	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 1 de 8

16

FECHA	miércoles, 10 de junio de 2020
--------------	--------------------------------

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
 BIBLIOTECA
 Ciudad


UNIDAD REGIONAL	Seccional Girardot
TIPO DE DOCUMENTO	Trabajo De Grado
FACULTAD	Ciencias Agropecuarias
NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Pregrado
PROGRAMA ACADÉMICO	Ingeniería Ambiental

El Autor(Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
Lozada Ayala	Dayana Alexandra	1005773812

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 2 de 8

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
Aldaya Rodríguez	María
Sandoval Valencia	John Jairo

TÍTULO DEL DOCUMENTO
Análisis de la eficiencia del almidón de papa oxidado como coagulante en el tratamiento de aguas provenientes de la desembocadura del río Bogotá

SUBTÍTULO (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
Ingeniería Ambiental

AÑO DE EDICIÓN DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PÁGINAS
08/06/2020	90

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
ESPAÑOL	INGLÉS
1. Almidón de papa	Potato starch
2. Coagulantes naturales	Natural coagulant
3. Turbidez	Turbidity
4. Ciencias Ambientales	Environmental sciences
5. Tratamiento fisicoquímico	Physicochemical treatment
6. Procesos de oxidación	Oxidation processes

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 3 de 8

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

Resumen

Se realizó una investigación aplicada a las ciencias ambientales. El almidón de papa (*Solanum tuberosum*) se sometió a distintos tratamientos físicoquímicos, tal como el uso del hipoclorito de sodio y la radiación ultravioleta (UV) para favorecer la oxidación de los grupos funcionales del polisacárido y de tal manera mejorar sus características como un posible coagulante natural en los procesos de coagulación-floculación del tratamiento de aguas. Los materiales obtenidos han sido evaluados con muestras de agua provenientes de la desembocadura del río Bogotá al río Magdalena en Girardot-Cundinamarca. Haciendo una comparación frente a los coagulantes convencionales tal como el sulfato de aluminio, se evaluó de manera independiente y como coadyuvante, el efecto del almidón de papa sobre la reducción de la turbidez en el agua y otros parámetros de control como el pH y la alcalinidad. Los resultados han permitido identificar las dosis óptimas requeridas y los porcentajes de eficiencia de remoción. Todo ello, con el fin de contribuir a la generación de conocimiento sobre el reuso de fuentes hídricas contaminadas y/o mejorar su calidad. Además, se realiza una valorización de los recursos naturales, el almidón es amigable con el medio ambiente y no afecta a la salud de las personas y es de fácil adquisición para países ricos en recursos naturales o con potencial en actividades agropecuarias.

Los materiales obtenidos de almidón de papa tratado con hipoclorito de sodio (con distintas concentraciones de cloro) y luz UV, han presentado resultados de remoción de la turbidez entre el 64 y 96% en muestras de agua del río Bogotá, mientras la prueba control (almidón sin modificar) presenta un 59% de remoción de turbidez, bajo las mismas condiciones establecidas en el test de jarras. Por lo tanto, los resultados demuestran que existe un efecto del tratamiento físicoquímico en el polisacárido y presentan un uso potencial en el tratamiento de aguas. Por otra parte, pensando en reducir la concentración de Aluminio en los convencionales sistemas de potabilización de aguas, se ha utilizado el polímero natural como coadyuvante (Almidón de papa modificado + $Al_2(SO_4)_3$) obteniéndose de igual manera resultados satisfactorios, la turbidez se reduce en promedio un 97% y el pH del agua se mantiene en un valor óptimo (entre 6 y 7) para una disposición final. En este trabajo de grado se muestran algunos resultados preliminares para dar continuidad a otras investigaciones y fomentar el uso de materiales derivados de la biomasa en procesos de tratamiento de aguas crudas.

Abstract

An investigation applied to environmental sciences was carried out. Potato starch (*Solanum tuberosum*) was subjected to different physicochemical treatments, such as the use of sodium hypochlorite and ultraviolet (UV) radiation to favor the oxidation of the functional groups of the polysaccharic and thereby improve its characteristics as a possible natural coagulant in the coagulation-flocculation processes of water treatment. The materials obtained have been evaluated with water samples from the mouth of the Bogotá river to the Magdalena river in Girardot-Cundinamarca. Making a comparison against conventional coagulants such as aluminum sulfate, the effect of potato starch on the reduction of turbidity in water and other control parameters such as pH and humidity was evaluated independently



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 4 de 8

and as an adjunct. alkalinity. The results have allowed identifying the optimal doses required and the percentages of removal efficiency. All this, in order to contribute to the generation of knowledge about the reuse of contaminated water sources and / or improve their quality. In addition, a valuation of natural resources is carried out, starch is friendly to the environment and does not affect people's health and is easy to acquire for countries rich in natural resources or with potential in agricultural activities.

The materials obtained from potato starch treated with sodium hypochlorite (with different concentrations of chlorine) and UV light, have presented turbidity removal results between 64 and 96% in water samples from the Bogotá river, while the control test (unmodified starch) has 59% turbidity removal, under the same conditions established in the jar test. Therefore, the results demonstrate that there is an effect of physicochemical treatment on the polysaccharide and present potential use in water treatment. On the other hand, thinking of reducing the concentration of Aluminum in conventional water purification systems, the natural polymer has been used as an adjuvant (Modified potato starch + Al₂ (SO₄)₃) obtaining in the same way satisfactory results, the turbidity was reducing on average 97% and the pH of the water is kept at an optimal value (between 6 and 7) for final disposal. This preliminary work shows some preliminary results to give continuity to other investigations and to promote the use of materials derived from biomass in raw water treatment processes.

AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son:
Marque con una "X":

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	X	



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 5 de 8

2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	X	
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	X	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 6 de 8

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado.

SI ___ NO _X_.

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).

b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.

c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 7 de 8

contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el “Manual del Repositorio Institucional AAAM003”

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



Nota:

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAar113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 8 de 8

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. Análisis de la eficiencia del almidón de papa oxidado como coagulante en el tratamiento de aguas provenientes de la desembocadura del río Bogotá.pdf	Texto
2.	
3.	
4.	

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafa)
Lozada Ayala Dayana Alexandra	Dayana Alexandra Lozada Ayala

21.1-51.20

**Análisis de la eficiencia del almidón de papa oxidado como coagulante en el tratamiento
de aguas provenientes de la desembocadura del río Bogotá**

Autor

Dayana A. Lozada Ayala

Universidad de Cundinamarca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Programa de Ingeniería Ambiental

Girardot – Cundinamarca

2020

**Análisis de la eficiencia del almidón de papa oxidado como coagulante en el tratamiento
de aguas provenientes de la desembocadura del río Bogotá**

Autor

Dayana A. Lozada Ayala

Trabajo de grado para optar el título profesional de ingeniera ambiental

Director

Maria A. Rrodriguez

Ecóloga, especialista en enseñanza de las ciencias naturales

Co-Director

John J. Sandoval Valencia

Químico, Ph. D

Universidad de Cundinamarca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Programa de Ingeniería Ambiental

Girardot – Cundinamarca

2020

Agradecimientos

Como primera instancia quiero agradecerle a Dios por brindarme la oportunidad de culminar mi carrera profesional independientemente de todas las adversidades presentadas, por siempre guiarme en el camino correcto y no desfallecer, seguido quiero agradecer a mi familia porque es el motor por el cual me esfuerzo cada día para salir adelante y por ende sacarlos adelante a ellos, porque merecen las mejores cosas de la vida, mi madre quien es una mujer que lucho por hacer de sus hijas personas con valores y principios.

Agradezco a quienes me guiaron y me apoyaron para culminar este proceso en especial al docente John Jairo Sandoval Valencia quién siempre me inculco el principio de la investigación y me proporcionó oportunidades para participar en proyectos de ciencia, tecnología e innovación, como lo fue el proyecto de convocatoria interna, titulado: “Tratamiento de Aguas Contaminadas para Aplicaciones Agrícolas”. Parte de los resultados obtenidos han sido presentados en los dos últimos eventos de la Red Colombiana de Semilleros de Investigación (RedColsi) en Bogotá y Valledupar, Colombia; (Valledupar). Infinitas gracias por cada acción como docente, también a mi directora María Aldaya Rodríguez por su apoyo a lo largo de mi trabajo de grado.

A mis amigos y compañeros de estudio por el apoyo que me brindaron durante mi carrera profesional, por los momentos de alegrías y tristezas, experiencias y por su acompañamiento incondicional en cada uno de los aspectos de la vida. En mención quiero hacer relevancia a Leidy Katterynn Cano Díaz que en sus espacios libres me daba una mano para el desarrollo experimental de este documento y aunque no nombre a mis otras amigas quiero también agradecerles porque fueron un pilar importante y las llevo siempre en mi corazón.

Índice

Resumen.....	10
Abstract.....	11
1. Introducción	12
2. Planteamiento del problema.....	15
3. Justificación.....	17
4. Objetivos	19
4.1 Objetivo general.....	19
4.2 Objetivo específico	19
5. Marco referencial.....	20
5.1 Antecedentes.....	20
5.2 Marco teórico.....	24
5.3 Marco legal.....	34
6. Diseño metodológico	36
6.1 Zona de estudio.....	36
6.2 Metodología.....	37
6.2.1 Fase I. Obtención y oxidación del almidón de papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	38
6.2.1.1 Extracción del almidón.....	38
6.2.1.2 Modificación de papa por hipoclorito de Sodio (NaClO)	39
6.2.1.3 Modificación de papa por hipoclorito de Sodio (NaClO) + UV.....	41

6.2.2 Fase II. Obtención muestras de agua.....	42
6.2.2.1 Preparación de muestras de agua de origen artificial.	42
6.2.2.2 Toma de muestras agua río Bogotá.	42
6.2.3 Fase III. Determinación de la dosis óptima y eficiencia del coagulante en la remoción de la turbidez y el color.	43
6.2.3.1 Aguas de origen artificial.....	43
6.2.3.2 Agua proveniente de la desembocadura del río Bogotá.	43
6.2.3.3 Test de jarras	43
6.2.3.4 Turbidez.....	45
6.2.3.5 Espectrofotometría UV Visible (Génesis VIS10).....	47
6.2.3.6 Conductividad	47
7. Diseño Experimental.....	49
8. Impactos esperados	50
8.1. Impactos sociales	50
8.2. Impactos económicos	50
8.3. Impactos ambientales	50
9. Resultados y discusión.....	51
9.1 Resultados con soluciones de control	51
9.2 Estudios preliminares del río Bogotá.....	55
9.3 Resultados de análisis de IR.....	62

9.4 Discusión de resultados.....	64
9.4.1 análisis de los estudios preliminares del río Bogotá	64
9.4.2 Perspectivas del almidón como coagulante.	66
9.4.3 Análisis de resultados de remoción de turbidez.....	67
9.4.4 Discusión teórica de la revisión literaria de la remoción de materiales minerales con almidón	71
9.4.5 Análisis de resultados de espectroscopía infrarroja	72
9.4.6 Consideración del uso de almidón de papa en el tratamiento de grandes volúmenes de agua.....	74
9.4.7 Consideración del almidón de papa en remoción de metales pesados	75
9.4.8 Comparación y discusión de costos de coagulantes.....	76
10. Conclusiones	78
11. Bibliografía.....	79

Indice de tablas

<i>Tabla 1</i> Normatividad relacionada con agua residual y vertimientos.	35
<i>Tabla 2</i> Ensayos de laboratorio	49
<i>Tabla 3</i> Estudios Preliminares de la Cuenca Baja del Río Bogotá en el Río Magdalena.....	55
<i>Tabla 4</i> Consolidación de los resultados obtenidos de los diversos ensayos para el parámetro de turbidez (NTU).....	57
<i>Tabla 5</i> Consolidado de los porcentajes de eficiencia en la remoción de turbidez.....	58
<i>Tabla 6</i> Consolidado de los resultados del parámetro de pH de los diversos ensayos.....	60
<i>Tabla 7</i> Consolidado de los resultados de parámetros de conductividad eléctrica de los diversos ensayos.....	61

Indice de figuras

<i>Figura 1</i> Estructura del almidón.	30
<i>Figura 2</i> Estructura de la amilosa y amilopectina.	31
<i>Figura 3</i> Oxidación del almidón con hipoclorito de sodio.	33
<i>Figura 4</i> Localización Geográfica de la Cuenca del Río Bogotá	36
<i>Figura 5</i> Ubicación punto de muestreo desembocadura río Bogotá.	37
<i>Figura 6</i> Fases de la metodología.	38
<i>Figura 7</i> Almidón de papa	39
<i>Figura 8</i> Extracción del almidón.....	39
<i>Figura 9</i> Modificación del almidón	40
<i>Figura 10</i> Obtención de muestra problema	42
<i>Figura 11</i> Test de jarras.....	45
<i>Figura 12</i> Turbidímetro	46
<i>Figura 13</i> Conductímetro	48
<i>Figura 14</i> Remoción de turbidez mediante almidones sin cocer en el rango de pH 3-8.....	52
<i>Figura 15</i> Remoción de turbidez mediante almidones cocidos en el rango de pH 3-8.....	53
<i>Figura 16.</i> Fotografías al microscopio de almidones de arroz, papa y maíz junto a alumbre. .	54
<i>Figura 17</i> Fotografías al microscopio de flocs originados por almidones crudos y cocidos de arroz, papa, maíz junto a alumbre.	54
<i>Figura 18</i> Porcentaje de remoción de la turbidez, muestras del río Bogotá	59
<i>Figura 19</i> Espectro de AP.....	62
<i>Figura 20</i> Espectro de Infrarrojo de APT1	63
<i>Figura 21</i> Espectro de Infrarrojo de APT2.....	63

Figura 22 Espectro de Infrarrojo de APT3.....64

Análisis de la eficiencia del almidón de papa oxidado como coagulante en el tratamiento de aguas provenientes de la desembocadura del río Bogotá

Resumen

Se realizó una investigación aplicada a las ciencias ambientales. El almidón de papa (*Solanum tuberosum*) se sometió a distintos tratamientos físicoquímicos, tal como el uso del hipoclorito de sodio y la radiación ultravioleta (UV) para favorecer la oxidación de los grupos funcionales del polisacárido y de tal manera mejorar sus características como un posible coagulante natural en los procesos de coagulación-floculación del tratamiento de aguas. Los materiales obtenidos han sido evaluados con muestras de agua provenientes de la desembocadura del río Bogotá al río Magdalena en Girardot-Cundinamarca. Haciendo una comparación frente a los coagulantes convencionales tal como el sulfato de aluminio, se evaluó de manera independiente y como coadyuvante, el efecto del almidón de papa tratado sobre la reducción de la turbidez en el agua y otros parámetros de control como el pH y la alcalinidad. Los resultados han permitido identificar las dosis óptimas requeridas y los porcentajes de eficiencia de remoción. Todo ello, con el fin de contribuir a la generación de conocimiento sobre el reuso de fuentes hídricas contaminadas y/o mejorar su calidad. Además, se realiza una valorización de los recursos naturales, el almidón es amigable con el medio ambiente y no afecta a la salud de las personas y es de fácil adquisición para países ricos en recursos naturales o con potencial en actividades agropecuarias.

Los materiales obtenidos de almidón de papa tratado con hipoclorito de sodio (con distintas concentraciones de cloro) y luz UV, han presentado resultados de remoción de la turbidez entre el 64 y 96% en muestras de agua del río Bogotá, mientras la prueba control (almidón sin modificar) presenta un 59% de remoción de turbidez, bajo las mismas condiciones

establecidas en el test de jarras. Por lo tanto, los resultados demuestran que existe un efecto del tratamiento fisicoquímico en el polisacárido y presentan un uso potencial en el tratamiento de aguas. Por otra parte, pensando en reducir la concentración de Aluminio en los convencionales sistemas de potabilización de aguas, se ha utilizado el polímero natural como coadyuvante (Almidón de papa modificado + $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) obteniéndose de igual manera resultados satisfactorios, la turbidez se reduce en promedio un 97% y el pH del agua se mantiene en un valor optimo (entre 6 y 7) para una disposición final. En este trabajo de grado se muestran algunos resultados preliminares para dar continuidad a otras investigaciones y fomentar el uso de materiales derivados de la biomasa en procesos de tratamiento de aguas crudas.

Palabras clave: Almidón de papa, coagulantes naturales, turbidez, ciencias ambientales, tratamiento fisicoquímico, procesos de oxidación

Abstract

An investigation applied to environmental sciences was carried out. Potato starch (*Solanum tuberosum*) was subjected to different physicochemical treatments, such as the use of sodium hypochlorite and ultraviolet (UV) radiation to favor the oxidation of the functional groups of the polysaccharic and thereby improve its characteristics as a possible natural coagulant in the coagulation-flocculation processes of water treatment. The materials obtained have been evaluated with water samples from the mouth of the Bogotá river to the Magdalena river in Girardot-Cundinamarca. Making a comparison against conventional coagulants such as aluminum sulfate, the effect of potato starch on the reduction of turbidity in water and other control parameters such as pH and humidity was evaluated independently and as an adjunct. alkalinity. The results have allowed identifying the optimal doses required and the percentages of removal efficiency. All this, in order to contribute to the generation of knowledge about the reuse

of contaminated water sources and / or improve their quality. In addition, a valuation of natural resources is carried out, starch is friendly to the environment and does not affect people's health and is easy to acquire for countries rich in natural resources or with potential in agricultural activities.

The materials obtained from potato starch treated with sodium hypochlorite (with different concentrations of chlorine) and UV light, have presented turbidity removal results between 64 and 96% in water samples from the Bogotá river, while the control test (unmodified starch) has 59% turbidity removal, under the same conditions established in the jar test. Therefore, the results demonstrate that there is an effect of physicochemical treatment on the polysaccharide and present potential use in water treatment. On the other hand, thinking of reducing the concentration of Aluminum in conventional water purification systems, the natural polymer has been used as an adjuvant (Modified potato starch + $Al_2(SO_4)_3$) obtaining in the same way satisfactory results, the turbidity was reducing on average 97% and the pH of the water is kept at an optimal value (between 6 and 7) for final disposal. This preliminary work shows some preliminary results to give continuity to other investigations and to promote the use of materials derived from biomass in raw water treatment processes.

Keywords: potato starch, Natural coagulant, turbidity, environmental sciences, physicochemical treatment, oxidation processes

1. Introducción

El agua es un líquido incoloro, inodoro e insaboro, fundamental para los seres vivos ya que sus cuerpos se componen de aproximadamente un 72% de ella (Villego, 1996), es esencial en la producción de alimentos, en el crecimiento y vida de las plantas, en el coexistir del hombre, en la cría de animales, en la industria, entre otros procesos (IDEAM, 2015). En Colombia, según el

capítulo IV (art 9) del Decreto 3930 de 2010, el agua puede tener los siguientes usos: consumo humano y doméstico, preservación de flora y fauna, agrícola, pecuario, recreativo, industrial, estético, pesca, maricultura y acuicultura, navegación y transporte acuático.

El agua es la sustancia más abundante en la tierra y se mantiene en constante circulación gracias al ciclo del agua. No existe de forma pura en la naturaleza debido a que en su recorrido (evaporación, condensación, precipitación, infiltración y escorrentía) recoge impurezas provenientes del aire, del suelo y de las descargas de aguas residuales domésticas e industriales (Gray, 1994).

Las impurezas presentes en el agua pueden ser responsables de diferentes enfermedades cuando se utiliza para consumo humano; según la organización mundial de la salud (OMS), diversos casos de muerte han estado relacionados con la transmisión de enfermedades como el cólera, diarrea, disentería, hepatitis A, fiebre tifoidea y poliomielitis por el consumo directo e indirecto de aguas no tratadas.

Por lo tanto, el desarrollo de la ciencia y la tecnología ha conducido a que año tras año se realicen numerosas investigaciones sobre diferentes fenómenos y procesos que son de utilidad para evitar y/o remediar esta situación. Uno de los procesos ampliamente estudiados desde la ingeniería ambiental es el tratamiento de los vertimientos ya que resulta indispensable para que éste recurso natural pueda conservar sus características propias, se conserve la biodiversidad del ecosistema y pueda emplearse en diferentes actividades que satisfagan las necesidades fundamentales de la población (Díaz y otros, 2009).

Es por esto que el recurso debe someterse a un tratamiento debidamente controlado con el fin de hacerla óptima para el uso de los seres vivos, este tratamiento se lleva a cabo dependiendo de los usos a los que se vaya a destinar, es importante que el agua cumpla con determinados

parámetros de calidad (parámetros físicos, químicos y microbiológicos) estipulados en la ley ambiental legal vigente.

El cumplimiento de los diferentes parámetros de calidad implica realizar diferentes tratamientos al agua para consumo, entre ellos, procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección (Chulluncuy, 2011). Cada uno de estos procesos cumple un rol fundamental durante el tratamiento debido a que conllevan a la mejora de diferentes parámetros de calidad de aguas (Torres, Cruz, & Patiño, 2009).

La coagulación y la floculación son los procesos más importantes en el tratamiento convencional del agua ya que con ellos se busca eliminar las partículas coloidales suspendidas en el agua. En la actualidad los coagulantes más utilizados son compuestos de origen químico, derivados de las sales minerales de hierro y aluminio, los cuales desencadenan diferentes problemáticas ambientales, razón que ha motivado a varios países latinoamericanos a utilizar coagulantes naturales extraídos de especies vegetales o animales nativos (Fernández, 2008; Solís, Laines & Hernández, 2012; Rondón et al, 2017; Choque et al, 2018).

El uso de coagulantes naturales data desde la década de los 70 del siglo XX (Cabrera Martínez, Hernández Julio, Simancas Vásquez, Ayala Jiménez, & Caraballo, 2017) a partir de la necesidad de reducir el uso de sustancias químicas y a su vez generar un menor impacto socio-ambiental en el desarrollo del ser humano, además de buscar el aprovechamiento de la biomasa y así reducir los grandes volúmenes de residuos no biodegradables normalmente producidos en los procesos de tratamiento de aguas.

Se han evaluado diversos tipos de especies vegetales utilizados ampliamente como coagulantes naturales, entre ellos el almidón de papa (*Solanum tuberosum*), el cual es el material

de interés en este proceso de investigación para estudiar la capacidad de remoción de turbidez en aguas provenientes de la cuenca baja del río Bogotá y aguas sintéticas.

Los polímeros orgánicos o de origen natural presentan diversas propiedades entre las cuales se encuentra la alta viabilidad para formar geles debido a su compleja estructura molecular y a su gran capacidad de hidratación (hasta un 80 % de incremento en peso), gran potencial biodegradable, a diferencia de muchos compuestos coagulantes sintéticos; y mínima toxicidad (Hernández Medina, Torruco Uco, Guerrero, & Betancur Ancona, 2008).

De acuerdo con lo anterior, las alternativas de tratamiento de aguas basadas en la utilización de coagulantes naturales, como la modificación del almidón de papa, en los procesos de clarificación se muestran como una alternativa y sustituto de los polímeros sintéticos ya que el almidón, desde un punto de vista químico, es un polímero a su vez, siendo su unidad constitutiva la glucosa.

2. Planteamiento del problema

Hoy en día los altos índices de contaminación se atribuyen en su mayoría al aumento desmesurado de la población, que a su vez se relaciona con el crecimiento continuo de la industrialización, la agricultura y la urbanización (Bravo, 2015). Esta situación no es ajena a los cuerpos del agua en el mundo, debido a que una gran parte de los desechos líquidos y sólidos son depositados en los mismos; un caso particular en Colombia es el del río Bogotá, el cuerpo de agua más importante de la Sabana de Bogotá, el cual se ve afectado desde hace varias décadas por procesos industriales, domésticos y agrícolas de la región (Cubillos Arévalo & Delgado Perdigon, 2016), debido a que es usado como colector de las aguas residuales y cuyos flujos concentrados en agentes contaminantes generan problemas ambientales y sociales en la zona de influencia del mismo deteriorando enormemente el ambiente ribereño y la calidad de las aguas.

Este tema ha sido de interés desde diversos puntos de vista en el país, tanto desde el ecológico y jurídico, manifestados en la emisión de la sentencia 2001-90479 de 28 de marzo de 2014, para la toma de acciones para la descontaminación del afluente; como para la ciencia y la tecnología, que en su desarrollo año tras año, ha incursionado en los diferentes aspectos del tratamiento de aguas.

Como se menciono anteriormente al hablar de tratamiento de aguas se relacionan diversos procesos físicos-químicos y microbiológicos que en conjunto garantizan el cumplimiento de los diferentes parámetros de calidad, entre ellos, los procesos de coagulación-floculación.

Estos buscan eliminar las partículas coloidales suspendidas en el agua, por lo general, por medio de la intervención de agentes químicos, los cuales muestran algunas desventajas. Según estudios han revelado que estos compuestos químicos desencadenan diversas problemáticas ambientales, debido a la producción de grandes volúmenes de lodos que traen consigo materiales que pueden tener algún nivel de toxicidad (Sotero-Santos, 2007) y de tratamiento difícil, que a su vez pueden afectar los ecosistemas en los lugares de depósito, generando toxicidad sobre los seres vivos; además que los lodos remanentes generan tierras inertes no aptas para cultivo y variaciones sensibles de los valores de pH; debe resaltarse también la influencia en los costos de operación de tipo de coagulantes, que son por lo regular elevados (Ortiz López & Vargas Oliveros, 2016), por ende para países en desarrollo como Colombia, su acceso puede verse limitado porque difícilmente pueden asumir los costos de adquisición de dichos coagulantes, especialmente los cascos urbanos pequeños.

Por otra parte, se ha demostrado a través de investigaciones médicas realizadas en Inglaterra, que los niveles altos de aluminio remanentes en las aguas tratadas ponen en riesgo la salud

pública debido a su posible implicación en enfermedades como síndrome de Alzheimer por su potencial neurotóxico en exposiciones prolongadas, en aquellas investigaciones se ha encontrado que el riesgo de contraer esta enfermedad es 1,5 veces mayor en aquellos sitios donde las concentraciones de aluminio en el agua exceden los 0,110 mg/L, (Quispe y otros, 2018).

Es por ello que desde la perspectiva de la ingeniería ambiental es necesario investigar alternativas al uso de estos productos, siendo una opción el empleo de compuestos orgánicos. Por ello se genera la siguiente pregunta de investigación,

¿El almidón de papa oxidado puede ser efectivo como coagulante-floculante de origen natural al ser empleado para el tratamiento de aguas crudas con un elevado grado de contaminación, como las provenientes de la desembocadura del río Bogotá?

3. Justificación

La calidad del agua es una preocupación que ha venido en incremento a lo largo del mundo, especialmente en países de América Central y del Sur, Oceanía, África o Asia del Sur, principalmente en las zonas rurales donde la problemática se intensifica. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y de acuerdo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) “en este siglo, la falta de agua segura para el consumo humano, de saneamiento y de higiene es uno de los principales y más urgentes problemas relacionados con la salud” y confieren que para el año 2030 se debe garantizar la disponibilidad del agua, su gestión sostenible y el saneamiento para todos con la finalidad de adoptar medidas para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad (Blanca Bórquez & Lopich Catalán, 2017).

El recurso hídrico, indispensable para la vida, es habitualmente expuesto a niveles de contaminación física, química y biológica, ocasionadas por las diversas actividades

antropogénicas, dentro de las cuales se pueden denotar el desarrollo urbano, crecimiento demográfico, expansión industrial, ganadería, agricultura, entre otras. En respuesta a lo anterior, “las medidas que se deben tomar para descontaminar los efluentes debe ser cada vez más urgente, siendo necesario la búsqueda de nuevas alternativas basadas en investigaciones sobre diferentes sistemas de tratamiento de aguas que faciliten una mejor calidad y una protección adecuada de los recursos hídricos” (Sánchez J, Beltran J, Carmona C, y Gibello P. 2011).

Gracias a la necesidad de descontaminar este recurso se han generado varios procesos que en conjunto logran la remoción de los elementos contaminantes del agua, con mayor o menor eficiencia dependiendo de las tecnologías. Entre las técnicas más utilizadas en el tratamiento de aguas residuales bien de origen industriales, domesticas o institucionales, entre otros; están los procesos de coagulación y floculación, estos procesos se pueden realizar con coagulantes químicos o naturales, los cuales añadidos a las aguas residuales desestabilizan las partículas coloidales y permiten el desarrollo de partículas más grandes llamadas flóculos por medio del proceso de agregación (Sciban, M., Klasnja, M., Antov, M., Skrbic, B., 2009).

Dorea (2006) expone que, como alternativa en los países en vías de desarrollo, han adaptado una serie de metodologías tradicionales para eliminar la turbidez del agua en el ámbito doméstico e industrial. De ellas la más estudiada es la utilización de extractos naturales de plantas y animales para la clarificación del agua cruda, recalando que es un método que data desde los años 70.

En la actualidad diversos países Latinoamericanos han optado por la utilización de los coagulantes naturales con el fin de generar un menor impacto socio-ambiental en el desarrollo del ser humano, debido a que estos productos son biodegradables y respetuosos con el medioambiente, ya que están compuestos a partir de biomasa y son sostenibles en todo su ciclo

de vida. Para la salud humana son más seguros y ambientalmente este tipo de coagulantes producen menos volúmenes de lodos (20-30 % de disminución), menos tóxicos y con potencial para una valorización agrícola, comparados con los generadas por el empleo de agentes coagulantes metálicos como el alumbre (Sciban et al, 2009). Una cualidad adicional que estos agentes poseen es que no modifican considerablemente el pH del agua tratada, por lo que no es necesario utilizar productos alcalinizantes como hidróxido sódico o cálcico.

Por consiguiente, este proyecto radica su importancia frente a la responsabilidad de investigar nuevas alternativas a partir de tecnologías verdes, empleando coagulantes y floculantes de fuentes naturales para el tratamiento del agua del río Bogotá, que sean fácilmente adquiribles en Colombia, que permitan una disminución de la carga contaminante de las fuentes hídricas, y se pueda realizar a bajo costo y con menores efectos sobre los ecosistemas.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Analizar la eficiencia del almidón de papa oxidado como coagulante en el tratamiento de aguas provenientes de la desembocadura del río Bogotá.

4.2 Objetivo específico

- Modificar estructuralmente el almidón de papa mediante reacciones de oxidación.
- Determinar la eficiencia de remoción de la turbidez y el color de aguas de origen artificial mediante el uso de coagulantes naturales modificados.
- Estudiar las dosis óptimas de almidón modificado para el tratamiento de aguas de la desembocadura del río Bogotá.

5. Marco referencial

5.1 Antecedentes

En Colombia son numerosos los trabajos existentes en torno al empleo de los coagulantes naturales, siendo los más utilizados para la remoción de turbidez y color en el tratamiento de agua en zonas rurales y urbanas los extractos vegetales de diferentes especies (*Opuntia ficus-indica*, *Moringa oleífera*, *Ipomoea incarnata* y *Cassia fistula*), los almidones (plátano y maíz) y los agentes de origen animal como el quitosano (Castellanos, 2017).

Por lo tanto, se resaltan algunas revisiones en cuanto a investigaciones en Colombia, en donde se hará énfasis en el tipo de coagulante, las dosis utilizadas y su efectividad en la mejora de parámetros de calidad de agua como color y turbidez:

- El estudio realizado por Villabona y otros (2013) muestra la caracterización de la *Opuntia ficus-indica* y el uso de su extracto como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda natural obtenida del Canal del Dique, a la altura de Puerto Badel corregimiento de Arjona – Bolívar. La especie en mención cuenta con algunos componentes que poseen acción coagulante como el ácido poligacturónico y compuestos algínicos. Para la obtención del coagulante se realizaron tratamientos preliminares a las pencas (secado, molienda y tamizado) para poder llevar a cabo la extracción de los componentes de acción coagulante, el rendimiento de dicho proceso fue de 6.5%. Los extractos fueron sometidos a análisis fitoquímicos donde se determinaron parámetros como pH, humedad, calcio, hierro, flavonoides y saponinas. Se encontró que el coagulante remueve 50% de color y 70% de turbidez en la muestra tratada cuando se emplea una dosis de 90 mg/L a 30 rpm.

- La investigación realizada por Trujillo y otros (2014) propone el uso de almidón de plátano como ayudante de los procesos de coagulación/floculación empleados para tratar agua cruda proveniente del sector Cerro de Oro de la ciudad de Manizales (Colombia). En la investigación se planteó un sistema factorial para el diseño de los experimentos y se definieron cuatro variables a analizar: pH, dosis de coagulante, velocidad de mezcla rápida y velocidad de mezcla lenta. Se llevaron a cabo 16 experimentos con sus respectivas réplicas y se encontró que el tratamiento que presenta los mejores resultados es aquel en donde se empleó un pH de 5, la mezcla sulfato de aluminio/almidón en proporción 50:50, la velocidad de mezcla rápida de 150 rpm y la velocidad de mezcla lenta de 20 rpm. Bajo estas condiciones, el porcentaje de remoción de la turbidez del agua es cercano al 99%, demostrando alta eficiencia de dicho tratamiento. El estudio permite concluir que el almidón de plátano puede ser empleado como sustituto de los polielectrólitos comerciales, reduciendo costos y otros efectos negativos que genera el uso de dichas sustancias en los procesos de coagulación/floculación.
- Feria y otros (2014) estudiaron el uso de las semillas de Moringa Oleífera como coagulante natural para remover la turbidez en aguas del río Sinú en Córdoba. Para esto, tomaron semillas de la especie en mención y las sometieron a procesos de secado, molienda y tamizado para obtener el polvo que fue desengrasado. El componente activo que causa la coagulación fue extraído disolviendo el polvo desengrasado en solución salina al 1%. La misma extracción se repitió empleando polvo sin desengrasar para realizar comparaciones entre ambos tipos de coagulante y un coagulante comercial ($Al_2(SO_4)_3$). La mezcla rápida fue de 200 rpm durante 1 minuto, seguido por la mezcla lenta de 40 rpm durante 20 minutos para diferentes dosis y tipos de coagulante. Se encontró una eficiencia de remoción de turbidez

entre el 70% y el 90% empleando dosis entre 4,5 mg/L y 17,5 mg/L de coagulante natural cuando la turbidez es baja, sin embargo, la eficiencia de remoción de turbidez varía entre el 94.8% y el 98.4% empleando dosis entre 7 mg/L y 15 mg/L de coagulante natural cuando la turbidez es alta. Cuando se empleó $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ la turbidez se redujo más de 94% sin importar que los valores fueran altos o bajos. En el estudio también se encontró que el uso de coagulantes de Moringa Oleífera no afecta significativamente los valores de pH y alcalinidad de las aguas tratadas y que no es estrictamente necesario realizar el proceso de desengrasado al polvo de la semilla.

- Ricaurte y otros (2014) emplearon quitosano comercial como coagulante natural para el tratamiento de aguas crudas provenientes del perfil de gota fría y huaricha en la planta de tratamiento de agua potable de la Empresa de Servicios Públicos de Valledupar. Se encontró que la dosis optima de quitosano es de 35 mg/L para remover turbidez en un 98,22% y color en un 82.11%. En el estudio se concluye que el quitosano como coagulante no solo mejora los parámetros de turbidez y color sino también solidos suspendidos totales y pH.
- El trabajo de Guzmán y otros (2015) plantea el uso del polvo de semilla Cassia fistula como alternativa de coagulante natural para el tratamiento de aguas crudas provenientes del canal del Dique. El coagulante se obtuvo a partir de las semillas de Cassia fistula que fueron sometidas a diferentes tratamientos preliminares hasta conseguir el polvo fino que fue diluido en agua destilada para tener diferentes concentraciones. El agua cruda se trató con diferentes concentraciones de coagulante con agitación rápida a 100 rpm durante 1 minuto, seguida de agitación lenta a 40 rpm durante 30 minutos. Se encontró que el uso de este tipo de coagulante no altera significativamente los valores de pH, alcalinidad y dureza del agua

tratada y que la dosis óptima de coagulante es de 20 mg/L para remover 87.5% de color y 95% de turbidez.

- En el estudio de Fuentes y otros (2016) emplearon coagulantes naturales como moringa oleífera, almidón de yuca, cactus y algas marinas rojas para tratamiento de aguas crudas del río Cesar utilizando sistemas continuos y sistemas batch. Los coagulantes fueron pretratados con soluciones de Ca(OH)_2 , CaCl_2 , NaOH y NaCl y se emplearon diferentes dosis (60, 80 y 100 mg/L). La mezcla rápida se hizo durante 1 minuto a 200 rpm, la mezcla lenta se hizo durante 25 minutos a 25 rpm y el tiempo de sedimentación fue de 30 minutos. La dosis optima fue de 100 mg/L y se determinaron eficiencias en remoción de turbidez de 88.26% para moringa usando Ca(OH)_2 , 79.73% para almidón con NaOH ; 81.14% para algas con CaCl_2 y 98.41 % para cactus siendo la más eficiente sin emplear el pretratamiento. El estudio concluye que el uso de estos coagulantes no afecta significativamente los valores de pH, conductividad y oxígeno disuelto en el agua tratada.
- En el estudio de Olivero y otros (2017) se propone el uso alternativo de una mezcla de coagulantes naturales (opuntia ficus y moringa oleífera) para tratar aguas del río Magdalena. En el estudio se compara la eficiencia de la mezcla de coagulantes naturales con mezclas de coagulante natural y alumbre. La mezcla rápida se hizo a 300 rpm durante 30 segundos y el tiempo de sedimentación fue de 15 minutos. Los mejores resultados se obtienen al mezclar la moringa oleífera con sulfato de aluminio a 45.0 ppm y pH 8 ya que tiene una eficiencia en la remoción de turbidez del 99.5%.
- Cabrera y otros (2017) proponen en su estudio el uso de coagulantes naturales extraídos de la especie *Ipomoea incarnata* en el tratamiento de aguas residuales industriales en la ciudad de Cartagena de Indias. En la fase experimental se obtuvo un polvo fino de las semillas de la

especie en mención el cual se sometió a una extracción soxhlet para llegar al componente de acción coagulante. Dicho coagulante se caracterizó mediante diferentes técnicas analíticas y luego se empleó en el test de jarras para evaluar su capacidad de remoción de turbidez. La dosis empleada en el test fue de 50 mg/L, la mezcla rápida se realizó a 200 rpm durante 1 minuto, seguido a esto se redujo la velocidad a 45 rpm durante 15 minutos y se permitió un tiempo de sedimentación de 15 minutos. Del estudio se concluye que el componente principal de la especie es la amida de ácido dlisérgico (ergina) y que este coagulante natural remueve la turbidez en un 99.18% en aguas residuales sin afectar significativamente los valores de pH.

De estos trabajos se puede deducir que estos coagulantes resultan interesantes no solo para el tratamiento de aguas crudas, sino también para el tratamiento de aguas residuales, mejorando así los parámetros de calidad de agua y contribuyendo a su potabilización. Aspecto que se evidencia en nutridos grupos de investigaciones desarrolladas en el territorio nacional.

5.2 Marco teórico

A través de los años se ha tenido dos necesidades vitales una es el almacenar agua y la otra es preservar su calidad para que esta sea potable, actualmente transformar el agua natural procedente de los embalses y otras captaciones en agua apta para el consumo humano, cumpliendo con los requisitos exigidos por la legislación vigente, es una importante actividad que se realiza en los diferentes procesos que se llevan a cabo en las estaciones de tratamiento de agua potable (ETAP)(Proyecto Del Agua Potable, 2015). El sistema de tratamiento se compone de un conjunto de operaciones unitarias que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas para hacerla

potable de acuerdo con las normas de calidad del agua potable establecidas en el Decreto 1575 del 2007 (Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano) y la Resolución 2115 de 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) (Rodríguez Chavarro, 2014).

Existen tratamientos físicos, químicos, biológicos y combinaciones de ellos para la potabilización. Todos los tratamientos tienen limitaciones y tanto sus ventajas como sus limitaciones son los que definen sus campos de aplicación, actualmente existen dos tipos de plantas que son las mayormente utilizadas en Colombia, Planta de tipo convencional, la cual se llevan a cabo todos los procesos de potabilización en unidades e infraestructuras individuales interconectadas y la Planta de tipo compacta en la cual se llevan a cabo todos los procesos de potabilización en una sola infraestructura operativamente integra (Ávila et al., 2017).

En la actualidad, las técnicas de uso general para el tratamiento de aguas residuales y de abastecimiento para consumo humano se complementan con diferentes procesos, que suelen consistir en:

- **Tratamientos Físicos:** Son los que no generan sustancias nuevas, sino que concentran o disipan los contaminantes o filtran los sólidos de tamaño considerable. Los más comunes son:

- **Filtración:** La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso (Bourgeois, 1995). En la actualidad se usan filtros de arena lentos y rápidos con este fin.

- Aireación: Es la aplicación de aire u oxígeno en el agua para disipar o destruir patógenos o compuestos que alteran el olor y el sabor del agua, se realiza por medio de torres aireadoras.
- Floculación: Los floculantes son polímeros que favorecen el proceso de formación de flóculos, actuando de puentes para captar las partículas en suspensión. Existen tres tipos de floculantes, los aniónicos, los catiónicos y no iónicos (Sorangel Rivas; Gerardo Menés; Aimet Rómulo, 2013). Estos floculantes deben pasar por una fase de mezcla rápida para que contacten con las partículas indeseadas y una de mezcla lenta para formar y consolidar los flóculos de material.
- Clarificación o sedimentación: Consiste en la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido (Maldonado, 2015). Este proceso se realiza en unidades llamadas sedimentadores, a través de las cuales el agua tiene una relativa baja velocidad que permite el asentamiento de las partículas.
- Tratamientos químicos: Suelen consistir en procedimientos para cambiar la identidad química de los contaminantes con el fin de facilitar su disposición, los más comunes son:
 - Coagulación: Consta de la desestabilización eléctrica de algunas partículas mediante la adición de sustancias químicas que son los coagulantes. Esta operación se efectúa en unidades y tanques de mezcla rápida, en los cuales el agua se somete a agitación muy intensa para formar una solución homogénea de los coagulantes con el agua en el menor tiempo posible (Restrepo, 2009).
 - Desinfección: En términos prácticos, desinfectar el agua significa eliminar de ella los microorganismos existentes, capaces de producir enfermedades. En la desinfección se

usa un agente físico o químico para destruir los microorganismos patógenos, que pueden transmitir enfermedades utilizando el agua como vehículo pasivo. La desinfección es un proceso selectivo: no destruye todos los organismos presentes en el agua y no siempre elimina todos los organismos patógenos (Barrenechea & Vargas, 2004).

- Oxidación: se basan en procesos fisicoquímicos capaces de producir cambios profundos en la estructura química de los contaminantes, que involucran la generación y uso de especies poderosas transitorias, principalmente el radical hidroxilo ($\text{OH}\cdot$) (Monge et al., 2018).
- Tratamientos biológicos: En este proceso se engloban la digestión aerobia y digestión anaerobia; en ambas variantes se usan organismos vivos para provocar cambios químicos (puede ser visto como tratamiento químico), sobre todo degradando la materia orgánica presente en el agua.

Es importante mencionar que las aguas crudas contienen tres tipos de sólidos no sedimentables: suspendidos, coloidales y disueltos. Los sólidos coloidales (limo fino y bacterias) son causantes de color y turbiedad en aguas, lo que a su vez ocasiona problemas de olor, sabor, color y salud, debido a esto, dichos sólidos deben ser precipitados y removidos mediante métodos químicos (coagulación) y físicos (floculación) (Romero, 2009).

La coagulación química, como ya se definió anteriormente, es el proceso en el cual se reducen las fuerzas repelentes que existen entre las partículas coloidales para formar partículas de mayor tamaño y corto tiempo de sedimentación. Para que ocurra el proceso de coagulación es necesario la adición de sustancias químicas al agua que permitan la formación de flóculos que

sedimenten con facilidad. La adición de coagulantes en el agua permite mejorar parámetros como turbidez, color, microorganismos (bacterias, algas) y fosfatos (ICONTEC, 2010).

Ahora bien, es necesario definir turbidez y color, siendo la turbidez la dispersión e interferencia de los rayos de luz que pasan a través de una muestra de agua, atribuible a diferentes sustancias en suspensión de diferente tamaño y naturaleza (arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica, plancton y microorganismos) (Romero, 2009). El método más utilizado para medir la turbidez es el nefelométrico, empleando un nefelómetro que expresa los resultados en unidades de turbidez nefelométrica (UTN o NTU) (ICONTEC, 1999). En cambio, el color en el agua es atribuido a la presencia de elementos como el hierro y el manganeso además de las partículas coloidales; el color puede ser verdadero, cuando se ha removido la turbidez o aparente cuando incluye el color de las partículas coloidales y del material suspendido (ICONTEC, 2011). La unidad de medida para el color es el color producido por mg/L de platino en forma de ion cloroplatinato (UPC).

Los coagulantes comúnmente utilizados son compuestos de aluminio (sulfato de aluminio, aluminato de sodio y cloruro polialumínico) o hierro (sulfato ferroso/cal, cloruro férrico, sulfato férrico y el cloruro poliférrico/cal) y su uso depende de algunas características del agua a tratar como dureza, alcalinidad, pH, contenido de manganeso, entre otras (ICONTEC,2010).

Estos coagulantes son de muy fácil manejo y altamente efectivos; sin embargo, el uso de estos coagulantes, trae consigo diversas desventajas asociadas como altos costos de adquisición, producción de grandes volúmenes de lodos y el hecho de que afectan significativamente el pH del agua tratada (COGOLLO, 2010). Lo cual genera impactos en el medio ambiente y en la salud humana, como el desarrollo de la enfermedad de Alzheimer y cáncer; en varios estudios

epidemiológicos, neuropatológicos y bioquímicos sugieren un posible vínculo entre la neurotoxicidad del aluminio y la patogénesis de la enfermedad de Alzheimer, esta se define clínicamente como la pérdida progresiva de las neuronas (enfermedad neurodegenerativa) que provoca que el sistema nervioso no pueda realizar su función con normalidad (Flaten, 2001; Miller et al. 1984; Suay Llopis & Ballester Diez, 2002; Terán & Valdés Mondolfi, 2011).

Por las razones anteriormente mencionadas, las ideas alrededor del uso de coagulantes naturales surgieron desde los años 70 a raíz de la preocupación de la población debido a las diversas investigaciones manifestada por los efectos producidos en el uso de los convencionales e iniciaron la búsqueda de nuevas alternativas viables para llevar a cabo de forma idónea los procesos de coagulación en plantas de tratamiento de aguas sin que haya afectación alguna al medio ambiente y a la salud humana (PRITCHARD, 2009), siendo respetuosos con el medio ambiente y, en general libre de tóxicos, debido a que no generan grandes volúmenes de lodos y tampoco ocasionan repercusiones a la salud y además se hace un aprovechamiento de la biomasa vegetal y animal (BRAVO GALLARDO, 2015).

A nivel mundial los dos agentes naturales más estudiados, utilizados y que presentan gran capacidad en los procesos de coagulación del agua son la Moringa oleífera y diferentes tipos de cactus; siendo una alternativa ambientalmente sostenible (Ramírez, Jaramillo 2015).

En América latina las semillas de la planta Moringa Oleífera LAM son utilizadas como coagulante primario en la clarificación de aguas. Son diversos los coagulantes naturales extraídos de la papa, el cactus, el maíz, el trigo y la yuca, que han sido empleados en la clarificación de agua de forma artesanal (Guardián López & Coto Campos, 2010).

En Colombia los coagulantes naturales más utilizados para la remoción de turbidez y color en el tratamiento de agua en zonas rurales y urbanas son los extractos vegetales de

diferentes especies (*Opuntia ficus-indica*, *Moringa oleífera*, *Ipomoea incarnata* y *Cassia fistula*), los almidones (plátano y maíz) y los agentes de origen animal como el quitosano (Castellanos, 2017).

Uno de los coagulantes más usados es el almidón de papa, este se define como un polímero de α -glucosa, en el que los monómeros se encuentran unidos por enlaces 1-4 y, ocasionalmente, se ramifican, formando un enlace adicional en posición 1-6 (Guzmán, Villabona, Tejada, & García, 2013). Como componentes de cadenas con estructuras sin ramificar y ramificación, constituyente a la amilasa y amilopectina respectivamente (Trujillo, y otros, 2014); el carbohidrato se encuentra en los tejidos de algunas variedades de vegetales y se deposita principalmente en las hojas es abundante en semillas, tubérculos y raíces.

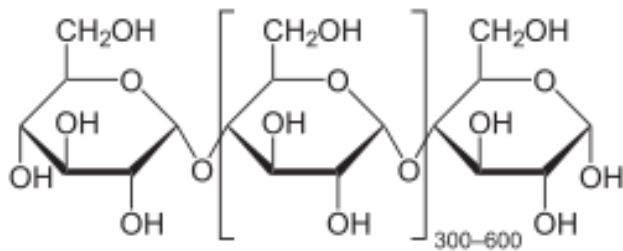
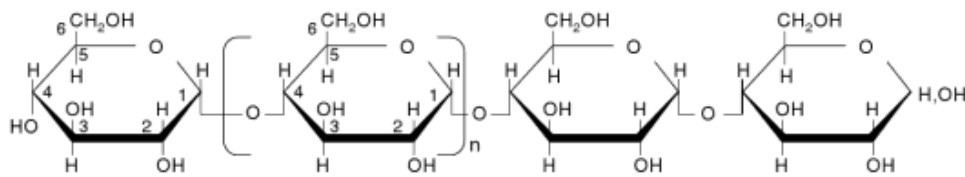
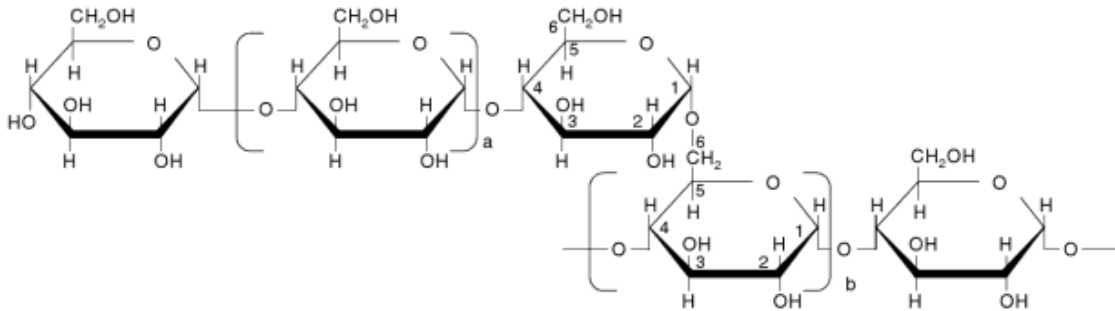


Figura 1 Estructura del almidón.

Fuente: (Geissman, 1973)



Amylose



Amylopectin

Figura 2 Estructura de la amilosa y amilopectina.

Fuente: Shrestha & Halley, 2014

El almidón, además de ser consumido como tal, se puede someter a una variedad de procedimientos de transformación que cambian sus propiedades funcionales y lo convierten en estabilizante, espesante y gelificante. El almidón de papa posee gran potencial de uso en diferentes industrias y puede ser atribuido por su abundancia lo que permite plantear ese desarrollo industrial. Un ejemplo es la industria alimentaria, textil, papelera y farmacéutica, donde se le ha dado un amplio uso al almidón proveniente de diversas fuentes como cereales, raíces, tubérculos y leguminosas como insumo vital para los diferentes procesos productivos (Guízar Miranda, Montañéz Soto, & García Ruiz, 2008).

Por tal razón se estudia el rendimiento de su extracción y modificación, aprovechando que el polímero de almidón comprende una gran cantidad de grupos hidroxilos, los cuales

proporcionan sitios activos para dicha modificación química (Martínez, Peña, Gómez, Vargas, & Velezmoro, 2019). Los procesos de modificación de los almidones son llevados a cabo con fines de introducir alguna funcionalidad específica deseada en donde se cambian sus propiedades o estructura para así mismo obtener mejores productos. Estas modificaciones pueden ser químicas, físicas o enzimáticas, las modificaciones químicas comprenden la oxidación, acetilación, cationización, formación de enlaces cruzados, estabilización y otros (Ayala y Montes, 2004).

Los agentes oxidantes más utilizados para este propósito son: el permanganato de potasio, bromato de potasio, dicromato de potasio, hipoclorito de calcio, hipoclorito de sodio y algunas veces también ácido perclórico (Anabel, V., 2010).

El hipoclorito de sodio (NaClO), es un compuesto químico ampliamente utilizado por sus propiedades desinfectantes, algunos de los usos más comunes hacen parte de limpieza doméstica, en procesos de tratamiento y potabilización del agua, en industrias textiles como blanqueador, entre otros (CAUSIL V, y otros, 2017). El estudio de Pathiratne, Hemachandra, y De Silva (2015) demuestran que estos compuestos al entrar en contacto con afluentes de agua naturales podrían afectar de manera directa a los organismos, de importancia ecológica como los peces.

Contiene cloro en estado de oxidación +1, el cloro es el desinfectante más extendido, caracterizándose por su alta reactividad no solo se presenta en compuestos de hipoclorito de sodio sino como hipoclorito cálcico, cloro gas, dióxido de cloro, cloraminas. Un fundamento básico de dicho elemento en el uso de agente desinfectante es que al entrar en contacto con aguas que puedan contener precursores orgánicos fundamentalmente ácidos húmicos y fúlvicos, derivan a la formación de subproductos indeseables, estos compuestos no deseados, sólo se forman si los precursores orgánicos y el Cloro Residual Libre (CRL) están presentes conjuntamente durante el tiempo suficiente. Uno muy común son los trihalometanos (THMs) que

representa caracteres peligrosos para la salud como carcinógenos, mutagénicos y teratogénicos (Olmedo Sánchez, 2008). Por ende, es de suma importancia prevenir su formación con previos análisis de curva de cloro en las plantas de tratamiento.

En la reacción del almidón con hipoclorito de sodio los grupos hidroxilos sufren dos reacciones en donde primeramente es oxidado a grupos carbonilos y posteriormente a grupos carboxilo. Por lo que el grado de sustitución está dado por la cantidad de grupos C=O y COOH presentes (número de grupos carbonilo y carboxilo por cada 100 unidades de anhidroglucosas) en el almidón oxidado (Hoyos C, Velasco M, & Bonilla M, 2013).

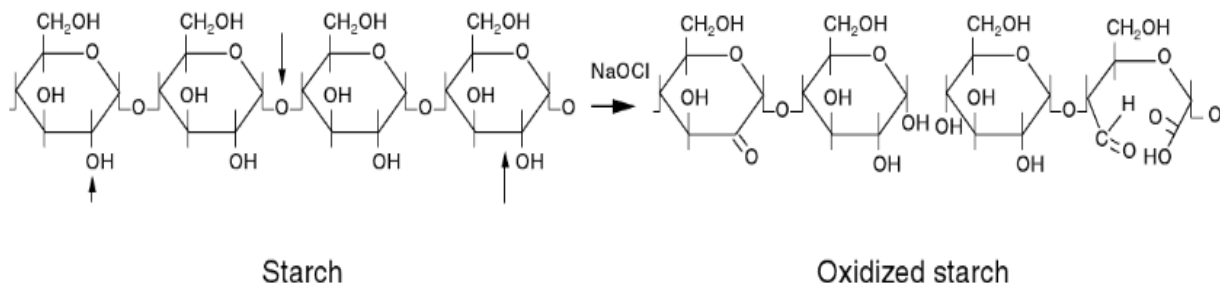


Figura 3 Oxidación del almidón con hipoclorito de sodio.

Fuente: Rutenberg y Solarek, 1984

Según Richardson y Gorton (2000), la ruptura del enlace glucosídico durante el proceso de oxidación estimula la despolimerización de las moléculas de almidón, lo que crea condiciones para la formación de grupos carbonilo y carboxilo.

Esta reacción da como resultado un almidón oxidado y una sal, especialmente se muestran los grupos –OH de las posiciones de los carbonos C2, C3 y C6 de cada unidad de α-D-Glucopiranosil que puede participar en la reacción (Bello Pérez, Contreras Ramo, Romero Manilla, Solorza Feria, & Jiménez Aparicio, 2002). Los almidones oxidados de las maneras

anteriores adquieren propiedades deseables, en donde hay mejoramiento de las propiedades estructurales y mecánicas del material en masa (GUZMÁN CONDARCO , 2014).

5.3 Marco legal

En la siguiente tabla se muestran de forma sintética las normas referentes a aguas residuales y vertimientos, de interés para el desarrollo de esta investigación.

Norma	Título	Capítulos y/o artículos
RESOLUCIÓN 631 DE 2015 (marzo 17)	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.	CAPÍTULO V De los criterios de calidad para destinación del recurso CAPÍTULO VI De los vertimientos CAPÍTULO IX Reglamentación de vertimientos
DECRETO 3930 DE 2010 (octubre 25)	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y	CAPÍTULO IV De la destinación genérica de las aguas superficiales, subterráneas y marinas CAPÍTULO V De los criterios de calidad para destinación del recurso CAPÍTULO VI De los vertimientos

	residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.	CAPÍTULO IX Reglamentación de vertimientos
RAS 2017	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009	Título E- Tratamiento de agua residual.
RESOLUCIÓN 2115 DE 2007 (22 JUNIO)	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	CAPÍTULO II Características físicas y químicas del agua para consumo humano

Tabla 1 Normatividad relacionada con agua residual y vertimientos.

Según la resolución 2115 de 2007, las características básicas establecidas por el Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial para el agua apta para consumo humano en el territorio nacional son las siguientes:

- Color aparente: Máximo 15 unidades Platino-Cobalto

- Olor y sabor: Aceptable
- Turbiedad: Máximo 2 NTU (Unidades nefelométricas de turbiedad)
- Conductividad: Máximo 1000 microsiemens por centímetro
- pH: Entre 6,5 y 9,0

Por lo tanto, se tomarán estos valores como referencia para verificar la eficiencia de los experimentos con el almidón de papa modificado.

6. Diseño metodológico

6.1 Zona de estudio

La cuenca del Río Bogotá “tiene un área de drenaje de 5886 Km², riega el departamento de Cundinamarca en sentido noreste – sureste, desde su nacimiento al nororiente del municipio de Villapinzón a 3300 msnm hasta su desembocadura en el río Magdalena a la altura del municipio de Girardot a 280 msnm” (CAR, 2006).

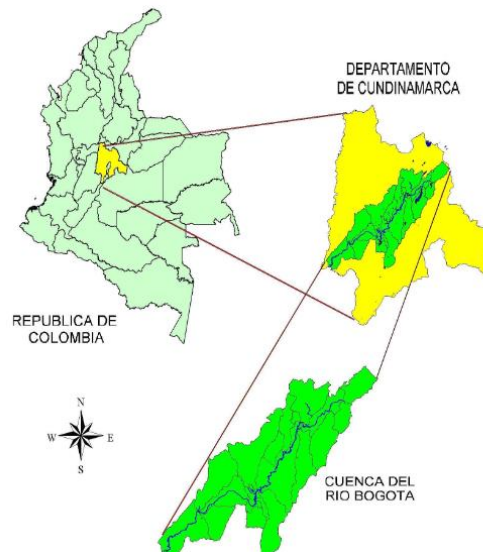


Figura 4 Localización Geográfica de la Cuenca del Río Bogotá

El presente trabajo se centrará específicamente en la desembocadura del río Bogotá en el río Magdalena, a la altura del municipio de Girardot.

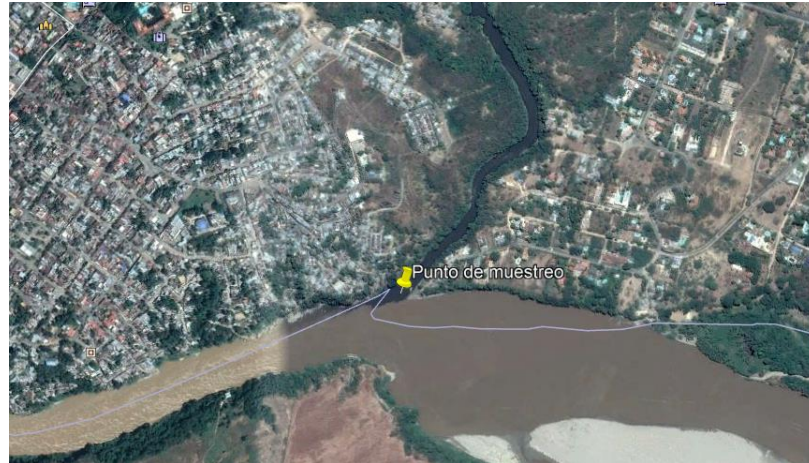


Figura 5 Ubicación punto de muestreo desembocadura río Bogotá.

6.2 Metodología

Se hará un tipo de investigación experimental que plantea llevar a cabo la modificación química del almidón de papa para ser empleado en procesos de coagulación y floculación. Las muestras de agua que se analizarán serán de origen artificial y proveniente de la cuenca baja del río Bogotá.

Esta propuesta de trabajo se va a desarrollar en las siguientes fases metodológicas, tal y como se esquematiza en la Figura 4:

- Fase I: Contempla la preparación del coagulante mediante la obtención y oxidación del almidón.
- Fase II: Obtención de muestras de aguas las cuales incluye la preparación de una muestra de agua de origen artificial simulando un contaminante inorgánico, y la toma de tres muestras puntuales de la desembocadura del río Bogotá.

- Fase III: Determinación de la dosis óptima y eficiencia del coagulante en la remoción de la turbidez. En esta fase tanto las muestras de origen artificial como las del río Bogotá serán sometidas al test de jarras, con el fin de determinar la composición y dosis óptima del coagulante a emplear, se establecerá la eficiencia del mismo mediante la reducción del parámetro de turbiedad, además de valorar el comportamiento de parámetros de control como lo son pH y conductividad eléctrica. Por lo que los parámetros serán medidos antes y después de los experimentos.

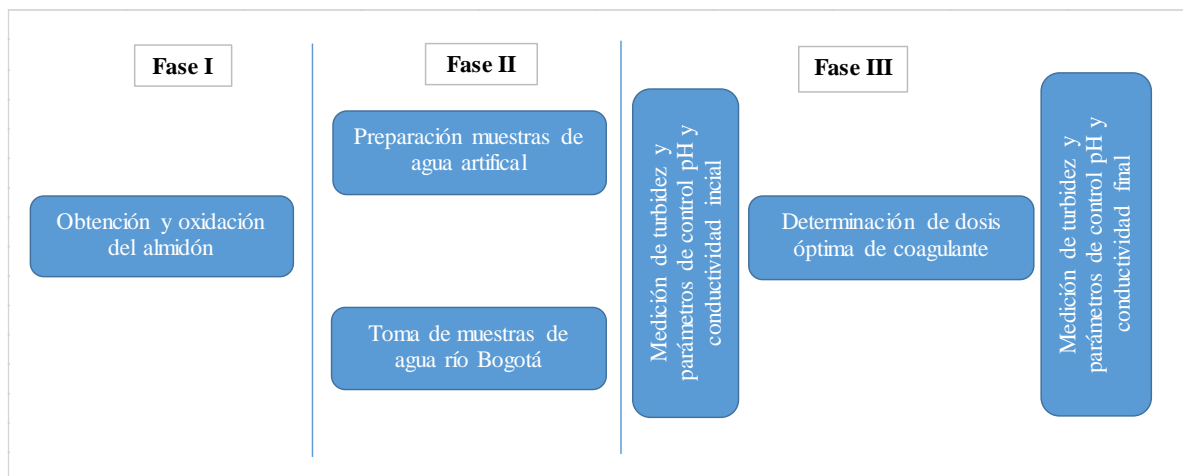


Figura 6 Fases de la metodología.

6.2.1 Fase I. Obtención y oxidación del almidón de papa (*Solanum tuberosum*)

6.2.1.1 Extracción del almidón

La preparación del almidón se realizó de acuerdo al siguiente procedimiento:

Se recolectaron 4 kg de papa y se procedió a retirar la cáscara, rallar la pulpa y se le agregó agua mientras se lavaba. Luego, se exprimio la masa con ayuda de un colador, depositado el líquido en un recipiente; este se dejó reposar en un periodo de 2 horas facilitando que el almidón se asentara en la parte inferior de este. Por último, se retiró el líquido, se filtró el almidón para

retirar impurezas a través de una bomba al vacío y el almidón extraído se colocó en cajas de Petri llevándolo a una estufa por un lapso de tiempo promedio a 24 horas con una temperatura de 40 °C, pasado el tiempo se trituró el almidón en un mortero para conseguir un polvo fino y así mismo ser almacenado para su posterior uso.

Por cada kilogramo de papa se logró obtener 14,5 g equivalente a un porcentaje de rendimiento del 1,45 %.



Figura 8 Extracción del almidón



Figura 7 Almidón de papa

6.2.1.2 Modificación de papa por hipoclorito de Sodio (NaClO)

Este procedimiento consistió en sintetizar un nuevo material polimérico a partir del almidón de papa, en el cual se creó condiciones para la formación de carbonilo y carboxilo. Arenas & Pedraza. (2017) sugirieron que la oxidación para el grado de almidón modificado está determinada por la cantidad de grupo carboxilo en las moléculas de almidón. Este producto potencializa su uso en procesos de coagulación.

Para la modificación se realizó el cálculo para adicionar 1,0 g y 2,0 g de Cl_2 , equivalente al 1% y 2% respectivamente usando como precursor el NaClO, para lo cual se dispusieron los siguientes reactivos y condiciones:

- Almidón de papa: 25g
- V(ml) NaClO-Hipoclorito de Sodio: 13 ml y 25 ml
- Pureza 15% V/V
- ρ : 1,19 g/ml
- Tiempo: 29 horas aprox.
- Cantidad de agua (ml): 87ml y 75 ml

La oxidación de almidón de papa se realizó mediante el procedimiento descrito por (Chong, Uthumporn, Karim, & Cheng, 2013). Para ello se disolvió veinticinco gramos (25 g) de almidón de papa en 87 ml y 75 ml de agua desionizada. El sedimento de almidón se agitó continuamente a 40°C en un baño maría con una concentración de NaOH al 1% y 2%. Seguidamente el hipoclorito de sodio se añadió por medio de agitación magnética en un periodo de 29 horas aproximadamente, después las muestras fueron llevadas a los filtros de succión usando un embudo de Buchnerfilter, lavando con un doble volumen de agua destilada para luego ser secada en el horno a 40 °C aproximadamente por 24 horas para reducir el contenido de humedad aproximadamente el 10% del almidón oxidado.



Figura 9 Modificación del almidón

6.2.1.3 Modificación de papa por hipoclorito de Sodio (NaClO) + UV

Para la modificación se realizó el cálculo para adicionar 2,0 g de Cl_2 , equivalente al 2% usando como precursor el NaCl sometiendo el procesamiento a la radiación UV, se tomó como base los siguientes reactivos y condiciones iniciales:

- Almidón de papa: 25g
- V(ml) NaClO -Hipoclorito de Sodio: 25 ml
- Pureza 15% V/V
- ρ : 1,19 g/ml
- Tiempo: 29 horas aprox.
- Cantidad de agua (ml): 75ml
- Lámpara UV artesanal diseñada por el estudiante: Jonathan Arévalo

La oxidación de almidón de papa se realizó modificando lo descrito por Chong et al (2013). Para ello se disolvió veinticinco gramos (25 g) de almidón de papa en 75 ml de agua desionizada, el sedimento de almidón se agitó continuamente a 40°C en un baño maría con una concentración de NaOH al 2%. Seguidamente el hipoclorito de sodio se añadió por medio de agitación magnética en un periodo de 29 horas aproximadamente resaltando que durante la totalidad del procedimiento, el material fue sometido a la radiación UV, después las muestras fueron llevadas a los filtros de succión usando un embudo de Buchnerfilter, lavando con un doble volumen de agua destilada para luego ser secada en el horno a 40 °C aproximadamente por 24 horas para reducir el contenido de humedad aproximadamente el 10% del almidón oxidado.

6.2.2 Fase II. Obtención muestras de agua.

6.2.2.1 Preparación de muestras de agua de origen artificial.

El procedimiento propuesto consiste en añadir aproximadamente 30 g de arcilla a 1 litro de agua de la llave. Esta suspensión debe agitarse durante aproximadamente 1 hora hasta lograr una dispersión uniforme de partículas de arcilla, luego se deja reposar durante al menos 24 horas para una hidratación completa de los materiales arcillosos como solución madre y de ahí se obtienen las alícuotas para el test de jarras (Asrafuzzaman, Fakhruddin, & Alamgir Hossain , 2011).

6.2.2.2 Toma de muestras agua río Bogotá.

Las tomas de muestras fueron de tipo puntual y se realizarán en la desembocadura del río Bogotá a la altura del municipio de Girardot, Cundinamarca, ubicada en las coordenadas (4°17'19.6"N 74°47'45.8"W 4.288771, -74.796053).

Para este método analítico las muestras se recolectaron en garrafones de plástico polietileno de 20L. Los envases se llenaron completamente y se sellaron, siendo su contenido analizado en un periodo menor de dos días con fines de evitar actividad biológica (Sánchez, 1982).



Figura 10 Obtención de muestra problema

6.2.3 Fase III. Determinación de la dosis óptima y eficiencia del coagulante en la remoción de la turbidez y el color.

6.2.3.1 Aguas de origen artificial.

Se planea medir los valores de color y turbidez generados por ambos contaminantes para cada valor de concentración. Se desarrollarán los respectivos ensayos de jarras sometiendo las muestras al coagulante natural oxidado, cuyo fin sea el determinar las dosis óptimas de los coagulantes. Para el ensayo de jarras se evaluarán las siguientes concentraciones de almidón; 25 mg/l, 50 mg/l, 80 mg/l, 100 mg/l, 120 mg/l y 150 mg/l, según criterio propio. Y finalmente se analizarán los valores de color y turbidez obtenidos después del tratamiento frente a los valores iniciales.

6.2.3.2 Agua proveniente de la desembocadura del río Bogotá.

Se determinarán las dosis y composición óptimas del coagulante (mg/l) mediante un procedimiento análogo al de las muestras artificiales, evaluándose las mismas concentraciones de referencia reportadas en la literatura. Se midieron antes y después del proceso los parámetros de pH, turbidez y conductividad.

Los procedimientos respectivos para cada instrumento serán desarrollados en base a los establecido por el IDEAM, 2007; lo que confiere al ensayo de jarras, medición de color, turbidez, pH y alcalinidad.

6.2.3.3 Test de jarras

Las pruebas en jarras se utilizan para determinar las dosis más efectivas de coagulantes para una fuente de agua específica durante el control de la coagulación y floculación en un proceso de tratamiento, especialmente cuando la calidad del agua fluctúa rápidamente. Las pruebas en jarras

con coagulantes requieren un agitador de laboratorio de 6 plazas, así como también seis vasos de 2 litros.

El procedimiento para el ensayo de jarras se realizará según lo establecido por la normativa estándar para Colombia, según se indica a continuación:

1. Colocar un vaso de 2 litros debajo de cada una de las paletas de agitación.
2. Colocar en cada vaso el agua objeto con una probeta graduada con un volumen de 2 litros.
3. Hacer registro de la cantidad de coagulante que se debe añadir a cada vaso.
4. Con cada pipeta, añadir el coagulante en cantidades crecientes en vasos sucesivos.
5. Ubicar las paletas de agitación dentro de los vasos, arrancar el agitador y operarlo durante 1 min a una velocidad de 60 a 80 rpm.
6. Reducir la velocidad al grado seleccionado de agitación (normalmente 30 rpm aprox. Y permitir que la agitación continúe durante unos 15 min. Se debe procurar que el grado y tiempo de agitación emp las condiciones de operación de la planta de floculación.
7. Registrar cuánto tiempo transcurre antes de que se empiecen a formar los flóculos.
8. Observar que tan bien resisten los flóculos, la agitación sin fragmentarse.
9. Una vez que transcurre el periodo de agitación, detener el agitador y anotar cuanto tiempo transcurre para que el floculo se sedimente en el fondo del vaso.
10. Después de permitir que el floculo se asiente durante 20 min, determinar el color y la turbiedad de sobrenadante (el líquido por encima de los flóculos).
11. En las hojas de registro se deben anotar las dosis, tiempo y velocidad de mezclado, pH, características de crecimiento de los flóculos y análisis del sobrenadante.

12. Después de permitir que el floculante se asiente en el fondo durante 30 min, filtrar el sobrenadante a través de un papel filtro.
13. Filtrar otros 100 a 150 ml de muestra.
14. Determinar la turbiedad, pH y color.

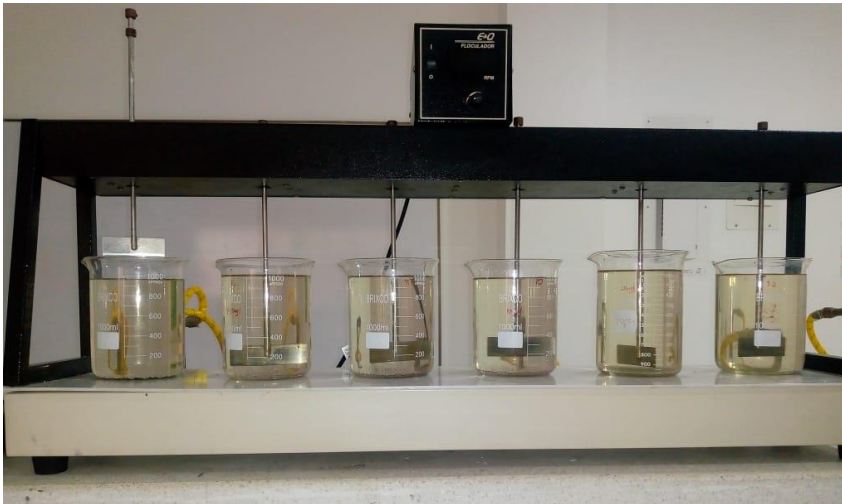


Figura 11 Test de jarras

6.2.3.4 Turbidez

La turbiedad en el agua es causada por materia suspendida y coloidal tal como arcilla, sedimentos, materia orgánica e inorgánica dividida finamente, plancton y otros microorganismos microscópicos. La turbiedad es una expresión de la propiedad óptica que causa la luz al ser dispersada y absorbida en vez de transmitida sin cambios en la dirección del nivel de flujo a través de la muestra. A mayor intensidad de dispersión de la luz, la turbiedad será mayor. La correlación de la turbiedad con el peso o concentración del número de partículas de material suspendido es difícil debido a que el tamaño, forma e índice de refracción de las partículas afectan las propiedades de dispersión de la luz de la suspensión.

Para la medición de la turbiedad se empleó un Turbidímetro PCE-TUM 20, atendiendo las siguientes instrucciones:

1. Enjuagar la cubeta limpia con la muestra a medir: introducir aprox 20 ml de la muestra en una cubeta, cerrar la cubeta y girarla varias veces, luego derramar la muestra.
2. Repetir dos veces el enjuague.
3. Llenar la cubeta con la muestra a medir (aprox. 30 ml) cerrar la cubeta con el tampón foto protector.
4. Asegúrese de que la parte exterior de la cubeta este limpia, seca y exenta de huellas digitales.
5. Introducir la cubeta en el compartimiento para cubetas del turbidímetro.
6. Orientar la cubeta.
7. El valor de turbidez en unidades nefelométricas de turbidez (UNT) aparece en la pantalla, el aparato escoge automáticamente el intervalo de medida y la resolución.



Figura 12 Turbidímetro

6.2.3.5 Espectrofotometría UV Visible (Génesis VIS10)

La técnica será empleada para verificar el grado de modificación del almidón oxidado. Este es un método basado en la medición de la cantidad de energía radiante que absorbe o transmite un sistema químico en función de la longitud de onda. Se hicieron mediciones mediante el siguiente procedimiento:

1. Abrir la cubierta para conectar el fotómetro, este a su vez realiza un auto chequeo del sistema completo y conecta automáticamente al modo concentración.
2. Introducir la cubeta redonda con código de barras de alojamiento correspondiente hasta que se engrane.
3. Introducir el autoselector en el alojamiento de la cubeta redonda y la cubeta rectangular en el alojamiento rectangular, orientar la graduación hacia la muesca del fotómetro hasta que aparezca el aviso de *medición en curso*.
4. Los valores fuera el rango de medición específica aparecen en cifras pequeñas
5. Repetir la medición y oprimir la tecla de activación

6.2.3.6 Conductividad

La conductividad es una medida de la propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica. Esta propiedad depende de la presencia de iones, su concentración, movilidad, valencia y de la temperatura de la medición. Las soluciones de la mayor parte de los compuestos inorgánicos son buenas conductoras. Las moléculas orgánicas al no disociarse en el agua, generalmente conducen la corriente en bajas magnitudes respecto a las inorgánicas. Se hicieron mediciones de conductividad en las muestras antes y después del ensayo de jarras siguiendo las siguientes instrucciones:

1. Asegurarse que el equipo este en buen estado, verificando que los componentes del mismo, estén completos (el conductivímetro, el sensor, las baterías, etc).
2. Luego, encender y calibrar el conductivímetro, utilizando una solución de conductividad eléctrica conocida a una temperatura de 25°C aproximadamente; se introduce el sensor hasta la mitad y pasar a registrar en la pantalla del mismo, la medida requerida para su calibración y se ajusta.
3. Para realizar las lecturas de conductividad eléctrica se introduce el sensor directamente en el cuerpo de agua o en el vaso químico donde se encuentra la muestra y se genera automáticamente la lectura por el instrumento (conductivímetro), la cual es anotada en la libreta de campo.



Figura 13 Conductímetro

7. Diseño Experimental

Como se mencionó con anterioridad el almidón de papa se sometió a diversas modificaciones el cual se pretendió medir su efectividad frente a un coagulante convencional como producto más utilizando el sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$), todos los ensayos se llevaron a cabo con suspensión al 1% P/V.

Se realizaron ocho ensayos de laboratorio ($Al_2(SO_4)_3$, AP, APT1, APT1+ $Al_2(SO_4)_3$, APT2, APT2+ $Al_2(SO_4)_3$, APT3 y APT3+ $Al_2(SO_4)_3$), donde CF indica coagulación-Floculación; en el cual se hizo uso de equipos como; test de jarras, turbidímetro y un dispositivo el cual media pH y conductividad eléctrica. Para el test de jarras siempre se usó en tiempo constante de revoluciones para la fase de coagulación 100 rpm por minuto, en fase de floculación 50 rpm por 20 minutos y en fase de sedimentación 20 minutos, cada uno de los ensayos se hicieron con muestras tomadas de la desembocadura del río Bogotá en el río Magdalena del municipio de Girardot, las muestras fueron analizadas previo y después de cada ensayo.

Tabla 2 Ensayos de laboratorio

Clave del Ensayo o abreviatura	Descripción
$Al_2(SO_4)_3$	Sulfato de aluminio Tipo A. Concentración usada 1% (masa/volumen)
AP	Almidón de papa.
APT1	Almidón de papa tratado con hipoclorito de sodio (1% de cloro molecular: Cl_2)
APT1+ $Al_2(SO_4)_3$	Mezcla de APT1 y sulfato de aluminio.
APT2	Almidón de papa tratado con hipoclorito de sodio (2% de cloro molecular: Cl_2)
APT2+ $Al_2(SO_4)_3$	Mezcla de APT2 y sulfato de aluminio.
APT3	Almidón de papa tratado con hipoclorito de sodio (2% de cloro molecular: Cl_2) y luz ultravioleta (UV)
APT3+ $Al_2(SO_4)_3$	Mezcla de APT3 y sulfato de aluminio.

Para la obtención del porcentaje de eficiencia se aplicó la fórmula $\%Eficiencia = (Ci - Cf \div Ci) \times 100$.

8. Impactos esperados

8.1. Impactos sociales

El tratamiento de las aguas contaminadas con el uso de coagulantes naturales garantiza condiciones de inocuidad para la salud humana, debido a que son productos de origen vegetal, que no generan trazas químicas en el agua de consumo, resaltando también que estos coagulantes son más asequibles para poblaciones de bajos ingresos.

8.2. Impactos económicos

El empleo de materiales naturales logra minimizar el impacto de los coagulantes químicos, reduciendo de manera significativa los costos de tratamiento si se dispone de ellos a nivel local. Existen evidencias que el uso de extractos de especies de plantas y semillas son seguros para la salud humana en el proceso de potabilización de las aguas. Se estipula una reducción del nivel de aluminio en el agua tratada y economías en el costo de 25–30% para remover las partículas suspendidas en las aguas superficiales y residuales.

Por lo tanto, los coagulantes naturales son una opción viable para el desarrollo de procesos de tratamiento de aguas, debido a que son más asequibles para países en vías de desarrollo y que cuentan con un agua de mala calidad.

8.3. Impactos ambientales

Su impacto es positivo debido a que el proyecto va encaminado en la producción y evaluación de coagulantes alternativos que puedan tener buenos rendimiento e incluso eficiencias iguales

frente a los de origen sintéticos para la remoción de agentes contaminantes presentes en el agua cruda y residual, además tienen un valor agregado relacionado con las características de biodegradabilidad que lo convierte en una alternativa viable desde el punto de vista ambiental.

9. Resultados y discusión

9.1 Resultados con soluciones de control

Desafortunadamente, debido a la cuarentena impuesta en el territorio nacional, los ensayos de jarras para evaluar la efectividad del coagulante natural y los análisis de color en condiciones controladas fueron suspendidos, por lo que no existen resultados al respecto. Sin embargo, debido al comportamiento químico del almidón, existe la posibilidad de que tenga una eficiencia relevante en la remoción de suspensiones de materiales minerales, como lo serían las muestras de aguas arcillosas artificiales.

Ahmad Reza Yari y sus colaboradores (2019) de la Universidad de Qom, Irán, realizaron un estudio aproximado a este caso mediante experimentos realizados con aguas efluentes de la industria de corte de materiales líticos, que se caracterizan por tener un contenido mineral relativamente alto (4% en peso) que se genera en grandes cantidades, siendo así una preocupación medioambiental.

Los autores del estudio hacen hincapié en que la enorme cantidad de efluente mineral requiere un coagulante que no aumente significativamente la cantidad de lodos generados y no genere toxicidad por metales, que es compartida en el presente trabajo, de modo que se escogió almidón, elección respaldada por revisión bibliográfica, en especial del trabajo de (Choy, Prasad, Raghunandan, & Ramanan, 2016), que reportó remociones de hasta 50% de turbidez en suspensiones de caolín mediante almidón de arroz.

Las características del efluente recolectado para los experimentos fueron las siguientes:

pH: 8,25

Turbidez (NTU): 6000±1500

Sólidos totales (mg/l): 29160

Sólidos suspendidos (mg/l): 23560

Sólidos disueltos (mg/l): 5600

Los materiales a usar fueron almidones de papa, trigo y maíz con el fin de preparar soluciones al 3% con agua destilada y estas soluciones se usaron en crudo o con previa cocción en un autoclave a 121 Celsius a 1,5 bar por 15 minutos, ya que los investigadores presumieron que el fenómeno de gelatinización que ocurre en la cocción de almidones cambiaría su comportamiento fisicoquímico; también se uso alumbre como patrón de comparación; además se usaron hidróxido de sodio o ácido clorhídrico, ambos a concentración 1M para ajustar pH, ya que midió a su vez la dependencia de la remoción de turbidez respecto a este parámetro en el rango de 3 a 8.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

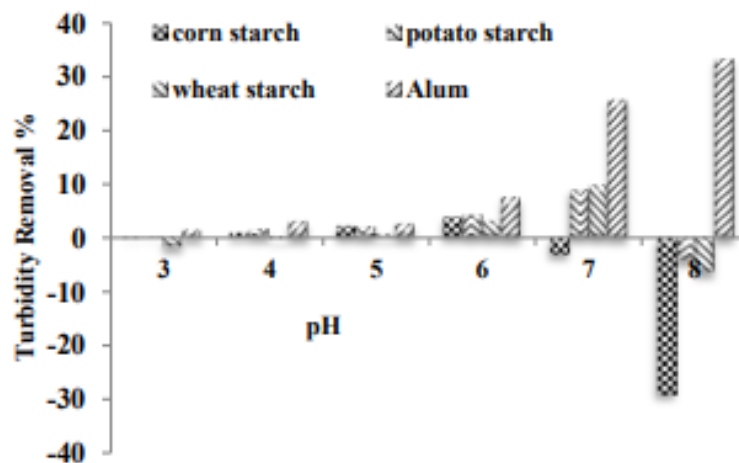


Figura 14 Remoción de turbidez mediante almidones sin cocer en el rango de pH 3-8

Fuente. Usefi, Asadi Ghalhari, Izanloo, Reza Yari, & Mostafaloo, 2019

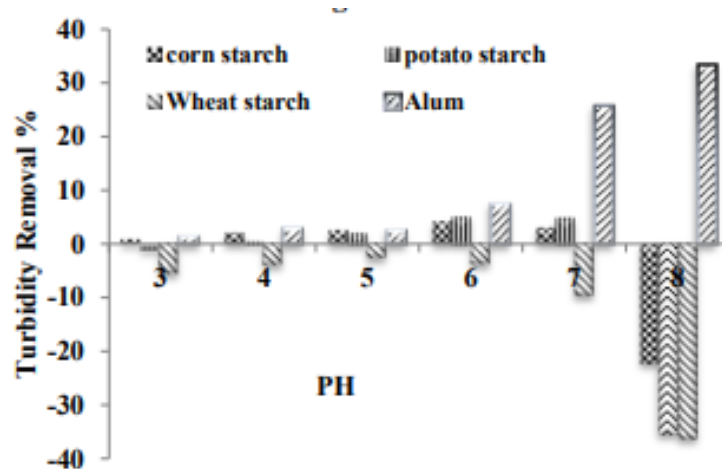


Figura 15 Remoción de turbidez mediante almidones cocidos en el rango de pH 3-8

Fuente. Usefi, Asadi Ghalhari, Izanloo, Reza Yari, & Mostafaloo, 2019

Como se puede observar, el procedimiento de cocción afectó negativamente el desempeño de los almidones, especialmente el de trigo, que incluso aportó a la turbidez en todo el rango de pH; los almidones de papa y de trigo sin cocer reportaron las mejores remociones, siendo de 8,84 y 9,53% respectivamente, ambos a pH 7.

Con el fin de deducir las causas de esta diferencia en la remoción de turbidez entre almidones crudos y cocidos, se tomaron fotografías al microscopio que aparecen a continuación de los almidones sin hidratar y de los flocs generados por cada tipo de almidón, ya fuera cocido o crudo.

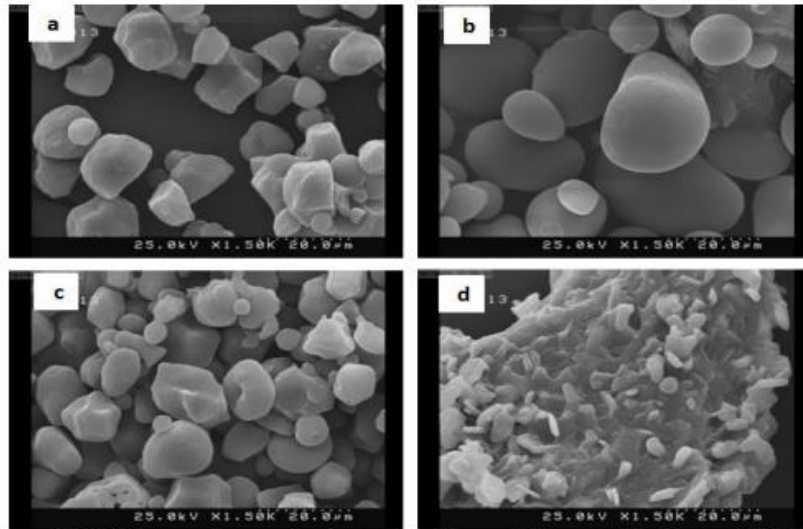


Figure 1) SEM images of conventional starches: (a) corn, (b) potato, (c) wheat and (d) Alum

Figura 166. Fotografías al microscopio de almidones de arroz, papa y maíz junto a alumbre.

Fuente. Usefi, Asadi Ghalhari, Izanloo, Reza Yari, & Mostafaloo, 2019

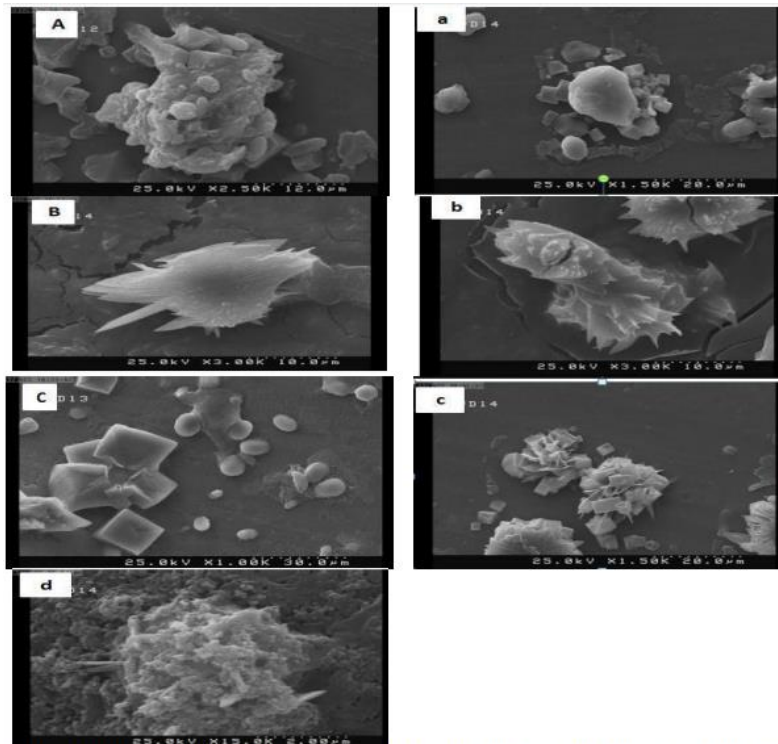


Figure 5) SEM images for starch solutions flocs generated from jar testing for (A, B, C) after and (a, b, c) before gelatinization of: (A, a) corn starch, (B, b) potato starch, (C, c) wheat starch and (d) Alum

Figura 177 Fotografías al microscopio de flocs originados por almidones crudos y cocidos de arroz, papa, maíz junto a alumbre.

Fuente. Usefi, Asadi Ghalhari, Izanloo, Reza Yari, & Mostafaloo, 2019

9.2 Estudios preliminares del río Bogotá

Como se puede observar en la tabla siguiente en el estudio preliminar de la cuenca baja del río Bogotá, realizado el día 28 de noviembre de 2018 a partir de la información disponible por el laboratorio de Servicios de Extensión en Análisis Químico de la universidad del Tolima – Ibagué, dichos análisis se realizaron para cuantificar algunos parámetros fisicoquímicos del agua del río Bogotá e iniciar actividades de investigación de dicho recurso hídrico, particularmente, el desarrollo de dispositivos portátiles para el tratamiento de aguas contaminadas, proyecto piloto financiado por la universidad de Cundinamarca.

Tabla 3 Estudios Preliminares de la Cuenca Baja del Río Bogotá en el Río Magdalena

Estudios Preliminares de la Cuenca Baja de Río Bogotá en el Río Magdalena		
Resultados Análisis Químicos de Aguas		
Parámetros	Unidades	Valoración
pH	0-14	7,96
Conductividad eléctrica	μS/cm	119,2
Color	mg/L Pt/Co	>1000
Cobre	mg/L	0,02
Hierro	mg/L	0,04
Manganeso	mg/L	<0.31
Zinc	mg/L	<0.12
Sólidos Suspendidos	mg/L	299
Sólidos Totales	mg/L	354
Cianuros	mg/L	0,13
Plomo	mg/L	<0.15
Cromo	mg/L	<0.06
Cadmio	mg/L	<0.05
Nitratos	mg NO ₃ -/L	<0.04
Nitritos	mg/L	3,7
Cloruros	mg Cl ⁻ /L	24,6
Sulfatos	mg SO ₄ -/L	31

DQO	mg/L	52,7
DBO	mg/L	1,5
Fenoles	mg/L	4,8
Resultado Análisis Bacteriológico de Aguas		
Coliformes Fecales	UFC/100ml	7×10^4
Coliformes Totales	UFC/100ml	5×10^5

Fuente. Universidad del Tolima-Ibague, 2018

9.3 Resultados con muestras de campo

De la ubicación especificada en la desembocadura del río Bogotá se obtuvieron tres muestras de trabajo, que una vez analizadas, arrojaron los siguientes valores de turbidez, pH y conductividad:

- Muestra#1: 45 NTU; 7,33 pH y CE: 0,75 μ S/cm.
- Muestra #2: 124,3 NTU; 7,29 pH y CE: 0,75 μ S/cm.
- Muestra #3: 58 NTU; 6,75 pH y CE: 0,53 μ S/cm.

A continuación, se muestran los resultados de los ensayos con los diferentes coagulantes, sus combinaciones y modificaciones propuestos.

Al observar en la tabla 4 los resultados correspondientes al parámetro de Turbidez (NTU) obtenidos en el test de jarras de los coagulantes de almidón de papa con y sin previo tratamiento y las mezclas con el $Al_2(SO_4)_3$, con dosis que van desde 0 a 150 mg/L, además de evidenciar la distribución de las muestras puntuales obtenidas para los ensayos.

Tabla 4 Consolidación de los resultados obtenidos de los diversos ensayos para el parámetro de turbidez (NTU)

Test de Jarras	Tabla de datos: Unidades nefelométricas de turbidez (NTU)							
	Al ₂ (SO ₄) ₃	AP	APT1	APT1+Al ₂ (SO ₄) ₃	APT2	APT2+Al ₂ (SO ₄) ₃	APT3	APT3+Al ₂ (SO ₄) ₃
0	45,00	45,00	45,00	124,30	124,30	124,30	58,00	58,00
25	19,16	19,35	31,26	21,77	21,72	19,44	2,28	2,16
50	15,25	18,42	16,95	15,07	20,34	14,80	2,37	0,65
80	10,15	20,13	16,86	11,38	20,94	11,27	2,71	0,01
100	5,93	19,80	16,06	5,98	21,54	11,09	2,51	0,06
120	3,31	19,37	17,82	2,66	21,45	9,05	2,41	0,29
150	1,95	20,41	17,01	1,52	23,29	7,12	2,09	0,68

Fuente. Elaboración propia

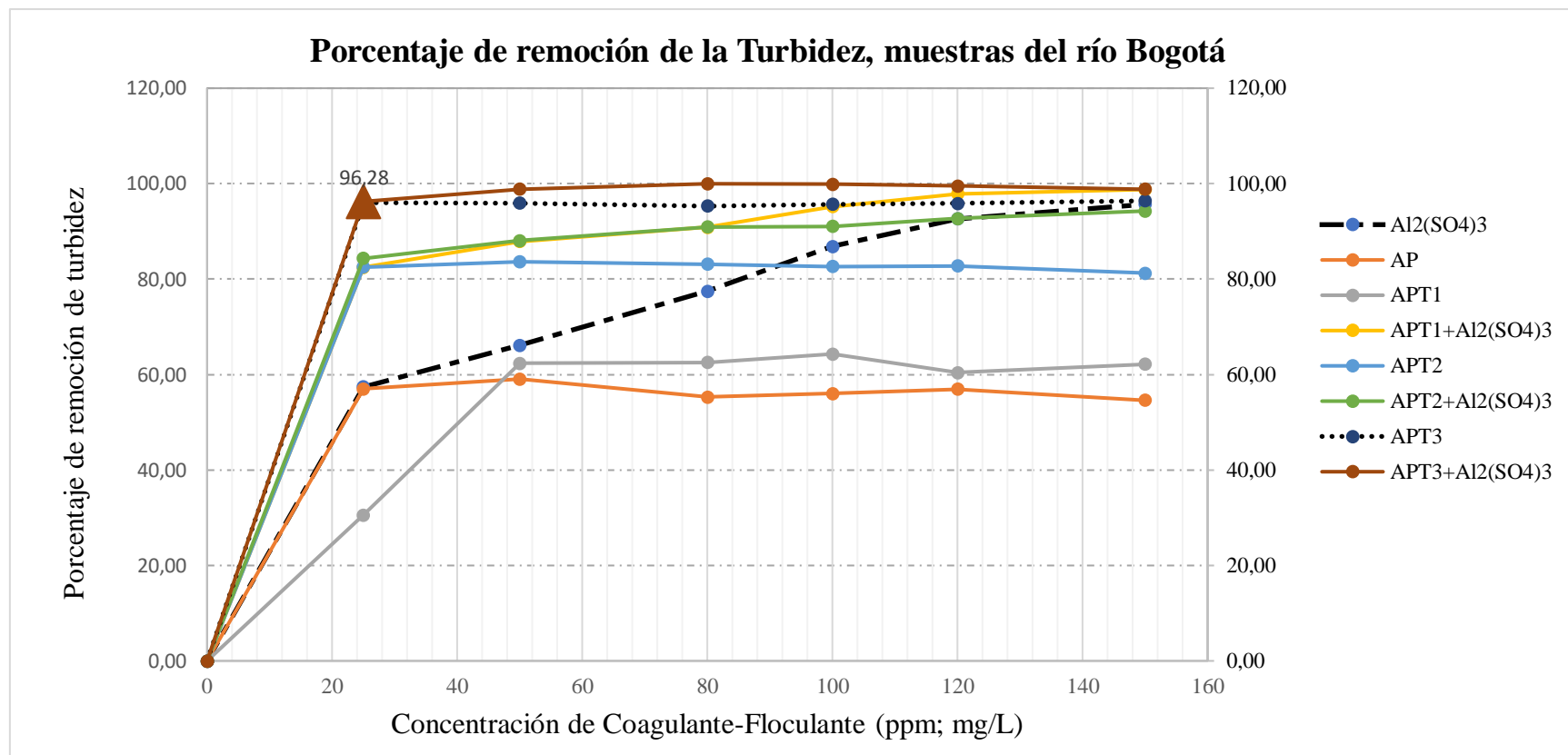
Acorde a los análisis obtenidos antes y después del método del test de jarras en cuanto al parámetro de turbidez, se reflejan los porcentajes de remoción, observando que el almidón tratado con APT3 presenta la mayor remoción de NTU con un porcentaje superior de 95% demostrando ser incluso mejor que el Al₂(SO₄)₃.

Tabla 5 Consolidado de los porcentajes de eficiencia en la remoción de turbidez

Test de Jarras	Porcentaje de remoción de la Turbidez, muestras del río Bogotá							
	Al ₂ (SO ₄) ₃	AP	APT1	APT1+Al ₂ (SO ₄) ₃	APT2	APT ₂ +Al ₂ (SO ₄) ₃	APT3	APT3+Al ₂ (SO ₄) ₃
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	57,42	57,00	30,53	82,49	82,53	84,36	96,07	96,28
50	66,11	59,07	62,33	87,88	83,64	88,09	95,91	98,88
80	77,44	55,27	62,53	90,84	83,15	90,93	95,33	99,98
100	86,82	56,00	64,31	95,19	82,67	91,08	95,67	99,90
120	92,64	56,96	60,40	97,86	82,74	92,72	95,84	99,50
150	95,67	54,64	62,20	98,78	81,26	94,27	96,40	98,83

Fuente. Elaboración propia

Figura 188 Porcentaje de remoción de la turbidez, muestras del río Bogotá



Fuente. Elaboración propia

En la tabla 6 se demuestra la variación del pH como parámetro de control para los análisis respectivos al test de jarra, en donde se evidencia claramente que en todos los ensayos realizados con sulfato de aluminio hay una ligera reducción del pH inicial respecto al

final y en los ensayos realizados con almidón hay un ligero incremento en el valor del pH sin embargo se encuentran dentro del rango de 6.5 - 9.0 que exige la resolución 2115 de 2007 para procesos de potabilización. Este parámetro es de vital importancia debido a que influye en la eficiencia de procesos de coagulación.

Tabla 6 Consolidado de los resultados del parámetro de pH de los diversos ensayos

Test de Jarras ppm (mg/L) - Ensayos	Variación del Ph							
	Al ₂ (SO ₄) ₃	AP	APT1	APT1+Al ₂ (SO ₄) ₃	APT2	APT ₂ +Al ₂ (SO ₄) ₃	APT3	APT3+Al ₂ (SO ₄) ₃
0	7,33	7,33	7,33	7,29	7,29	7,29	6,75	6,75
25	7,08	7,42	7,34	7,13	7,37	7,09	7,02	6,83
50	7,05	7,39	7,45	7,03	7,36	6,96	7,18	6,96
80	6,96	7,40	7,53	6,92	7,38	6,86	7,05	6,90
100	6,88	7,38	7,56	6,86	7,42	6,74	7,14	6,76
120	6,84	7,39	7,54	6,78	7,41	6,70	7,19	6,74
150	6,74	7,30	7,59	6,70	7,42	6,57	7,33	6,67

Fuente. Elaboración propia

En la tabla 7 se demuestra la variación de la conductividad eléctrica como parámetro de control para los análisis respectivos al test de jarra, en donde se evidencia notoriamente que no hay cambios significativos en los valores de la conductividad, lo que probablemente esa ligera modificación se debe a la adición de la sal de aluminio.

Tabla 7 Consolidado de los resultados de parámetros de conductividad eléctrica de los diversos ensayos

Test de Jarras	Variación de la conductividad eléctrica (mS)							
	Al ₂ (SO ₄) ₃	AP	APT1	APT1+Al ₂ (SO ₄) ₃	APT2	APT ₂ +Al ₂ (SO ₄) ₃	APT3	APT3+Al ₂ (SO ₄) ₃
0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,53	0,53
25	0,74	0,74	0,74	0,76	0,778	0,78	0,5	0,55
50	0,73	0,73	0,73	0,74	0,76	0,77	0,54	0,59
80	0,73	0,73	0,74	0,79	0,74	0,78	0,53	0,59
100	0,73	0,73	0,72	0,79	0,74	0,8	0,55	0,59
120	0,73	0,73	0,68	0,76	0,74	0,81	0,51	0,61
150	0,69	0,69	0,71	0,81	0,73	0,85	0,56	0,58

Fuente. Elaboración propia

9.3 Resultados de análisis de IR

En el presente caso de estudio, con el fin de hallar las razones del comportamiento a nivel molecular del almidón de papa y sus variables oxidadas, se sometió al almidón a espectroscopía infrarroja, método que usa radiación infrarroja para excitar los enlaces en las sustancias químicas, que, al liberar energía, proporcionan información sobre su naturaleza, cantidad y fortaleza; esta información después se procesa con un algoritmo matemático para obtener el espectro a interpretar.

A continuación, se presentan las espectroscopías infrarrojas para el almidón y los tres almidones oxidados que se utilizaron en los experimentos para su posterior análisis, estos resultados fueron otorgados por colaboración de la universidad del Llano:

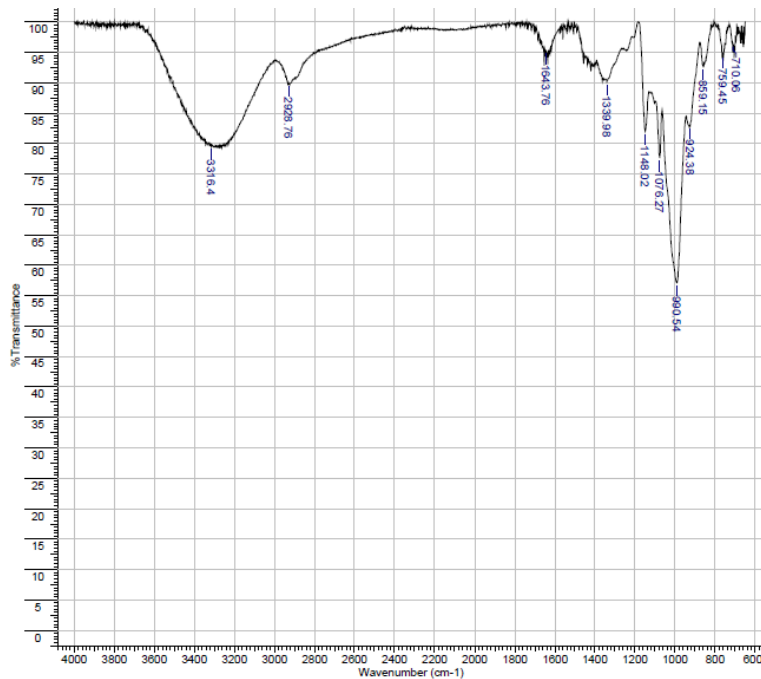


Figura 1919 Espectro de AP

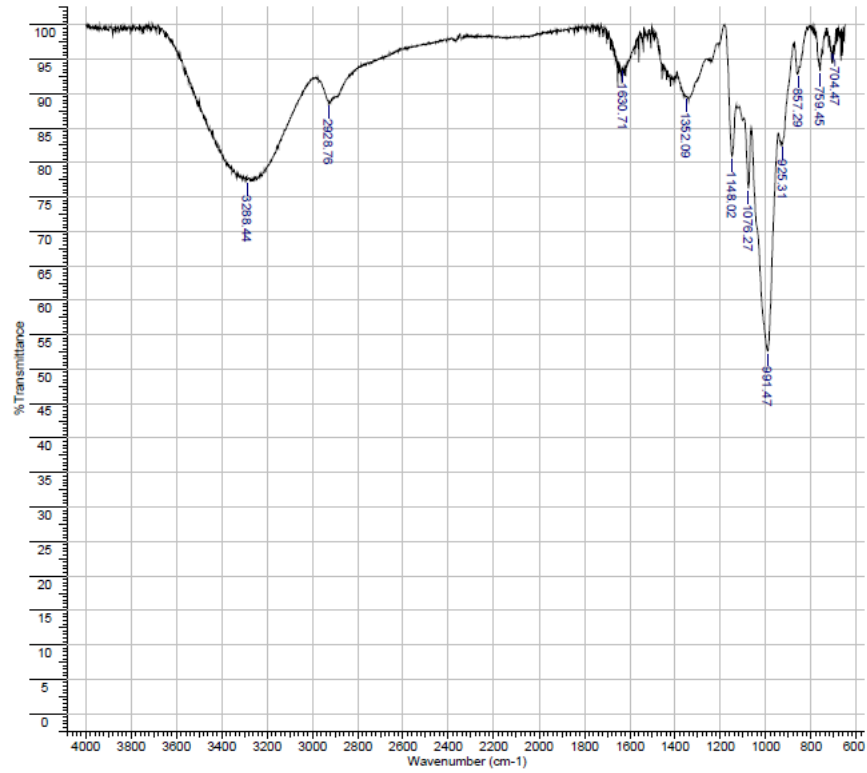


Figura 200 Espectro de Infrarrojo de APT1

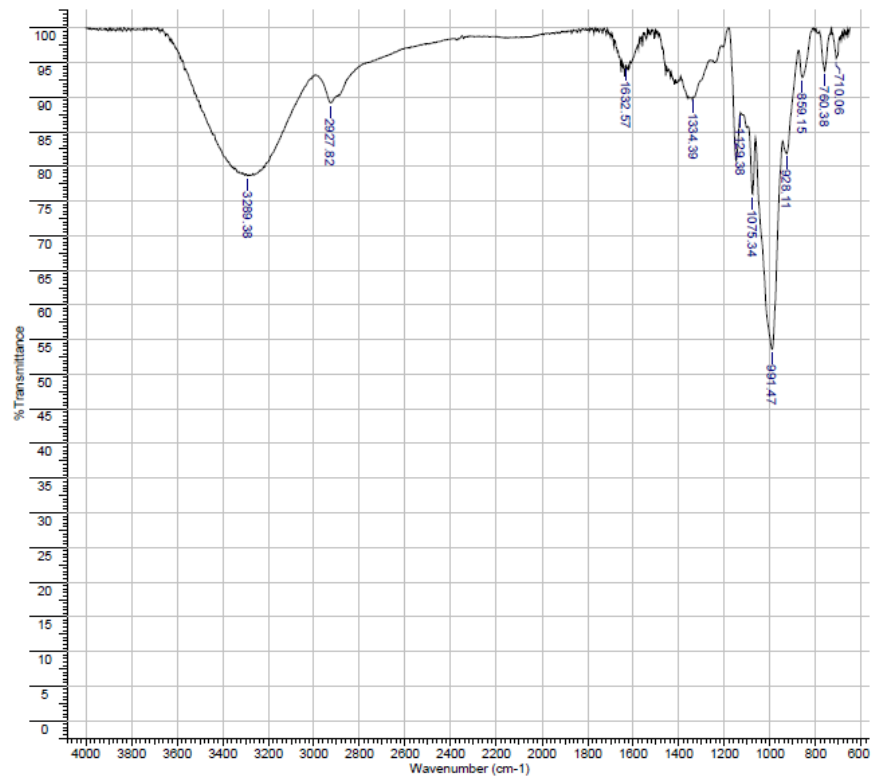


Figura 211 Espectro de Infrarrojo de APT2

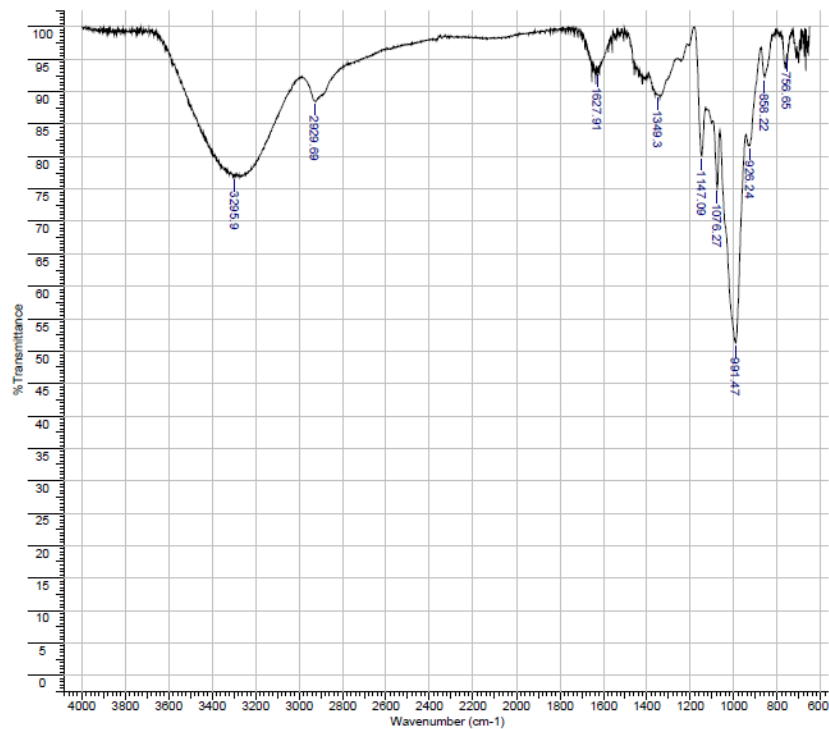


Figura 222 Espectro de Infrarrojo de APT3

9.4 Discusión de resultados

9.4.1 análisis de los estudios preliminares del río Bogotá

Los resultados agrupan 9 de los parámetros requeridos por el índice de calidad del agua (ICA) los cuales representan algunos valores por encima de los exigidos por la normatividad ambiental legal vigente; Por lo que, este cuerpo de agua natural no puede ser usado sin previo tratamiento para actividades de consumo, industrial o agropecuario. Es evidente que la calidad hídrica de la cuenca desciende a medida que el río fluye a su desembocadura por el arrastre de material y la aceptación de todo tipo de vertimientos de diversas fuentes de producción lo que acarrea afectaciones al río Magdalena, por el aporte de concentración altas de contaminantes.

Algunos de los sectores económicos de Bogotá incurren en la acentuación de industrias textiles y de curtiembre, estas en particular generan gran cantidad de residuos que se transforman en significativos problemas ambientales al verter contenido residual a los cuerpos de agua.

En la producción de curtidos en procesos de remojo, pelambre calero, descarnado en cuero apelmbrado, desencalado y purga, piquelado y curtido aportan contaminantes al agua como sólidos suspendidos y disueltos, DBO, DQO, Nitrógeno orgánico y amoniacal, sulfuros, algunos metales como lo es el Cromo, colorantes, salinidad, grasas y aceites, entre otros (COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE - REGION METROPOLITANA, 1999). Ya en la producción de textiles con procesos de formación del hilo a partir de la fibra, formación de la tela, proceso de humidificación y fabricación generan gran cantidad de Tintes, Colorantes, tensoactivos, sales de cromo, detergentes, aceites minerales, lubricantes, disolvente, cargas orgánicas manifestadas en DBO, entre otros (FUNDES). Lo antepuesto indica una relación análoga en la generación de residuos sólidos.

Por otro lado, los vertimientos agrícolas y pecuarios aportan una alta concentración de carga orgánica, nutrientes y contaminación bacterial (Secretaría Distrital de Planeación, 2014).

Al comparar parámetros de interés mencionados en los estudios preliminares y los obtenidos del presente documento evidenciamos que el pH mantiene un rango de 7,1 – 7.9 indicado un líquido neutro. Por otro lado, la conductividad si axioma un resultado bastante diferente debido a que van de 119 a 0.68 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que pudo ser ocasionado por las variaciones de los sólidos disueltos y la concentración de sales en las descargas, Para los últimos parámetros se da criterio que cumplen con la normatividad ambiental legal vigente debido a que entre sus exigencias esta de 6.5 – 9.0 para pH y puede ser hasta 1000 microsiemens/cm en conductividad.

9.4.2 Perspectivas del almidón como coagulante.

Tal como se mencionó anteriormente en este trabajo, el almidón resulta de interés en su potencial de uso en tratamiento de aguas dado que sus moléculas constitutivas, la amilosa y la amilopectina, poseen una gran abundancia de oxígeno en los grupos hidroxilo y en sus enlaces glicosídicos, que le confieren una leve carga negativa que explica su principal uso como espesante y modificador de viscosidad en varias aplicaciones industriales y de alimentos, especialmente tras un proceso de gelatinización en presencia de calor (Pineda Gómez, Coral, Arciniegas, Rorales Rivera, & Rodríguez García, 2010). Además, el almidón suele tener una gran masa molecular en forma de largas cadenas, lo que le confiere un mayor potencial de contacto con los coloides presentes en el agua y mayor facilidad de sedimentar en ella si no hay suficiente agitación (FAO, 2016); otra ventaja de esta estructura radica en que los grupos hidroxilo son susceptibles a modificaciones químicas, que pueden aumentar la funcionalidad del almidón para aplicaciones específicas.

La naturaleza del almidón hace que incluso en su estado oxidado tenga una baja toxicidad o genere subproductos poco tóxicos aún si se le somete a condiciones que puedan degradarlo (especialmente si el agua clarificada se somete a procesos posteriores para potabilizarla, como tratamiento biológico, cloración u ozonización), lo que se puede comparar favorablemente a los coagulantes tradicionales, que pueden tener problemas de toxicidad a corto plazo, como las sales de hierro que presentan toxicidad si se ingieren 60 mg o más por kilogramo de peso corporal o los monómeros de polielectrolitos como la acrilamida que pueden estar presentes en el polímero como contaminantes (presentando toxicidad y otros efectos en cantidades del orden de microgramos por litro); también pueden haber problemas con la exposición a dichas sustancias a

largo o muy largo plazo, sobre todo a sales de aluminio, que pueden causar efectos neurotóxicos y aumentar las probabilidades de enfermedades como el alzheimer (Gómez & Salazar, 2016).

Estas propiedades, junto a la gran variedad de fuentes de las que se puede extraer debido a su omnipresencia en el material vegetal y la gran intensidad de cultivo de plantas que lo producen hacen del almidón un potencial agente de bajo costo y buena biodegradabilidad en el tratamiento de aguas, lo que abre la puerta a procesos de tratamiento de emisiones reducidas.

9.4.3 Análisis de resultados de remoción de turbidez

Sin embargo, como se puede examinar en los ensayos de AP por sí solo, su efectividad es modesta y poco consistente, con una máxima remoción de turbidez del orden del 59% (a 50 mg/l) y presentando oscilaciones de efectividad reducida, probablemente debida a su hidrofobicidad, su tendencia a modificar la viscosidad del agua a medida que cambia su concentración (las suspensiones de almidón suelen presentar un comportamiento no-newtoniano, especialmente si están concentradas y gelatinizadas) y por tanto, a impactar negativamente la precipitación de los flocs (Herrera, 2015). Sin embargo, se evidencia que el almidón libera muy pocos electrolitos en el agua y esencialmente no modifica la acidez ni la alcalinidad del agua a tratar, lo que se observa en los cambios muy ligeros de conductividad y de pH (estable alrededor de 0,73 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 7,3 respectivamente), lo cual puede constituirse en una ventaja respecto a los procesos tradicionales de tratamiento de aguas, en los que puede ser necesaria una corrección de pH mediante agentes como ácidos o bases suaves, que se traducen en aumento de sólidos disueltos, que pueden implicar otros problemas como conductividad fuera de norma, corrosión, dureza, etc.

Estos últimos cambios pueden observarse en el tratamiento con sulfato de aluminio, que suele presentar actividad ácida al ser disuelto, reflejándose en una disminución del pH (lo que significa mayor acidez) y y aumento de la conductividad a medida que se usa una mayor concentración del mismo.

Con el fin de mejorar las propiedades químicas del almidón y a la vez reduciendo su poder espesante, puede someterse a tratamientos de oxidación, que tienen el potencial de abrir los anillos glicosídicos y de incorporar grupos carboxilo o ácido carboxílico, de mayor tendencia aniónica y con una leve carga positiva en el átomo de carbono que constituye este grupo funcional.

Las ventajas de esta modificación se evidencian en una mejoría de la eficiencia en los ensayos para el APT1 , observándose un cambio muy pronunciado en el rango de 25 a 50 mg/l pero sin mayor efectividad en concentraciones mayores de 50 mg/l, permaneciendo en un promedio de 63% de remoción de turbidez, esto puede explicarse probablemente por un efecto de atracción consigo mismo y con los electrolitos del agua, que se ve reflejado en la disminución de la conductividad, especialmente a partir de los 80 mg/l.

El efecto de captura de electrolitos quizás sea la razón del comportamiento inconsistente de la conductividad en los ensayos de este mismo almidón mezclado con el sulfato de aluminio, que finalmente aumenta de 120 a 150 mg/l, paralelamente a un aumento de la acidez (0,81 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 6,7 a 150 mg/l); sin embargo la efectividad aumenta sensiblemente para este ensayo, llegando a un máximo de 98,8% de remoción de turbidez a 150 mg/l; esto sugiere que el almidón modificado puede usarse como un coadyuvante de coagulación, uso que suelen tener polímeros no iónicos en los procesos convencionales de tratamiento de aguas para aumentar la efectividad de los coagulantes.

En los ensayos para el APT2, se observa un comportamiento análogo al almidón sin modificar en la remoción de turbidez, pero con un mejor efecto, obteniéndose efectividades sobre el 80% de remoción con un máximo de 83,6% a 50 mg/l; esto sugiere que una mayor oxidación mejora el comportamiento coagulante del almidón conservando la ventaja de la conservación del pH (1,7 % de cambio respecto a la muestra utilizada a 150 mg/l) y de electrolitos (2,7% de cambio respecto a la muestra utilizada a 150 mg/l).

En el ensayo para el APT2+Al₂(SO₄)₃, se observa un comportamiento análogo respecto al APT1, pero con un aumento constante de conductividad y acidez (0,85 µS/cm y 6,57 respectivamente a 150 mg/l de ambas sustancias), pero el efecto de probable captura de electrolitos por parte del almidón puede verse reflejado en la efectividad levemente disminuída de esta combinación respecto a la de APT1 (94,3% a 150 mg/l), llegando a afectar la acción coagulante del sulfato.

Para el almidón oxidado con APT3, se observa de nuevo un comportamiento parecido al de los demás almidones ensayados individualmente respecto a la remoción de turbidez, presentándose incluso un mínimo de 95,4% a 80 mg/l, pero con un aumento de efectividad hasta un máximo de 96,4%; sin embargo, el hecho de que la eficiencia en todo el rango de concentraciones estudiado siempre estuviera sobre el 95% sugiere la posibilidad que la oxidación mejora las capacidades del almidón.

Llama la atención que, en este ensayo, la acidez disminuye, lo cual es un contraste con los otros ensayos (8,6% de aumento de pH a 150 mg/l respecto a la muestra), esto probablemente puede deberse a la captura de iones H⁺ y/o a una estructura con menos grupos ácido carboxilo, y más grupos carboxilo sobre los anillos glicosídicos. El comportamiento de la conductividad se presenta muy errático en este ensayo, esta impredecibilidad puede haber sido causada por errores

experimentales y abre la probable necesidad de repetir los ensayos con el fin de verificar el comportamiento como electrolito de este almidón modificado en solución.

En el ensayo realizado con el almidón oxidado con $\text{APT}^{3+} \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, de nuevo se observa el efecto de interferencia mutua en la remoción de turbidez evidenciado para el APT^2 combinado a su vez, siendo este efecto más pronunciado a medida que aumenta la concentración, observándose un máximo de 99,98% a 80 mg/l y una eficiencia de 98,8% a 150 mg/l. Sin embargo esta combinación demuestra ser bastante efectiva, con un mínimo absoluto de 96,3% de remoción en todo el rango de concentraciones estudiado; es de resaltar que, a comparación de los demás ensayos con sulfato de aluminio, el pH en esta combinación se conserva bastante estable alrededor de 6,7-6,8 cambio máximo de 3,1% en todo el rango estudiado), lo cual hace esta combinación interesante desde la perspectiva de la gestión de la acidez, un paso que puede llegar a ser importante en el tratamiento de aguas como se ha mencionado anteriormente.

Observando los resultados obtenidos, desde el punto de vista de la remoción neta de turbidez, el mejor desempeño se obtiene de la combinación de $\text{APT}^{3+} \text{Al}_2(\text{SO}_4)$ a una concentración de 80 mg/l; pero desde el punto de vista de la gestión de metales en el agua de consumo, el mejor coagulante es este mismo almidón sin combinar, obteniendo resultados bastante razonables desde 50 mg/l en adelante.

Otro detalle de interés que debe notarse es que en gran parte de las muestras, tras el tratamiento con coagulantes, no se alcanza la norma de NTU citada en la resolución 2115 de 2007, en especial con la muestra #2; sin embargo, con las remociones altas de turbidez observadas, sobre todo en las combinaciones de almidón oxidado con sulfato de aluminio, es viable obtener agua cruda para vertimiento (aunque puede ser necesario un análisis de DBO y DQO) o bien hacer un proceso de coagulación-floculación en dos unidades instaladas

secuencialmente con un tanque regulador entre ellas (con el fin de mantener un caudal uniforme) antes del proceso de potabilización en caso de que se desee obtener agua potable, tal como puede ser el caso de adecuación de agua para piscinas y en PTAPs a pequeña escala.

9.4.4 Discusión teórica de la revisión literaria de la remoción de materiales minerales con almidón

Como se pudo observar, la remoción de turbidez de efluentes cargados con material mineral determinada por sus respectivos investigadores fue muy modesta, de entre 8,5-9.5% para almidones de papa y trigo respectivamente en el mejor de los casos, sin embargo, de esta experiencia pueden obtenerse deducciones interesantes respecto al potencial de los almidones como coagulantes.

En las fotografías al microscopio de los almidones, se pudo notar que los granos de almidón de trigo eran relativamente pequeños respecto a papa y maíz, siendo los de papa los más grandes, sin embargo se presume que el tamaño de los granos de almidón de maíz y de papa conducen a mayor cantidad de colisiones efectivas en suspensión, lo que significa un mayor chance de unión con los materiales minerales y así comenzar el proceso de formación de flóculos, viéndose esto reflejado en los desempeños de las diferentes fuentes en la remoción de turbidez.

Gracias a las fotografías al microscopio de los flocs generados por los diversos tipos de almidones, se pueden confirmar las anteriores afirmaciones ya que los flocs generados por los almidones crudos de trigo y papa son los más grandes y estables generados en la experiencia, favoreciendo esto el objetivo del proceso de sedimentación necesario para la remoción de turbidez una vez se logra la floculación.

También se pudo notar que la gelatinización afectó negativamente la eficiencia de la remoción de turbidez de almidones, esto puede ser explicado dado el hecho que en la gelatinización, las cadenas de almidón en presencia de calor y agua son abiertas y entrecruzadas irreversiblemente con moléculas de esta última, lo cual obstaculiza o impide que el almidón pueda unirse a las partículas minerales, de modo que en la preparación de almidones para su uso en tratamiento de aguas, debe evitarse condiciones de gelatinización en lo posible.

Respecto a la sensibilidad del desempeño de los almidones en relación al pH, debe tenerse en cuenta que el pH del medio acuosos determina el modo en que las moléculas complejas se pliegan y organizan en el espacio, pudiendo favorecer o desfavorecer su apertura y así la probabilidad de captura de partículas a remover; en la experiencia se observó que un pH menor a 7 desfavorecía levemente la remoción de turbidez, mientras que un pH de 8 en adelante lo desfavorecía fuertemente, lo cual explica la presunta interferencia entre almidones de papa oxidados y sulfato de aluminio sobre todo a altas concentraciones, dado que este último tiene un comportamiento ácido en solución.

9.4.5 Análisis de resultados de espectroscopía infrarroja

En el espectro del almidón de papa sin modificar, se pueden observar los siguientes picos de absorbancia que permiten deducir la estructura del almidón, (Lingegowda, Kumar, Devi Prasad, Zarei, & Gopal, 2013):

- 990 cm^{-1} : Este pico suele estar asociado con el carbono unido a un grupo hidroxilo, pero los picos vecinos en la región de $1000\text{ a }1200\text{ cm}^{-1}$ suelen estar presentes en polisacáridos, de este modo se confirma la existencia del grupo hidroximetil ($-\text{CH}_2\text{-OH}$) que se puede encontrar

en la amilosa y amilopectina, unido a los anillos glicosídicos. Su relativa libertad de movimiento explica el hecho de que este pico sea tan pronunciado.

- 1340 cm^{-1} : Este pico suele indicar la existencia del enlace C-O presente en éteres de modo que este pico verifica la existencia del enlace glicosídico típico de carbohidratos. La pequeñez de este pico puede explicar que puede existir una leve simetría de este tipo de enlaces en la muestra, probablemente explicado por la presencia de regiones cristalinas en el almidón, que suelen cumplir un papel importante en su digestión.
- 1640 cm^{-1} : Este pico suele estar asociado a la existencia de grupos carboxilo o bien a carbono unido a otros dos átomos de carbono y un átomo de oxígeno, que comparte la misma hibridación, que se puede encontrar como parte de los anillos glicosídicos. Su relativa poca absorbancia puede explicarse mediante una escasa presencia de grupos carboxilos o bien el fenómeno anterior de regines cristalinas.
- 3316 cm^{-1} : Este pico suele estar asociado a grupos hidroxilo (-OH) con leve actividad acídica, que pueden encontrarse enlazados directamente a los anillos glicosídicos.

Los picos en 990 y 3316 cm^{-1} , debido a que describen grupos hidroxilo con una relativa alta actividad, explican la leve actividad aniónica del almidón.

A medida que se oxida el almidón, se puede notar que la estructura del almidón está relativamente intacta, pero con cambios leves de absorbancia en todos los picos, lo que puede indicar que la cantidad de los grupos funcionales que describen aumenta; este fenómeno puede indicar que el almidón no sufre una oxidación significativa de sus átomos de carbono a grupos carboxilo, dadas las condiciones relativamente suaves en las que se realizaron los procedimientos de oxidación, pero en cambio estas condiciones pueden haber sido suficientes para hidrolizar

parcialmente las regiones cristalinas, liberando cadenas glicosídicas de ellas y haciéndolas disponibles para los procesos de coagulación.

El cambio en las absorbancias del espectro probablemente también describe que los procedimientos de oxidación fueron suficientes para abrir parte de las cadenas glicosídicas e incorporar grupos hidroxilo en ellas, que con su actividad aniónica y las concentraciones de cargas parciales que esto implica, que, junto con el fenómeno de hidrólisis explicado anteriormente, puede explicar el aumento significativo de la remoción de turbidez por parte de los almidones oxidados.

9.4.6 Consideración del uso de almidón de papa en el tratamiento de grandes volúmenes de agua

Las concentraciones óptimas de coagulante determinadas en los ensayos implican un menor consumo de coagulante y la posibilidad de prescindir de equipos para un control muy estricto en su dosificación, lo cual es beneficioso en operaciones de altos volúmenes de agua como puede ser el tratamiento de agua potable o de agua para piscinas.

Un ejemplo de esto último puede ser Piscilago, un parque acuático de alto tráfico que posee 5 piscinas que se enumeran a continuación con sus capacidades de agua:

- Piscina las fuentes: 1200 m³
- Piscina cascada: 600 m³
- Piscina el mirador: 750 m³
- Piscina el maniantal: 750 m³
- Piscina el oasis: 700 m³

Estas piscinas entonces tienen una capacidad total de 4000 m³, sin contar las piscinas asociadas a las atracciones; además debe contarse la cantidad de agua necesaria para usos generales del parque como lo son las unidades sanitarias, duchas, etc.

Con el fin de estimar la cantidad de agua, se tomará como base la dotación de agua estándar consignada en la guía RAS, que es de 120 litros/habitante día, aunque, ya que el horario más largo de piscilago suele ser de 8:30 am a 6:00 pm (9 horas y media) y que los usos del agua son principalmente sanitarios, se decide tomar la dotación como 60 litros/habitante día; también debe considerarse que la capacidad del parque Piscilago está alrededor de los 10000 usuarios diarios, de modo que el consumo de agua estimado para esta población es de 600 m³, arrojando un mínimo total de 4600 m³ de agua que deben ser tratados y reciclados continuamente a lo largo del horario de atención.

Según la resolución 2115 de 2007, el límite permisible para aluminio y hierro es de 0,2 y 0,3 mg/l respectivamente, que respecto al volumen de agua calculado, son 920 gramos de hierro y 1380 de aluminio que en parte deben ser purgados del sistema de tratamiento de agua para evitar su acumulación mas allá de este nivel, siendo una pérdida de agua y de capital y una probable afectación ambiental; el uso de almidón oxidado potencialmente puede permitir eliminar esta preocupación, ahorrado de esta manera los costos de implementación y operación de sistemas de control para la dosificación de alta sensibilidad, como se mencionó anteriormente.

9.4.7 Consideración del almidón de papa en remoción de metales pesados

Considerando que el almidón oxidado presenta actividad esencialmente anónica por las cargas negativas concentradas en sus átomos de oxígeno, es válido preguntarse si esta capacidad puede traducirse en retención de iones de metales pesados, que también son una preocupación

importante en aguas contaminadas por efluentes industriales, que es el caso del río Bogotá. Soto, Urdaneta y sus colaboradores (2014) en su artículo “Heavy metal (Cd^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} and Zn^{2+}) adsorption in aqueous solutions by oxidized starches” experimentaron esta hipótesis mediante la oxidación de almidón de maíz con soluciones de permanganato de potasio, obteniendo varios grados de almidones oxidados coloreados con residuos de manganeso o blanqueados; en esta experiencia, mediante espectrometría de absorción atómica, se vió que los almidones de maíz oxidados presentan una absorción apreciable de estos iones metálicos, en los intervalos de 16 a 22% para Cd^{2+} , 16 a 45% para Ni^{2+} , de 10 a 35% para Pb^{2+} y de 6 a 20% para Zn^{2+} ; de esto puede inferirse que los almidones oxidados tienen una capacidad nada despreciable de inmovilización de dichos metales y un potencial de uso de remediación de aguas contaminadas con ellos, abriendo campo a posteriores investigaciones para mejorar esta capacidad o implementarla a escala piloto.

9.4.8 Comparación y discusión de costos de coagulantes

En el rubro de costos, el almidón varía muchísimo dependiendo de la fuente y la aplicación a la que esté destinado, los costos expuestos a continuación son precios de proveedores de China y alrededores, dado que esta zona es una fuente muy popular a nivel mundial de materias primas para la industria y suele ser bastante rentable importarlas a Colombia.

Almidones:

- Almidón de papa grado alimenticio: 1000-2000 dólares/tonelada
- Almidón de maíz grado alimenticio: 300-400 dólares/tonelada
- Almidón de yuca grado alimenticio: 500-1000 dólares/tonelada
- Almidones oxidados para aplicaciones textiles o papeleras: 360-950 dólares/tonelada,

Sales minerales:

- Sulfato de aluminio: 100 a 300 dólares/tonelada en grado para tratamiento de aguas
- Cloruro férrico hexahidratado: Polvo o solución desde 300 a 800 dólares/tonelada
- Cloruro de aluminio: 250-300 dólares/tonelada

Polielectrolitos: 1000 a 3000 dólares/tonelada

Como puede observarse, las sales de aluminio tienen precios bastante competitivos, lo cual, unido a su efectividad, explica su popularidad en el tratamiento de aguas; el cloruro férrico, tiene un precio moderado y una conocida eficiencia, lo que explica su uso en este tipo de procesos, llegando incluso a ser el coagulante de elección en la PTAR del Salitre en la ciudad de Bogotá.

En cambio, los precios de los almidones indican que no es rentable usar almidones alimenticios como materia prima para coagulantes en tratamiento de aguas, pero existe la probable ventaja ya señalada de que es posible usar material vegetal local y material alimenticio descartado como fuentes de almidones, lo cual, aunado a los bajos precios de algunos oxidantes (aproximadamente 300 dólares/tonelada para hipoclorito de sodio en solución al 12%), abre la posibilidad de una producción local de coagulantes a partir de fuentes naturales como coadyuvantes para las sales minerales a fin de mejorar su efectividad y/o disminuir su consumo en plantas de tratamiento de aguas de pequeña escala, como las municipales.

Desde otra perspectiva es importante resaltar que el almidón de papa modificado trae consigo ventajas asociadas en la dosificación para el tratamiento de aguas frente al sulfato de aluminio. Es decir, se observa al comparar la actuación del almidón de papa con sulfato de aluminio donde los ensayos evidencian que para el tratamiento de una muestra de agua de volumen de un litro la concentración del coagulante convencional se duplica para una remoción

en el rango del 80% frente al coagulante natural modificado (APT2) y seis veces mayor en el rango del 95% con el almidón oxidado APT3. De lo anterior se puede destacar los bajos requerimientos en la dosis del coagulante natural.

10. Conclusiones

- La funcionalización del almidón de papa mediante oxidación es un procedimiento viable para mejorar su comportamiento químico en el tratamiento de aguas.
- El almidón de papa se presta favorablemente para su uso como coagulante dado que tiene características microscópicas adecuadas que son favorables a los procesos de floculación y sedimentación.
- Es preferible el uso del almidón de papa oxidado como coadyuvante si se desea tratar aguas cargadas de materiales minerales.
- Es preferible el uso de almidones de papa oxidados en condiciones neutrales o levemente ácidas, siendo necesaria la corrección de pH si deben tratarse aguas alcalinas (pH 8 o mayor) para obtener la mayor eficiencia en la remoción de turbidez.
- El almidón oxidado es una alternativa viable como coagulante en tratamiento de aguas, ofreciendo las ventajas de baja liberación de electrolitos y poco cambio de pH en el agua a tratar aunado a una eficiencia razonable.
- Debido a su accesibilidad y bajo precio de los reactivos, el almidón oxidado puede ser una alternativa económicamente competitiva frente al menos los polielectrolitos utilizados como coagulantes o coadyuvantes de coagulantes en el tratamiento a gran escala de aguas.

- Esta alternativa económica puede traducirse en producciones locales de almidones oxidados, pero es necesario un análisis económico detallado para determinar el verdadero potencial competitivo frente a los reactivos usados tradicionalmente en estos procesos.
- Si se desea obtener agua potable sin preocupación por la estricta dosificación de sales metálicas en caudales altos, el mejor almidón de papa muy altamente oxidado en dosificaciones desde 50mg/l, aunque su remoción de turbidez de 96% probablemente haga necesaria una reingeniería del proceso de tratamiento de aguas si se debe tratar corrientes con alta o muy alta turbidez.
- Si se desea obtener agua cruda para vertimiento o usos no potables, la preocupación por el uso de sales metálicas no es tan prioritaria, por lo que el mejor tratamiento de los analizados puede ser el almidón de papa muy altamente oxidado combinado con sulfato de aluminio, proveyendo una remoción casi total de la turbidez a 80 mg/l de dosificación.
- El almidón oxidado puede reemplazar el uso de cloruro férrico, evitando así los peligros por toxicidad en agua potable por hierro.
- Los almidones oxidados pueden usarse como inmovilizadores de metales pesados debido a sus características químicas, aunque se requiere más investigación en este campo.
- Se dió cumplimiento con los objetivos, sin embargo, se manifiesta que en el objetivo específico número dos no se llevo a cabo la parte experimental ni se evaluo el parámetro de color dedibo al estado de emergencia sanitaria por el Covid-19 y las restricciones impuestas por el gobierno Nacional.

11. Bibliografía

Anabel, V., 2010. "Almidón retrogradado en el tratamiento dietoterápico de la Diabetes Mellitus

tipo 2”

ARENAS RIAÑO, C. A., & PEDRAZA GUARNIZO, D. J. (2017). EVALUACIÓN DEL PROCESO DE MODIFICACIÓN DE ALMIDÓN DE PAPA MEDIANTE ACETILACIÓN Y OXIDACIÓN, PARA SU APLICACIÓN COMO EXCIPIENTE EN LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA A NIVEL LABORATORIO. Retrieved from <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6043/1/6111689-201-1-IQ.pdf>

Asrafuzzaman, M., Fakhruddin, A. N., & Alamgir Hossain, M. (2011). Reducción de la turbidez del agua utilizando coagulantes naturales disponibles localmente. *International Scholarly Research Network*, 7.

Ayala A., Montes M. 2004. Almidones aniónicos y catiónicos. Tesis (procesamiento de cereales y oleaginosas). México Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Avila, A. R., Tafur-, A. D. R., Dualiby, A., Del, Y., Eduardo, R., Peralta, L., Distrital, U., Jose, F., En, T., Ambiental, G., & Publicos, Y. S. (2017). AGUA DEL MUNICIPIO DE GUATAQUÍ CUNDINAMARCA Tabla de contenido.

Barrenechea, A., & Vargas, L. (2004). Desinfección. Tratamiento de Agua Para Consumo Humano. Plantas de Filtración Rápida. Manual I: Teoría Tomo I, 153–214. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/diez.pdf>

Bello Pérez, L. A., Contreras Ramo, S. M., Romero Manilla, R., Solorza Feria, J., & Jiménez Aparicio, A. (2002). PROPIEDADES QUÍMICAS Y FUNCIONALES DEL ALMIDÓN MODIFICADO DE PLÁTANO *Musa paradisiaca* L. *Redalyc*, 13.

Blanca Bórquez, P., & Lopicich Catalán, B. (2017). Perspectivas Bioéticas. *Revista de Bioética y Derecho*, 19.

Bourgeois, B. A. F. (1995). Ben Jonson: Pindar. *Notes and Queries*, s11-XI(275), 267.

<https://doi.org/10.1093/nq/s11-XI.275.267-a>

BRAVO GALLARDO., MONICA ALEJANDRA. (2015). COAGULANTES Y FLOCULANTES NATURALES USADOS EN LA REDUCCIÓN DE TURBIDEZ, SÓLIDOS SUSPENDIDOS, COLORANTES Y METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES . BOGOTÁ D.C : UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.

Cabrera Martínez, N. C., Hernandez, A. R., Simancas Vásquez, E., Ayala Jiménez, J. M., & Almanza Caraballo, K. (2017). Coagulantes naturales extraídos de Ipomoea. *Scientia et Technica* Año XXII, Vol. 22, No. 1, 4.

CAR. (2006). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del rio Bogotá*. Obtenido de <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ac24aeabc81c.pdf>

Castellanos, F. L. (2017). REVISIÓN DEL USO DE COAGULANTES NATURALES EN EL PROCESO DE CLARIFICACIÓN DEL AGUA EN COLOMBIA. *Universidad Militar Nueva Granada*, 18.

CAUSIL V, L. A., CORONADO G, J. L., VERBEL M, L. F., VEGA J, M. F., DONADO E, K. A., & PACHECO G, C. (2017). Efecto citotóxico del hipoclorito de sodio (NaClO), en células apicales de raíces de cebolla (*Allium cepa* L.). *REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS*, 8.

Chong, W. T., Uthumporn, U., Karim, A. A., & Cheng, L. H. (2013). La influencia de la ecografía en el grado de oxidación del almidón de maíz oxidado con hipoclorito. *ScienceDirect*, 22.

Choque Quispe, D., Choque Quispe, Y., Solano Reynoso, A., & Ramos Pacheco, B. (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Scielo*, 12.

Choy, S. Y., Prasad, K., Raghunandan, M., & Ramanan, R. (2016). Rendimiento de los

almidones convencionales como coagulantes naturales para la eliminación de turbidez.
Ecol. Ing, 94.

Chulluncuy Camacho, N. C. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. Ingeniería Industrial, núm. 29, 2011, pp. 153-170, Universidad de Lima, 19.

COGOLLO , J. (2010). *CLARIFICACIÓN DE AGUAS USANDO COAGULANTES POLIMERIZADOS: CASO DEL HIDROXICLORURO DE ALUMINIO*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Colsubsidio. (s.f.). Parque Recreativo y Zoológico Piscilago. Obtenido de <https://piscilago.co/atracciones/>

COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE - REGION METROPOLITANA. (1999). *Curtiembres*. Obtenido de file:///C:/Users/pc/Downloads/pruebaZ-ZcopiaZ2.pdf

Cubillos Arévalo, D. C., & Delgado Perdigon, J. T. (2016). *Incidencia de la cotaminación de la cuenca alta del río bogotá*. Bogota: UNIVERSIDAD SANTO TOMAS. Obtenido de *INCIDENCIA DE LA CONTAMINACION DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO*.

Decreto 3930. Diario Oficial 47932 de la República de Colombia, Bogotá, Colombia, 23 de diciembre de 2010

Desarrollo, P. d. (2020). ODS. Obtenido de <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>

Díaz , A., Chingaté, N., Muñoz, D., Olaya, W., Perilla, C., Sánchez, F., & Sánchez, K. (2009). Desarrollo sostenible y el agua como derecho en Colombia. *Estudios Socio-Jurídicos*, 11(1), 84-116.

- Dorea, C. (2006). Use of *Moringa* spp. seeds for coagulation: a review of a sustainable option. *Water Science and Technology*, 9.
- FAO. (2016). *Oxidized Starch* . Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-bq694e.pdf>
- Feria Díaz , J. J., Bermúdez Roa, S., & Estrada Tordecilla, A. M. (2014). Eficiencia de la semilla *Moringa* oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú*. *Producción + Limpia*, 14.
- Fernández1, A. H. (2008). Evaluation of exudated gum produced by *Acacia siamea* as coagulant in the clarification of the waters for human consumption. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 31(Especial), 32-40., 10.
- FLATEN, T.P. 2001. Aluminium as a risk factor in Al zheimer's disease, with emphasis on drinking water. *Brain Res. Bull.* 55:187-196.
- Fuentes Molina, N., Molina Rodríguez, E. J., & Ariza, C. P. (2016). Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del $Al_2(SO_4)_3$ para clarificación de aguas. *Producción + Limpia*, 14.
- FUNDES. (s.f.). *Sector Textil*. Obtenido de <https://justiciaambientalcolombia.org/wp-content/uploads/2012/09/guc3ada-buenas-prc3a1cticas-textiles.pdf>
- Geissman, T. A. (1973). *Principios de química orgánica*. Editorial Reverté.
- Gómez , F., & Salazar, L. (2016). EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE SEMILLAS DE (*Moringa* Oleífera lam.) COMO COAGULANTE NATURAL EN LA CIUDAD DE PASTO - COLOMBIA. *Vitae*, 6.
- Gray, N. (1994). *Calidad del agua potable. Problemas y soluciones*. Zaragoza. España: Acribia, S.A. John Wiley & Sons Ltd, Baffins Lane, Chichester, West Sussex PO19 1UD, England.

Guízar Miranda, A., Montañéz Soto, J. L., & García Ruiz, I. (2008). PARCIAL CARACTERIZACION DE NUEVOS ALMIDONES OBTENIDOS DEL TUBERCULO DE CAMOTE DEL CERRO (*Dioscorea spp*) . *Revista Iberoamericana de Tecnología*, 9.

Gurdián López, R., & Coto Campos, J. (27 de Octubre de 2010). Estudio preliminar en el uso de la semilla de tamarindo (*Tamarindus Indica*) en la coagulación.floculación de aguas residuales. pág. 9

Guzman C, L., Taron D, A. A., & Nuñez M, A. (2015). POLVO DE LA SEMILLA *Cassia fistula* COMO COAGULANTE NATURAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* Vol 13 No. 2, 7.

GUZMÁN CONDARCO , B. (2014). EXTRACCIÓN Y MODIFICACIÓN QUÍMICA DE ALMIDÓN DE PAPA (*Solanum Tuberosum*) PARA SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA BOLIVIANA . Obtenido de UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES CARRERA DE CIENCIAS QUÍMICAS : <file:///C:/Users/pc/Documents/Tesis/M-268.pdf>

Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). REDUCCIÓN DE LA TURBIDEZ DEL AGUA USANDO COAGULANTES NATURALES: UNA REVISIÓN. *Science dirent*, 10.

Hernández Medina, M., Torruco Uco, J. G., Guerrero, L. C., & Betancur Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Scielo*, 9.

Herrera, M. (2015). EVALUACIÓN DEL ALMIDÓN DE PAPA COMO FLOCULANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS. @LIMENTECH CIENCIA Y TECNOLOGÍA ALIMENTARIA, 13.

HOYOS C, J. L., VELASCO M, R., & BONILLA M, R. (2013). EFECTO DE OXIDACIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA SOBRE PROPIEDADES MECÁNICAS Y TÉRMICAS DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10.

ICONTEC. (1999). *Norma Técnica Colombiana, NTC 4707*. Bogotá: ICONTEC.

ICONTEC. (2010). *Norma Técnica Colombiana, NTC 3903*. Bogotá: ICONTEC.

ICONTEC. (2011). *Norma Técnica Colombiana, NTC 5844*. Bogotá: ICONTEC.

IDEAM. (2015). *Estudio Nacional del Agua 2014*. Bogotá: IDEAM.

LINGEGOWDA, D. C., KUMAR, K. J., DEVI PRASAD, A., ZAREI, M., & GOPAL, S. (2013). FTIR SPECTROSCOPIC STUDIES ON CLEOME GYNANDRA – COMPARATIVE ANALYSIS OF FUNCTIONAL GROUP BEFORE AND AFTER EXTRACTION. *ROMANIAN J. BIOPHYS*, 8.

Maldonado, V. (2015). sedimentacion.

http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualII/tomoII/ma1_tomo2_cap7.pdf

Martínez, p., Peña, F., Gómez, Y., Vargas, G., & Velezmoro, C. (2019). Propiedades físicoquímicas, funcionales y estructurales de almidones nativos y acetilados obtenidos a partir de la papa (*Solanum tuberosum*). *Rev. Soc. Quím*, 14.

MILLER, R.G.; KOPFLER, F.C.; KELTY, K.C.; STOBBER, J.A.; ULMER, N.S. 1984. The occurrence of aluminium in drinking water. *J. Am. Water Workers Assoc.* 76:84-91.

Ministerio de Ambiente, V. y. (octubre de 2009). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico*. Obtenido de Definición del nivel de complejidad y evaluación de la

población, la dotación y la demanda de agua:

<http://www.minvivienda.gov.co/GuiasRAS/RAS%20-%20002.pdf>

Monge, S., Torres, A., Ribeiro, R., Silva, A., & Bengoa, C. (2018). Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales. <http://triton-cyted.com/wp-content/uploads/2019/04/Manual-sobre-oxidaciones-avanzadas.pdf>

Olivero Verbel, R., Florez Vergara, A., Vega Fellizola, L., & Villegas de Aguas, G. (2017). Evaluación de una mezcla para coagulantes naturales, *Opuntia ficus* y *Moringa oleífera* en clarificación de aguas. *Producción + Limpia*, 9.

Olmedo Sánchez, M. T. (2008). Subproductos de la desinfección del agua por el empleo de compuestos de cloro. Efectos sobre la salud. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 8

OMS. (07 de Febrero de 2018). OMS. Obtenido de OMS: <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

Ortiz López, Y. A., & Vargas Oliveros, P. A. (2016, Septiembre). Comparación de la capacidad coagulante del llantén plantago mayor (sp) frente al coagulante convencional sulfato de aluminio en agua residual doméstica sintética. Retrieved from *Ciencia Unisalle*: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1183&context=ing_ambiental_sanitaria

Pathiratne, A., Hemachandra, C. K., & De Silva, N. (2015). Efficacy of *Allium cepa* test system for screening cytotoxicity and genotoxicity of industrial effluents originated from different industrial activities. *Environ Monit Assess*, 12.

Pineda Gómez, P., Coral, D. F., Arciniegas, M. L., Rorales Rivera, A., & Rodríguez García, M. E. (2010). Papel del agua en la gelatinización del almidón de maíz: estudio por calorimetría diferencial de barrido. *Ingeniería y Ciencia*, 13.

PRITCHARD, M.; MKANDAWIRE, T.; EDMONDSON, A.; O'NEILL, J.G.; KULULANGA, G. 2009 Potential of using plant extracts for purification of shallow well water in Malawi. *Phys. Chem. Earth.* 34:799-805.

Proyecto Del Agua Potable. (2015). Canal de Isabel II Gestion.

Ramírez Arcila, H., & Jaramillo Peralta, J. (21 de julio de 2015). AGENTES NATURALES COMO ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA. pág. 18.

Restrepo, H. (2009). EVALUACIÓN DEL PROCESO DE COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE. 2(5), 255.

Ricaurte Valdes, L., Morales Gutierrez, M. L., & Rodríguez Díaz, Y. J. (2014). Tratamiento de aguas crudas usando quitosano como coagulante orgánico. Universidad Popular del Cesar, Valledupar, Colombia, 6.

Richardson S, Nilsson GS, Bergquist KE, Gorton L, Mischnick P. Characterisation of the substituent distribution in hydroxypropylated potato amylopectin starch. *Carbohydr Res.* 2000 Sep;328(3) 365-373

Rodríguez Chavarro, A. D. (2014). Diseño de una planta de tratamiento de agua potable. Universidad Industrial de Santander, February, 1–74.

Romero, J. A. (2009). Calidad el agua. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Rondón Macías, M., Díaz Dominguez, Y., Rodriguez Muñoz, S., Guerra Álvarez , B., Fernández Santana, E., & Tabio García , D. (2017). Empleo de semillas de Moringa oleífera en el tratamiento de residuales líquidos. *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*, VOL. XXXVIII, No. 2, May-Ago 2017, p.87-101, 15.

Rutenberg, M. W., & Solarek, D. (1984). Starch derivatives: Production and uses. In R. Whistler, J. N. BeMiller, & E. F. Paschall (Eds.), *Starch: Chemistry and technology* (pp. 314-388). New York: Academic Press, Inc.

Sánchez Martín, J., Beltrán de Heredia Alonso, J., Carmona Murillo, C., & Gibello Pérez, P. (2011). Absorbentes naturales a partir de taninos. Una propuesta de reutilización de residuos forestales para la purificación de aguas. *Cuides*, 16.

Sánchez, J. B. (1982). NTP 19: Instrucciones generales para la toma, conservación y envío de muestras. BARCELONA: CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ASISTENCIA TÉCNICA

Secretaría Distrital de Planeación. (2014). Alcaldía mayor de Bogotá. Obtenido de http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/aproximacion_a_las_implicaciones_del_fallo_d_el_consejo_de_estado_sobre_el_rio_bogota.pdf

Sciban, M., Klasnja, M., Antov, M., & Skrbic, B. (2009). Eliminación de la turbidez del agua por coagulantes naturales obtenidos de castaño y bellota. *Bioresour Technol*, 17.

SOCIAL, M. D. (9 de Mayo de 2007). *DECRETO NÚMERO 1575 DE 2007*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf>

SOCIAL, M. D. (22 de Junio de 2007). *MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL*. Obtenido de RESOLUCIÓN NÚMERO 2115 : https://scj.gov.co/sites/default/files/marco-legal/Res_2115_de_2007.pdf

SOLIS SILVAN, R., LAINES CANEPA, J. R., & HERNÁNDEZ BARAJAS, J. R. (2012). MEZCLAS CON POTENCIAL COAGULANTE PARA CLARIFICAR AGUAS SUPERFICIALES. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 28, núm. 3, 2012, pp. 229-236, Universidad Nacional Autónoma de México, 9.

Sorangel Rivas; Gerardo Menés; Aimet Rómulo. (2013). Tratamiento por coagulación-

floculación a efluente de la Empresa del Níquel Comandante Ernesto Che Guevara
Treatment for coagulation-flocculation to effluent from Ernesto Che Guevara Company of
Nickel. Centro de Investigaciones Del Níquel (CEDINIQ), 173–183.

<http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v37n2/rtq02217.pdf>

Shrestha, A. K., & Halley, P. J. (2014). Starch Modification to Develop Novel Starch-
Biopolymer Blends: State of Art and Perspectives. En *Starch Polymers: From Genetic
Engineering to Green Application* (págs. 105-125). Halley, L. Averous.

Sotero Santos, R. B., Rocha, O., & Povinelli, J. (2007). Toxicidad del lodo de cloruro férrico
para los organismos acuáticos. *ScienceDirect*, 12.

Soto, D., Urdaneta, J. D., Pernia, K., & Leon Alvaréz, O. (2014). Heavy metal (Cd^{2+} , Ni^{2+} ,
 Pb^{2+} and Ni^{2+}) adsorption in aqueous solutions by oxidized starches. *Polymers for
Advanced Technologies*, 26.

Suay Llopis, L., & Ballester Diez, F. (2002). REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS SOBRE
EXPOSICIÓN AL ALUMINIO Y ENFERMEDAD DE ALZHEIMER. Scielo, 14.

Terán, L. H., & Valdés Mondolfi, R. (2011). La Enfermedad de Alzheimer Relacionada con la
Utilización de Sulfato de Aluminio ($AlSO_4$) en Sistemas de Potabilización. Scielo, 23.

Torres, P., Cruz, C., & Patiño, P. (2009). ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES
SUPERFICIALES UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO
HUMANO. UNA REVISIÓN CRÍTICA. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*,
8(15), 79-94.

Trujillo, D., Duque, L. F., Arcila, J. S., Rincón*, A., Pacheco, S., & Herrera, O. F. (2014).
Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante. Programa de Ingeniería
Ambiental. Universidad Católica de Manizales, 18.

Usefi, S., Asadi Ghalhari, M., Izanloo, H., Reza Yari, A., & Mostafaloo, R. (2019). The

Performance of Starch as a Natural Coagulant for Turbidity Removal from Wastewater in Stone Cutting Industry. Arch Hyg Sci, 10.

Villabona Ortiz, Á., Paz Astudillo, I. C., & Martínez García, J. (2013). Caracterización de la *Opuntia ficus-indica*. Rev. Colomb. Biotecnol. Vol. XV No. 1, 8.

Villee, C. A. (1996). *BIOLOGÍA de Villee*. Mexico, D.F.: McGraw-Hill INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V.