2007 que tiene por objeto establecer el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua envasada. Expone en el capítulo II, artículo 7° las características químicas que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana, en las cuales se encuentran los compuestos químicos que más son utilizados como coagulantes comerciales en la potabilización de agua como, hierro (Fe) y aluminio (Al). Lo podemos observar en el siguiente cuadro:

Elementos y compuestos químicos que tienen implicaciones de tipo económico	Expresadas como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Calcio	Ca	60
Alcalinidad Total	CaCO ₃	200
Cloruros	Cl ⁻	250
Aluminio	Al ³⁺	0,2
Dureza Total	CaCO ₃	300
Hierro Total	Fe	0,3
Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0,1
Molibdeno	Mo	0,07
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	250
Zinc	Zn	3
Fosfatos	PO ₄ ³⁻	0,5

Tabla 1. Calidad del agua Resolución 2115 de 2007

Fuente: resolución 2115 de 2007

Por lo que podemos concluir que no se cumple la norma, ya que en las plantas de potabilización no se frecuenta determinar este parámetro antes de la captación, ni después de esta. Por lo que nuestra propuesta es una alternativa viable, suponiendo que el coagulante sea efectivo, aunque el proyecto no esté enfocada a la potabilización de agua si no al tratamiento de aguas residuales.

6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La central hidroeléctrica de Caldas presenta en sus embalses una problemática ambiental que crece de manera significativa, la planta acuática *Eichhornia crassipes* es una planta acuática,

monocotiledónea, perteneciente a la familia Pontederiaceae, originaria de América del Sur la cual se encuentra entre las 10 plantas acuáticas más invasoras. Esta planta invade el embalse cameguadua y san francisco los cuales son embalses importantes para la región debido a que prestan el servicio de almacenamiento de agua para la central hidroeléctrica y además son elementos importantes del ciclo hidrológico regional, ya que influyen directamente sobre las condiciones ecológicas del área sobre la cual están localizados (corpocaldas, 2006.) El embalse Cameguadua está localizado en el municipio de Chinchiná, es una represa de tipo hidráulica; posee un espejo de agua de 5,5 Ha., su afluente principal es el río Chinchiná con 11.100 Lt/s (Corpocaldas, 2006.) Debido a que el río Chinchiná trae por medio de su cauce sedimentos sólidos los cuales se acumulan en el embalse y por ende disminuye el nivel de este generando que la CHEC implemente procesos de dragado los cuales se ven afectados por la *Eichhornia crassipes* ya que primero deben retirar la planta para poder intervenir el embalse. Aproximadamente la CHEC en un mes puede recolectar alrededor de 1 tonelada de *Eichhornia crassipes*

7. JUSTIFICACIÓN

El propósito de nuestro proyecto apunta a una alternativa de los coagulantes convencionales, como las sales de hierro y aluminio para el tratamiento de aguas residuales domésticas o tratamiento de potabilización de agua para consumo humano, ya que los coagulantes convencionales no cumplen con lo indicado en la resolución 2115 del 2007, en el artículo 7, donde se expresa unos valores máximos aceptables para diferentes compuestos entre estos aluminio (Al) y hierro (Fe) en unidades de (mg/L) teniendo valores máximos muy pequeños para el caso del Al: 0,2 y Fe: 0,3. Por lo cual realizar los procesos de coagulación/floculación con sales metálicas inorgánicas no cumple la moción escrita en la cual se señalan características, instrumentos básicos, frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Nuestro proyecto tendrá enfoque en las aguas residuales domésticas, las cuales serán captadas de la quebrada olivares y con lo mencionado de la resolución se pretende no hacer uso de compuestos inorgánicos, si no desarrollar un coagulante natural aprovechando los carbohidratos presentes de la *Eichhornia crassipes* como amilosa y amilopectina y entregar un valor agregado e innovador a esta planta acuática, resolviendo una problemática que se presenta en el embalse cameguadua por la proliferación de la *Eichhornia crassipes* más conocida como buchón de agua, el alcance del proyecto será de mediano plazo, más específico 10 meses, evitando así la eutrofización del agua por pérdida del espejo de agua por la planta invasora.

8. OBJETIVOS

8.1 OBJETIVO GENERAL

Hacer pruebas de tratabilidad de extractos de buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) para la remoción de turbiedad en aguas sintéticas.

8.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Hacer una revisión del estado del arte del uso del buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) para la remoción de turbiedad en aguas residuales domésticas.
- Desarrollar un método de extracción de coagulante a partir del buchón de agua (*Eichhornia crassipes*)
- Determinar la turbidez, el pH, la conductividad, la dosis óptima del coagulante /floculante mediante una prueba de jarras.

9. METODOLOGÍA

9.1. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Para la revisión literaria se usó el método de la revisión de estado del arte el cual se desarrolló por medio de una investigación a unos artículos científicos tanto en inglés como en español; se tiene diferentes fuentes de revistas, lugares de publicación y años. Estos fueron los tipos de datos que se recolectaron:

TITULO DEL ARTICULO
MATERIAL VEGETAL
TURBIDEZ INICIAL (NTU)
EFICIENCIA DE REMOCION (%)
DOSIS OPTIMA (mg/L)
DONDE SE HIZO EL ESTUDIO
TIPO DE AGUA
PH DEL AGUA
MEZCLA RAPIDA (rpm)
TIEMPO DE MEZCLA RAPIDA (minutos)
MEZCLA LENTA (rpm)
TIEMPO DE MEZCLA LENTA (minutos)
CONCENTRACION DEL COAGULANTE (%)
TIEMPO DE SEDIMENTACION (minutos)
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

Tabla 2 Variables del estado del arte

Para la revisión de la literatura se realizó una bibliometría utilizando la ecuación “natural AND coagulant AND wastewater”.

DOCUMENTOS PUBLICADOS POR AÑO

Como se observa en la ilustración 4 a partir del año 2016 se inició un crecimiento exponencial en la publicación de documentos, además, entre el 2018 y 2020 se tienen los años donde más publicaciones se hicieron con aproximado de 65. Se puede evidenciar que a inicios del siglo XXI la academia inicio con más proceso de investigación y publicación de los mismo; esto gracias a los avances tecnológicos y la gran preocupación de proteger el medio ambiente y la salud humana.

Documents by year

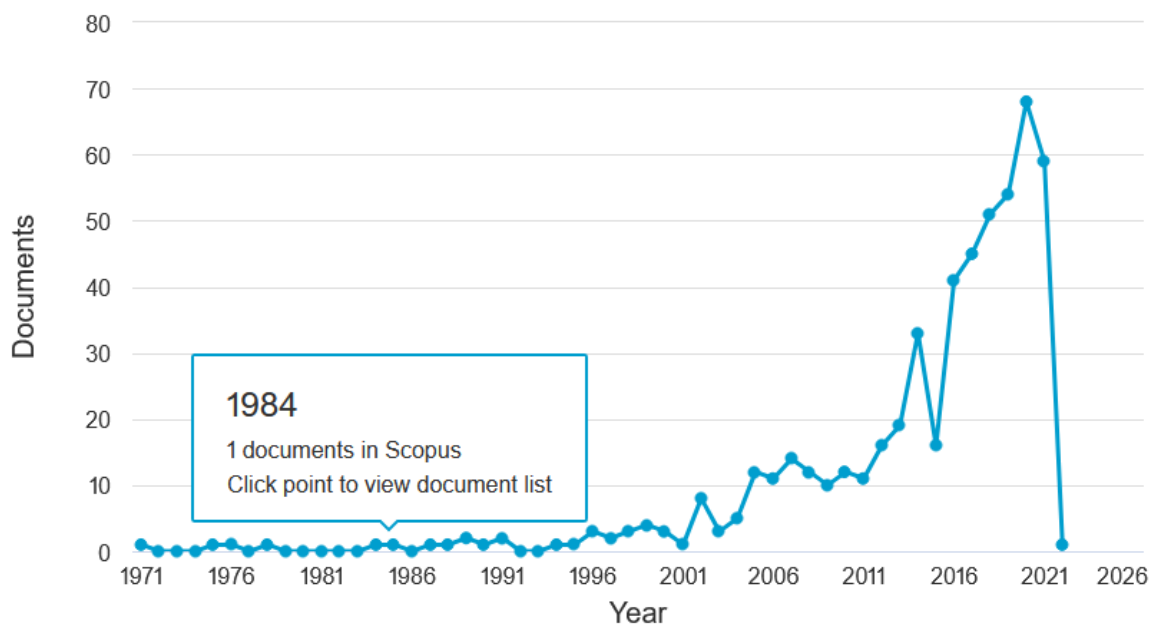


Ilustración 4 Documentos publicados por año (bibliometría)

DOCUMENTOS PUBLICADOS POR AÑO Y FUENTE BIBLIOGRAFICA.

Según la ilustración 5, a través, del tiempo la revista que más ha tenido continuidad en publicaciones es el wáter sciencie and technology. Y, además se logra apreciar que la revista Desalination and wáter treatment tuvo su pico más alto de publicaciones en el año 2016.

Documents per year by source

Compare the document counts for up to 10 sources.

[Compare sources and view CiteScore, SJR, and SNIP data](#)

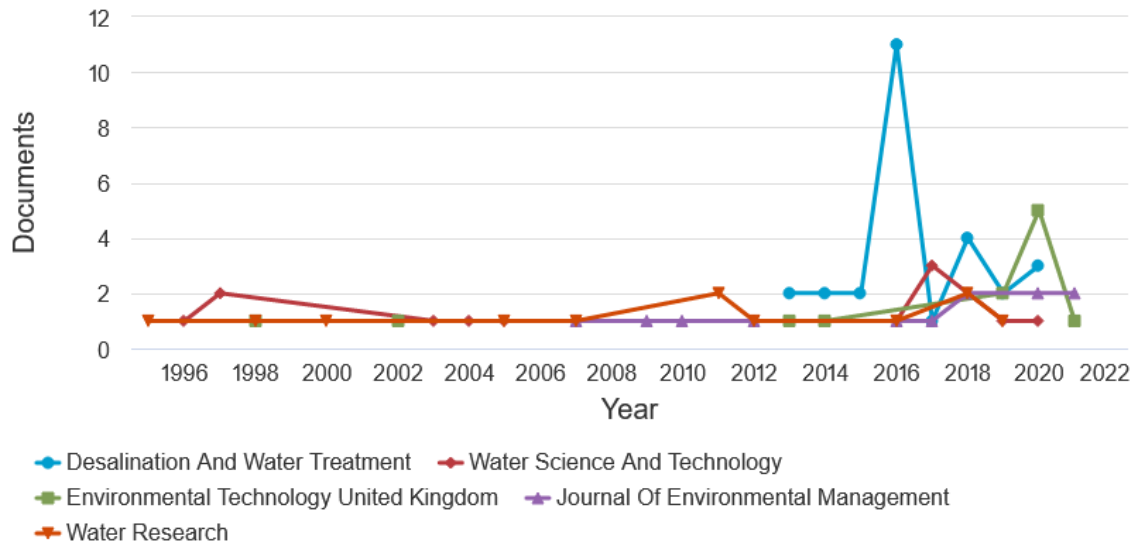


Ilustración 5 Documentos publicados por año y fuente bibliográfica (bibliometría)

DOCUMENTOS PUBLICADOS POR AUTOR

Según la ilustración 6 se logra apreciar que el autor que más ha publicado es Beltrán-Heredia, J con más de 12 documentos, seguido por Sánchez-Martín, J

Documents by author

Compare the document counts for up to 15 authors.

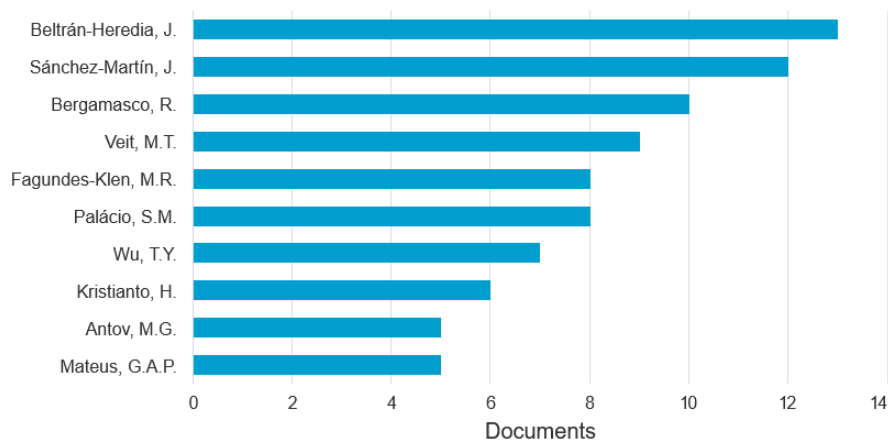


Ilustración 6 Documentos publicados por autor (bibliometría)

DOCUMENTOS PUBLICADOS POR INSTITUCIÓN

Según la ilustración 7 se logra apreciar que la institución que más ha publicado por la ecuación de búsqueda es la Universidad Estadual do Oeste con más de 15 publicaciones, seguida de la Universidade estadual de Maringa con 15 publicaciones y luego le sigue la universidad de Extremadura con 14 documentos.

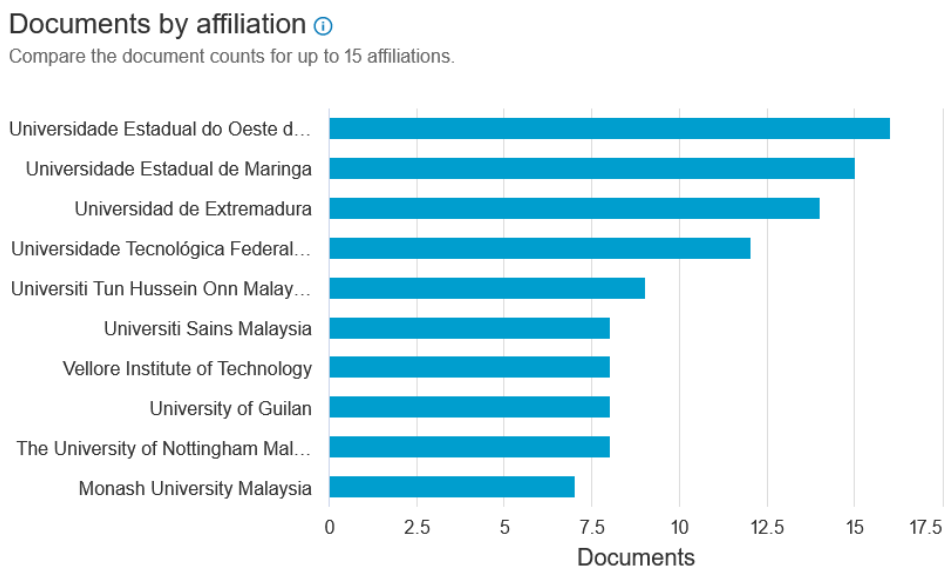


Ilustración 7 Documentos publicados por institución (bibliometría)

DOCUMENTOS PUBLICADOS POR PAIS O TERRITORIO

Según la ilustración 8 los países que más publicaciones han realizado según la ecuación de búsqueda es Malasia con 70 documentos, le sigue la India con 60 documentos y luego Brasil con 48 documentos, indicando que cada vez hay más países enfocándose en dar otro tipo de aprovechamientos a los coagulantes / floculantes de fuentes vegetales.

Documents by country or territory

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.

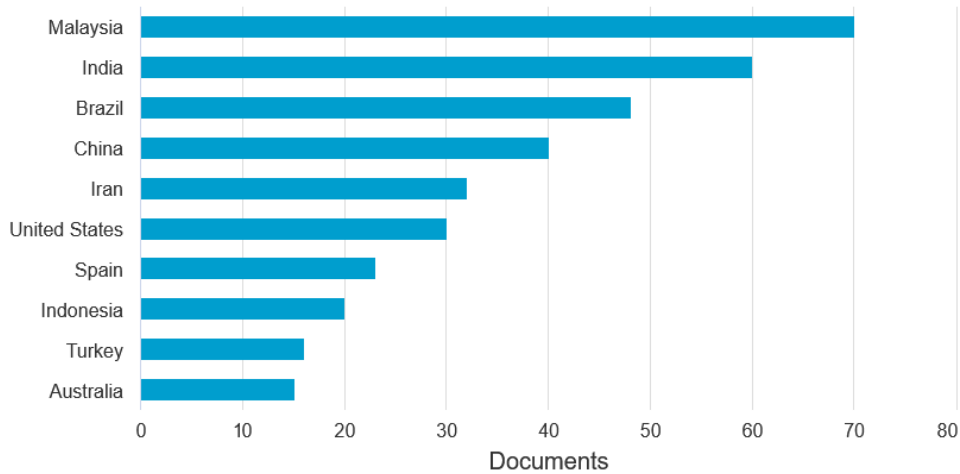


Ilustración 8 Documentos publicados por país o territorio (bibliometría)

TIPOS DE DOCUMENTOS PUBLICADOS

De acuerdo con la ilustración 9 el tipo de documento que más se publica son los artículos científicos con un 76,1%, seguido por memorias de congresos con un 12.8% y seguido luego por artículos de revisión con un 6.2%, indicándonos que encontrar información en libros respecto a coagulantes naturales es aún escaso.

Documents by type

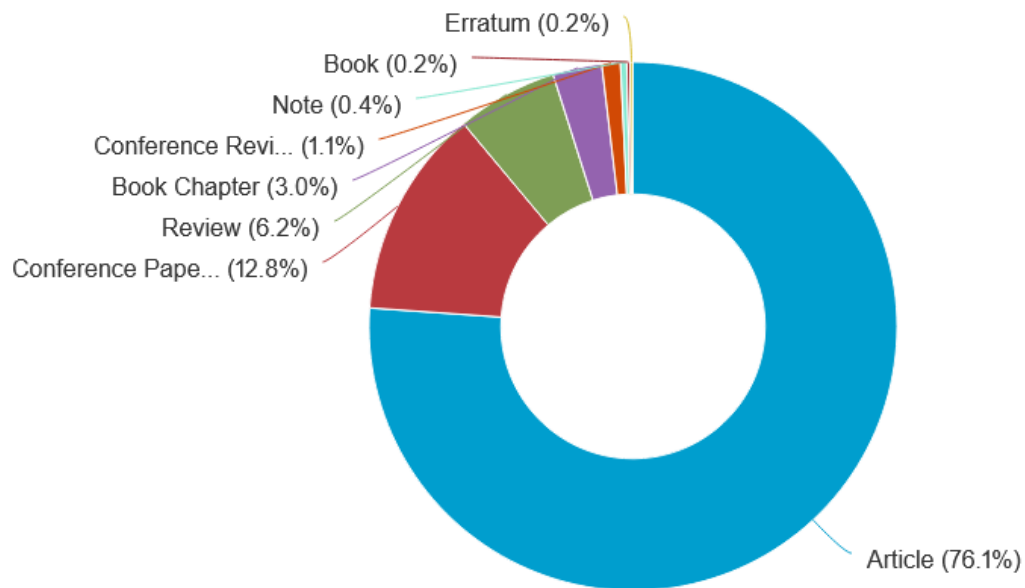


Ilustración 9 Documentos publicados (bibliometría)

DOCUMENTOS PUBLICADOS POR AREA DE ESTUDIO

Según la ilustración 10 el área del estudio donde más se ha publicado documentos resultados de investigación en coagulantes/floculantes es en el área ambiental con un 31,5%, seguido por el área de la ingeniería en general con un 15.2%, seguido por la ingeniería química con 12.1% y la química pura con 10.3%, indicando que el área de la química y la química ambiental están investigando mas la obtención de coagulantes/floculantes naturales con aplicaciones ambientales.

Documents by subject area

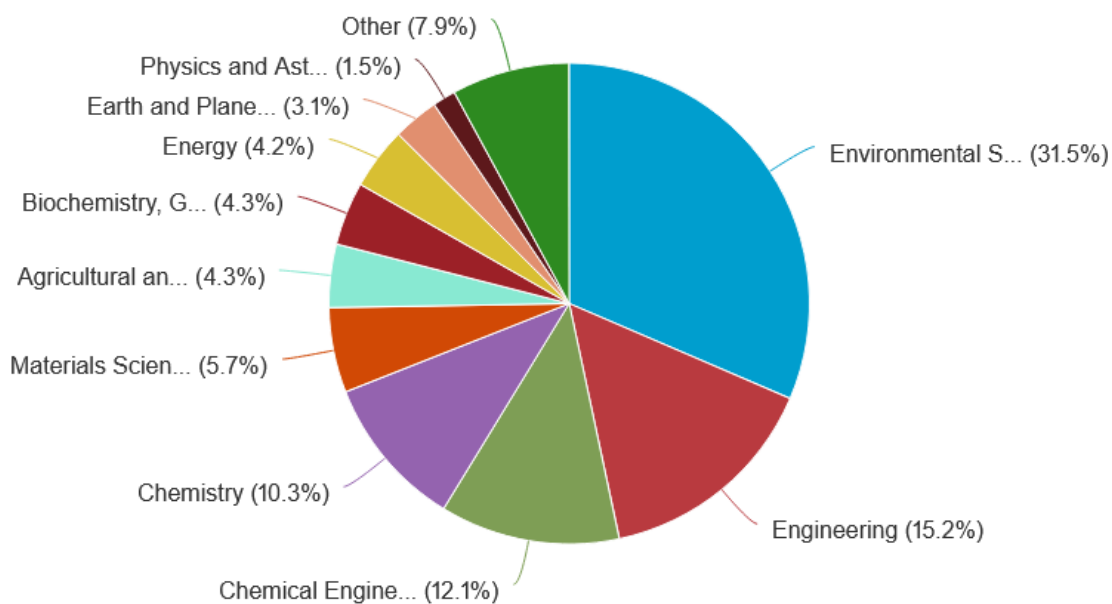


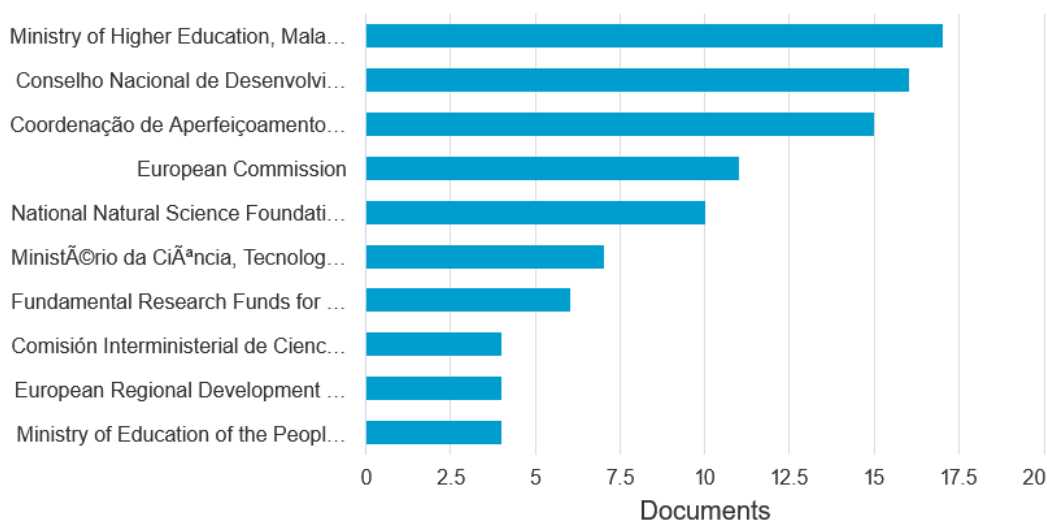
Ilustración 10 Documentos por área de estudio

INSTITUCIONES QUE HAN PATROCINADO MAS PUBLICACIONES

Según la ilustración 11 las instituciones que más han patrocinado publicaciones es la Ministry of Higher Education, Mala con más de 16 publicaciones, seguida del Conselho nacional de Desenvolvimento con 16 documentos y la coordenação de Aperfeicoamento con 15 documentos financiados, esto indica que el país que más ha invertido y financiado investigaciones con recursos publicos y privados es el país de Brasil.

Documents by funding sponsor

Compare the document counts for up to 15 funding sponsors.



Ilustración 11 Instituciones que han patrocinado más publicaciones

10.1 METODOLOGÍA PARA LA EXTRACCIÓN DEL COAGULANTE

En la presente investigación se usó como materia prima la *Eichhorniacrassipes*, esta se obtuvo en el embalse cameguada de la CHEC, con coordenadas 4.997284425439969, -75.61655430498921 ubicado en el municipio de Chinchiná, Caldas y en el resiente del pensamiento con coordenadas 5.039155769000347, -75.44626111681718 ubicado en la ciudad de Manizales, Caldas. Para determinar la eficiencia de remoción de la *Eichorniacrasipesse* se determinó el porcentaje de remoción de turbiedad que presenta un agua artificial. Para el análisis de la turbiedad se realizaron varios ensayos bajo las pruebas de jarras, dado que estas permiten simular las etapas de coagulación-floculación y reconocer la dosis optima en el proceso de remoción. Este proceso de llevo a cabo en el laboratorio de calidad del agua de la universidad católica de Manizales, con coordenadas 5.0603026405796045, -75.4873221591464.

Para iniciar la extracción de los carbohidratos de la *Eichorniacrasipesse* se recolectaron las plantas del embalse cameguada de la CHEC y el recinto del pensamiento como se observa en las ilustraciones 12 y 13. Se revisaron las plantas para elegir las que estuvieran en mejores condiciones. Posterior a esto se extrajo de forma manual el peciolo, y las hojas de la planta evitando aquellas que presentan daños, después se picaron para facilitar el licuado y obtener una mezcla más homogénea.



Ilustración 12 Eichorniacrasipesse
Fuente: propia



Ilustración 13 Eichorniacrasipesse picada
Fuente: propia

Después se procedió a colocar las hojas y el peciolo picado en la licuadora con una $\frac{1}{4}$ parte de agua para obtener una mezcla homogénea y que facilitara el aprovechamiento de los carbohidratos. Este proceso duro 4 minutos.

Después se procedió a colocar las hojas y el peciolo picado en la licuadora con una $\frac{1}{4}$ parte de agua para obtener una mezcla homogénea y que facilitara el aprovechamiento de los carbohidratos. Este proceso duro 4 minutos.

Al obtener esta mezcla se usaron unas toallas absorbentes que sirvieron como filtro para retirar la materia organiza de gran tamaño.



Ilustración 14 Filtración del licuado
Fuente: propia

Después se realizó una hidrolisis ácida para catalizar la división de los enlaces químicos. En este proceso se usó un Erlenmeyer de 1000 ml como se observa en la ilustración 15.



Ilustración 15 Hidrolisis ácida
Fuente: propia

Esta mezcla se lleva a la estufa en fuego alto (100°C), como se observa en la ilustración 16, y para romper la membrana plasmática de las células vegetales y liberar el contenido de carbohidratos y proteínas que tienen propiedades coagulantes; además, para bloquear la actividad enzimática y evitar la proliferación de microorganismos. Este proceso tiene una duración de 30 minutos. Se coloca una placa calefactora y la temperatura se monitorea con un termómetro de mercurio.



Ilustración 16 Proceso de calentamiento
Fuente: propia

Después de esto se forma un sobrenadante de la hidrólisis el cual es retirado por tamizaje por medio de un papel filtro de 150 mm el cual es introducido en un embudo como se observa en la ilustración 17. El proceso de obtención del coagulante finaliza con la filtración y se procede a rotular un frasco color ambar, este color para que este no se pierdan las propiedades y pueda conservarse.



Ilustración 17 Rotulación del coagulante
Fuente: propia

9.2 METODOLOGÍA DE PREPARACIÓN PARA EL AGUA SINTÉTICA

Debido a la coyuntura que se está sufriendo en el mundo y en Colombia por la pandemia del covid-19; la matriz de agua que se usó para las pruebas de jarras, se preparó dentro del laboratorio de la universidad. El agua sintética que se usó fue preparada con 25 L de agua de grifo y 125 g de arcilla; a una concentración de 5 g L^{-1} , según la revisión del estado del arte, la mezcla se llevó a cabo en una balde como se observa en la ilustración 18, fue agitada durante 15 min para lograr una dispersión uniforme de las partículas y, se homogenizaba la mezcla en cada ensayo de prueba de jarras, esto debido a que el agua y la arcilla están bajo la influencia de la gravedad y cuanto más tiempo se mantenga el agua sin movimientos, más se depositarán los sólidos suspendidos del balde.



9.3 METODOLOGÍA PARA PRUEBA DE JARRAS

La prueba de jarras consiste en un arreglo de vasos de precipitado en los que a un volumen constante de agua se agregan diferentes dosis de coagulante (que representan una concentración específica del agente coagulante) y se ejecutan las mezclas rápida y lenta por medio de un conjunto de paletas que componen el agitador múltiple, con las que se consiguen condiciones hidráulicas similares en todas las muestras [7]. Para iniciar el procedimiento se preparan 6 jarras de un 1 L, con el coagulante natural a base *eichhornia crassipes* a diferentes dosis con una variación de 5 mgL^{-1} entre cada vaso para observar la eficiencia en la remoción; los valores del primer experimento fueron de 15 mgL^{-1} , 20 mgL^{-1} , 25 mgL^{-1} , 30 mgL^{-1} , 35 mgL^{-1} , 40 mgL^{-1} . Después, se procedió a tomar las propiedades fisicoquímicas del agua antes del proceso de coagulación-floculación; la turbidez se midió con un turbidímetro portátil marca turbiquant 1100 T, la conductividad con un conductímetro de la marca WTW cond 3210, y el pH con un pHmetro de la marca WTW pH 3110. Las propiedades fisicoquímicas del agua se observa en las tablas del 3 - 7:

turbidez	113.8	NTU
pH	6	
Conductividad	109,7	μScm^{-1}

Tabla 3 Datos propiedades fisicoquímicas del agua antes de la prueba de jarras. Experimento 1

turbidez	214,2	NTU
pH	8	
Conductividad	108,7	μScm^{-1}

Tabla 4 Datos propiedades fisicoquímicas del agua antes de la prueba de jarras. Experimento 2

turbidez	215.3	NTU
pH	9	
Conductividad	137,5	μScm^{-1}

Tabla 5 Datos propiedades fisicoquímicas del agua antes de la prueba de jarras. Experimento 3

turbidez	213,6	NTU
pH	7	
Conductividad	101,2	μScm^{-1}

Tabla 6 Datos propiedades fisicoquímicas del agua antes de la prueba de jarras. Experimento 4

turbidez	204,3	NTU
pH	5	
Conductividad	141,6	μScm^{-1}

Tabla 7 Datos propiedades fisicoquímicas del agua antes de la prueba de jarras. Experimento 5

Después de tener las propiedades fisicoquímicas se procedió a correr la primer prueba de jarra con las variaciones de dosis especificadas con anterioridad que están en un rango de 15 mgL^{-1} a 40 mgL^{-1} con variaciones de 5 mgL^{-1} en cada dosis; la velocidad de mezcla rápida en la que se corrió el experimento fue 300 RPM en un tiempo de 30 s [8]; pasado este tiempo se bajó para obtener una velocidad de mezcla lenta de 30 RPM en un tiempo de 30 min garantizando el proceso de floculación [9]; el tiempo de sedimentación fue de 30 min [10]. Para el resto de los experimentos se realizaron 5 montajes con las mismas especificaciones en las corridas. Se realizaron 5 experimentos con diferentes valores de turbidez en un rango de 113,8 NTU y 215,3 NTU. Las variaciones que se usaron en el pH de la matriz de agua se manejaron en un rango de 5 a 9, utilizando un pH diferente

en cada corrida, para determinar a qué valor de pH se tiene mayor remoción de turbidez con el coagulante natural y encontrar las condiciones con la que el agua debe ingresar a el proceso de coagulación-floculación para tener mayor efectividad.

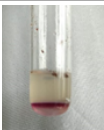
9.4 METODOLOGÍA PARA DETERMINACIÓN DE GLUCOSA Y AZUCARES REDUCTORES CON DNS

Se determinó la concentración de la glucosa del coagulante de *Eichhornia crassipes* por medio de la construcción de una curva de calibración empleando el método colorimétrico de determinación de glucosa y azúcares reductores con DNS (ácido dinitro salicílico) a partir de una solución estándar de glucosa.

El método del ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS), se basa en la reducción del DNS (de color amarillo) por la glucosa u otro azúcar reductor al ácido 3-amino-5-nitrosalicílico (de color rojo ladrillo), cuya presencia puede detectarse por lectura de la Absorbancia en la zona de 540-570 nm. Según lo anterior, un mol de azúcar reacciona con un mol de ácido 3,5-dinitrosalicílico, dando lugar a una relación estequiométrica que permite conocer la cantidad de azúcares reductores presentes en la muestra. La intensidad del color rojo ladrillo será, por tanto, proporcional a la cantidad de azúcares reductores.

9.5 METODOLOGÍA PARA CARACTERIZACIÓN DE CARBOHIDRATOS

Se realizaron ensayos cualitativos que permitieron clasificar a los carbohidratos atendiendo a su grupo funcional y las unidades monoméricas que los conforman por medio de diferentes reacciones [11] como Reacción de Barfoed, Reacción de Lugol (Yodo), Reacción de Selliwanoff, Reacción de Bial, Reacción de Molisch y Reacción de Benedict como se pueden observar en la tabla 8.

PRUEBA	CARBOHIDRATO	OBSERVACIONES	POSITIVO-NEGATIVO
PRUEBA DE MOLISCH		El carbohidrato al estar en disolución no genero errores en la prueba de Molisch	positivo



PRUEBA DE LUGOL		La hidrolisis realizada al bichón no muestra presencia de almidones lo que puede indicar que es un monosacárido o disacárido	Negativo
PRUEBA DE BARFOED		Al presentar precipitado inmediatamente después del baño maría nos indica que es positivo para monosacárido	positivo para monosacaridos
PRUEBA DE BIAL		Después del calentamiento se formó precipitado indicando que el carbohidrato es una pentosa	positivo para pentosas
PRUEBA DE BENEDICT		Después del calentamiento se observó una coloración roja indicando que es positivo para carbohidratos reductores	Positivo para carbohidrato reductor
PRUEBA DE SELIWANOFF		El calentamiento a punto de ebullición da coloración roja indicando que es positivo para cetosas	Positivo para cetosas

Tabla 8 Resultados pruebas de caracterización de carbohidratos

10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

10.1 Prueba de Jarras

Los resultados que se obtuvieron en el experimento 1 se muestran en la tabla 9:

Dosis (ml)	15	20	25	30	35	40
Turbidez (NTU)	18,1	11,2	11,9	11,8	13,5	14,4
Conductividad (μScm^{-1})	442	705	873	1034	1202	1330
pH	5,1	4,8	4,7	4,5	4,5	4,5
% remoción	84,1	90,1	89,5	89,6	88	87,3

Tabla 9 resultados experimento 1

Los resultados que se obtuvieron en el experimento 2 se muestran en la tabla 10:

Dosis (ml)	15	20	25	30	35	40
Turbidez (NTU)	15,7	14,4	14,5	16	16,3	17,2
Conductividad (μScm^{-1})	500	667	907	1111	1206	1344
pH	7,42	6,94	6,74	6,19	5,93	5,73

% remoción	92,66	93,24	93,18	92,49	92,35	91,93
-------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabla 10 Resultados experimentos 2

Los resultados que se obtuvieron en el experimento 3 se muestran en la tabla 11:

Dosis (ml)	15	20	25	30	35	40
Turbidez (NTU)	19,6	16,5	13,9	14,3	14,6	18,2
Conductividad (μScm^{-1})	412	629	810	937	1095	1242
pH	8,2	7,6	7,4	6,8	6,4	6,3
% remoción	90,8	92,2	93,5	93,3	93,2	91,5

Tabla 11 Resultados experimento 3

Los resultados que se obtuvieron en el experimento 4 se muestran en la tabla 12:

Dosis	10	15	20	25	30	35
Turbidez (NTU)	8,22	11,15	11,62	8,84	6,88	7,40
Conductividad (μScm^{-1})	471	659	8,33	1018	1172	1359
pH	4,84	4,64	4,61	4,39	4,31	4,23
% remoción	96,1	94,7	94,5	95,8	96,7	96,5

Tabla 12 Resultados experimento 4

Los resultados que se obtuvieron en el experimento 5 se muestran en la tabla 13:

Dosis (ml)	15	20	25	30	35	40
Turbidez (NTU)	12,09	12,49	11,27	11,7	11,83	12,56

Conductividad (μScm^{-1})	472	566	783	993	1105	1196
pH	4,88	4,76	4,67	4,50	4,52	4,47
% remoción	94,1	93,8	94,4	94,2	94,2	93,8

Tabla 13 Resultados experimento 5

De acuerdo a los datos obtenidos después de realizar los ensayos por el procedimiento de prueba de jarras se puede inferir que, a una dosis de 35 ml y un pH de 7, se obtiene el porcentaje de mayor remoción de turbidez con un valor de 96,78% como se observa en la tabla 14. El pH del coagulante con el que se corrieron las pruebas fue de 3,02 este valor fue ajustado con NaOH.

pH/Dosis	15	20	25	30	35	40
5	94,08	93,89	94,48	94,27	94,21	93,85
6	84,11	90,12	89,53	89,63	88,08	87,3
7	96,15	94,78	94,56	95,86	96,78	96,54
8	92,66	93,24	93,18	92,49	92,35	91,93
9	90,89	92,29	93,52	93,33	93,2	91,55

Tabla 14 Grafica 3D pH, Dosis, % remoción

Con la ayuda de la hoja de cálculo de Excel se graficó tres variables el pH, dosis, y % de remoción; como se muestra en la ilustración 19:

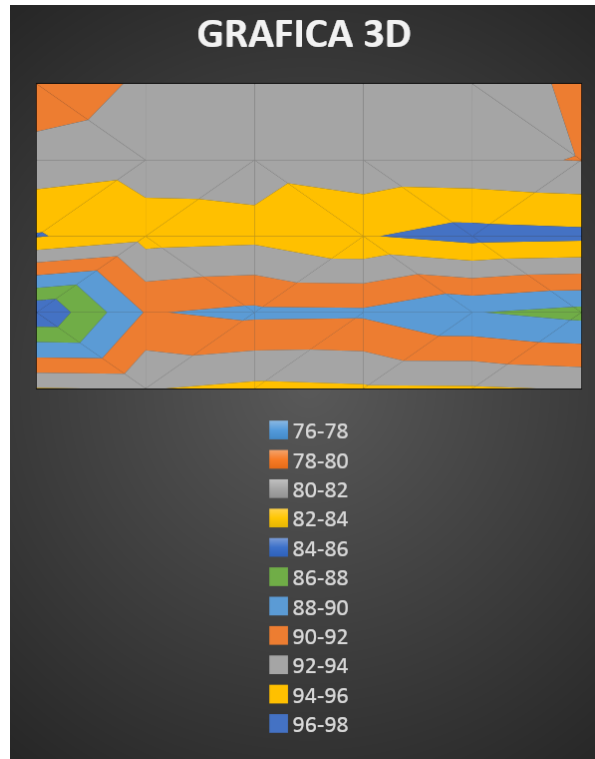


Ilustración 19 Grafica 3D. pH, dosis, % remoción

Según la gráfica 3D que se creó con la hoja de cálculo de Excel se evidencia los picos en azul donde se tiene los más altos porcentajes de remoción todos ubicados en el rango de pH de 7 para la matriz de agua.

10.2 Determinación de glucosa y azúcares reductores con DNS

La absorbancia que se mide en el laboratorio fue de 0,102 para el coagulante. La absorbancia que arrojó cada dilución a 540 nm se muestra en la tabla 15 y en la ilustración 20 se observa la línea de tendencia con la ecuación del gráfico y la desviación estándar:

Concentración (ppm)	Absorbancia
500	0,057
1000	0,081
2500	0,308
3000	0,318

Tabla 15 Concentración vs absorbancia

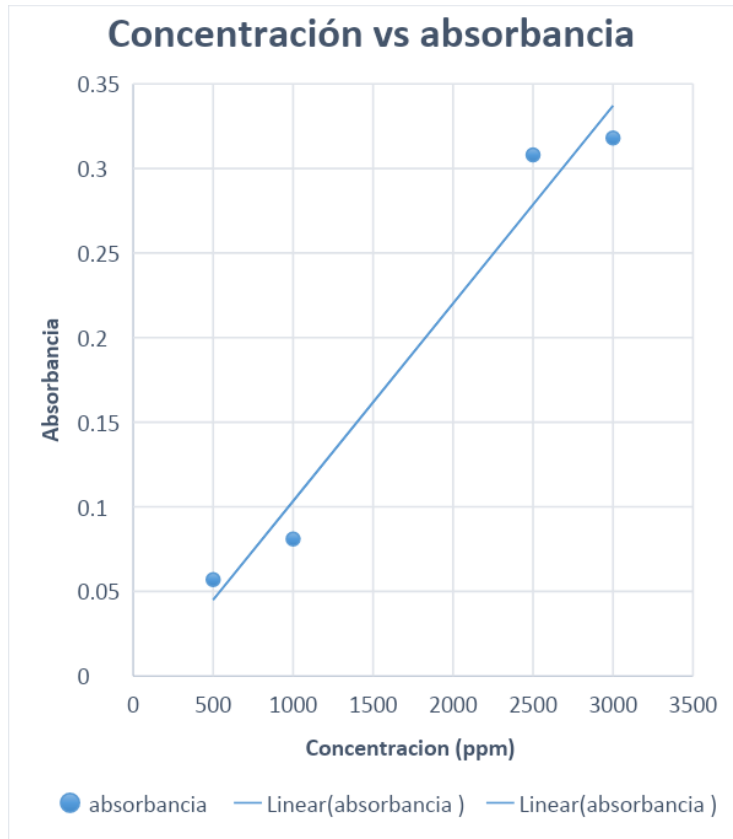


Ilustración 20 Concentración vs absorbancia

Para hallar la concentración en ppm de los azúcares reductores que tiene el coagulante se usó la ecuación de regresión lineal, en la cual la x representa la concentración.

$$y = 0,0001 x - 0,0134$$

Ecuación 1 Regresión lineal

$$x = \frac{y+0,0134}{0,0001}$$

$$x = 1154$$

Realizando la operación correspondiente arroja el valor de la concentración:

Concentración (ppm)	Absorbancia
1154	0,102

Tabla 16 Resultado de concentración azúcares reductores

10.3 Caracterización de carbohidratos

Las pruebas que se realizaron indican que el coagulante a base de *Eichhornia crassipes* tiene presencia de carbohidratos monosacáridos reductores y su estructura molecular es una pentosa, es decir una cadena de cinco átomos de carbono también nos indica que la concentración de carbohidratos es baja por lo que se recomienda concentrar más el coagulante, por último, nos indica que es un monosacárido con un grupo cetona por molécula.

Ensayo del coagulante en aguas residuales industriales

A base del coagulante de *Eichhornia crassipes* se desarrolló un trabajo de grado que trato agua industrial de la empresa Induma; para el desarrollo de estos estudios se realizó la misma metodología de preparación del coagulante, para este coagulante se realizó una estabilización de pH con ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 98% en unos casos y en otros con hidróxido de sodio (NaOH). [12] Se realizaron siete pruebas de jarras con diferentes valores de pH para el coagulante; con estas variaciones se pudieron encontrar variaciones en los porcentajes de remoción de turbidez, en condiciones de pH de 2,702 y con una conductividad de 2.72 mScm^{-1} a una dosis óptima de 25 ml se obtuvo un porcentaje de remoción del 99.81%, con este porcentaje de remoción se obtiene un pH muy bajo en el agua después del proceso de coagulación-floculación con un valor de 3.64; por esto se ajustaron nuevos valores y en otra corrida se logró evidenciar que si se ajusta el pH a valores cerca de 7 se obtienen mejores resultados y los valores de pH del agua están dentro del rango de 6-9 permitido en la resolución 0631 de 2015 [13]. En la segunda prueba de jarras con un pH de coagulante de 7,465 una turbidez inicial de 251.8 NTU, una conductividad de 2.39 mScm^{-1} y un pH del agua de 7.091, se obtuvieron mejores porcentajes de remoción en casi todas las jarras los porcentajes están por encima del 99%. Por el contrario, en la prueba 7 donde las condiciones fueron pH de la muestra 7,465 una turbidez inicial de 66.04 NTU, una conductividad de 3.53 mScm^{-1} y un pH del agua de 11.983, se obtuvieron los porcentajes de remoción más bajos con un mínimo de 73% [1]; esto se debe a que el pH del agua aumento aportando un medio más básico para el proceso. Uno de los factores influyentes en las actividades de coagulación y floculación es el pH, debido a que los coagulantes y floculantes químicos alteran significativamente el pH final del agua [14]; Además, el pH controla el tiempo el tiempo requerido para la formación del flóculo y la carga sobre las partículas de coloides. [15]

Ensayo del coagulante en agua sintética

Las pruebas que se realizaron en el agua sintética arrojaron resultados diferentes debido a las variaciones que se realizaron en algunas variables fisicoquímicas como lo son el pH del agua, la turbidez de la matriz de agua, y la conductividad; para obtener la mayor eficiencia de remoción en el proceso se debe aplicar una dosis de 35 ml y estabilizar el pH del agua a tratar a un valor de 7, dado que en estas condiciones se obtiene un porcentaje de remoción del 96,78%. Por otro lado, si se comparan las características y procedencias, del agua sintética que simula un afluente natural y el agua residual industrial del área de metalúrgica, se evidencian porcentajes de remoción de turbidez de 84,11% hasta 96,78% en agua sintética y 74% y 100% en aguas residuales industriales; valores

de remoción que en el agua metalúrgica son más eficientes. Se demostró que de pH neutros a básicos con valores entre 7,8,9 se tiene mayor eficiencia en la remoción de turbidez, en el caso de la dosis se evidencio que para el agua residual industrial es de 15 mL y para el agua sintética es de 35 mL; esta diferencia se puede presentar porque el agua residual de induma tiene un alto contenido de sales metálicas en suspensión, es decir un alto contenido de coloides hidrófobos que se logran desestabilizar fácilmente ante un agente coagulante, por lo que necesita menos cantidad de coagulante que los coloides hidrofílicos del agua sintética los cuales son más complejos de desestabilizar requiriendo mayor cantidad de coagulante.

El estudio de los coagulantes naturales, se debe fortalecer y buscar nuevas metodologías para concentrar la capacidad de coagulación que tienen estos; ya que en el caso de *eichhornia crassipes* se tiene altos porcentajes de remoción, pero a altos volúmenes de coagulante por lo que no sería rentable para tratar altos caudales.

11. CONCLUSIONES

- De acuerdo con el estudio del estado del arte se encontró que la mayoría de los coagulantes naturales son polisacáridos.
- Los lodos generados del proceso físico-químico de la coagulación-floculación con *Eichhornia crassipes* son ricos en carbohidratos, al ser ricos en carbohidratos su

biodegradabilidad es muy alta por lo que se pueden aprovechar en un proceso de digestión anaerobia, evitando el uso de sales inorgánicas que están por fuera de la norma al tener concentraciones muy altas de sulfatos o aluminios en el residual de los lodos.

- Se demostró la efectividad del coagulante al arrojar un porcentaje de remoción del 96,78% a una dosis de 35 ml.
- El estudio de los coagulantes naturales, se debe fortalecer y buscar nuevas metodologías para concentrar la capacidad de coagulación que tienen estos; ya que en el caso de *eichhornia crassipes* se tiene altos porcentajes de remoción, pero a gran cantidad de volumen de coagulante por lo que no sería rentable para tratar altos caudales.
- Se recomienda en próximos trabajos mejorar la metodología de extracción de carbohidratos para obtener mayor concentración de carbohidratos en bajos volúmenes de dosis.
- Este coagulante natural se puede aplicar a aguas residuales de industrias metalúrgicas ya que las condiciones que estas poseen hacen más eficiente el proceso de coagulación-floculación, por lo que crear alianzas con este tipo de empresas en el ámbito académico, podría dar solución a problemáticas como la proliferación de *Eichhornia crassipes* en embalses como el de cameguada.

12. RECOMENDACIONES

- Debido a que se evidenció que la conductividad aumentaba después del tratamiento físico químico, recomendamos iniciar un proyecto de investigación que evalúe las razones por las que la conductividad aumenta.
- Se recomienda en próximos trabajos mejorar la metodología de extracción de carbohidratos para obtener mayor concentración de carbohidratos en bajos volúmenes de dosis.
- Dado a que el pH disminuía después del tratamiento de coagulación-floculación recomendamos utilizar este tipo de coagulantes en aguas muy básicas como se evidenció en el trabajo de Juan José Serna Cardona.
- El estudio de los coagulantes naturales, se debe fortalecer y buscar nuevas metodologías para concentrar la capacidad de coagulación que tienen estos; ya que en el caso de *Eichhornia crassipes* se tiene altos porcentajes de remoción, pero a gran cantidad de volumen de coagulante por lo que no sería rentable para tratar altos caudales.

13. BIBLIOGRAFÍA

[1]Minivivienda. (2021). Plan Nacional SASBR. Recuperado de: <https://minivivienda.gov.co/sites/default/files/2021-03/9.-plan-nacional-sasbr-vf.pdf>

- [2] World Health Organization (WHO). Agua, saneamiento y salud (ASS). 2012. Recuperado de: http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/es/.
- [3] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). Título J. Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, MAVDT. Recuperado: https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/100811_titulo_j_ras-.pdf
- [4] L. Guzmán, A. Villabona, C. Tejada, R. García. “Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión”. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. Vol. 16. 2013. pp. 253-262. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262013000100029
- [5] Decreto No. 2115 (2007). Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legisla%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf
- [6] Arguello, J. Díaz, J. Uribe, R. Negrete, J. (2015). Sinú River raw water treatment by natural coagulants. *Redin*. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n76/n76a11.pdf>
- [7] Garzón, C. (2015). Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) en el proceso de coagulación - floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neuronal artificial. Recuperado de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2916/Barajasclaudia2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [8] Benavides, C. Pacheco, S. Gómez, Y. Hoyos, F. (2020). Evaluation of leachate turbidity reduction in sanitary landfills following a coagulation/flocculation process enhanced by vegetable starch and thermal water. *TELKOMNIKA Telecommunication, Computing, Electronics and Control*. Vol. 18, No. 6, December 2020, pp. 2962-2969.
- [9] Tarón, A., Guzman, L., Barros, I., (2017). Evaluación de la Cassia fistula como coagulante natural en el tratamiento primario de aguas residuales. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v21n1/0121-3709-rori-21-01-00073.pdf>
- [10] Duarte, D. & Ramirez, L. (2015). Remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en planta de tratamiento de aguas residuales, Valledupar Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, (6).
- [11] Universidad Católica de Manizales, Caracterización de carbohidratos (Practica numero 3).
- [12] Cardona, J. (2021). estudio de tratabilidad de aguas residuales industriales usando la *eichhornia crassipes* como coagulante alternativo en la empresa induma. Universidad Católica de Manizales.

- [13] Resolución 631 de 2015. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. 18 de abril de 2015. D.O No. 49.486
- [14] Gallardo, M. (2017). coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales. universidad distrital Francisco José de caldas. Recuperado de: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/5609/BravoGallardoMon?sequence=1>
- [15] Santos, A., Guimarães de Oliveira, A, Barbosa de Lavôr,M.,Carmo, E., Cleide,M. (2020). Low turbidity water treated with seeds of Moringa oleífera Lam REGET, (24). Recuperado de: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/45214/html>
- [16] Mancera, A. (2021). Buchón de agua (eichhornia crassipes): una revisión bibliográfica de su capacidad para remover contaminantes del agua. Universidad Santo Tomas. Recuperado de: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/31969/2021angierojas.pdf?seque>
- [17] Garzón, C. León, A. (2015). Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) en el proceso de coagulación - floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neuronal artificial. Universidad Santo Tomas. Recuperado de: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2916/Barajasclaudia2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [18] D. M. M. Castaño, "Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada," Químico Industrial, Escuela de tecnologías, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira. Colombia, 2011
- [19] J. A. Perez, "Calidad del agua," ed. Bogota, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2010, p. 35.
- [20] olís, R. Laines, J. & Hernández, J. (2012). MEZCLAS CON POTENCIAL COAGULANTE PARA CLARIFICAR AGUAS SUPERFICIALES. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v28n3/v28n3a5.pdf>
- [21] Rial, A. B. (2013, 2 julio). Plantas acuáticas: aspectos sobre su distribución geográfica, condición de maleza y usos. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/491/49131094003.pdf>
- [22] Gómez, M. S. (2001, 16 enero). Alteraciones neurológicas y psiquiátricas secundarias a la exposición al aluminio. Recuperado de <http://scielo.isciii.es/pdf/cmfn24/original2.pdf>