

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 1 de 7</b>

16.

<b>FECHA</b>	Martes, 16 de julio de 2019
--------------	-----------------------------

Señores  
**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA**  
 BIBLIOTECA  
 Ciudad

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

El Autor(Es):

<b>APELLIDOS COMPLETOS</b>	<b>NOMBRES COMPLETOS</b>	<b>No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN</b>
Arango Irreño	Juan Daniel	1069753041

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

<b>APELLIDOS COMPLETOS</b>	<b>NOMBRES COMPLETOS</b>
Lugo Arias	Jose Luis

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*



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 2 de 7</b>

### TÍTULO DEL DOCUMENTO

Determinación de efectividad del mucilago de nopal y almidón de yuca como ayudante defloculación en alternativas del tratamiento del agua..

### 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

Ingeniero Ambiental

### AÑO DE EDICIÓN DEL DOCUMENTO

16/07/2019

### NÚMERO DE PÁGINAS

41

### DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)

ESPAÑOL	INGLÉS
Agua	Water
Coagulante	Coagulant
Potabilizar	Purify
Natural	Natura
Salud	Health
Nopal	Prickly pear



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

### RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

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

Se implemento el mucilago de nopal como coagulante y almidón de yuca para verificar la efectividad de los mismos, el proceso de extracción del compuesto activo del nopal se realizo en los laboratorios de la universidad de Cundinamarca y el agua utilizada para este trabajo se tomo del rio magdalena a la altura de la ciudad de Girardot, a 1.6 kilómetros de la desembocadura del rio Bogotá los resultados arrojados implantando la técnica de jarras demostraron una efectividad máxima del nopal del 75% y la reducción del pH mínima fue de 6.3 y se demostró que en una relación 67% nopal y 33% almidón de yuca la efectividad aumenta en un 8.5 en promedio. La prueba también se realizó en el equipo fisicoquímico a pequeña escala TA- FQ-005/ PE marca prominnet para simular las condiciones de flujo continuo.

The nopal mucilage was applied as coagulant and cassava starch to verify the effectiveness of the same, the extraction process of the active compound of the nopal was carried out in the laboratories of the University of Cundinamarca and the water used for this work was taken from the river Magdalena at the height of the city of Girardot, 1.6 kilometers from the mouth of the river Bogotá the results thrown implanting the jars technique showed a maximum effectiveness of nopal of 75% and the minimum pH reduction was 6.3 and it was demonstrated that in a relation 67% cactus and 33% cassava starch the effectiveness increases by 8.5 on average. The test was also performed on the small-scale physicochemical equipment TA-FQ-005 / PE mark prominnet to simulate continuous flow conditions.

### 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":



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 4 de 7</b>

<b>AUTORIZO (AUTORIZAMOS)</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	x	
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.

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



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 5 de 7</b>

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



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 6 de 7</b>

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)



**MACROPROCESO DE APOYO  
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO  
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL  
REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

**CÓDIGO: AAAR113  
VERSIÓN: 3  
VIGENCIA: 2017-11-16  
PAGINA: 7 de 7**

archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1.. DETERMINACIÓN DE EFECTIVIDAD DEL MUCILAGO DE NOPAL Y ALMIDÓN DE YUCA COMO AYUDANTE DE FLOCULACIÓN EN ALTERNATIVAS DEL TRATAMIENTO DEL AGUA..	Texto, Imágenes
2.	

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

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafo)
Juan Daniel Arango Irreño	

**Determinación de efectividad del mucilago de nopal y almidón de yuca como  
ayudante de floculación en alternativas del tratamiento del agua.**

Juan Daniel Arango Irreño

Trabajo de grado opción pasantía

Universidad de Cundinamarca  
Facultad Ciencias Agropecuarias  
Ingeniería Ambiental  
Girardot  
Mayo 2019.

## **Tabla de Contenidos**

Determinación de efectividad del mucilago de nopal y almidón de yuca como ayudante de floculación en alternativas del tratamiento del agua. ....	1
Tabla de Contenidos .....	2
Índice de imágenes.....	3
Índice de tablas .....	5
Introducción .....	6
Planteamiento del problema.....	9
Justificación .....	12
Objetivos.....	15
General.....	15
Específicos .....	15
Marco Normativo.....	16
Metodología .....	19
Fase 1: Reparación Del Equipo Para Estudio De Tratamiento Fisicoquímico a Pequeña Escala TA- FQ-005/ PE .....	19
Los materiales utilizados para solucionar la problemática antes descrita fueron: .....	20
Fase 2: Extracción Del Mucilago Del nopal (Coagulante) y obtención del almidón de yuca.....	21
materiales y equipos.....	23
-Obtención De Almidón De Yuca.....	23
materiales y equipos.....	24

Fase 3: Prueba De Jarras Para La Determinación De Efectividad Del Nopal Como Coagulante Trabajando En Conjunto Con El Almidón De Yuca Como Ayudante de Floculación.....	24
Resultados .....	29
Conclusiones .....	36
Presupuesto .....	38
Recomendaciones .....	39
Referencias.....	40

### **Índice de imágenes**

Ilustración 1 .....	10
Ilustración 2 .....	20
Ilustración 3 .....	20
Ilustración 4 .....	22
Ilustración 5 .....	22
Ilustración 6 .....	22
Ilustración 7 .....	23
Ilustración 8 .....	24
Ilustración 9 .....	25
Ilustración 10 .....	25
Ilustración 11 .....	27
Ilustración 12 .....	29
Ilustración 13 .....	30

Ilustración 14 .....31

Ilustración 15 .....34

**Índice de tablas**

Tabla 1 .....	7
Tabla 2 .....	16
Tabla 3 .....	17
Tabla 4 .....	18
Tabla 5 .....	29
Tabla 6 .....	30
Tabla 7 .....	31
Tabla 8 .....	33
Tabla 9 .....	35
Tabla 10 .....	38

## **Introducción**

En la antigüedad, antes del que el ser humano creara las primeras civilizaciones, el agua que bebía venía directamente de las fuentes de agua naturales sin ningún tipo de tratamiento, con el tiempo al surgir los primeros asentamientos y ciudades los seres humanos empezamos almacenar el agua para poder tener siempre disponibilidad de ella, sin embargo no fue hasta los romanos que aparecieron los primeros acueductos que se encargaban de transportar el agua, pero no existían aun tratamientos para tratar el agua y hacerla potable. (Lenntech.es, 2019)

luego de la caída de imperio romano “los acueductos se dejaron de utilizar. Desde el año 500 al 1500 d.C. hubo poco desarrollo en relación con los sistemas de tratamiento del agua debido a esto durante la edad media muchas personas enfermaban y morían a causa de la contaminación del agua y no fue hasta 1806 que empieza a funcionar la mayor planta de tratamiento de agua en París. (Lenntech.es, 2019)

Con el tiempo fueron apareciendo nuevas técnicas para la potabilización del agua combinando tratamientos físicos y químicos tales como: Floculación, Decantación, Filtración Cloración y Desinfección, con el tiempo se crearon estándares de calidad de agua potable diferentes en cada país por ejemplo en Colombia según la resolución 2115 de 2007 el agua potable debe cumplir con estas características para ser considerada agua potable:

Tabla 1:  
*Rangos Físico-químicos para el agua potable*

Características	Valores máximos
<u>Físicas</u>	
Color aparente	15
Olor y sabor	Aceptable
Turbiedad	2 NTU
<u>Químicas</u>	
Cloro residual	0.3 a 2.0
pH	6.5 a 9.0
Carbono orgánico total	5.0
Nitritos	0.1
Nitratos	10
Alcalinidad total	200
Cloruros	250
Aluminio	0.2
Dureza total	300
Hierro Total	0.3
Manganeso	0.1
Sulfatos	250.0

**Nota1.** Tabla tomada de la resolución 2115 del 2007.

Sin embargo a pesar de que en Colombia existe una regulación en la materia de agua potable existen múltiples problemáticas que pueden afectar la calidad del agua de maneras insospechada y que son de origen de actividades humanas como son las aguas en hervidas que son vertidas en los ríos, lagos y lagunas directamente sin tratamiento previo o el vertido de residuos industriales y la escorrentía proveniente de campos dedicados a la

agricultura que son tratados con herbicidas y plaguicidas que pueden afectar significativamente la calidad del y la salud de las personas que consumen dicha agua.

Agudelo C, R. (2009).

Existen variedad de químicos que son utilizados en el tratamiento de agua potable siendo el sulfato de aluminio el más utilizado en Colombia y siendo además el sospechoso de causar una variedad de enfermedades, se han desarrollado multitud de coagulantes naturales con el fin de remplazar este compuesto entre ellos se resalta los que serán utilizados en este trabajo como son el mucilago del nopal como coagulante y almidón de yuca como ayudante de floculación.

En este documento se demuestra como el Equipo para estudio de tratamiento fisicoquímico a pequeña escala TA- FQ-005/ PE puede ayudar a generar investigación en el campo de potabilización de agua y tratamiento de aguas residuales simulando condiciones similares a los de las Ptar y Ptap, para esto se procedió a reparar el equipo, calibrar todos sus componentes, darle mantenimiento general y luego se generó una pequeña investigación donde se buscó demostrar si el nopal al trabajar como coagulante aumenta su % de efectividad, al agregar un ayudante de floculación como es el almidón de yuca, luego tras hacer las pruebas de jarras se procedió a probar estos componentes en un flujo continuo similar a una planta real en el equipo a escala y verificar como fue la variación y lectura de los datos que presento el equipo. Y así demostrar la viabilidad del equipo para generar investigación.

### **Planteamiento del problema**

El sulfato de aluminio es uno de los coagulantes químicos más utilizados en el mundo, pero diversas investigaciones han demostrado en ratas que la biodisponibilidad de aluminio aumenta en el tracto digestivo en los grupos sulfatos, y a su vez otros estudios han demostrado que altas concentraciones de aluminio en el cuerpo están asociados a problemas de aprendizaje y neuropatologías (Torrellas, et al 2012). Debido a esto se han buscado diferentes alternativas, entre ellas el uso de coagulantes naturales, los cuales se consideran seguros para la salud humana y menos contaminantes que los químicos debido a su propiedad de biodegradación (Ramírez, Jaramillo 2015)

No obstante, las investigaciones del análisis de la efectividad de nuevos coagulantes o floculantes (tanto de origen natural como químico) para remover material suspendido del agua cruda (principalmente turbiedad y color) se realizan usualmente a través de la prueba de jarras como método para simular las condiciones en las que sería el rendimiento de estos compuestos desestabilizante de material coloidal del efluente en los procesos de coagulación y floculación de una planta de tratamiento de agua potable. Sin embargo, la desventaja principal de esta técnica es que el agua se mantiene estática careciendo de un flujo continuo, lo cual no representa la realidad de un sistema de potabilización de agua, por lo que este tipo de simulaciones no son del todo confiables a la hora de predecir el comportamiento del funcionamiento de una planta real.

La universidad de Cundinamarca posee un laboratorio de agua equipado con múltiples equipos a pequeña escala para la investigación de los diferentes tipos de tratamientos en la potabilización de agua, uno de ellos es el: “Equipo para estudio de

tratamiento fisicoquímico a pequeña escala de referencia TA- FQ-005/ PE Prominet de la empresa Generatoris, S.A.”(Ver Figura 1).

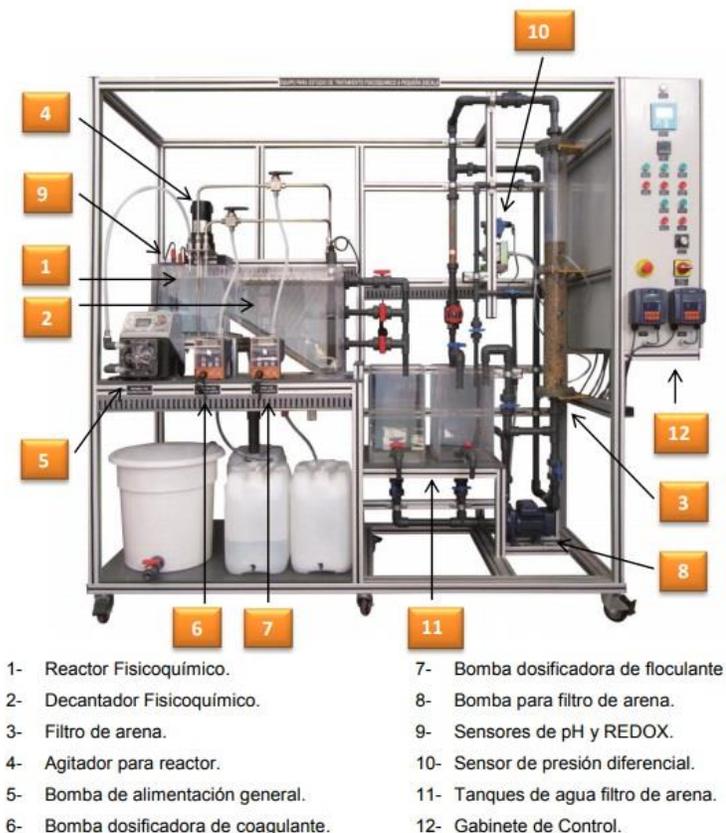


Figura 1. Tomada de: manual técnico equipo para estudio de tratamiento fisicoquímico a pequeña escala ta-fq-005 / pe.

A pesar de esto, el equipo fisicoquímico a pequeña escala TA- FQ-005/ PE constaba de varias fallas, principalmente en las bombas que suministraban el agua problema, el coagulante y ayudante de floculación, siendo que la primera mencionada se encontraba fuera de servicio debido a que es una bomba peristáltica, la cual necesita una manguera que permita el vacío de succión, y está se encontraba rota, y por ende, no podía succionar el agua problema.

Las otras dos bombas son dosificadoras y se encontraban fuera de servicio debido a que no habían sido purgadas en mucho tiempo, y esto les impedía generar fuerza de succión, adicional a esto, debido a que no estaban calibradas no se podía apreciar el caudal de dosificación, esencial para la medición de la dosificación de coagulantes y floculantes, con fines investigativos o académicos. Las tuberías del equipo se encontraban llenas de suciedad debido a la falta de mantenimiento y el filtro de arena nunca había sido limpiado, por ende estaba completamente sucio lo que impedía su correcto funcionamiento, así mismo los sensores de PH, oxido-reducción, turbiedad y temperatura se encontraban descalibrados o fuera de servicio, la sumatoria de todos estos fallos limitaban al equipo a cumplir con su propósito, el cual es simular las condiciones de una planta de tratamiento real y probar en ella diferentes tipos de coagulantes y floculantes para variedad de aguas contaminadas.

### **Justificación**

El equipo para estudio de tratamiento fisicoquímico a pequeña escala TA- FQ-005/ PE tiene un potencial enorme como herramienta para la investigación en el tratamiento de agua, sin importar el origen del agua problema, debido a que en éste se pueden simular las condiciones generales de una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) o de una Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR), controlando variables claves como los caudales de agua problema, concentraciones del coagulante y floculante, además permite observar en tiempo real aspectos claves del agua como lo son pH, potencial oxido reducción, turbiedad y temperatura.

Existen estudios sobre coagulantes o floculantes naturales para remplazar los químicos, que son los más usados en el tratamiento del agua. algunos de ellos con efectividades muy elevadas, uno de estos es el mucilago del nopal.

El nopal (*Opuntia spp*) es una planta de la familia cactácea que es originaria del continente americano, la cual tiene múltiples usos industriales donde resalta su uso como coagulante con una efectividad promedio del 90% de remoción de turbidez (Flores et al, 2006). En Colombia algunas investigaciones relacionadas con la capacidad de remoción de la turbiedad del nopal con respecto al sulfato de aluminio en el rio magdalena a la altura del municipio de Arjona el departamento de bolívar Colombia arrojó una efectividad del 93,25 % del nopal frente a un 99.80 % del sulfato de aluminio. (Olivero, et al, 2013). Sin embargo, en los procesos de tratamiento de agua los ayudantes de floculación también juegan un papel clave.

Los ayudantes de floculación son los coloides que se agregan en las separaciones solido-líquido para ayudar a formar flóculos más pesados, algunos son sintéticos como los derivados de la poliacrilamida (Ramírez, et al 2016). No obstante, también existen ayudantes de floculación de origen natural como: el cadillo, balso, guásimo y el almidón de yuca, los cuales han alcanzado eficiencias del 93.6%, 90.4% y 89.7% respectivamente en procesos de clarificación de jugos de caña (Ortiz, et al 2011). Y el almidón de yuca ha alcanzado en combinación con sulfato de aluminio remociones hasta de 75 % del color y un 78% del color en agua residual domestica (Ortiz,2018).

Sin embargo, no se ha desarrollado un estudio que evalúe la combinación entre el nopal como coagulante y el almidón de yuca como coadyuvante de floculación, lo cual es interesante dado que se trata de una alternativa sostenible que reemplazaría el uso de químicos nocivos en el tratamiento de aguas. Es por ello que con base a los estudios existentes y a la disponibilidad del mencionado equipo a escala de laboratorio, se decidió poner a prueba la combinación de estas sustancias naturales, determinando si existe un aumento en la efectividad en la reducción de la turbiedad del agua cruda. Esta combinación se seleccionó con el fin de contrastar lo convencional, que es clarificar con un coagulante químico y un ayudante de floculación químico o natural, implementando únicamente productos naturales y verificar su rendimiento en la remoción de material suspendido del afluente.

Finalmente, este trabajo de pasantía cumple a cabalidad con todos los propósitos para los que fue creada la planta fisicoquímica a pequeña escala TA- FQ-005/ PE y

genera un precedente de uso de este equipo para fines de investigación, teniendo en cuenta las condiciones de operación y mantenimiento para su uso óptimo.

## **Objetivos**

### **General**

Determinar de efectividad del mucilago de nopal y almidón de yuca como ayudante de floculación en alternativas del tratamiento del agua empleando el Equipo para estudio de tratamiento fisicoquímico a pequeña escala de referencia TA- FQ-005/ PE marca Prominet.

### **Específicos**

- Efectuar extracción de los compuestos activos del nopal como coagulante y el almidón de yuca como ayudante de floculación, según aplique.
- Establecer condiciones de aplicabilidad óptimas de la combinación nopal y almidón de yuca como alternativa de clarificación del agua.
- Evaluar combinación nopal-yuca en el Equipo para estudio de tratamiento fisicoquímico a pequeña escala de referencia TA- FQ-005/ PE marca Prominet.

## Marco Normativo

Tabla 2:  
*Leyes que rigen la potabilización de agua en Colombia*

Ley	Titulo
60 de 1993	Establece el uso de los recursos nacionales transferidos a las territoriales y la Ley 388 de 1997 de Desarrollo Territorial que ordena elaborar planes municipales de ordenamiento territorial.
99 de 1993	Por la cual se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental —SINA— y se dictan otras disposiciones.
142 de 1994	Establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios, así como de actividades que realicen las personas que los presten los servicios.
286 de 1996	Por la cual se modifican parcialmente las Leyes 142 y 143 de 1994.
373 de 1997	Por la cual se establece el Programa del uso eficiente y ahorro del agua.
632 de 2000	Por la cual se modifican parcialmente las Leyes 142 y 143 de 1994, 223 de 1995 y 286 de 1996.
715 de 2001	Por la cual se dictan normas orgánicas en materia de recursos y competencias de conformidad con los artículos 151, 288, 356 y 357 (Acto Legislativo 01 de 2001) de la Constitución Política y se dictan otras disposiciones para organizar la prestación de los servicios de educación y salud, entre otros.

---

**Nota.** Principales leyes que rigen la potabilización de Colombia

Tabla 3:

*Decretos que rigen la potabilización de agua en Colombia.*

Decreto	Título
1350 del 2012	Por el cual se reglamenta el artículo 130 de la ley 1450 de 2011 y se dictan otras disposiciones.
1873 del 2012	Por el cual se reglamenta el artículo 250 de la ley 1450 de 2011 se crea el mecanismo departamental de agua y de los programas regionales.
2246 del 2012	Por el cual se reglamenta el artículo 21 de la ley 1450 de 2011 y se dictan otras disposiciones
0490 del 2013	Por el cual se modifican los artículos 7 y 9 del decreto 1350 del 2012.
3050 del 2013	Por el cual se establecen las condiciones del trámite de las soluciones de viabilidad de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado.
0475 del 2015	Por la cual se reglamenta el artículo 250 de la ley y se dictan otras disposiciones.

**Nota.** Principales Decretos que rigen el agua en Colombia.

Tabla 4:

*Resoluciones que rigen la potabilización de agua en Colombia*

Resoluciones	Título
2115 del 2007	Por el cual se establecen los límites permisibles en el agua potable.
0494 del 2012	Por el cual se establecen los lineamientos para la implementación del programa de conexiones intradomiciliarias de los servicios de acueducto y alcantarillado.
0016 del 2015	Por el cual se definen los requisitos de evaluación, aprobación y seguimiento de proyectos de la línea de agua potable.
0288 del 2015	Por la cual se adopta los lineamientos para la formulación de los programas de prestación de servicio de aseo.
0672 del 2015	Por la cual se adopta la guía de que trata el artículo 2.3 -3.2 – 4.14 del decreto 1077 de 2015

---

Tabla 4

**Nota.** Principales Resoluciones que rigen el agua en Colombia.

## **Metodología**

La Metodología que se desarrolló consta de varias fases, donde se describe los pasos materiales y técnicas que se emplearon para la reparación del Equipo para estudio de tratamiento fisicoquímico a pequeña escala TA- FQ-005/ PE, y así mismo, las técnicas implementadas para la extracción y prueba de coagulante de nopal en combinación con el ayudante de floculación de almidón de yuca, donde se estableció su efectividad juntos, y luego se probaron diferentes combinaciones de caudales de agua problema, coagulante y floculante en el equipo a escala y se midieron valores iniciales y finales de pH y turbiedad.

### **Fase 1: Reparación Del Equipo Para Estudio De Tratamiento Fisicoquímico a Pequeña Escala TA- FQ-005/ PE**

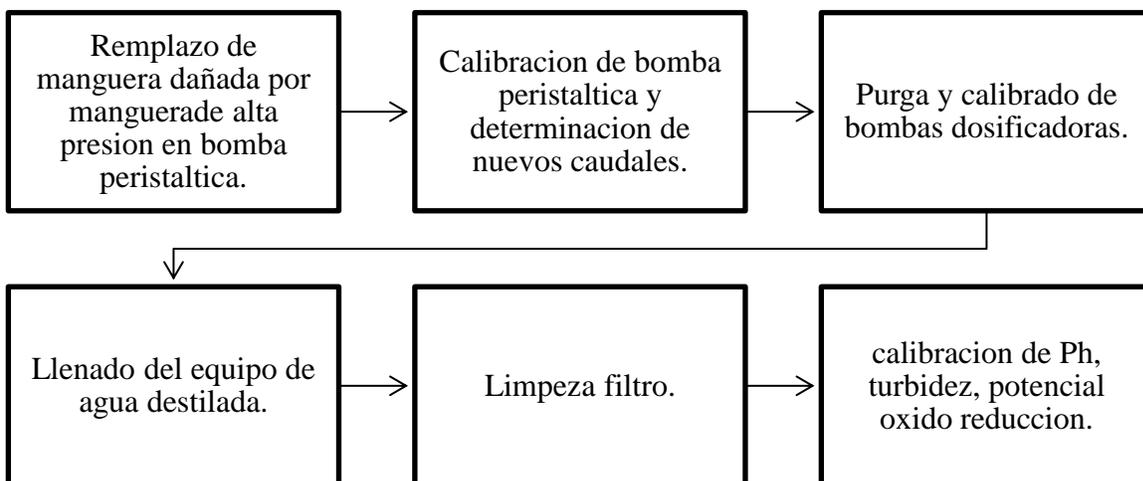
Para reparar la bomba peristáltica se requirió el remplazo de la manguera original, por una de alta presión de ¼” de diámetro y de 20 cm de longitud, la cual fue lubricada con vaselina, de igual manera los rodillos de la bomba y las paredes de la recámara fueron lubricados para garantizar un funcionamiento similar al de la manguera original, luego se calibró la bomba para confirmar los caudales con los que ésta trabajaría con la nueva manguera.

Para ello, las bombas dosificadoras magnéticas fueron purgadas y calibradas y puestas en funcionamiento de nuevo, se hizo recircular agua destilada por todas las tuberías del equipo y por el filtro de arena para limpiar de la suciedad estos componentes.

### Los materiales utilizados para solucionar la problemática antes

#### descrita fueron:

- Manguera de alta presión de ¼" de diámetro con 20 cm de longitud.
- Agua destilada.
- Lubricante.
- Bisturí.
- Beakers de 1000 ml.
- Toallas de secado.



*Figura 2.* Metodología de reparación y mantenimiento del equipo para estudio de tratamiento fisicoquímico a pequeña escala TA- FQ-005/ PE.



*Figura 3.* Bombas dosificadoras siendo calibradas mediante beaker de 1000ml.

## **Fase 2: Extracción Del Mucilago Del nopal (Coagulante) y obtención del almidón de yuca**

- Extracción del mucilago del nopal

La extracción del mucilago del nopal (coagulante) se realizó teniendo en cuenta gran parte de la metodología de Contreras et al. (2015), que fue la siguiente: las pencas del nopal fueron seleccionadas, lavadas y cortadas en cubos para facilitar su trituración en licuadora doméstica, añadiendo agua destilada en proporción 1:2 (p/v). A la mezcla obtenida se le realizó un tratamiento térmico en estufa a 50 ° C durante una hora. Finalizada esta operación se procedió a centrifugar la suspensión a 3500 rpm durante 10 minutos.

El sedimento fue desechado y al sobrenadante se le adicionó etanol (1:4 v/v), y se dejó reposar durante 24 horas en refrigeración a 5 °C, para precipitar el mucílago. El mucílago precipitado se separó por evaporación a 70° C hasta un contenido de humedad de máximo 10 % por ciento. El producto obtenido se pulverizó utilizando un mortero. A diferencia del procedimiento anterior se modificó el filtrado por evaporación.

En la siguiente figura (Figura 4) se esquematiza el proceso de obtención del compuesto activo del nopal,

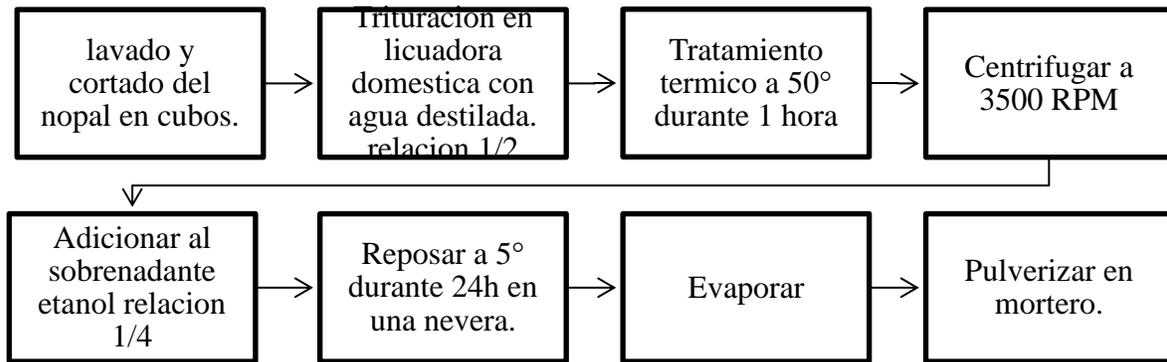


Figura 4.

Metodología de extracción del mucilago del nopal (coagulante).

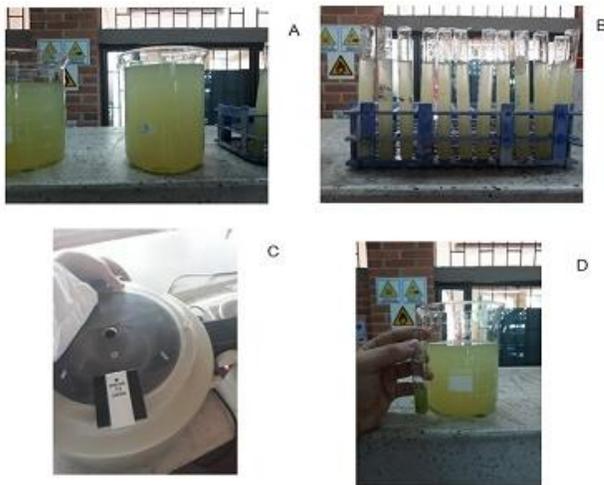


Figura 5. A) antes del centrifugado. B) tubos de ensayo para centrifuga. C) Proceso de centrifugado. Tubos de ensayo en centrifuga. D) sobrenadante en beaker y sedimento en tubo d ensayo.

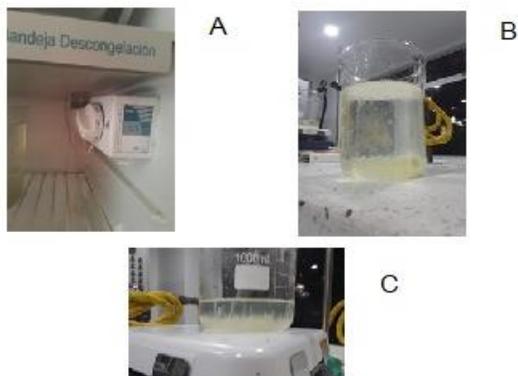


Figura 6. A) Reposo a 5°. B) precipitado luego del reposo. C) Evaporación de etanol.

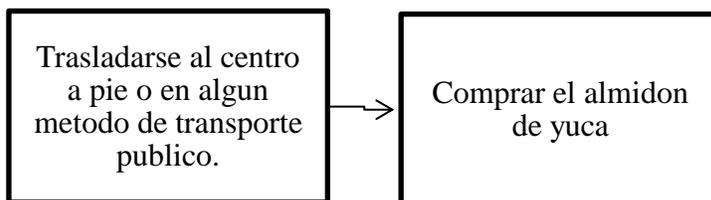
### **materiales y equipos.**

Para la extracción del mucilago del nopal fueron necesarios los siguientes materiales y equipos:

- 7 Beakers de 1000 ml.
- 5 litros de etanol.
- 5 kilos de nopal (*Opuntia ficus-indica*).
- Licuadora casera.
- Cuchillo casero.
- 20 litros de agua destilada.
- Plancha calentadora con termómetro y agitador magnético.
- 24 tubos de ensayo.
- Centrifuga programable.
- Nevera casera de temperatura graduable.
- Filtro o colador.
- Horno.
- Mortero.

### **-Obtención De Almidón De Yuca**

Este fue el insumo más fácil de adquirir, debido a que se obtuvo comprándolo preparado en la plaza de mercado del municipio de Girardot en una salsamentaría.



*Figura 7. Metodología Obtención de almidón de yuca.*

### **materiales y equipos.**

- Bolsa de lona reutilizable.

### **Fase 3: Prueba De Jarras Para La Determinación De Efectividad Del Nopal Como Coagulante Trabajando En Conjunto Con El Almidón De Yuca Como Ayudante de Floculación.**

Para esta etapa del proyecto se realizaron dos muestreos en el río Magdalena a la altura de la ciudad de Girardot, a 1.3 kilómetros aguas abajo donde el río Bogotá vierte sus aguas al río Magdalena, uno en un día lluvioso (23 de abril del 2019) y el otro en día sin precipitación (7 de mayo del 2019). Específicamente el punto de muestreo fue en el embarcadero de la ciudad de Girardot, sobre las coordenadas:



*Figura 8.* Sitio del muestreo estrella amarilla, vista aérea desde Google Heart pro.

521048.14 m E, 474557.27 m N UTM 18 N, donde se tomaron 100 litros de agua problema que se analizaron el mismo día al laboratorio de aguas de la universidad de Cundinamarca. Los parámetros que se evaluaron fueron turbiedad por medio de un turbidímetro portátil y pH con un pHmetro, ambos equipos de marca Hanna.

Se prepararon tres soluciones madres al 1%, la primera de sulfato de aluminio tipo A ( $Al_2(SO_4)_3$ ) como coagulante de referencia, la segunda de mucilago de nopal y la tercera de almidón de yuca. Luego de tener estas soluciones, se realizó la primera prueba de jarras con el sulfato de aluminio para simular el tratamiento químico al agua cruda objeto de estudio; para ello, se emplearon concentraciones de sulfato de aluminio de 25, 35, 50, 80, 100 y 160 mg/L, con una agitación de 100 Rpm durante 1 minuto (mezcla rápida), luego se bajó la velocidad del equipo de jarras a 50 rpm durante 20 minutos (mezcla lenta), y finalmente las muestras se dejaron reposar durante 20 minutos con el equipo de jarras apagado. Al finalizar el test de jarras, se tomaron muestras de agua en cada uno de los vasos de agitación, midiendo turbiedad y pH, obteniendo datos que se compararon con los valores iniciales de estos dos parámetros mediante la siguiente relación que establece el porcentaje de remoción de cada coagulante y floculante empleado, respectivamente:

$$Remoción = \left( \frac{T_i - T_f}{T_i} \right) * 100\%$$

.....Figura 9. Fórmula utilizada para determinar el porcentaje de reducción de la turbiedad Donde:  $T_i$  = turbidez inicial,  $T_f$  = turbidez final



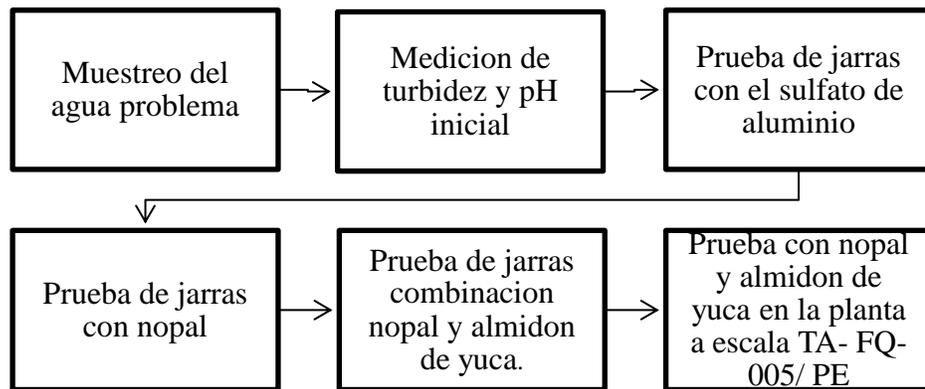
Figura10.A) Solución madre Nopal al 1%. B) Prueba de jarras Nopal.

La prueba de jarras se realizó exactamente igual con el nopal, sólo con la variación de la concentración que se utilizaron en cada jarra y se analizaron 2 jarras adicionales. las concentraciones empleadas fueron las siguientes concentraciones: la primera fue de 1,5 ml/L, la segunda 2,5 ml/L, la tercera 3,5 ml/L, la cuarta 4,5 ml/L, la quinta 5,5 ml/L, la sexta 7 ml/L, la séptima de 10 ml/L y la octava de 15 ml/L. Luego se determinó la dosis óptima del nopal y se aplicó nuevamente en 6 jarras, en combinación con el almidón de yuca como ayudante de floculación para verificar si el almidón de yuca aumentaba la efectividad del nopal como coagulante, la combinación se dio en las siguientes proporciones, las cuales fueron instituidas teniendo en cuenta el estudio realizado por (SOLÍS et al. (2012):

1. 93 % nopal: 7% almidón de yuca.
2. 85 % nopal: 15% almidón de yuca.
3. 75% nopal: 25% almidón de yuca.
4. 72% nopal: 27% almidón de yuca.
5. 67% nopal: 33% almidón de yuca.
6. 60% nopal: 40% almidón de yuca.

Este procedimiento se realizó en los dos periodos de estudio (húmedo y seco). Finalmente, se evaluaron las combinaciones del coagulante y floculante natural en el equipo TA- FQ-005/ PE siguiendo su manual práctico, que consistió en la variación de caudales de bombeo de agua cruda, solución del coagulante y del floculante durante 60 minutos, midiendo turbiedad al inicio y al final del proceso, con el fin de simular las condiciones reales de una planta de tratamiento de agua. Los caudales de coagulante

variaron entre 0.3 a 3 L/h, el caudal de floculante entre 0.1 y 2 L/h, y el del agua problema entre 5 a 12 L/h. en todas las variaciones se manejó una solución madre al 1% tanto para el coagulante como para el floculante. En la figura 17 se esquematiza el proceso de evaluación de la efectividad de los coagulantes y floculantes que se llevó a cabo en el laboratorio,



*Figura 11.* Metodología de la prueba de jarras para la determinación de efectividad del nopal como coagulante trabajando en conjunto con el almidón de yuca como ayudante de floculación.

Los materiales y equipos que se requirieron para esta fase de laboratorio fueron:

- 30 g de mucilago de nopal.
- 100 gramos de sulfato de aluminio tipo A.
- 2 barriles de 50 litros.
- Transporte.
- Turbidímetro portátil calibrado.
- pHmetro portátil calibrado.
- Equipo de prueba de jarras.
- 7 Beakers de 1000 ml.
- 4 Beakers de 250 ml.

- 3 espátulas.
- 1 vidrio reloj.
- Balanza.
- 6 pipeteadores.
- Agitadores.
- el equipo TA- FQ-005/ PE.

## Resultados

La siguiente tabla muestra los resultados de la prueba de control con sulfato de aluminio:

Tabla 5:

### *Prueba control sulfato de aluminio*

Dosis Mg/L	pH inicial	Turbiedad inicial (UNT)	pH final	Turbiedad final (UNT)	%Efectividad
25	7,8	316	6,1	6,1	98,07
35	7,8	316	5,9	5,9	98,13
50	7,8	316	5,9	5,9	98,13
80	7,8	316	4,2	4,2	98,67
100	7,8	316	4,3	4,3	98,64
160	7,8	316	4	4	98,73

**Nota.** Solo se realizó una prueba de jarras con sulfato de aluminio y fue el día de lluvia. En el segundo muestreo no se consideró necesario debido a que ya es ampliamente conocida la efectividad de este coagulante químico.

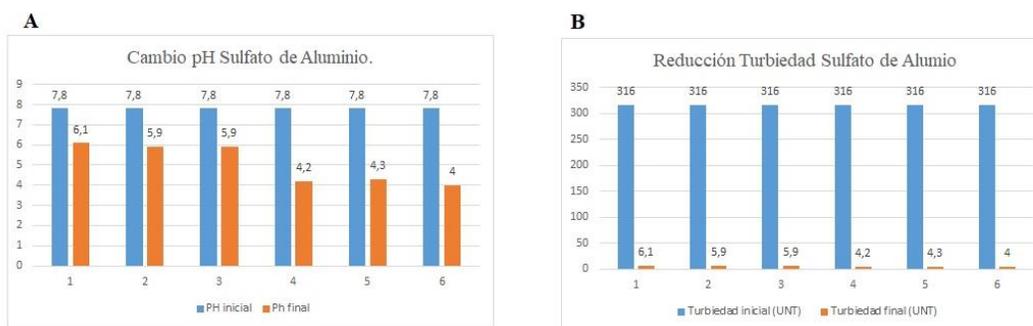


Figura 12. Gráfica A) variaciones del pH sulfato de aluminio. B) Gráfica B reducción turbiedad con el sulfato de aluminio.

En la prueba de referencia con sulfato de aluminio como coagulante, la efectividad promedio fue de 98,4% (Ver Tabla 5) con una desviación estándar de 0,3% indicando que los datos fueron homogéneos y representado altas remociones esperadas al tratarse del coagulante químico más usado en el mundo. Sin embargo, esta eficiencia si bien es alta, genera problemas de pH, dado que las sales de aluminio tienden a reaccionar con la alcalinidad del agua, lo cual es una desventaja en el proceso de potabilización de

agua debido a que se requerirán alcalinizantes para corregir este inconveniente, implicando un costo asociado a sustancias químicas y estructuras para su aplicación en el sistema de tratamiento. En la figura 12 (a) logra observarse que el afluente (agua cruda) presentó un pH de 7,8, que cumple con la normatividad colombiana de agua potable, y luego de la aplicación del sulfato de aluminio el pH descendió en un rango entre 4 y 6,1, presentándose los valores más bajos con las dosis mayores de este coagulante químico, incumpliendo en todos los casos lo estipulado en la Resolución 2115 de 2012, que establece que el pH para agua de consumo humano debe oscilar entre 6,5 y 9.

Tabla 6:  
*Prueba Mucilago nopal día lluvia*

Dosis mg/L	pH inicial	Turbiedad inicial (UNT)	pH final	Turbiedad final (UNT)	%Efectividad
15	7,8	316	6,3	229	27,53
25	7,8	316	6,5	216	31,65
35	7,8	316	6,6	205	35,13
45	7,8	316	6,4	215	31,96
55	7,8	316	6,5	208	34,18
70	7,8	316	6,7	197	37,66
100	7,8	316	6,9	78	75,32
150	7,8	316	6,8	84	73,42

**Nota.** Esta fue la primera prueba de jarras con el mucilago del Nopal el día de lluvia donde se establecieron las dosis y las efectividades del nopal.

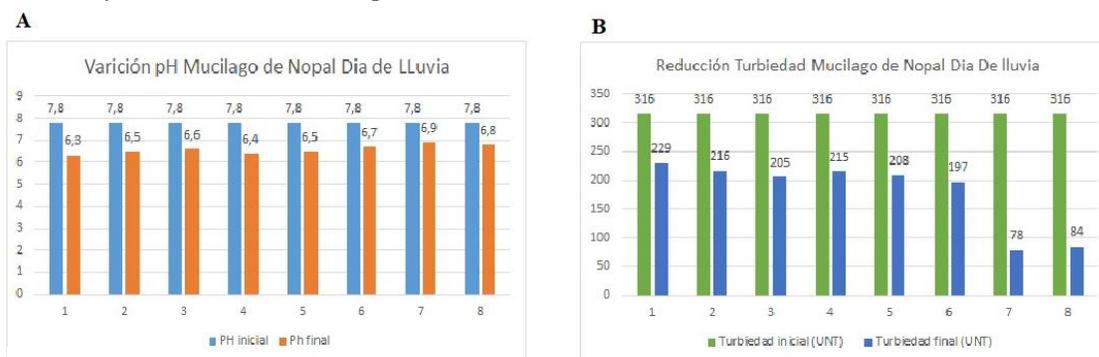


Figura 13. Resultados prueba de jarras con mucilago de nopal en día lluvioso. A) variación de pH

Mucilago de nopal. B) Reducción de Turbiedad mucilago de Nopal.

Tabla 7:

*Prueba Mucilago nopal día seco*

Dosis mg/L	pH inicial	Turbiedad inicial (UNT)	pH final	Turbiedad final (UNT)	% Efectividad
15	7,4	80	6,3	33,6	58,00
25	7,4	80	6,4	31,7	60,38
35	7,4	80	6,6	32,1	59,88
45	7,4	80	6,5	32,7	59,13
55	7,4	80	6,7	34,3	57,13
70	7,4	80	6,3	35,04	56,20
100	7,4	80	6,5	37,5	53,13
150	7,4	80	6,7	37,72	52,85

**Nota.** Estos son los resultados de la prueba de jarras con el mucilago del Nopal en día seco donde se establecieron las dosis y las efectividades del nopal seco.

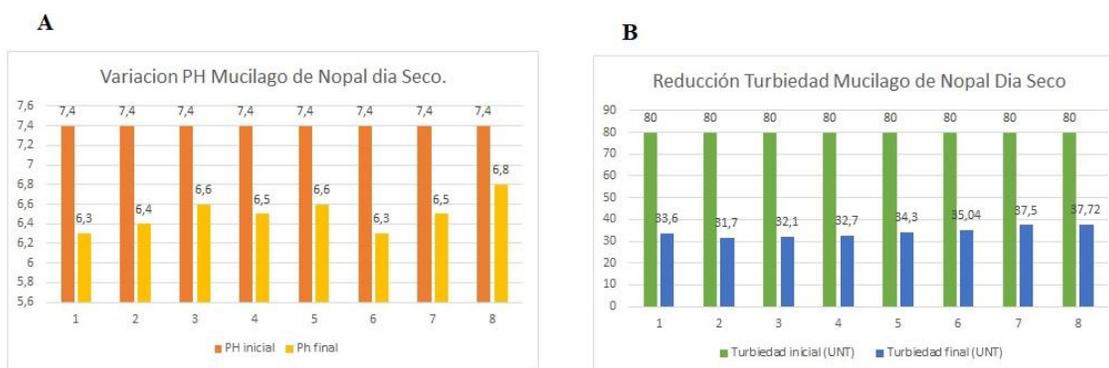


Figura 14. Resultados prueba de jarras con mucilago de nopal en día seco. A) variación de pH Mucilago de nopal. B) Reducción de Turbiedad mucilago de Nopal

Por el contrario, los resultados de la prueba de jarras con el mucilago de Nopal en día de lluvia muestran que la variaciones de pH fueron mínimas (Ver Tabla 6) y se mantuvieron dentro de la norma (ver tabla 1), con la excepción de la primera dosis, sin embargo en la reducción de turbiedad el mucilago tuvo una capacidad de remoción pobre en concentraciones menores a 100mg/L y reducciones aceptables en concentraciones

superiores o iguales a 100mg/L, ninguna concentración de mucilago logró disminuir la turbiedad hasta estar dentro del límite permisible.

En la segunda prueba con el mucilago de nopal en Día seco se confirma que las variaciones de pH son mínimas y tienden a mantenerse dentro de la norma (ver tabla 1), un dato que coincide por lo encontrado por Olivero, et al. (2014) en su investigación sobre la utilización de tuna como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. Sin embargo, se presentó un aumento en la media de la reducción de turbidez (ver tabla 8), de igual manera la reducción de la turbidez en ninguna de las dos pruebas logró estar dentro de la norma, lo que contrasta con lo encontrado por Olivero, et al, (2013) donde alcanzaba reducciones de la turbiedad de hasta el 93%, sin embargo, cabe resaltar que el método que se empleó para la extracción del mucilago de nopal fue diferente, y esto muy probablemente afectó de manera significativa el resultado final (efectividad del coagulante).

Tabla 8:  
Pruebas Mucilago nopal y almidón de yuca

	% combinación	Dosis mg/L	pH inicial	Turbiedad inicial (UNT)	pH final	Turbiedad final (UNT)	% Efectividad
Día lluvia	Nopal 93 almidón 7%	Nopal 6,5 almidón 0,5	7,8	316	6,3	200	36,71
	Nopal 85% almidón 15%	Nopal 6 almidón 1	7,8	316	6,5	208	34,18
	Nopal 75% almidón 25%	Nopal 5,2 almidón 1,8	7,8	316	6,6	180	43,04
	Nopal 72% almidón 27%	Nopal 5,1 almidón 1,9	7,8	316	6,4	186	41,14
	Nopal 67% almidón 33%	Nopal 4,7 almidón 2,3	7,8	316	6,5	167	47,15
	Nopal 60% almidón 40%	Nopal 4,2 almidón 2,6	7,8	316	6,7	210	33,54
Día seco	Nopal 93% almidón 7%	Nopal 2,3 almidón 0,2	7,4	80	6,3	29,5	63,13
	Nopal 85% almidón 15%	Nopal 2,1 almidón 0,4	7,4	80	6,5	26,37	67,04
	Nopal 75% almidón 25%	Nopal 1,8 almidón 0,7	7,4	80	6,6	26,7	66,63
	Nopal 72% almidón 27%	Nopal 1,7 almidón 0,8	7,4	80	6,4	26,5	66,88
	Nopal 67% almidón 33%	Nopal 1,6 almidón 0,9	7,4	80	6,5	26	67,50
	Nopal 60% almidón 40%	Nopal 1,5 almidón 1	7,4	80	6,7	27,3	65,88

**Nota.** Resultado de pruebas Nopal-almidón tanto en Día de lluvia como en día seco.

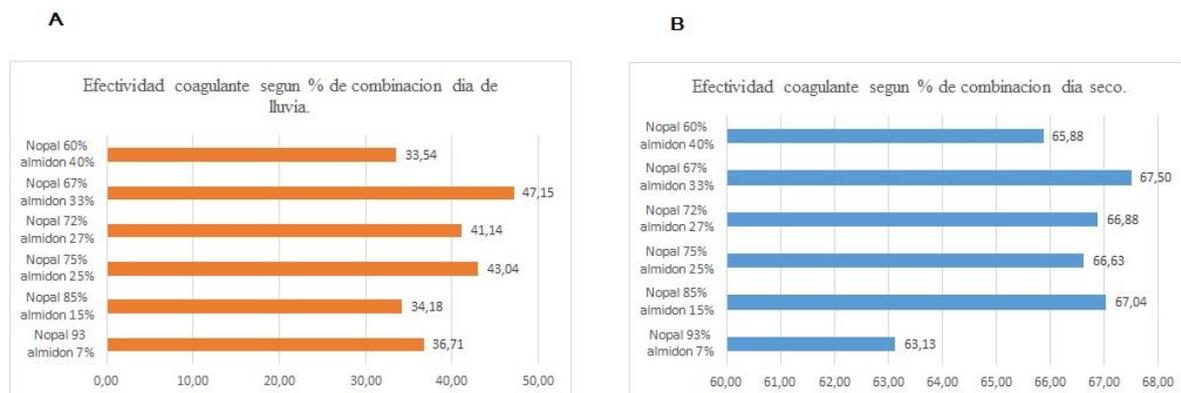


Figura 15. Comparación de efectividades según el porcentaje de combinación, A) día de lluvia. B) Día Seco.

Los resultados de las pruebas en combinación son los que resultan más interesantes debido a que corroboran que un ayudante de floculación como lo es el almidón de yuca, aumenta la efectividad del mucilago de nopal como coagulante en procesos de clarificación de agua sin afectar severamente el pH del agua a tratar, adicional a esto se puede observar en la figura 14, una similitud en las dos pruebas cuando se empleó la combinación 67% nopal y 33% almidón de yuca, la cual resulta en los dos casos con un % de efectividad mayor que el resto de combinaciones, 47,15% en la primera prueba y 67,5% en la segunda.

Tabla 9:

Prueba en equipo Para Estudio De Tratamiento Físicoquímico a Pequeña Escala.

Turbiedad inicial (UNT)	pH inicial	Q (Agua problema) L/h	Q(coagulan te) L/h	Q(floculan te)L/h	Turbiedad final (UNT)	pH final
80	7,4	10	0,7	0,5	54	6,5
80	7,4	5	0,4	0,1	47	6,8
80	7,4	8	0,3	1	61	6,4
80	7,4	12	3	2	75	6,6

**Nota.** Resultados de prueba combinación equipo-físicoquímico.

Los resultados de la prueba usando la combinación Nopal-almidón en el equipo Para Estudio De Tratamiento Físicoquímico a Pequeña Escala (ver en tabla 10) no arrojaron grandes diferencias con respecto a la prueba de jarras, sin embargo la reducción de efectividad de la combinación nopal-almidón fue relativamente baja, esto tal vez debido a que los caudales manejados eran desproporcionados a las dosis utilizadas de coagulante y floculante, además que el tiempo para cada variación de caudales fue de tan solo 20 minutos.

A pesar de esto la variación, de pH se mantuvo dentro de los rangos ya previamente establecidos por la prueba de jarras, confirmando que el almidón de yuca como coadyuvante de floculación combinado con el nopal no acidifica el agua a diferencia del sulfato de aluminio, lo cual es una ventaja al no requerir de procesos adicionales para neutralizar el agua, aspecto necesario para no dañar las estructuras de tratamiento de agua, además de los otros beneficios socio-ambientales que estos compuestos naturales brindan, tales como: bajo costo, seguros para la salud humana, biodegradables, entre otros. (Lugo & Lugo, 2018).

## Conclusiones

A partir del desarrollo de este proyecto de pasantía se logró concluir lo siguiente:

El nopal trabajando con almidón de yuca en una concentración al 1% y una relación 67% y 33%, respectivamente, aumenta su efectividad un promedio de 8.5%, estas concentraciones empleadas para el coagulante sólo (nopal) y combinado con el floculante (almidón de yuca) no presentaron remociones altas, y en especial a la reportada por el nopal que ha logrado remover el 90% del material suspendido del agua cruda. Esto puede ser debido a la forma de extraer el compuesto activo del nopal, que en este trabajo fue diferente a la que se reportó en diversos manuscritos científicos, por lo que un estudio adicional que evalúe este aspecto sería muy pertinente.

El almidón de yuca como ayudante de floculación aumenta la efectividad del nopal como coagulante, sin embargo este no aumenta la efectividad del nopal en una proporción que sea significativa, como para considerar la combinación viable en procesos de purificación de agua.

Por otro lado, tanto el mucilago nopal solo, como en solución con el almidón de yuca no afectaron de manera significativa el pH manteniendo valores dentro de la norma, una ventaja sobre el sulfato de aluminio, el cual acidificó el agua, lo cual es una desventaja frente a los naturales debido a que requiere soluciones neutralizantes, que significaría un costo adicional.

Finalmente, el equipo para estudio de tratamiento fisicoquímico a pequeña escala de referencia TA- FQ-005/ PE marca Prominet puede recrear en tiempo real las

condiciones físico-químicas de una planta de tratamiento de agua y medir variables de calidad de agua en el instante variando condiciones de operación de este aparato y de esta manera, estudiar el efecto de estas sobre el agua a tratar, por lo tanto es importante que sea considerado una herramienta importante en el desarrollo de prácticas académicas e investigaciones tanto para la Universidad de Cundinamarca como para el contexto colombiano en general.

**Presupuesto**

Tabla 10:  
*Presupuesto*

Rubro	Costo
1.Nopal 10 kilos	\$50,000.00
2.Almidón de yuca 2 kilos	\$5,000.00
3.Sulfato de aluminio	\$10,000.00
4.Transporte	\$20,000.00
5.Manguera alta presión ¼”	\$30,000.00
6.Vaselina (lubricante)	\$15,000.00
Total:	130,000.00

**Nota.** Este es el presupuesto que se manejó a lo largo del proyecto.

### **Recomendaciones**

Con base en la ejecución de esta pasantía se recomienda lo siguiente:

1. Mejorar el método de extracción del mucilago de nopal debido a que el utilizado fue ineficiente y largo, lo que aumentó los costos y el tiempo del proyecto.
2. En un futuro trabajo se requiere concentraciones superiores al 5% de la solución madre del nopal para evaluar si con este cambio se lograría aumentar su efectividad como coagulante.
3. Se debe probar el equipo físico-químico a escala con otros coagulantes y ayudantes de floculación naturales en el equipo TA- FQ-005/ PE para corroborar su importancia como herramienta de investigación.
4. Se sugiere un estudio comparativo de la forma de extraer el compuesto activo, con el fin de determinar si esta afecta el rendimiento tanto del nopal como coagulante, así como combinado con el almidón de yuca o con cualquier otro compuesto natural con potencial de ser usado como coadyuvante de floculación.

## Referencias

- Agudelo C, R. (2009). El agua, recurso estratégico del siglo XXI. Facultad Nacional de Salud Pública, 23(1). Recuperado de <http://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/fnsp/article/view/522/457>
- Contreras Lozano, Karen Paola, Mendoza, Jairo, Yelitza Aguas, Salcedo Mendoza, Guadalupe, Olivero Verbel, Rafael, & Mendoza Ortega, Gean Pablo. (2015). El Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua. *Producción + Limpia*, 10(1), 40-50. Retrieved April 28, 2019, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-04552015000100004&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552015000100004&lng=en&tlng=es).
- Flores, A., Acosta, G., Murillo, B., Trejo, R. y Arreola, J. (2006). Evaluación preliminar de la reserva del nopal (*Opuntia ssp*) en la región Laguna-Chihuahua. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, (2), 191-192.
- Lenntech.es. (2019). *Historia del tratamiento del agua*. [online] Available at: <https://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/historia/historia-tratamiento-agua-potable.htm> [Accessed 29 Mar. 2019].
- Lugo, J., & Lugo, E. (2018). Beneficios socio ambientales por potabilización del agua en los pueblos palafíticos de la Ciénaga Grande de Santa Marta-Colombia. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 21(1), 259-264.
- Olivero Verbel, Rafael Enrique, Mercado Martínez, Iván Darío, & Montes Gazabón, Luz Elena. (2013). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. *Producción + Limpia*, 8(1), 19-27. Retrieved May 21, 2019, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-04552013000100003&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552013000100003&lng=en&tlng=es).
- Ortiz G, Carlos Alberto, Solano C, Deiby Julian, Villada C, Héctor Samuel, Mosquera, Silvio Andrés, & Velasco M, Reinaldo. (2011). Extracción y secado de floculantes naturales usados en la clarificación de jugos de caña. *Biología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9(2), 32-40. Retrieved May 21, 2019, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-35612011000200004&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612011000200004&lng=en&tlng=es).

- Ortiz Alcocer Víctor, Gaspar López Ocaña Gaspar, Torres Balcazar Carlos Alberto, Liliana Pampillón González (2018). Almidón de yuca (*manihot esculenta* crantz) como coadyuvante en la coagulación floculación de aguas residuales domésticas . ciba revista iberoamericana de las ciencias biológicas y agropecuarias
- Olivero Verbe, R., Aguas Mendoza, Y. del, Mercado Martínez, I., Casas Camargo, D., & Montes Gazabón, L. (2014). Utilización de Tuna (*opuntia ficus-indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. *Avances: Investigación En Ingeniería*, 11(1), 70-75. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.302>
- Ramírez Arcila, H., & Jaramillo Peralta, J. (2016). Agentes Naturales como Alternativa para el Tratamiento del Agua. *Revista Facultad De Ciencias Básicas*, 11(2), 136-153. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1303>
- Ramírez, H., & Jaramillo, J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Rev. Facultad de Ciencias Básicas*, 11(2), 136-153
- Solís silvan, Rudy, Laines Canepa, José Ramón, & Hernández Barajas, José Roberto. (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28(3), 229-236. Recuperado en 22 de mayo de 2019, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992012000300005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000300005&lng=es&tlng=es).
- Torrellas Hidalgo, R. (2012). La exposición al aluminio y su relación con el ambiente y la salud. *Tecnogestión: Una Mirada Al Ambiente*, 9(1). Recuperado a partir de <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/tecges/article/view/5646>

