

**EVALUACIÓN DE LA *OPUNTIA FICUS INDICA* (CACTUS)
COMO COAGULANTE NATURAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE DE LA EMPRESA EMSERVILLA EN EL MUNICIPIO DE UBATÉ**

**LUIS GABRIEL CACERES DURAN
LAURA XIMENA CASTIBLANCO MOLINA**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2020**

**EVALUACIÓN DE LA *OPUNTIA FICUS INDICA* (CACTUS)
COMO COAGULANTE NATURAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE DE LA EMPRESA EMSERVILLA EN EL MUNICIPIO DE UBATÉ**

**LUIS GABRIEL CACERES DURAN
LAURA XIMENA CASTIBLANCO MOLINA**

**Proyecto Integral de Grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO**

**Director,
ANGIE TATIANA ORTEGA
Ing. Química y de petróleos**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2020**

NOTA DE ACEPTACION:

Ing. Jaime Eduardo Arturo Calvache
Jurado 1.

Ing. Orlando Castiblanco Urrego
Jurado 2.

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente Institucional de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dr. María Claudia Aponte González

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretaria General

Dr. Alexandra Mejía Guzmán

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Programa de Ingeniería Química

Ing. Iván Ramírez Marín

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables de los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a las personas más importantes en mi vida. A Dios por acompañarme en este camino de aprendizaje por ser mi fortaleza todos los días, por cuidarme y cuidar de mis seres queridos.

A Mi padre Carlos Arturo Castiblanco por apoyarme tanto en lo económico como en lo personal todos los días de su vida por ser un padre trabajador, humilde y por ser emprendedor. Por la paciencia que tiene conmigo. A mi Madre Luz Miriam Molina por ser mi apoyo y mi fortaleza por enseñarme a ver la vida con ojos de alegría. Además, por ser tan paciente se merece todo lo mejor por parte de nosotros sus hijos. Hoy mis padres son el pilar de que hoy pueda estar escribiendo este proyecto. A mi abuela Carmen Charari por ser tan especial conmigo y darme los mejores consejos. Finalmente, a mi hermano Juan por querer todo lo mejor para nosotras, y a mis hermanas Carolina, Sara, Natalia por ser tolerantes conmigo. Están en mi corazón.

A mi novio Daniel Duarte, por su tiempo, por su apoyo y cariño, por su amor incondicional, por motivarme y ayudarme a culminar este proyecto. Gracias por todo.

A Betsabe Charari y a su Esposo Héctor Sánchez y sus hijas por la ayuda brindada a lo largo de este tiempo y por la paciencia y cariño que tuvieron conmigo.

A cada uno de ustedes, gracias por todo los momentos compartidos, siempre estarán en mi memoria y corazón. Por ayudarme a crecer personalmente y profesional.

LAURA XIMENA CASTIBLANCO MOLINA.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a las personas más importantes en mi vida. A mi padre Luis Gabriel Cáceres Corredor por siempre apoyarme en cualquier situación a la que me enfrente. A mi madre Martha Ligia Durán Bello por formarme como soy hoy en día. A mi hermana Vanessa Cáceres Durán por siempre escucharme y darme ánimos. A mi hermana Luisa Fernanda Cáceres Durán por entenderme y amarme siempre. A mi sobrino Martín Cáceres por recordarme que todo lo que hago es por él.

A Laura Ximena Castiblanco por apoyarme en esta travesía, ya que sin ella este trabajo no sería posible.

A Ana María Siachoque Velandia por ser la voz que siempre me guía y me acompaña en todo momento.

A Cristian Camilo Becerra Gómez por enseñarme lo que significa una amistad verdadera.

A Claudia Cañón por presionarme cada vez que perdía la noción de mis objetivos.

A Angie Tatiana Ortega por ser la mejor directora que un trabajo de grado pueda tener.

Por último, agradezco a la Universidad de América y todo su personal por permitir formarme como Ingeniero Químico e Ingeniero de Petróleos brindando siempre una educación de calidad.

LUIS GABRIEL CÁCERES DURÁN

AGRADECIMIENTOS

En este proyecto de trabajo grado los autores desean mostrar su agradecimiento a:

A la Empresa Emservilla S.A por facilitarnos la recolección de información. De igual manera al Ingeniero Santiago Rincón Caicedo jefe de departamento de acueducto y Alcantarillado por permitir realizar el proyecto en las instalaciones de la planta y al operario Mario Salazar por la disposición y la colaboración prestada para la ejecución de este.

A la Ingeniera Química y de Petróleos Angie Ortega Ramírez por su aporte, conocimiento, colaboración, apoyo, asesoría por la experiencia en la ejecución, elaboración, seguimiento en el proyecto de grado.

A Cada una de nuestras familias por la motivación en lo humano y económico brindado. Por ser nuestro apoyo emocional.

A La Universidad de América por la excelente formación educativa y social como Ingenieros Químicos por brindarnos el espacio adecuado para llevar a cabo las investigaciones necesarias para la ejecución del proyecto.

CONTENIDO

	pág
RESUMEN	18
INTRODUCCIÓN	18
OBJETIVOS	20
1 MARCO TEÓRICO	21
1.1 PROCESOS DE POTABILIZACIÓN DE AGUA	21
1.1.1 Etapas en el proceso de potabilización	21
1.1.2 Características de agua potable	25
1.1.3 Prueba de jarras	26
1.2 COAGULANTES NATURALES	26
1.2.1 <i>Opuntia Ficus Indica</i>	27
1.2.2 Composición y propiedades de la <i>Opuntia Ficus Indica</i>	27
1.2.3 <i>Opuntia Ficus Indica</i> como coagulante natural	28
1.2.4 Eficiencia de la <i>Opuntia Ficus Indica</i> como coagulante natural	28
1.2.5 Mecanismos de coagulación	29
1.2.6 Pectina como macromolécula	30
2 DIAGNÓSTICO	31
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA EMSERVILLA S.A	32
2.2 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE EMSERVILLA	34
2.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA EMPRESA DE POTABILIZADORA	35
2.4 PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	38
2.4.1 Captación del agua cruda	38
2.4.2 Coagulación	39
2.4.3 Floculación	40
2.4.4 Sedimentación	40
2.4.5 Filtración	41
2.4.6 Desinfección	42

3	PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DEL COAGULANTE NATURAL	44
3.1	LOCALIZACIÓN DE <i>OPUNTIA FICUS INDICA</i> EN COLOMBIA	45
3.2	CARACTERIZACIÓN DE <i>OPUNTIA</i> COMO COAGULANTE NATURAL	46
3.3	OBTENCIÓN DE COAGULANTE NATURAL	49
3.3.1	Obtención de coagulante natural en estado Líquido	50
3.3.2	Obtención de coagulante natural en estado Sólido	53
3.4	SELECCIÓN DE DOSIS DE LA <i>OPUNTIA FICUS INDICA</i>	56
3.4.1	Justificación de la matriz bibliográfica	60
3.4.2	Casos de estudio seleccionados	60
3.4.3	Equipos Utilizados	63
4	ANÁLISIS DE COSTOS DE COAGULANTE NATURAL	66
4.1	COSTOS DE LA OPERACIÓN ACTUAL EN LA PLANTA	67
4.2	ANÁLISIS DE COSTOS COAGULANTE NATURAL	69
4.2.1	Análisis de costos coagulante natural sólido <i>Opuntia Ficus Indica</i>	70
4.2.2	Análisis de costos coagulante natural líquido <i>Opuntia Ficus Indica</i>	71
4.3	VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE COAGULANTE NATURAL	72
4.3.1	Disponibilidad real del Cactus	74
5	CONCLUSIONES	76
6	RECOMENDACIONES	77
	BIBLIOGRAFÍA	78

LISTA DE IMÁGENES

	pág
Figura 1. Diagrama del Tratamiento de agua	22
Figura 2. Cargas electronegativas	23
Figura 3. Estructura básica de la pectina	30
Figura 4. Ubicación Geografía Ubaté	31
Figura 5. Ubicación Planta de tratamiento de agua	33
Figura 6. Diagrama PFD Planta de tratamiento de agua potable Ubaté	36
Figura 7. Corrientes de entrada y salida PTAP	37
Figura 8. Cámara de Llegada y Mezcla Rápida	39
Figura 9. Floculación	40
Figura 10. Sedimentación en la planta	41
Figura 11. Filtro de la PTAP	42
Figura 12. Pipetas de Cloro	42
Figura 13. Morfología del cladodio en <i>Opuntia Ficus Indica</i>	44
Figura 14. Muestreo Teórico del <i>Opuntia</i>	45
Figura 15. Caracterización de cactus recolectado	46
Figura 16. Representación del Ácido Galacturónico	47
Figura 17. Diagrama PFD de extracción de coagulante natural líquido	50
Figura 18. Balances de Masa del coagulante líquido y nomenclatura	51
Figura 19. Diagrama de extracción de coagulante natural sólido	53
Figura 20. Balance de Masa y Nomenclatura del coagulante sólido	54
Figura 21. Efecto de la turbidez inicial en la remoción de la misma	56
Figura 22. Formación de Floccs	62

LISTA DE TABLAS

	pág
Tabla 1. Principales Características físicas y químicas del agua	25
Tabla 2. Análisis elemental (%) del mucilago de la <i>Opuntia Ficus Indica</i>	27
Tabla 3. Distribución de azúcares de la <i>Opuntia Ficus Indica</i>	28
Tabla 4. Control de Calidad Agua cruda	35
Tabla 5. Control de Calidad Agua Tratada	35
Tabla 6. Líneas de aducción	39
Tabla 7. Caracterización bibliográfica del cactus	48
Tabla 8. Matriz bibliográfica del <i>OFI</i>	57
Tabla 9. Casos de estudio	61
Tabla 10. Porcentaje de remoción de otros coagulantes sólidos	66
Tabla 11. Flujo de Caja	68
Tabla 12. Perdidas en la obtención del Coagulante Natural Sólido	70
Tabla 13. Comparación de coagulantes	73
Tabla 14. Coagulante natural líquido vs Coagulante actual	73
Tabla 15. Área Cultivada de Cactus	74

LISTA DE CUADROS

	pág
Cuadro 1. Coagulantes Naturales	26
Cuadro 2. Zonas del sedimentador	41
Cuadro 3. Equipos sugeridos para la elaboración del coagulante líquido	63
Cuadro 4. Equipos sugeridos para el coagulante sólido	64
Cuadro 5. Cotización <i>Opuntia Ficus Indica</i>	69

LISTA DE ECUACIONES

	pág
Ecuación 1. Porcentaje de turbidez	62
Ecuación 2. Rendimiento Coagulante Sólido	70
Ecuación 3. Costo de Tratamiento de agua con Coagulante Natural Sólido	71
Ecuación 4. Costo de Tratamiento de agua con Coagulante Natural Líquido	72

LISTA DE ANEXOS

	pág
Anexo A. Provisión mensual en nomina	85
Anexo B. Cotización de productos químicos	86
Anexo C. Cotización de <i>Opuntia Ficus Indica</i>	87

LISTA DE SIMBOLOS

Magnitud	Nombre	Símbolo	Unidades Internacionales
Longitud	Centímetro	cm	0.01m
Longitud	Nanómetro	nm	10 ⁻⁹ m
Abreviatura	Planta de tratamiento de agua potable	PTAP	–
Abreviatura	Opuntia Ficus Indica	OFI	–
Volumen	Volumen/Volumen	v/v	m ³
Longitud	Micrómetro	µm	10 ⁻³ m
Abreviatura	Unidades Nefelométricas de turbidez	NTU	–
Masa	Kilogramo	Kg	1 kg
Masa/tiempo	Libra/día	Lb/día	0.453592/dia
Abreviatura	Potencial de Hidrogeno	pH	–
Abreviatura	Grados Kelvin	°K	°K
Longitud	Metro	m	m
Longitud	Pulgada	in	24.50mm
Masa	Miligramo/gramo	mg/g	mg/g
Masa	Miligramo/Litro	mg/L	mg/L
Frecuencia	Revolución por minuto	rpm	rpm
Concentración	Partes por millón	ppm	ppm
Abreviatura	Policloruro de Aluminio	PAC	–
Abreviatura	Pesos Colombianos	COP	\$
Volumen	Litro	L	1L
Masa	Masa inicial de la materia prima	Mi	kg
Masa	Dosis Optima del coagulante	C	mg/l
Masa	Masa del Coagulante Obtenido	Mo	mg
Abreviatura	Costo de la materia prima	CMP	COP/kg
Abreviatura	Rendimiento de Coagulante líquido	RCL	mL/mg
Abreviatura	Turbidez Inicial	Tc	NTU
Abreviatura	Turbidez Final	Tf	NTU

GLOSARIO

BOCATOMA: es una estructura hidráulica para la captación del agua cruda a través de conexiones con los ríos.

CLORADOR HIDRO: es la instalación de uno o varios cilindros para aplicar el cloro de forma indirecta o directa, son utilizados en el sistema de: Agua potable, Procesos Industriales, desinfección sanitaria de desagüe y plantas de energía¹

COLOIDES: son partículas sólidas que no se sedimentan por la simple acción de la gravedad, pero pueden removerse del agua mediante técnicas como coagulación, filtración o acción biológica. Todas las partículas coloidales en una determinada dispersión acuosa poseen la misma carga eléctrica neta ya sea positiva o negativa. Debido a esto existe entre ellas una repulsión electrostática, que las mantiene separadas, lo cual dificulta su remoción²

POLICLORURO DE ALUMINIO: es un coagulante alternativo se caracterizan por tener una amplia gama de especies hidrolíticas de Aluminio Al (III) y se utiliza en el tratamiento de agua potable porque favorece a la eficiencia de la coagulación.³

POLIMEROS: es una sustancia que forma monómeros unidas por enlaces covalentes que se repiten sucesivamente, y dependen del grado de polimerización⁴. Existen polímeros sintéticos que son propiedades que hacen que la estructura de un compuesto se aglomere para cumplir que sea un coagulante químico no poseen carga iónica y también están los polímeros

TURBIDEZ: es una propiedad del agua cruda que es causada por un efecto de suspensión a través de un haz de rayos luminosos o la luz que sea percibida pero no transmitida por medio de la suspensión, la turbidez es provocada por las partículas en suspensión que varían el tamaño entre partículas gruesas, finas, sustancias orgánicas e inorgánicas⁵

¹ HYDRO Instruments Disponible:<http://www.hydroinstruments.com/files/Boletin%20500E.pdf>

²MARTÍNEZ GARCÍA, Jasser; GONZÁLEZ SILGADO, Luis Enrique Evaluación Del Poder Coagulante De La Tuna (*Opuntia Ficus Indica*) Para La Remoción De Turbidez Y Color En Aguas Crudas p 54 2012. Tesis de pregrado Ingeniería Química Universidad de Cartagena 2012 [En línea].[Citado 3 febrero 2020]

³ COGOLLO FLÓREZ, Juan MIGUEL. Clarificación De Aguas Usando Coagulantes Polimerizados: Caso Del Hidroxiclورو De Aluminio. DYNA, [S.I.], v. 78, n. 165, p. 19, ene. 2011[En línea] [Citado 3 febrero 2020] ISSN 2346-2183. Disponible en <http://bdigital.unal.edu.co/5419/1/juanmiguelcogollo.2011.pdf>

⁴ ARBOLEDA VALENCIA, jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua 3ed 2000 ISBN:958-41-0013-0 pg 47

⁵ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad del agua. 2008, 3 ed, p 108. ISBN 958-8060-13-3

RESUMEN

El acceso al recurso hídrico es fundamental para las necesidades básicas de seres humanos en cualquier parte del mundo, se requiere para satisfacer el consumo de agua potable en las industrias químicas, petroleras y hogares domésticos, cabe resaltar que es un componente vital para la vida y crecimiento de los ecosistemas terrestres y acuáticos. Por tanto, es importante la búsqueda de nuevas tecnologías verdes amigables con el medio ambiente que no sean tóxicas y que reduzcan el consumo de productos químicos, a su vez que cumplan las mismas características de los coagulantes químicos, en este caso se describe de manera teórica a través de motores búsqueda como Researchgate, Google Scholar, SciELO (Scientific Electronic Library Online), Dialnet, World Wide Science y Google Scholar. y añadiendo con base de datos del ministerio de ambiente y la agricultura, reportes empresariales que aporten a la construcción de este proyecto.

En este proyecto de investigación se requiere buscar procesos industriales, para la obtención de un coagulante a partir de extractos vegetales como lo es la *Opuntia Ficus Indica*, no solo existe este coagulante natural para ser evaluado, existen otras especies derivadas de bacterias y plantas que se pueden, estudiar y reemplazar como coagulantes naturales, con el propósito de buscar procesos que sean sustentables y económicos. Además, que sean seguros para la implementación en las plantas de tratamiento de agua potable en Colombia. Es un estudio teórico para dar solución a pequeñas problemáticas por el uso de coagulantes químicos, causando enfermedades de largo plazo. Sin embargo, este coagulante natural estudiado de forma líquida y sólida posee propiedades que previenen la diabetes y otras.

Es así, como el presente proyecto se busca realizar una revisión detallada de como la propuesta del uso de coagulantes naturales es viable para reemplazar los coagulantes químicos o sintéticos en la operación de coagulación dentro del proceso de potabilización del recurso hídrico, el cual es necesario para que las condiciones del agua sean adecuadas para el consumo seguro de las poblaciones. Dentro de la información recopilada mediante base de datos académicas y científicas que presentan artículos o investigaciones acerca de la obtención e implementación de *Opuntia ficus Indica*. Donde se explica de manera teórica varias concentraciones y condiciones iniciales utilizadas, entre los dos tipos de coagulantes utilizados, así mismo se representa la disponibilidad actual de cactus alrededor del mundo, por otra parte, se representan las propiedades y características de la materia prima utilizada donde se evidencia los casos de estudio de mayor éxito y se presenta los desafíos que tienen los coagulantes naturales para ser implementados de forma experimental.

Palabras Clave: *Opuntia Ficus Indica*, tratamiento de agua potable, coagulantes naturales, coagulación y potabilización

INTRODUCCIÓN

En el proceso de tratamiento del agua, la coagulación es una técnica utilizada en la potabilización de este recurso debido a su facilidad de remover y desestabilizar las partículas en suspensión, los coloides y las partículas finas. Dicha técnica, actúa mediante el uso de sustancias químicas como sulfato de aluminio y polihidroxiclورو de aluminio, cuya efectividad es alta. Sin embargo, estas generan un impacto negativo asociado a la producción de lodos que pueden ocasionar la infertilización de tierras para la agricultura, además, de tener costos altos asociados a su compra⁶.

En el presente proyecto de investigación se evalúa la elaboración de un coagulante natural a partir del *Opuntia ficus Indica*, para remover las partículas suspendidas del agua cruda proveniente del río Ubaté. Generalmente la extracción de coagulantes naturales se realiza a través de especies vegetales como la *moringa oleífera* y el cactus aprovechando los recursos naturales que se presentan en Colombia. Por lo tanto, en este estudio se pretende mitigar la turbidez del agua y reducir los costos de tratamiento mediante el uso de un biocoagulante extraído del mucilago del cactus, el cual hace parte de la familia cactácea y ha sido utilizado por distintas generaciones para purificar el agua. Gracias a su estructura molecular que contiene polisacáridos y proteínas⁷ que va formando cadenas poliméricas.

En este proyecto el *Opuntia ficus Indica* es transformado de manera líquida y sólida como coagulante para determinar su eficiencia en la prueba de jarras. Dicha prueba consiste en evaluar la efectividad del coagulante en función de la disminución de la turbidez, midiendo la dosificación necesaria de coagulante que se debe aplicar al agua según los parámetros requeridos.

Teniendo en cuenta que el proceso se lleva a cabo en diferentes dosificaciones para determinar la concentración adecuada del coagulante: primero, se prepara la materia prima; segundo, se realiza la caracterización fisicoquímica; y finalmente, se aprovecha el extracto del mucilago que es el proveedor de la capacidad de desestabilizar las partículas, se realiza una matriz bibliográfica sobre la concentración necesaria en el tratamiento de agua, teniendo en cuenta parámetros como la turbidez inicial y final para determinar el mayor porcentaje de remoción de la materia orgánica e inorgánica, a través de fuentes de información como Scielo, Google Scholar, Scienc Direct, Dialnet, Redalyc, Ebsco Host y Doaj. Finalmente, de adecuado a los resultados de la matriz se selecciona varios estudios con el propósito de realizar un análisis de costos para el coagulante natural.

⁶ HOQUE-QUISPE, David et al . Capacity flocculant of natural coagulants in water treatment. Revista de investigación. 2008 vol. 38, n. 2, p. 298-309. ISSN 2224-6185.[En línea][citado 16 de febrero de 2020] Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852018000200008&lng=es&nrm=iso

⁷ Ibi. p. 299

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el uso de *Opuntia Ficus Indica* como coagulante natural para el tratamiento de agua potable de la empresa Emservilla en el municipio de Ubaté.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diagnosticar el proceso actual de tratamiento de agua potable de la empresa Emservilla.
2. Establecer el procedimiento de obtención de la materia prima para su uso como coagulante natural
3. Seleccionar la dosificación de la *Opuntia Ficus Indica* como coagulante en el tratamiento de agua potable de acuerdo a un análisis bibliométrico
4. Realizar un análisis de costos para la implementación de la *Opuntia Ficus Indica* como coagulante natural en el tratamiento de agua potable.

1. MARCO TEÓRICO

Para presentar los fundamentos teóricos relacionados con el proyecto del coagulante *Opuntia Ficus Indica*, se realizará una descripción de la situación actual en Colombia con respecto al tratamiento de agua potable.

1.1 PROCESOS DE POTABILIZACIÓN DE AGUA

El agua es un recurso no renovable considerado como el solvente universal, es categorizado como un líquido incoloro sin sabor, además, es extremadamente necesario para la supervivencia de los seres vivos. Su uso varía para diferentes actividades, por ejemplo: como refrigerante en distintas industrias, generación de energía eléctrica por medio de hidroeléctricas, el consumo humano, el riego en áreas de cultivos, entre otras aplicaciones. De esta manera, este recurso presenta un amplio espectro de funciones en la vida cotidiana y profesional.

Según La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura UNESCO para el 2050 la demanda de agua va a ser de 55% debido al crecimiento de la población⁸. El agua cruda se caracteriza por ser proveniente de ríos, lagunas, quebradas, pozos con presencia de microorganismos, materia orgánica e inorgánica que se origina por el accionar del ser humano en labores domésticas e industriales.

1.1.1 Etapas en el proceso de potabilización. La ONU afirma que a nivel internacional más de 2000 millones⁹ de personas no tienen acceso al agua potable en sus viviendas, la falta del recurso hídrico provoca enfermedades como la diarrea o la cólera debido a la presencia de microorganismos patógenos. Por lo anterior, es necesario tener un proceso de potabilización que cuente con los siguientes métodos: captación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección para garantizar la calidad de la potabilización para el consumidor.

A continuación, se muestra el tratamiento convencional en una planta de potabilización, que consiste en la transformación física, química y microbiológica del agua cruda.

⁸ UNESCO. Water for a Sustainable World. [En línea] Paris: 2015 [Citado 16 febrero 2020], p2 ISBN 978-92-3-100071-3 Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000231823>

⁹ ONU Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019. [En línea] pp. 15 [Citado 16 febrero 2020] ISBN 978-92-3-300108-4 Disponible <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>

Figura 1 Diagrama del Tratamiento de agua



Fuente: LOZANO RIVAS Esquema general de un proceso de potabilización convencional. [En Línea] [Citado el 19 de febrero de 2020] ISBN 9789588537917. Disponible en: [www.
http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=159337](http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=159337)

La Figura 1 representa el esquema general del sistema potable que inicia con la captación del agua a través de una bocatoma cerca de los ríos, embalses, lagunas con el objetivo de transportar el agua cruda por medio de tubos de policloruro de vinilo (PVC) hasta la Planta, posterior al recorrido se comienza con la siguiente fase.

La coagulación es la etapa más importante para la reducción de la turbidez, el color y las impurezas. Esta fase consiste en la adición de un producto químico o natural, cuya función es desequilibrar y separar la materia orgánica e inorgánica del agua en forma de partículas coloidales aglomerándolas con el propósito de formar un floculo.

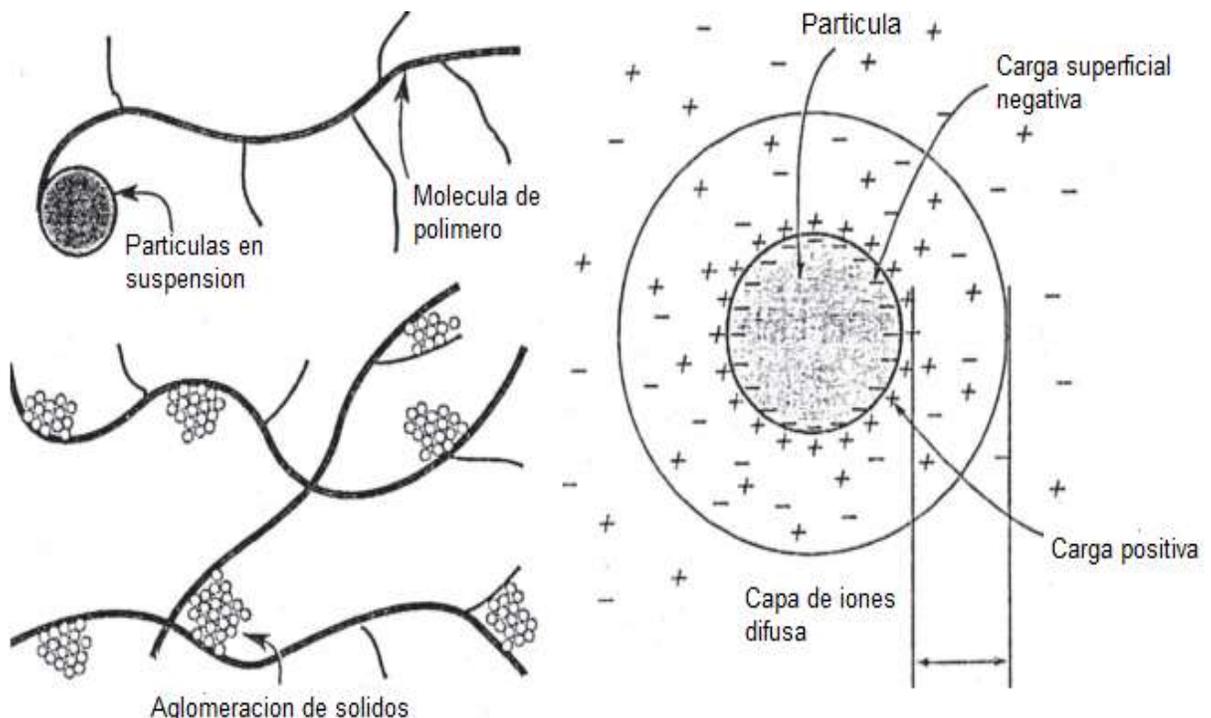
Por tanto, el agua proveniente de sistemas acuáticos como quebradas, arroyos y pozos contienen partículas llamadas coloides difíciles de separar con tratamientos físicos, cuyas partículas se encuentran en un rango de $0.1 (10^{-8}\text{cm})$ hasta 10^{-9}m . Existen dos tipos de partículas: Aquellas que son miscibles con el agua llamadas hidrofóbicas¹⁰ como, por ejemplo, la materia inorgánica tipo la arena fina y aquellas que se repelan con el agua llamadas hidrofílicas, estas se caracterizan

¹⁰ SINGH, Rajindar. Water and Membrane Treatment. Membrane Technology and Engineering for water Purification. Elsevier, pp. 89. 2015 [Citado: 19 de febrero] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63362-0.00002-1>.

por ser la materia orgánica de los desechos en los procesos de descomposición de la naturaleza, como hojas de los árboles.

Estas partículas se caracterizan por ser cargas electronegativas (cargas positivas y negativas) que no permiten la formación de coágulos debido a la poca interacción entre partículas que no son compatibles, en consecuencia, la coagulación se produce de forma lenta y la sedimentación es mínima¹¹. Dada la anterior característica, es necesario desestabilizar las partículas suspendidas por medio de sales coagulantes para remover las impurezas y los coloides del agua.

Figura 2 Cargas electronegativas



Fuente: SINGH, R. A la derecha está la aglomeración de sólidos debido a la presencia de un polímero que interactúa para formar flóculos y a la izquierda representa las fuerzas de repulsión entre partículas de suspensión con cargas negativas y positivas.[En línea] [Citado el 20 de febrero de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63362-0.00002-1>

¹¹LOZANO-RIVAS, William. A.; LOZANO BRAVO, Guillermo. Potabilización del agua: principios de diseño, control de procesos y laboratorio. Bogotá, Colombia: Universidad Piloto de Colombia, 2015. v.1e [En línea][citado 20 de febrero de 2020] ISBN 9789588537917. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=1593375&lang=es&site=ehost-live&scope=site>.

A lo largo de la historia los coagulantes han jugado un papel importante en el tratamiento de agua potable porque cuentan con distintos mecanismos como remover los coloides mediante la compresión de doble capa un método aplicado para que las partículas rompan las barreras de las fuerzas repulsivas y así cada átomo se une y finalmente se sedimentan¹². Como se evidencia en la **Figura 2** el coagulante permite la aglomeración de sólidos en diferentes proporciones debido a presencia de cargas superficiales. Finalmente, otro mecanismo propuesto es la adsorción para la neutralización de cargas y el atrapamiento de las partículas.

No obstante, en el proceso de coagulación se presentan fallas mecánicas, humanas y técnicas que están relacionadas a los diseños de experimentación o la ineficiencia de la concentración del coagulante. En este orden de ideas un procedimiento inadecuado causa un incremento en los costos de operación. Si bien la coagulación tiene una estrecha relación con la floculación porque esta operación consiste en la agrupación de partículas suspendidas como la arena y la arcilla, con el objetivo de dar paso a la formación de flóculos¹³ con características superiores a la densidad del agua, dicho de otra forma, los flóculos deben tener un peso y una densidad específica para que se sedimenten al fondo del piso. Y de esta forma continuar a la siguiente fase en el tratamiento.

En la sedimentación, el agua tiene características físicas relevantes como disminución del color y la turbidez debido a que el fluido se encuentra clarificado, y además gracias las condiciones de operación el lodo pesado y grueso queda en el fondo por acción de la gravedad. Según Lozano expresa que “los sólidos con mayor densidad que la del agua se sumergen en el desarenador”¹⁴. A consecuencia de que los sólidos se sedimenten es necesario utilizar filtros para separar las partículas de la mezcla sólido-líquida que esta interactuando en el proceso. Estos filtros son comunes en las plantas de tratamiento de agua potable por la capacidad de retener las partículas remanentes de los procesos anteriores.

¹² JIANG Jia-Quian. The role of coagulation in water treatment. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 8, p 36. [En línea][citado 21 de febrero] Disponible en: doi:10.1016/j.coche.2015.01.008

¹³ COGOLLO FLÓREZ, Juan MIGUEL. Clarificación De Aguas Usando Coagulantes Polimerizados: Caso Del Hidroxicloruro De Aluminio. *DYNA*, [S.l.], v. 78, n. 165, p. 18-27, ene. 2011. [En línea] [citado 18 de febrero de 2020]ISSN 2346-2183. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25636/39133>

¹⁴ LOZANO, Guillermo Op Cit., p.155 Capítulo 9 Diseño de Sedimentadores

1.1.2 Características de agua potable. Para garantizar el consumo del agua en Colombia se encuentra vigente la norma 2115 de 2007 del ministerio de ambiente y desarrollo Sostenible¹⁵ que establece los parámetros y límites máximos permisibles a fin de certificar la calidad del agua potable al consumidor, de esta manera en las plantas de tratamiento de agua se utilizan tratamientos físicos, químicos y microbiológicos para eliminar las impurezas, las sustancias orgánicas e inorgánicas, los sólidos suspendidos, y las características inadecuadas que algunos vertederos suministran.

En la **Tabla 1** se muestran las características físicas y químicas del agua potable que se presentan por: la degradación de sustancias orgánicas e inorgánicas, la presencia de compuestos volátiles y metálicos que son tóxicos y perjudiciales para la salud. Por otra parte, están las características microbiológicas en agua por medio de microorganismos virus bacterias y hongos.

Tabla 1 Principales Características físicas y químicas del agua

Características Físicas	Valor máximo aceptable	Características Química	Valor máximo aceptable (mg/L)
Color	15	Fosfatos	0.5
Olor	Aceptable o no Aceptable	Cloruros	250
Sabor	Aceptable o no Aceptable	Aluminio	0.2
Conductividad	1000 microsiemens/cm	Hierro	0.3
pH	6.5 y 9.0	Alcalinidad total	200
Turbiedad	2 UNT	Sulfatos	250
		Dureza	300

Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Características del agua p15 [En línea][Citado el 19 de febrero de 2022] Disponible en: https://scj.gov.co/sites/default/files/marco-legal/Res_2115_de_2007.pdf

De acuerdo con la información suministrada, cabe aclarar que no son las únicas propiedades que presenta el agua potable para realizar un excelente tratamiento, Sin embargo, son las principales características físicas y químicas que se deben conocer en cualquier proceso de potabilización

¹⁵ COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 de 2007. Bogotá D.C [En línea][citado 19 de febrero] Disponible en: https://scj.gov.co/sites/default/files/marcolegal/res_2115.

1.1.3 Prueba de jarras. Es indispensable realizar la prueba de jarras (Jar-test) en la planta de tratamiento de agua para definir qué tipo de coagulante se necesita en la desestabilización de las partículas suspendidas y disueltas que permitan la formación de flóculos. Sin dejar de mencionar que este tipo de ensayos se utiliza para evaluar la eficiencia del tratamiento, para determinar la dosificación necesaria y para establecer los parámetros adecuados en el diseño, como tiempo de mezcla o retención y los gradientes de velocidad.¹⁶

Así mismo se tienen en cuenta los cambios del climáticos es decir cuando hay presencia de lluvia es necesario aumentar la dosis porque el agua cruda llega muy turbia. En consecuencia, a lo anterior, se hacen ensayos de trazabilidad para diagnosticar los características cualitativas y cuantitativas como, el tamaño, la turbiedad, el color, el pH y así identificar la concentración ideal para la planta potabilizadora.

1.2 COAGULANTES NATURALES

Son polímeros naturales que se producen en las reacciones bioquímicas, naturales de animales y plantas. Los coagulantes están conformados por proteínas, carbohidratos, y polisacáridos¹⁷. Los coagulantes mencionados en el **Cuadro 1** se presentan una alternativa para remover las impurezas del agua y cuentan con un gran potencial para desarrollar procesos industriales sostenibles.

Cuadro 1 Coagulantes Naturales

NOMBRE COMÚN	SE EXTRA DE	OBTENCIÓN
Alginato de sodio	Algas pardas marina	Toda la planta
Tuna	<i>Opuntia Ficus Indica</i>	Las Hojas
Almidones	Maíz, Papa, Yuca, Trigo	Tubérculo
Gelatina Común	Animales	Corteza Del Árbol

Fuente: ARBOLEDA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Coagulantes Naturales, p 48 3ed 2000 ISBN:958-41-0013-0ghjgh

¹⁶LOZANO, Guillermo Op Cit., p.278 Capitulo 14 Pruebas de jarras.

¹⁷ ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua 3ed 2000 ISBN:958-41-0013-0 pg 47

1.2.1 *Opuntia Ficus Indica*. Los nopales son originarios de México, se encuentran en condiciones ambientales como climas cálidos en tierras áridas y semiáridas que pertenecen a la familia de cactácea Actualmente se conoce como *Opuntia Ficus Indica* o como nopal, nopalito, tuna y penca porque contienen espinas, y “presentan pocas estomas por unidad de superficie con la particularidad que permanecen cerrados durante el día y abiertos durante en la noche”¹⁸ debido a que necesitan del CO₂ (Dióxido de carbono) para poder realizar la fotosíntesis.

Para el ser humano el aprovechamiento del cactus proviene de prácticas ancestrales en Colombia porque era utilizado para limpiar el agua y actualmente lo seres humanos lo utilizan para realizar biodiesel, para realizar bebidas fermentadas y para alimento para los bovinos no siendo las únicas funciones se utiliza principalmente para la conservación del suelo de la erosión hídrica y eólica evitando la desertificación.

1.2.2 Composición y propiedades del mucilago de la *Opuntia Ficus Indica*. Las células de mucilago son representantes de la familia Cactácea. La composición del mucilago de la *Opuntia* ha sido tema de repetidos estudios. La mayoría de las investigaciones han sido realizadas en la *Opuntia Ficus Indica*. Sin embargo, un estudio realizó el aislamiento, purificación y caracterización del mucilago del cactus obteniendo los siguientes resultados.

Los estudios histoquímicos mostraron que el mucilago está ubicado únicamente en células de mucilago las cuales están en su estado final no contienen proteínas, pero sí una gran cantidad de polisacáridos ácidos. El análisis elemental referenciado en la **Tabla 2** indica que el mucilago está compuesto principalmente por oxígeno y carbono en un porcentaje de 51 y 42%¹⁹, mientras que la distribución de azúcares realizada por método radioactivo en la **Tabla 3** concluye que en su mayoría está compuesta por Arabinosa.

Tabla 2 Análisis elemental (%) del mucilago de la *Opuntia Ficus Indica*

Ca	Mg	Na	C	H	O	N	S
0.022	0.013	---	42.57	6.31	51.12	---	---

Fuente: TRACHTENBERG & MAYER. Composition and properties of *Opuntia Ficus Indica* mucilago [En línea] [Citado 19, febrero, 2020] Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(81\)85263-6](https://doi.org/10.1016/0031-9422(81)85263-6)

¹⁸ABRAJÁN VILLASEÑOR, Alicia. Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucilago de nopal [En línea][Citado 18 febrero de 2019] Disponible en:

¹⁹TRACHTENBERG, Shlomo and MAYER, Alfred. Composition and properties of *Opuntia ficus-indica* mucilage. *Phytochemistry*, 20(12), p.2667. [En línea][Citado el 19 de febrero de 2020]. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(81\)85263-6](https://doi.org/10.1016/0031-9422(81)85263-6)

En la siguiente tabla se evidencia los principales componentes de la *Opuntia ficus Indica* realizado por el método radioactivo.

Tabla 3 Distribución de azúcares de la *Opuntia Ficus Indica*

Componente	Porcentaje %
Arabinosa	67.25
Galactosa	6.27
Rhamnose	5.43
Xylose	20.41

Fuente: TRACHTENBERG & MAYER Composition and Properties of *Opuntia Ficus Indica* Mucilage. [En línea][Citado el 19 de febrero de 2020]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(81\)85263-6](https://doi.org/10.1016/0031-9422(81)85263-6)

1.2.3 *Opuntia Ficus Indica* como coagulante natural. El género *Opuntia* es el más grande en la familia de los cactus, variedades de *Opuntia* pueden encontrarse en Sur América y Canadá. La *Opuntia* ha sido usada como coagulante natural para el tratamiento de agua potable²⁰ para el tratamiento de efluentes de la industria de los colorantes son innumerables los estudios realizados para seleccionar el mejor método de preparación del coagulante ya sea utilizando operaciones unitarias como el tamizaje y molienda, la extracción del solvente, el secado si bien establecen que el coagulante en polvo no es efectivo y muestra una coagulación pobre, por esta razón se prefiere el uso del mucilago en estado líquido.

1.2.4 Eficiencia de la *Opuntia Ficus Indica* como coagulante natural. Se tiene evidencia que las comunidades antepasadas utilizaron materiales a base de plantas para la potabilización del agua. Se han realizado estudios para evaluar las propiedades coagulantes de la *Opuntia Ficus Indica* y como esta remueve la turbidez del agua. Se observa que la *Opuntia* logra una remoción de turbidez hasta del 98%²¹, el cual es un dato similar al de la *Moringa Oleífera*, otro coagulante natural ampliamente estudiado.

A pesar de ser ambos coagulantes naturales, estos dos operan a través de distintos mecanismos. La *Opuntia* opera predominantemente a través de un mecanismo de coagulación de puenteo. El uso de estos coagulantes ofrece una alternativa práctica, poco costosa y apropiada para la producción de agua potable en países en desarrollo.

²⁰ WAN Jing et al. Treatment train for tailings pond water using *Opuntia ficus-indica* as coagulant [En línea][Citado 1 de Marzo de 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.083>

²¹ MILLER, Sarah. et al. Toward Undersanting The Efficaccy And Mechanism Of *Opuntia* Spp. As A Natural Coagulant For Potential Application In Wáter Treatement coagulant [En línea][Citado 1 de Marzo de 2020] Disponible en: DOI:10.1021/es7025054.

La potabilización de agua generalmente incluye la coagulación, sedimentación, filtración y desinfección. La coagulación es un paso crítico en el tratamiento de agua no solo porque remueve partículas sino también porque remueve microorganismos que están generalmente junto a otras partículas. Por lo tanto, al remover la turbidez, los coagulantes también tienen el potencial de remover patógenos y mejorar significativamente la calidad del agua y con ella, la salud de los humanos.

Existen alternativas inorgánicas para el uso de coagulantes, sin embargo, la mayoría de estas producen grandes volúmenes de lodos, tienen graves impactos ambientales al ser desechados, consecuencias en la salud humana y generalmente tienen que ser importados por los países en desarrollo. Por estas razones, nacen los coagulantes naturales como una alternativa más económica, renovable, disponible localmente y lista para ser implementada.

Dado el potencial de los coagulantes naturales como una solución viable a la producción de agua potable, se han evaluado un número significativo de sustancias para sus propiedades coagulativas. Estas sustancias van desde semillas de distintas especies de plantas hasta extractos de conchas, bancos de resinas, cenizas y minerales naturales de los suelos. El coagulante natural más estudiado es la *Moringa oleífera*, cuya capacidad para remover turbidez y acción bacteriana se han comprobado en estudios.

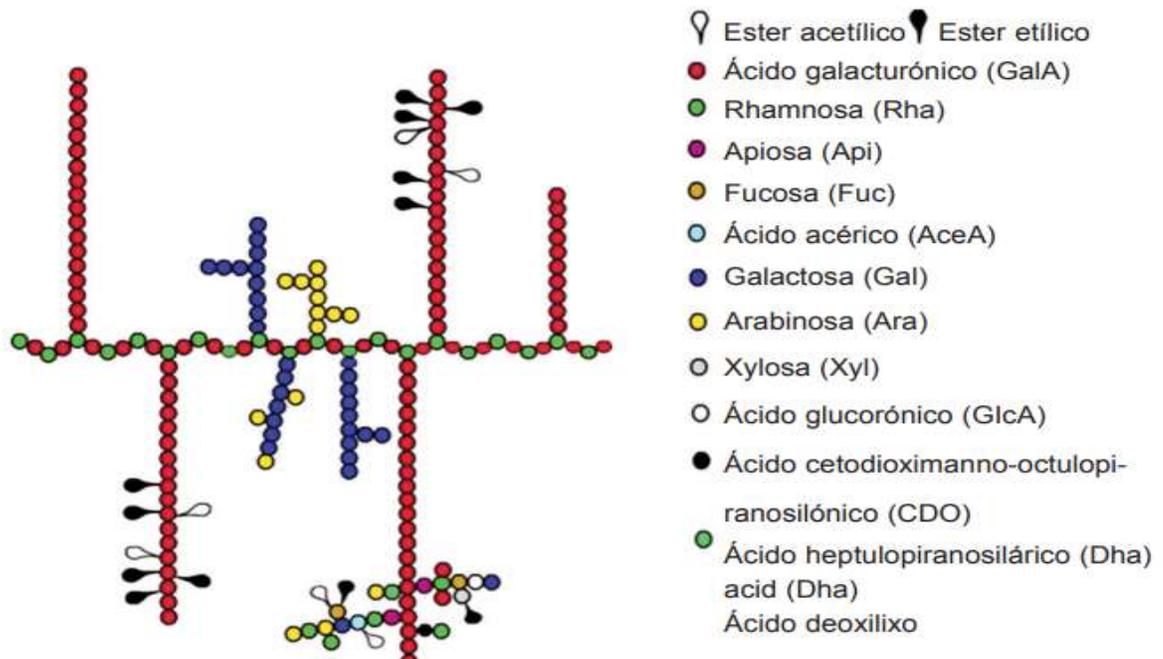
En lo que respecta a la *Opuntia*, esta es comúnmente empleada para propósitos medicinales, por lo tanto, se descartan los efectos adversos asociados con los niveles residuales en el agua tratada.

1.2.5 Mecanismos de coagulación. Existen cuatro mecanismo de coagulación que realizan las partículas suspendidas cuando se aglomeran, el primero es la compresión de capa doble, se debe a la presencia de sales que causan la estabilización de partículas donde las interacciones electrostáticas son superadas por las fuerzas atractivas de Van der Waals; el segundo mecanismo de la floculación por barrido, ocurre cuando el coagulante precipitado atrapa las partículas suspendidas dentro de un floculo coloidal; el tercero es la neutralización de carga puede ocurrir cuando las partículas suspendidas en solución se acercan a iones de cargas opuestas. Y el cuarto es el puenteo Inter particular, ocurre cuando un coagulante forma una cadena polimérica que puede adherirse a múltiples partículas para así atraerlas al coagulante sin la necesidad de que estén en contacto.

1.2.6 Pectina como macromolécula. Es un polisacárido compuesto principalmente por metil esterificado, metoxilo y ácido D-galacturónico. Se producen a partir de cascara de naranjas, limón, toronja, mandarina y entre otros cítricos, pulpa de remolacha, melocotón, favorecen la gelificación. Generalmente, presentan enlaces de hidrogeno e interacciones hidrofóbicas. Debido a sus propiedades es ampliamente utilizado en la industria química, farmacéutica, y cosméticos. Actualmente, la pectina se puede utilizar para el tratamiento de enfermedades como la diabetes, hipertensión y cáncer.²²

La pectina tiene la capacidad de formar coloides, gracias a las largas cadenas formadas por el ácido galacturónico, a su vez comparte las ramificaciones de la cadena con los polisacáridos²³ que se observan en la **figura 3**. (Rhamnosa, galactosa, Xylosa entre otros)

Figura 3 Estructura básica de la pectina



Fuente: CHASQUIBOL ET AL. Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de biodiversidad peruana. 2008, p177 Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337428492010>

²² PENG Xiaoxia et al. Box-Behnken design based statistical modeling for the extraction and physicochemical properties of pectic from sunflower heads and the comparison with commercial low-methoxy pectin. [En línea][Citado 3 de agosto de 2020] p 1 Disponible en: doi10.1038 / s41598-020-60339-1

²³ CHASQUIBOL Silva et al. Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. [En línea][Citado 3 de agosto de 2020] p176 disponible en: www.redalyc.org/articulo.oa?id=337428492010

2. DIAGNÓSTICO

Actualmente Ubaté es reconocido como la capital lechera de Colombia por la variedad de productos lácteos, esta región se caracteriza por tener tierras fértiles para la agricultura, la ganadería, y la floricultura. La provincia de Ubaté tiene una extensión territorial de 1408 Km² y como se observa en la **Figura 4** limita al noroeste y Oriente con el departamento de Boyacá al sur con la provincia de Sabana Centro y Almeidas, y al Occidente con la provincia de Rionegro”²⁴. Además, está conformada por los siguientes municipios: Sutatausa, Tausa, Susa, Carmen de Carupa, Cucunuba, Lenguazaque, Fúquene Simijaca, y Guachetá.

Figura 4 Ubicación Geografía Ubaté.



Fuente: LOCALIZACION DE LA PROVINCIA DE UBATÉ [En línea] [Citado el 25 de febrero]. Disponible en: <http://iccu.gov.co/Plan+de+competitividad+Ubate.pdf>

²⁴CAMARA DE COMERCIO DE BOGOTA. Caracterización económica y empresarial de las provincias de cobertura de CCB [En línea][Citado 25 de Febrero de 2020] Disponible en: https://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/2889/6233_caracteriz_empresarial_ubate.pdf?sequence=1

En general la topología del Municipio de Ubaté se caracteriza por representarse en forma de valle o de tierras planas, donde el 6.5%²⁵ constituye a la vegetación de paramo, y el 8.6%²⁶ es empleado para la agricultura en especial en cultivo de papa, arveja y tomate, Según la Federación Colombiana de Ganaderos, Ubaté produce 14 mil²⁷ litros de leche diario por lo que su participación es relevante en la economía de esta región, sin dejar de mencionar que hay reservas minerales de carbón en los municipios de Cucunuba y lenguazaque.

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA EMSERVILLA S.A

Emservilla S.A es una empresa de servicios públicos Ubicada en el Municipio de Ubaté-Cundinamarca cuenta con una planta de tratamiento de agua potable con la capacidad de almacenar 900 m³ y 800 m³ para el abastecimiento a más de 39659²⁸ habitantes. Dicha planta está ubicada en el sector San José Alto dedicada a la captación, tratamiento y distribución de agua potable. De otra forma el proceso de potabilización consta de las siguientes fases; la coagulación, la floculación, la sedimentación, la filtración y la desinfección del agua proveniente del río Ubaté. Cada etapa es transcendental debido a que garantizan la calidad del agua con respecto a reducción de microorganismos, y de partículas suspendidas.

La Planta de tratamiento de agua potable se encarga de la captación de agua cruda proviene del embalse del hato que recorre el río Ubaté hasta encontrarse con una bocatoma compuesta por un canal de concreto donde el caudal a ser abastecido es conducido hasta una captación de fondo compuesta por tres rejillas la “primera de 0.50mx0.70m con 9 varillas de 4 cm de diámetro y una separación de 3.5 cm entre varillas la segunda por 0.50mx0.90m con 8 varillas de 3 cm de diámetro y una separación de 3.5 cm entre varillas y la tercera 0.45mx0.75m con 8 varillas de 2 cm de diámetro y una separación de 3.5 cm entre las varillas”²⁹.

²⁵ Ibid. p. 18 Capitulo 1

²⁶ Ibid. p. 19 Capitulo 1

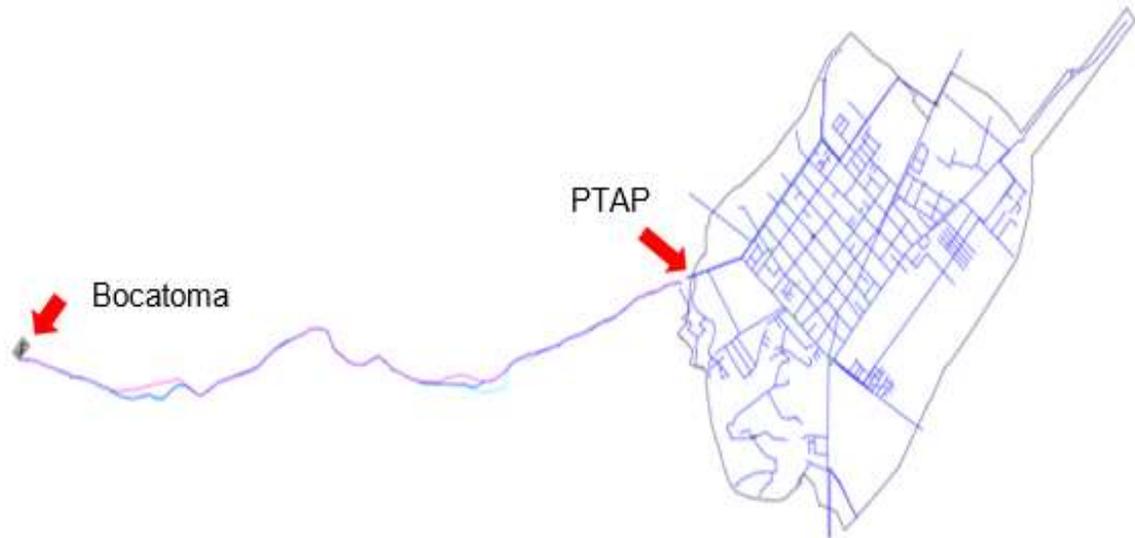
²⁷ FEDEGAN. Ubaté aumentara su producción de leche en 14 mil litros anuales [En línea][citado el 25 de febrero de 2020] Disponible en: <https://www.fedegan.org.co/noticias/ubate-aumentara-su-produccion-de-leche-en-14-mil-litros-anuales>

²⁸ DANE. Análisis de Información CNPV 2018PR [En línea][Citado el 25 de febrero de 2020] Disponible en: <https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/presentacion-CNPV-2018-Cundinamarca.pdf>

²⁹ EMSERVILLA S.A Acueducto [En línea][citado el 25 de febrero de 2020] Disponible en: <http://emservilla.gov.co/acueducto/>

A continuación, se evidencia el sistema de acueducto actual del municipio de Ubaté.

Figura 5 Ubicación Planta de tratamiento de agua



Fuente: SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE UBATÉ. [En línea] [Citado el 25 de febrero de 2020]. Disponible en: <http://emservilla.gov.co/acueducto/>

El sistema de acueducto cuenta con dos desarenadores que evitan la entrada de piedras o palos ubicados en la bocatoma y tiene las siguientes dimensiones de “14.80mx4.10m y 1.9 de profundidad y cuenta con una zona de sedimentación de 60.68m² y el segundo desarenador tiene las siguientes dimensiones de 7.9mx2.20m y 2 m de profundidad y una zona de sedimentación de 17.38 m².”³⁰ Para el transporte de agua es por medio de una tubería a la entrada de desarenador hasta encontrarse con un vertedero en la planta de tratamiento como se muestra en la **Figura 5** se muestra el recorrido de la tubería hasta la planta donde se encuentra con una cámara de llegada, donde se recibe el agua que corresponde a 90 L/s para poder potabilizarla con la ayuda del coagulante químico gracias a una mezcla rápida.

³⁰ EMSERVILLA S.A E.S. características [En línea] [citado el 10 de marzo de 2020] Disponible en: <http://emservilla.gov.co/acueducto/>

2.2 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE EMSERVILLA

El agua abastecida por Emservilla a la comunidad Ubatense, cumple con los parámetros y normas del decreto 1575 de 2007 “Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano”, y trabaja a la par con la Resolución 2115 de 2007 y la resolución 0811 de 2008³¹. En la cual se señalan los límites permisibles de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para que sea apta el consumo humano.

En la PTAP, se trata agua cruda 24 horas al día, 7 días a la semana todo el año, por lo tanto, se presenta una recopilación de las propiedades fisicoquímicas a lo largo del año del agua cruda como se puede observar en la **tabla 4**. Con el motivo de comparar la calidad de agua que ingresa y sale de la planta, el fluido descargado en la cámara de llegada es analizado por el operario encargado de la planta para llevar un control con respecto a la cantidad que se necesite de coagulante teniendo en cuenta la turbidez y el color. Al finalizar el proceso de potabilización el operario realiza un control en el tanque de almacenamiento de la planta obteniendo los resultados de la **tabla 5** donde se evidencia que se cumplen con los parámetros establecidos por la ley colombiana para salvaguardar la salud de los consumidores

En general, la remoción promedio de turbidez que tiene el coagulante actualmente usado de la empresa es de 87%. Otro aspecto por mencionar es que el coagulante actualmente utilizado no genera una variación significativa en el pH del agua tratada, por lo cual, es deseable que el coagulante natural tampoco influya en el mismo. Asimismo, es evidente que existen meses del año donde se presenta una turbidez anormalmente alta alcanzando valores hasta de 245 NTU, debido a que en la región andina de Colombia en los meses de marzo y octubre se presenta temporadas lluviosas³², estas temporadas conllevan a procesos erosivos con un efecto residual que arroja una variedad de contaminante sólidos y líquidos que alteran la calidad del agua superficial. Esta materia en suspensión origina turbidez al agua y está compuesta principalmente de sílice finamente dividido, arcilla y limo³³.

Este es un aspecto importante para tener en cuenta, pues a pesar de que en la mayoría del año la turbidez tiene un valor de más de 11 NTU, existen épocas que requieren de un coagulante capaz de remover altos valores de turbidez para así

³¹CCU PARA LA PRESTACION DEL SERVICIO PUBLICO [En línea] [citado el 10 de marzo de 2020] pp 30. Disponible en: <http://emservilla.gov.co/wp-content/uploads/CCU-ACUEDUCTO-ALCANTARILLADO.pdf>

³² IDEAM Inicio de la primera temporada de lluvias del año 2020 en Colombia [En línea][citado el 10 de Marzo de 2020] Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/10182/0/comunicado+especial+N.7/4d5e462f-fd50-41f8-8dbd-8a3f72c714f8?version=1.0>

³³OSPINA, Oscar, et al. 2015. Evaluación de la turbiedad y la conductividad ocurrida en temporada seca y de lluvia en el río Combeima (Ibagué, Colombia) [En línea][citado el 30 de Mayo de 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.16925/in.v12i19.1191>

dejar el agua en condiciones apta para el consumo de la población.

Tabla 4 Control de Calidad Agua cruda

Propiedad	pH	Turbidez (NTU)	Color (UPC)
Enero	7.3	4.1	17
Febrero	4.1	3.97	21
Marzo	7.4	170	310
Abril	7.3	7.25	23
Mayo	7.4	6	23
Junio	7.2	4	18
Julio	7.2	4.9	22
Agosto	7.4	6.61	17
Septiembre	7.3	38.7	123
Octubre	7.3	245	391
Noviembre	7.2	11.1	27
Diciembre	7.4	4.52	13

Fuente: elaboración propia

Tabla 5 Control de Calidad Agua Tratada

Propiedad	pH	Turbidez (NTU)	Color (UPC)
Enero	7.3	0.39	4
Febrero	7.4	0.86	3
Marzo	7.4	0.93	4
Abril	7.3	1.07	2
Mayo	7.4	1.23	2
Junio	7.2	1.08	5
Julio	7.2	1.03	2
Agosto	7.4	0.62	1
Septiembre	7.2	0.93	3
Octubre	7.2	0.89	3
Noviembre	7.3	1.21	2
Diciembre	7.4	0.92	1

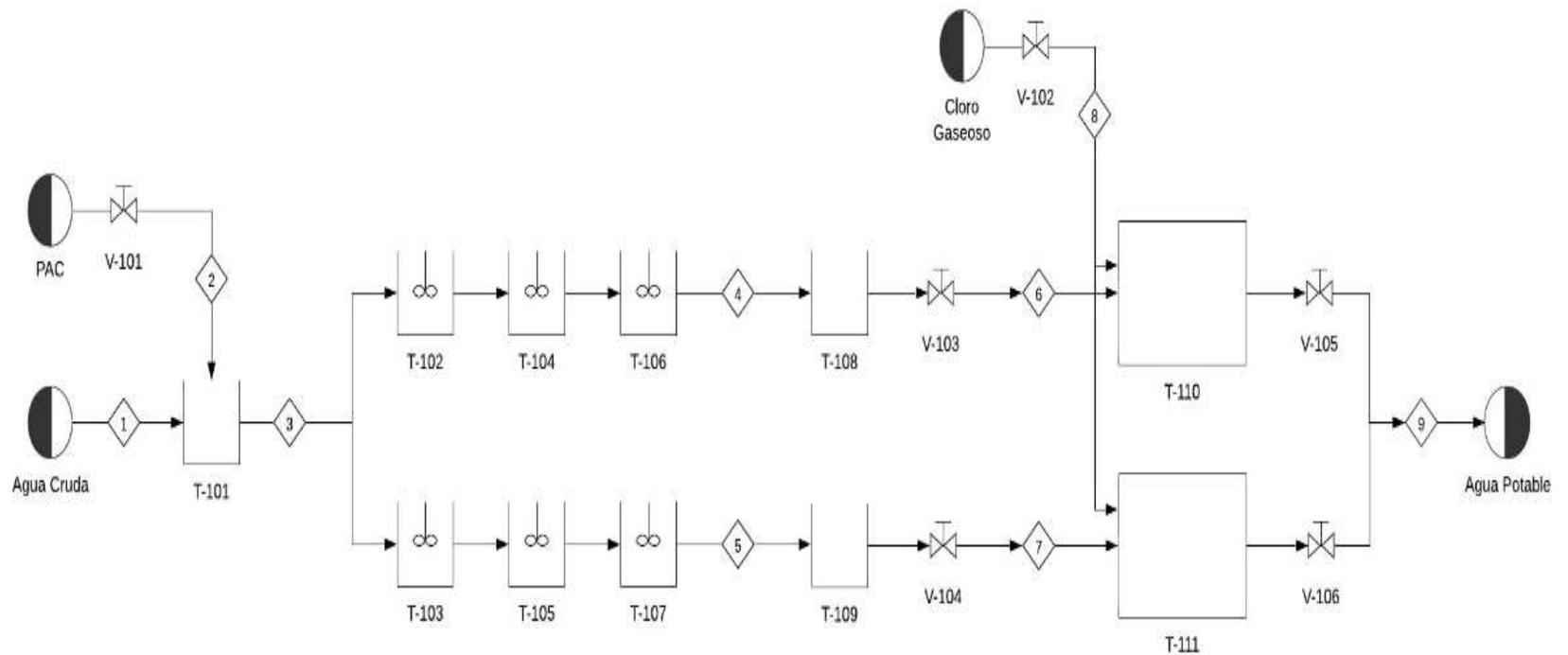
Fuente: elaboración propia

2.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA EMPRESA DE POTABILIZADORA

El diagrama de flujo de la planta de tratamiento de agua de Emservilla S.A se presenta en la **Figura 6**. Esta planta cuenta con un tanque de coagulación y por medio de bombas dosificadoras se agrega el componente químico, después de esta fase el agua cruda pasa por seis cámaras de floculación y dos sedimentadores, el proceso continuo con tres filtros hacia un cuarto de desinfección con cloro gaseoso y finalmente se almacena en los tanques para ser distribuida a la comunidad.

La planta maneja una corriente de entrada al tanque de coagulación, dos corrientes que distribuyen el caudal de entrada a cada uno de los flocladores, para que en el proceso continuo el fluido se transporte a los sedimentadores, y por medio de valvulas el agua se transportar a los filtros.

Figura 6 Diagrama PFD Planta de tratamiento de agua potable Ubaté



Fuente: elaboración propia

Figura 7 Corrientes de entrada y salida PTAP

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Temperatura (°K)	292.15	292.15	292.15	292.15	292.15	292.15	292.15	292.15	292.15
Presión (KPa)	101.325	101.325	101.325	101.325	101.325	101.325	101.325	101.325	101.325
Flujo volumétrico (L/s)	95	0.19	95.19	95.19	95.19	95.19	95.19	4.1	99.29
Componente	Fracción Volumétrica								
Agua	1	0	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0	0.956
PAC	0	1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0	0.002
Cloro	0	0	0	0	0	0	0	1	0.041
									3
Nomenclatura	Equipo		Función						
V-101	Válvula		Controla la dosificación del PAC, la dosificación actual es de 0.19 L/s						
T-101	Tanque Coagulador		Es donde ocurre la coagulación luego de la adición del PAC						
T-102	Floculador 1		Ocurre la floculación con una agitación lenta dura 2 horas el proceso						
T-103	Floculador 2		Se forman flóculos de diferentes tamaños						
T-104	Floculador 3		Se forman flóculos de diferentes tamaños						
T-105	Floculador 4		Se forman flóculos de diferentes tamaños						
T-106	Floculador 5		Se forman flóculos de diferentes tamaños						
T-107	Floculador 6		Se forman flóculos de diferentes tamaños						
T-108	Tanque sedimentador		Se sedimentan los flóculos y se remueven						
T-109	Tanque filtración		Se emplea antracita para purificar el agua						
V-102	Válvula		Controla la dosificación de Cloro gaseoso, actualmente 4.1 L/s						
V-103	Válvula		Controla el flujo de entrada a los tanques de almacenamiento						
V-104	Válvula		Controla el flujo de entrada a los tanques de almacenamiento						
T-110	Tanque de Almacenamiento 1		Almacenan el agua tratada, condiciones aptas para el consumo						
T-111	Tanque de Almacenamiento 2		Almacenan el agua lista para su distribución						
V-105	Válvula		Controlan el flujo de salida para la distribución del agua tratada						
V-106	Válvula		Controlan el flujo de salida de agua						

Fuente: elaboración propia

Dicho de forma, inicialmente la planta opera con 95 L/s, lo que significa que diariamente se trabaja las 24 horas diarias con un caudal de 8'121,600 L/d y para el cloro gaseoso se gasta mensualmente 8 pipetas de cloro, el coagulante que se utiliza durante 30 días y se gasta aproximadamente 4,100 L/s dependiendo de las condiciones climáticas, causando un aumento en la concentración y finalmente se representa una corriente de salida en tanque de distribución el cual contiene entre 4,000 m³ y 6,000 m³. En la **figura 7** se observa las corrientes de entrada y salida de la empresa, y de igual forma se encuentra la nomenclatura del diagrama de flujo de proceso de la figura 6.

2.4 PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

En municipio de Ubaté, para suministrar el servicio de agua potable a los sectores domésticos e industriales de la región, es necesario llevar a cabo un proceso de potabilización mediante varias etapas de operación en las cuales incluye: la captación de agua cruda, la coagulación, la floculación, la sedimentación, la filtración y la desinfección. Cada una de estas etapas se describen en las figuras 6,7,8,9 y 10. Porque son importantes para remover partículas y microorganismos partículas suspendidos y disueltos, junto con materia orgánica e inorgánica sin dejar de mencionar que el agua cruda del río Ubaté contiene metales pesados, por cual el agua no es apta y es obligatorio realizar un proceso de purificación para evitar futuras enfermedades.

2.4.1 Captación del agua cruda. En el proceso de potabilización de agua inicia con la captación que consiste en la extracción de agua cruda del río Ubaté por medio de un sistema de gravedad o por la impulsión de bombas para incorporarla al sistema de acueducto. El agua se descarga en dos desarenadores para reducir la cantidad de arena y arcilla disuelta que causan corrosión en las tuberías de la planta.

Si bien, los desarenadores se ubican cerca de la bocatoma para proteger del desgaste y el taponamiento de las líneas de conducción.³⁴ Emservilla cuenta con “tres líneas de aducción que se ubican desde los desarenadores hasta a la planta de tratamiento”.³⁵ Como se muestra en la **Tabla 6** se describe la red tuberías a la planta. El agua que es captada en la bocatoma continúa el recorrido por medio de las líneas de aducción hasta la planta donde se descarga en la cámara de llegada de 2mx0.65m de longitud y 1.90 de profundidad.

³⁴ LOZANO, Guillermo Op Cit., p.44 Capitulo 4 Diseño de Unidades preliminares

³⁵ Emservilla S.A Op Cit., p1

Tabla 6 Líneas de aducción

Desarenador	Líneas de aducción	Longitud (m)
1	Aducción 4	5,173.83
2	Aducción 5	1,537.62
2	Aducción 6	5,020.37

Fuente: EMSERVILLA S.A acueducto [En línea] [citado el 11 de marzo de 2020] Disponible en: <http://emservilla.gov.co/acueducto/>

2.4.2 Coagulación. Juega un rol importante en el control de partículas y microorganismos pues es un proceso físico y químico que consiste en reducir el potencial de la doble capa de las partículas coloidales como resultado las micropartículas se aglomeran formando floc³⁶. Este fenómeno de aglomeración en la PTAP de Ubaté inicia con la añadidura de un coagulante químico llamado polihidroxicloruro de aluminio y mediante una agitación o mezcla rápida, es fundamental que el coagulante se propague rápida y uniformemente en toda la cámara de llegada para obtener excelente rendimiento y eficiencia del coagulante, como se demuestra en la **figura 8**.

En esta cámara de llegada el agua cruda se mezcla con el coagulante inorgánico contribuyendo a la remoción de partículas suspendidas y disueltas para lograr una reducción de la turbidez y el color.

Figura 8 Cámara de Llegada y Mezcla Rápida



Fuente: elaboración propia

³⁶ SILLANPÄÄ, M., et al. 2018. Removal of natural organic matter in drinking water treatment by coagulation: A comprehensive review. *Chemosphere*. Elsevier Ltd. pp 5 [En línea] [Citado el 14 marzo de 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.09.113>

2.4.3 Floculación. Es un proceso físico en cual consiste en incremento de partículas coloidales que se encuentran desestabilizadas a través de un medio de agitación lenta, para formar partículas de diferentes tamaños³⁷. Se trabaja mediante un sistema de agitación lenta porque contribuye a que las partículas suspendidas aumenten de manera exponencial el tamaño y el peso de manera dan origen a formación flóculos o flocs.

Después de una buena formación de flocs, las partículas se sedimentan en el fondo piso del floculador aproximadamente durante 1 y 2 horas. Para que pueden ser removidos por medio de dos unidades de floculación independientes cada una con seis cámaras de floculación como se puede ver en la **figura 9**.

Figura 9 Floculación



Fuente: elaboración propia

2.4.4 Sedimentación La sedimentación es la remoción de flóculos que se encuentran depositados en el fondo del sedimentador por un sistema de gravedad donde se le atribuye al peso de molecular de las partículas³⁸. Dicho de otra manera, las partículas son más densas que el agua en la PTAP de Ubaté los sedimentadores se caracterizan por tener cuatro zonas. En el **cuadro 2**, se observa el funcionamiento de las zonas de estacionamiento del sedimentador donde se produce la clarificación del agua y la reducción de la turbidez.

³⁷ Gerba, C. P., & Pepper, I. L. (2020). *Chapter 24 - Drinking Water Treatment. Environmental and Pollution Science* (pp. 435–454). Elsevier Inc. [En línea][18 de Marzo de 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814719-1.00024-0>

³⁸ Emservilla S.A Op Cit., p1

Cuadro 2 Zonas del sedimentador

ZONA	FUNCIÓN
Zona de entrada	Permite un tránsito ligero del flujo del agua que entra y el que se necesita en la zona de sedimentación.
Zona de salida	Contribuye un tránsito suave entre la zona de sedimentación y el flujo de salida que se denomina efluente
Zona de lodo	Recibe el material sedimentado que debe ser drenado por una válvula de fondo
Zona de sedimentación	Es la parte del tanque para el asentamiento, Libre de influencia de las otras dos zonas.

Fuente: EMSERVILLA. S.A Proceso de Tratamiento de agua potable [En línea] [citado el 18 de marzo de 2020] Disponible en: <http://emservilla.gov.co/acueducto/>

Los sedimentadores son de concreto y son rectangulares en la parte interna tienen una pantalla en fibra de vidrio tipo panel, en **la figura 10** se muestra el diseño en el proceso.

Figura 10 Sedimentación en la planta



Fuente: elaboración propia

2.4.5 Filtración. Como resultado de una sedimentación adecuada en la filtración (**Figura 11**) se separa los sólidos que están suspendidos y formados por las anteriores etapas. Esta unidad consiste en la retención de las partículas. Esta unidad consiste en la retención de las partículas coloidales que no se sedimentaron, a través de poros con un flujo descendente. Así mismo este proceso contribuye a la remoción de bacterias y la turbidez.

Los filtros en la PTAP dependen de la granulometría de la arena porque entre menor sea el diámetro de la antracita será mayor la eficiencia³⁹. A consecuencia del aumento de las partículas los filtros en planta se limpian cada 24 horas y no es necesario detener el proceso debido a que la planta cuenta con tres filtros.

Figura 11 Filtro de la PTAP



Fuente: elaboración propia

2.4.6 Desinfección. Este proceso se destaca por la capacidad de eliminar microorganismos como bacterias, virus y protozoos que causan enfermedades a la salud de ser humano. La desinfección en la planta de tratamiento consiste en el uso del cloro gaseoso como se demuestra en la **figura 12**. Son pipetas de 68 Kg cada una y se empleada diariamente 40 Lb/día. El cloro gaseoso en la industria es utilizado como desinfectante, porque tiene la capacidad de oxidar y eliminar cualquier agente patógeno. La dosificación se realiza a través de un clorador hidro y un inyector que actúa directamente sobre el fluido. En esta etapa hay varios factores que afectan el rendimiento del tratamiento como: la dosificación, la temperatura el pH el tiempo de contacto, causando que se formen subproductos indeseados es esta reacción.

Figura 12 Pipetas de Cloro



Fuente: elaboración propia.

³⁹ GERBA, C. P., & PEPPER. Op. Cit., p437

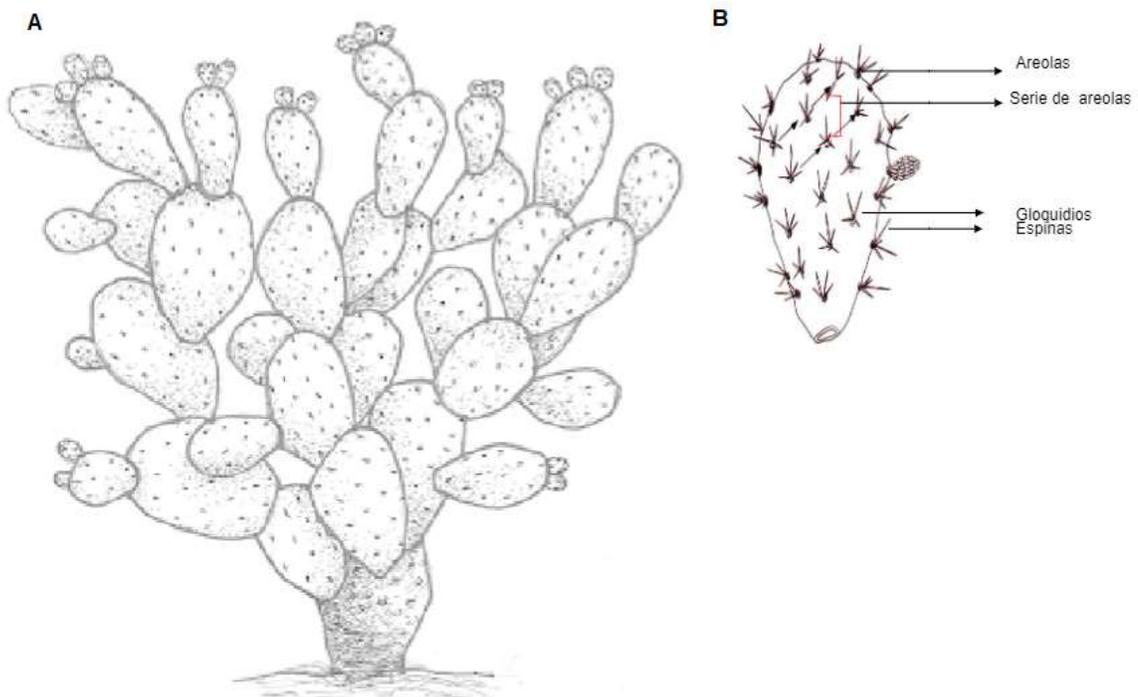
El tratamiento de agua es esencial para satisfacer las necesidades diarias del ser humano por tanto es importante realizar proceso físicos, químicos y microbiológicos al recurso hídrico, por ejemplo para potabilizar el agua interactúan las siguientes etapas; coagulación, floculación, sedimentación, filtración, y desinfección, con el propósito de eliminar la presencia de microorganismos, materia inorgánica e inorgánica, partículas suspendidas y disueltas, además de resolver problemas con respecto a la turbidez y el color del agua. Así mismo previene enfermedades por el consumo del agua contaminada. La potabilización juega un rol importante en la sociedad porque el agua es indispensable para la actividad diaria de los seres humanos. Es por esto por lo que el tratamiento de agua potable debe llevarse acabo de acuerdo con las normativas en Colombia.

Finalmente, la potabilizadora, cumple con todos los parámetros exigidos en la resolución 2115 de 2005. Sin embargo, La PTAP no cuenta tratamiento de residuos sólidos por tanto no hay presencia de tanques de lodos, para convertir y aprovechar la biomasa, Así mismo el agua del lavado de los tanques es depositada en las alcantarillas.

3. PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DEL COAGULANTE NATURAL

Para la Obtención del coagulante natural es necesario tener en cuenta que se puede obtener a partir de animales, microorganismos y plantas⁴⁰, en este caso existen dos alternativas para extraer el mucilago de cactus (*Opuntia ficus Indica*). La primera consiste en la elaboración de polímero natural en forma líquida y la segunda radica en producción de un coagulante en estado sólido. Por consiguiente, cabe resaltar que se desea seleccionar la dosificación adecuada para el tratamiento de agua potable, de forma teórica. Es decir, se debe realizar una búsqueda de información a través de base diferentes bases de datos como; Science Direct, Scopus, Scielo, Google Scholar, Dyna, Dialnet, Redalyc, Ebsco Host y Doaj. Con el propósito de establecer un parámetro en la dosis del coagulante y verificar cual es el efecto con respecto a la turbidez del agua.

Figura 13 Morfología del cladodio en *Opuntia Ficus Indica*



Fuente: REYES & AGUIRRE Parte A. Notas sistemáticas y descripción detallada de *Opuntia ficus indica*. Disponible en: ISSN: 1405-3195. RUIZ, Rosalba Parte B. Distribución, variación morfológica y correlaciones ecológicas de *Opuntia* ISBN:9789585771512. [citado 13 de mayo de 2020]

⁴⁰ FREITAS et al. Review of utilization Plant-based coagulants as alternatives to textile Wasterwater treatment p 55[En línea][citado 12-04-2020]Disponible en: doi:10.1007/978-981-10-4780-0_2

El *Opuntia ficus indica* se destaca por medir aproximadamente de 1,7 a 3 metros de alto, su apariencia es verde, posee cladodios (hojas) que se pueden encontrar de forma elíptica, circulares y rómbicos⁴¹ como se observa en la **Figura 13-A**, por otro lado, este tipo de planta se caracteriza por tener areolas con espinas como se evidencia en la **figura 13-B**.

3.1 LOCALIZACIÓN DE *OPUNTIA FICUS INDICA* EN COLOMBIA

En lo que respecta a Colombia, el género *Opuntia ficus Indica* crece por debajo de los 1000 msnm y por encima de los 2500 msnm⁴², esta especie vegetal se encuentra distribuido en lugares turísticos como; el parque Chicamocha en Santander, el desierto de la Tatacoa, el desierto de la Guajira, desierto de la candelaria. Y crece en menores proporciones al nororiente del país en; Boyacá, Norte de Santander, al suroccidente del país en; Cali, valle de Cauca, Popayán y Pasto, al norte en la costa caribe como se evidencia en la **figura 14**.

Figura 14 Muestreo Teórico del *Opuntia*



Fuente: RUIZ VEGA, Rosalba. Distribución, variación morfológica y correlaciones ecológicas de *Opuntia* Miller (Cactaceae) en Colombia ISBN:9789585771512 Editorial Zenú. [Citado 26 de mayo de 2020]

⁴¹ REYES, Antonio, & AGUIRRE, Rogelio 2006, Notas sistemáticas y descripción detallada de *Opuntia ficusindica* (L) mill. cactácea, Red Agrociencia, México, D.F. En línea: [26 mayo 2020]. Disponible: <https://ebookcentral.proquest.com>

⁴² RUIZ VEGA, Rosalba. Distribución, variación morfológica y correlaciones ecológicas de *Opuntia* en Colombia. Editorial zenú (2013) ISBN:9789585771512 p12 Montería, Colombia

La geografía colombiana resalta las zonas áridas y semiáridas, donde el litoral Caribe, la Guajira, Bolívar, Atlántico, Santa Marta. En la cordillera oriental se encuentran en sectores áridos del valle de Ubaté.⁴³

3.2 CARACTERIZACIÓN DE *OPUNTIA FICUS INDICA* PARA SU USO COMO COAGULANTE NATURAL

La *Opuntia ficus indica* (*OFI*) es utilizada para la fabricación de productos comestibles, bebidas embriagantes y biocombustibles, gracias a sus propiedades es identificado con un biofloculante en el tratamiento de agua potable⁴⁴. La implementación de nuevas tecnologías sostenibles y amigables con el medio ambiente se desarrolla alrededor de este trabajo a través de la extracción de un mucilago a partir del cactus.

Figura 15 Caracterización de cactus recolectado



Fuente: elaboración propia

El mucilago de *OFI* contiene carbohidratos como l-arabinosa, d-galactosa, d-xilosa y ácido galacturónico, este último le confiere la capacidad de desestabilizar las partículas suspendidas y disueltas del agua cruda⁴⁵. Por lo general la parte gelatinosa se extrae de las almohadillas internas y externas del cladodio como se observa en la **figura 15**.

⁴³HERNANDEZ, et, al. Zonas áridas y semiáridas de Colombia. Banco de occidente 1995 ISBN 9589550460

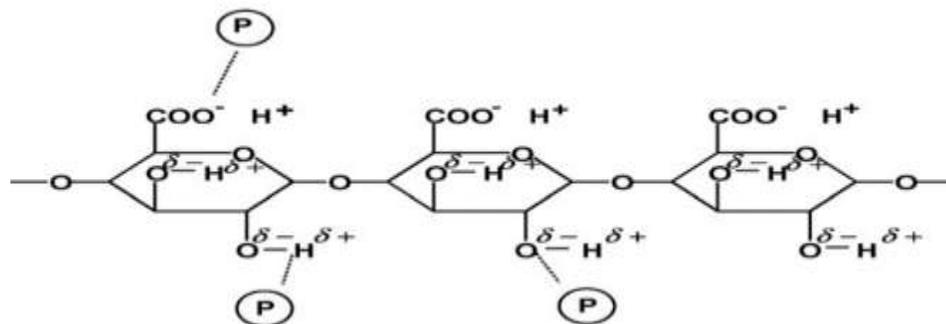
⁴⁴ BOUAQUINE et al. Identification and role of *Opuntia Ficus Indica* Constituents in the flocculation mechanism of colloidal solutions. p 842 [En línea][Citado el 24 de marzo de 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.036>

⁴⁵ YIN, C Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. P 1439 [En línea][Citado 07-04-2020] Disponible en: [doi:10.1016/j.procbio.2010.05.030](https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030)

La pectina es un polisacárido complejo proveniente de las paredes de las células primarias principalmente de las plantas, está conformado por metil esterificado y Acido Galacturónico. La pectina en la industria química ha sido utilizada en elaboración de alimentos, medicamentos y en la industria cosmética, como espesantes estabilizadores, en tratamiento de enfermedades gastroenterológicas, diabetes, hipertensión y cáncer.⁴⁶

El componente clave para que ocurra la coagulación a partir del mucilago es el ácido galacturónico, debido a que se caracteriza por ser un polielectrolito aniónico que forma puentes (P) que atrapan la materia orgánica e inorgánica, gracias a la presencia de grupos carboxílicos e hidróxidos a lo largo de la cadena⁴⁷ de la **figura 16**.

Figura 16 Representación del Ácido Galacturónico



Fuente: YIN. Schematic representation of polygalacturonic acid in aqueous solution and possible dominant molecular interactions associated with adsorption and bridging. 2010. p.1440 Disponible: doi:10.1016/j.procbio.2010.05.030

Por otro lado, se realiza una recopilación de las principales propiedades fisicoquímicas de la *Opuntia Ficus Indica* de diversos artículos de investigación consultados, en los cuales, se obtuvieron resultados óptimos por parte del coagulante natural en la remoción de turbidez para el tratamiento de agua potable. La cual, puede servir de referencias para futuras investigaciones que tengan el mismo objetivo.

Con base a la información recolectada en la **tabla 7**, se determinó que la especie analizada posee cladodios generalmente elípticos, pero también existen en la naturaleza de forma circulares, y rómbicos de color verde, contienen espinas de diferentes tamaños según el largo y el ancho de la hoja, además presenta areolas espirales, y frutos amarillos, verdes o rojos. Generalmente las características

⁴⁶ Pen, X et al 2020 Modelado estadístico basado en el diseño de Box-Behnken para la extracción y las propiedades fisicoquímicas de la pectina de las cabezas de girasol y la comparación con la pectina

⁴⁷ Ibid. p. 1440 Capitulo 1

cualitativas y cuantitativas varían entre la misma familia cactácea, por ejemplo, el color y el brillo de los cladodios se debe a la presencia de cutículas cerosas y la capacidad de reproducción. Las generalidades morfológicas no dependen de las condiciones climáticas⁴⁸. Para “determinar el contenido de humedad, cuantificar la cantidad de metabolitos secundarios (Saponinas y flavonoides), y establecer la presencia de metales (Hierro y Calcio) en la planta”⁴⁹ de acuerdo con las normas establecidas por la sociedad colombiana.

Tabla 7 Caracterización bibliográfica del cactus

Parámetros	Valor	Método	Equipo	Norma
Cladodio		Visual	Calibre pie de rey	NTC 4303
Forma	Ovalado, Elíptica			
Largo (cm)	27-63			
Ancho (cm)	14-31			
Espesor (cm)	1-3			
Color	Verde			
Areolas		Visual		
No de filas	6-19		Calibre pie de rey	NTC 4303
Largo (mm)	2-8			
Distancia	2.7-5			
Forma	Ovalada			
Color	Gris			
Espinas		Visual	Calibre pie de rey	NTC 4303
Forma	Acicular:			
Longitud (mm)	3			
Color	Café, gris			
Consistencia	Dureza 58%			
Fruta		Visual	Calibre pie de rey	NTC 4303
Color de piel	Verde, Roja, Gris			

⁴⁸ ADLI, B. et al Morphological characterization of some naturalized accesiones *Opuntia Ficus Indica* (L) Mill, in the algerian Steppe regions [en línea][citado 22-05-2020] p 216 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.04.017>

⁴⁹ VILLABONA ORTIZ, Angel et al. Caracterización de *la Opuntia Ficus Indica*[en línea][citado 22-mayo 2020] p 216 Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/32768/41778>

Tabla 7. (Continuación)

Parámetros	Valor	Método	Equipo	Norma
Longitud (cm)	5-10	Visual	Calibre pie de rey	
Diámetro (cm)	4-7			
Humedad (%)	90.23	Termogravimetría	Mufla	AOAC 978,18
pH	4.42	Potenciómetro	pH/ORP Meter HI91	-
Calcio (%)	0.27	Absorción Atómica	Espectrómetro UNICAM 969 AA	AOAC 975.03
Hierro (ppm)	32.55	Absorción Atómica	Espectrómetro	AOAC 975.03
Flavonoides (mg/g)	3.08	Extracción + espectrofotometría Uv-visible a 510 nm	Pharma Spec UV-1700 UV-visible Spectrophotometer SHIMADZU	Prueba de Shinoda
Saponinas (mg/g)	0.70	Extracción + espectrofotometría Uv-visible a 510 nm	Pharma Spec UV-1700 UV-visible Spectrophotometer SHIMADZU	Prueba de espuma
Carotenos (mg/g)	65.5	Cromatografía HPLC	HITACHI LACHROM CONSTA DE 7 MODULOS	ASTM, la D194

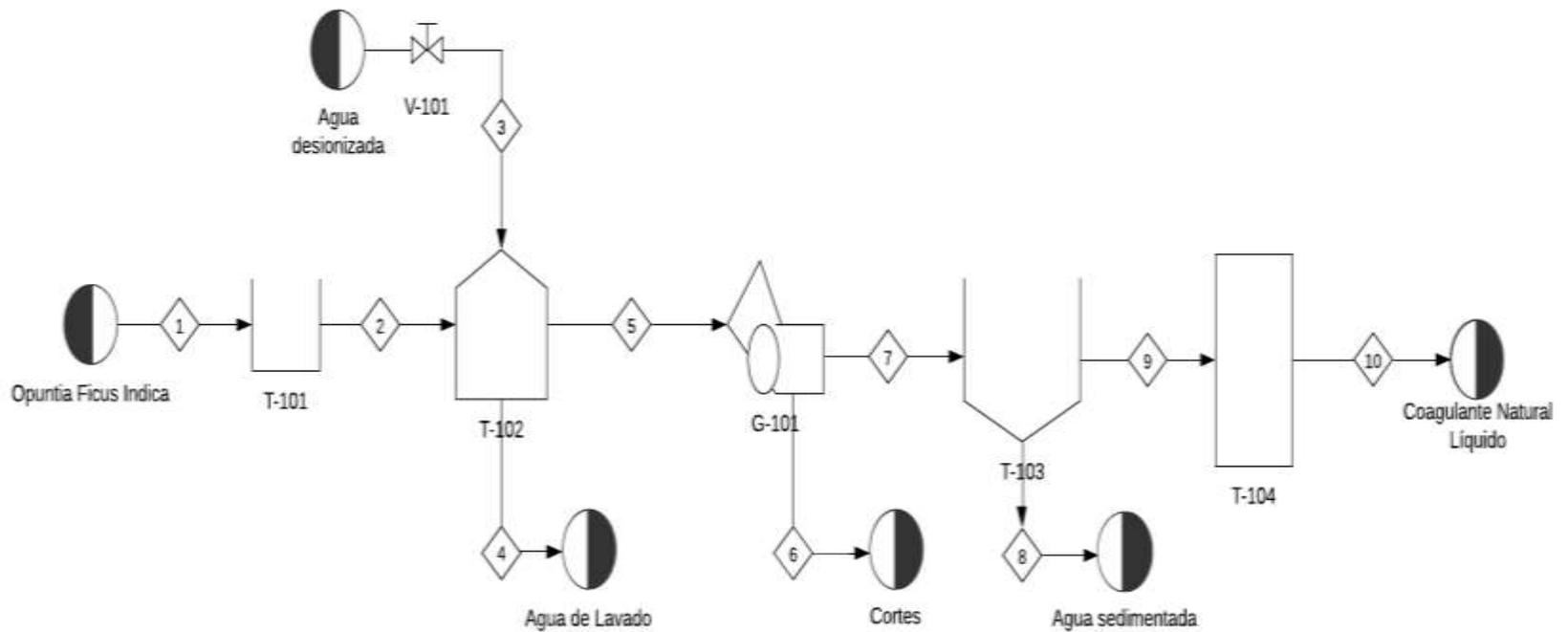
Fuente: REYES. Notas sistemáticas y descripción detallada de *Opuntia ficus indica*. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30239404> y VILLABONA, angel, PAZ Cristina, MARTINEZ Jasser p 137 Caracterización morfológica del *Opuntia Ficus Indica*. ISSN 1909-8758

3.3 OBTENCIÓN DE COAGULANTE NATURAL A PARTIR DE *OPUNTIA FICUS INDICA*

Los coagulantes pueden utilizarse en estado sólido o en solución líquida, esto depende de las necesidades de la planta de tratamiento de agua potable. En consecuencia, se analizará la obtención del coagulante natural a partir de *Opuntia Ficus Indica*, tanto en estado sólido como líquido. Se plantea un proceso de escala industrial, el cual se verá representado en dos diagramas PFD

3.3.1 Obtención de coagulante natural a partir de *Opuntia Ficus Indica* en estado Líquido. El proceso de obtención del coagulante natural en estado líquido se encuentra sintetizado en la **figura 17**.

Figura 17. Diagrama PFD de extracción de coagulante natural líquido.



Fuente: elaboración propia

Figura 18 Balances de Masa del coagulante líquido y nomenclatura

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura (°K)	277.15	277.15	277.15	277.15	277.15	277.15	277.15	277.15	277.15	277.15
Presión (KPa)	101.325	101.325	101.325	101.325	101.325	101.325	101.325	101.325	101.325	101.325
Flujo volumétrico (kg/h)	1	1	2	2	1	0.193	0.807	0.4883	0.3187	0.3187
Componente	Fracción Másica									
<i>Opuntia Ficus Indica</i>	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1
Agua (H ₂ O)	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0
Nomenclatura	Equipo	Función								
T-101	Tanque de almacenamiento	Almacena la <i>Opuntia Ficus Indica</i> , la cual debe encontrarse a una temperatura de 277.15 °K								
V-101	Válvula	Controla la adición de agua desionizada para el lavado								
T-102	Tanque de lavado	Se lavan las hojas de <i>Opuntia Ficus Indica</i> con agua desionizada								
G-101	Devastador	En este se retira las espinas y la cutícula de <i>Opuntia</i> , dejando así un gel de color verde								
T-103	Centrifugado	Acá se separa el supernatante de la mezcla gel obteniendo así el coagulante natural líquido								
T-104	Tanque de almacenamiento	Se almacena el coagulante natural líquido obtenido, debe estar a una temperatura de 227.15 °K								

Fuente: elaboración propia

Inicialmente se deben recolectar pencas u hojas frescas, estas se deben almacenar a temperatura ambiente en el caso de que vayan a ser procesadas de inmediato, en el caso contrario deben refrigerarse a una temperatura de 277.15 °K, de contar con una refrigeración estas pueden utilizarse hasta luego de dos semanas sin verse afectado su poder coagulante.

Posterior a esto, se deben lavar las pencas con agua destilada y remover sus espinas para así poder pelarlas, la capa exterior de la penca está compuesta por cloroencima⁵⁰ y la capa interior blanca está compuesta de aerencima⁵¹, la capa interior es la que contiene la capacidad coagulativa.

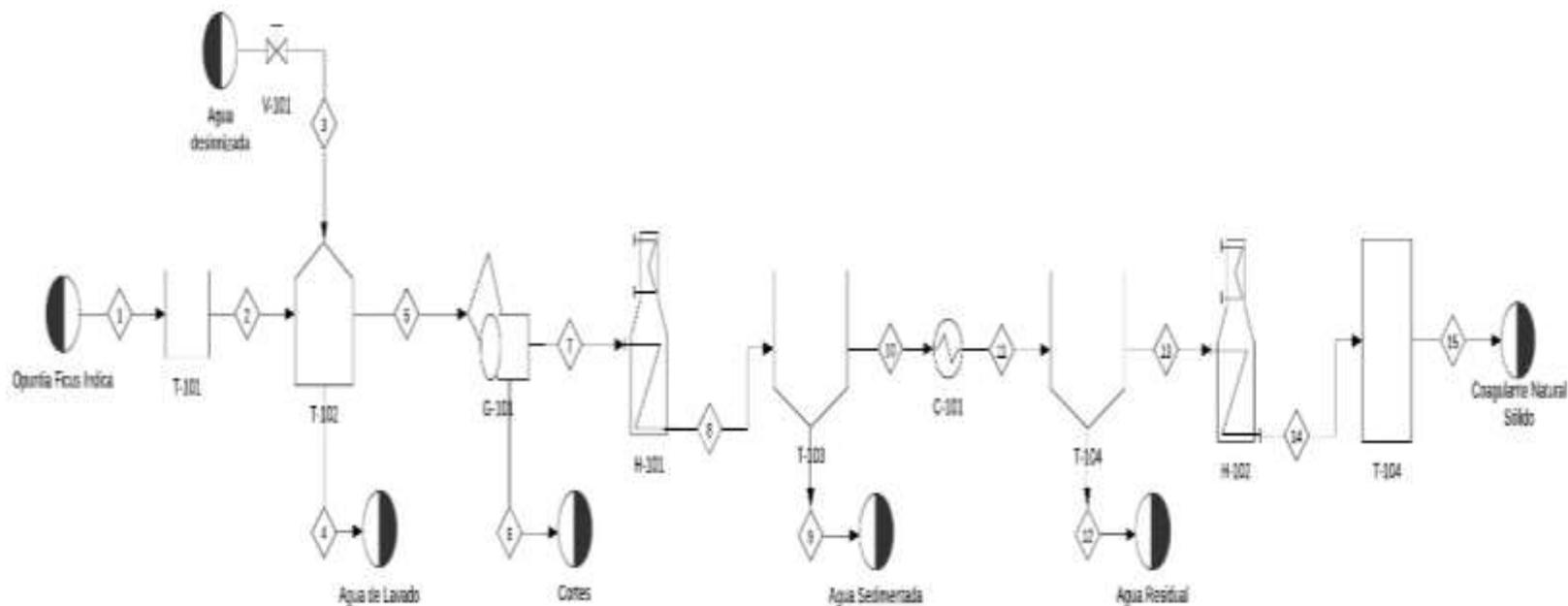
Después de remover la capa externa, se debe cortar la pulpa en pequeños pedazos y luego utilizar un mortero para realizar una pasta de cactus en agua, una vez obtenido un gel verdoso se separa la mezcla de sólido y gel centrifugando a 3700 rpm por 15 minutos, donde el supernatante debe ser recolectado y almacenado en un refrigerador a 277.15 °K, este será el coagulante natural en estado líquido realizado a partir de *Opuntia Ficus Indica*. Para realizar la obtención del coagulante natural en forma líquida se sugiere de forma teórica realizar las indicaciones del diagrama de flujo procesos a escala piloto de igual forma se presenta en la **Figura 18** los balances de masa y la nomenclatura del diagrama.

⁵⁰ CHOUDHARY et al p715 Evaluation of the potencial application of cactus (*Opuntia Ficus Indica*) as Biocoagulant Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.033> Citado[26 May 2020];

⁵¹ LERDAU, et al. Seasonal patterns of acid fluctuations and resource storage in the arborescent cactus *Opuntia excelsa*. Relation to light availability and size. *Oecologia* 92 Disponible: doi: 10.1007/BF00317359.

3.3.2 Obtención de coagulante natural a partir de *Opuntia Ficus Indica* en estado Sólido. El proceso de obtención del coagulante natural en estado sólido se explica en la **Figura 19**.

Figura 19. Diagrama de extracción de coagulante natural sólido.



Fuente: elaboración propia

Figura 20 Balance de Masa y Nomenclatura del coagulante sólido

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura (°K)	277.15	277.15	277.15	277.15	277.15	277.15	277.15	323.15	323.15	323.15
Presión (KPa)	101.325	101.325	101.325	101.325	101.325	101.325	101.325	101.325	101.325	101.325
Flujo volumétrico (kg/h)	1	1	2	2	1	0.193	0.807	0.807	0.4883	0.3187
Componente	Fracción másica									
<i>Opuntia Ficus Indica</i>	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1
Agua (H ₂ O)	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0
Corriente	11	12	13	14	15					
Temperatura (°K)	278.15	278.15	278.15	343.15	343.15					
Presión (KPa)	101.325	101.325	101.325	101.325	101.325					
Flujo volumétrico (kg/h)	0.3187	0.2536	0.0651	0.0651	0.0651					
Componente	Fracción másica									
<i>Opuntia Ficus Indica</i>	1	0	1	1	1					
Agua (H ₂ O)	0	1	0	0	0					
Termino	Equipo	Función								
T-101	Tanque Almacenamiento	Almacena la <i>Opuntia Ficus Indica</i> , la cual debe encontrarse a una temperatura de 277.15 °K								
V-101	Válvula	Controla la adición de agua desionizada para el lavado								
T-102	Tanque de lavado	Se lavan las hojas de <i>Opuntia Ficus Indica</i> con agua desionizada								
G-101	Devastador	En esta se retira las espinas y la cutícula de <i>Opuntia</i> , dejando así un gel de color verde								
H-101	Horno de tratamiento térmico	El gel se somete aun tratamiento termino aumentando su temperatura a 323.15°K								
T-103	Centrifugado	Se separa el supernatante de la mezcla gel obteniendo así el coagulante natural líquido								
C-101	Enfriador	El supernatante obtenido se lleva a una temperatura de 278.15°K								
T-104	Tanque sedimentador	El supernatante se deja sedimentado por 24horas, para luego filtrar el precipitado obtenido								
H-102	Horno de secado	El precipitado filtrado se somete a un proceso de secado a343.15°K por 24 horas								
T-104	Tanque de almacenamiento	Se almacena el coagulante natural sólido obtenido, puede almacenarse a la temperatura de salida del secado								

Fuente: elaboración propia

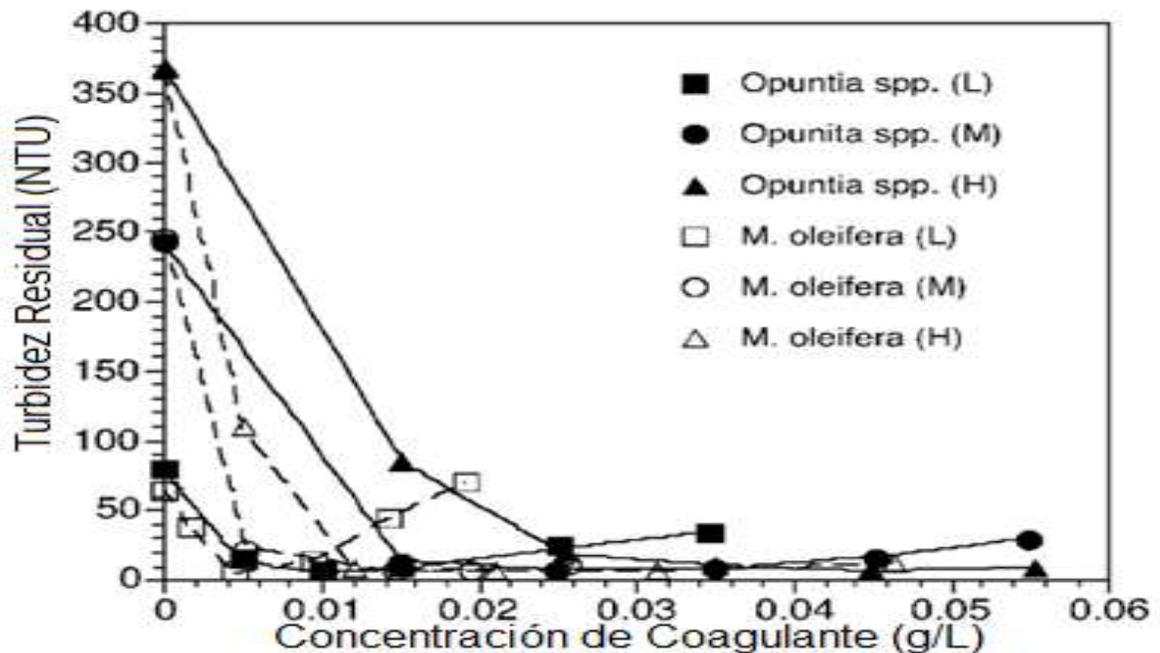
Este es idéntico al del estado líquido hasta la obtención del gel verdoso en la molienda, una vez obtenido este se debe someter a un tratamiento térmico en un horno a 323.15 °K durante una hora. Una vez finalizado, se somete a centrifugación a 3500 rpm por 10 minutos, donde el sedimento se desecha y el sobrenadante debe enfriarse a una temperatura de 278.15 °K para dejar precipitando el mucilago por 24 horas, luego de pasado el tiempo se separa el mucilago precipitado por filtración y se somete a un proceso de secado en un horno a 343.15 °K hasta obtener un contenido de humedad de máximo 10%, por último, el producto obtenido se almacena para su posterior utilización.

En la **figura 20**, se observa el balance de masa correspondiente al diagrama de flujo de procesos de la figura 19 para la obtención del coagulante natural a partir del *Opuntia ficus Indica*, en estado sólido.

3.4 SELECCIÓN DE DOSIS DE LA *OPUNTIA FICUS INDICA* MEDIANTE ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO

Para el cumplimiento de este objetivo se realiza una revisión bibliográfica, con el fin de encontrar las mejores dosificaciones de la *Opuntia Ficus Indica* como coagulante natural reportadas en diversos artículos científicos tanto para el coagulante en estado sólido como para el líquido, obteniendo así la matriz planteada en la **tabla 8**. Para la adecuada selección de esta dosificación se tuvo en cuenta que la turbidez promedio registrada del agua cruda en la planta de tratamiento de agua potable no supera los 90 NTU en la mayoría de los meses del año, por lo anterior, se decidió enfocarse en dosificaciones que tuvieran un grado alto de remoción de turbidez con una turbidez inicial menores a esta.

Figura 21. Efecto de la turbidez inicial en la remoción de la misma utilizando *Opuntia Ficus Indica*



Fuente: MILLER et al Comparación de la remoción de la turbidez. Toward Understanding the efficacy and Mechanism of *Opuntia* spp. As a Natural coagulant for potential Application in water treatment. [28 de junio 2020] Disponible en: doi:10.1021/es7025054

En la **Figura 21** se puede observar que entre mayor sea la turbidez inicial se requerirá de una dosificación significativamente mayor de la *Opuntia Ficus Indica*, adicionalmente esta remoción de turbidez lograda no será la mejor, por lo tanto, no se recomienda su uso en turbiedades mayores a 100 NTU.

Tabla 8 Matriz bibliográfica del OFI

#	Autor	Estado	Dosificación (ppm)		Turbidez agua (NTU)		pH		Remoción turbidez (%)
			Rango	Optima	Cruda	Tratada	Cruda	Tratada	
1	Choudhary et al. 2019 ⁵²	Líquido	10 - 1500	80	200	4	7	8.1	98
2	Bouatay et al. 2014 ⁵³	Sólido	20 - 100	40	38	3	7	7.25	91.66
3	Villabona et al. 2013 ⁵⁴	Sólido	50 - 90	90	171	47	7.8	7.9	72
4	Miller et al. 2008 ⁵⁵	Sólido	10 - 60	20	80	5	6.9	10.2	94
5	Bourven et al. 2018 ⁵⁶	Sólido	10 - 80	35	80	8	7	10	90
6	Zhang et al. 2006 ⁵⁷	Sólido	30 - 150	50	105	11	7	8.15	90

⁵² CHOUDHARYA et al. Evaluation of the potential application of cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a bio-coagulant for pre-treatment of oil sands process-affected water. [En línea] [30, mayo,2020] p.747,2018 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.033>

⁵³ BOUATAY et al. Use of the Cactus Cladodes Mucilage (*Opuntia Ficus Indica*) As an Eco-Friendly Flocculants: p1295,2014 [En línea][20 de mayo2020] Disponible: doi: 10.22059/ijer.2014.822

⁵⁴ VILLABONA ORTIZ, Ángel et al. Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. *Revista Colombiana de Biotecnología* [en línea]. 2013,XV(1),137-144 [citado el 30,mayo,2020]ISSN:0123-3475.Disponible: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77628609014>

⁵⁵ MILLER, S. M et al. Toward Understanding the Efficacy and Mechanism of *Opuntia spp.* as a Natural Coagulant for Potential Application in Water Treatment. *Environmental Science & Technology*, 42(12), p 4274,2018 [En línea][citado 30 de mayo de 2020] Disponible en: doi:10.1021/es7025054

⁵⁶BOURVEN Isabelle et al. Identification of functional groups of *Opuntia ficus-indica* involved in coagulation process after its active part extraction, p11111,2018 [En línea][30 de mayo de 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1394-7>

⁵⁷ ZHANG, J. et al. A preliminary study on cactus as coagulant in water treatment. *Process Biochemistry* 41(3), p73,2005 [En línea][Citado 03 de junio de 2020] Disponible en: en:doi:10.1016/j.procbio.2005.08.016

Tabla 8 (Continuación)

#	Autor	Estado	Dosificación (ppm)		Turbidez agua (NTU)		pH		Remoción turbidez (%)
			Rango	Optima	Cruda	Tratada	Cruda	Tratada	
7	Aguirre et al. 2017 ⁵⁸	Sólido	20 - 2500	10	125	40	7	7.41	68
8	Wambui et al. 2018 ⁵⁹	Líquido	0 - 40	30	20	4	8.2	7.4	80
9	Olivero et al. 2014 ⁶⁰	Sólido	35 - 40	40	174	30	6.55	6.55	83
10	Daza et al. 2016 ⁶¹	Líquido	0 - 40	40	44.5	4.5	7	7.3	88.56
11	Vishali. S. et al. 2015 ⁶²	Líquido	10 - 50	50	7.8	1.4	7.2	7.8	82.60
12	Carpinteyro et al. 2013 ⁶³	Líquido	25 - 75	50	537	46	6.91	7.65	89.3
13	Lans, E. et al 2020 ⁶⁴	Líquido	5	5	90.3	1.9	7.1	7.4	97.9
14	Mukhtan, A. et al 2015 ⁶⁵	Líquido	0 - 30	2	150	18	8.	8.3	88

⁵⁸AGUIRRE, Sonia, PIRANAQUE Nelson y CRUZ Rosmery. Sustancias naturales: Alternativas para el tratamiento de agua del Rio Magdalena en Palermo, Colombia. P 66,2018[En línea][Citado 03 de junio de 2020]Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000300059>

⁵⁹ WAMBUI A, FENGTING & KARANJA A. Sustainable treatment of drinking water using natural coagulant developing countries: A case of informal settlements in Kenya. p9,2018[En línea][Citado 06 de junio de 2020]Disponible en: http://www.ewra.net/wuj/pdf/WUJ_2018_18_01.pdf

⁶⁰ OLIVERO Rafael et al. Utilización de Tuna (*opuntia ficus-indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas p72, 2014 [En línea][citado 15 de junio de 2020] Disponible en: <http://www.unilibre.edu.co/revistaavances/avances-11/art7.pdf>

⁶¹ DAZA Rina et al. Evaluation of the Efficiency of Bio-Polymers Derived from Desertic Plants as Flocculation Agents. p 361,2016 [En línea][citado 15 de junio de 2020] Disponible en: doi: 10.3303/CET1649061

⁶² VISHALI, S. et al. Cactus (*opuntia ficus indica*): an eco-friendly alternative coagulant in the treatment of paint effluent. Desalination and Water Treatment, 56(6), p1489, 2014. [En línea][citado 16 de junio de 2020] Disponible en: doi:10.1080/19443994.2014.945487

⁶³ CARPINTEYRO, S. et al. Use of Response Surface Methodology in the Optimization of CoagulationFlocculation of Wastewaters Employing Biopolymers.p 717,2013 [En línea][citado 16 de junio de 2020] Disponible en: doi: 10.22059/IJER.2013.651

⁶⁴ LANS, E. et al. Improvement to quality of surface waters from rural communities: vegetable extracts as a sustainable and cheap alternative. p361,2016.[En línea][citado16 de junio de 2020] Disponible en:doi: 10.1007/s10668-020-00663-8

⁶⁵ MUKHTAR, Arslan et al. A Preliminary Study of *Opuntia stricta* as a Coagulant for Turbidity Removal in Surface Waters. p117,2015 [En línea][citado 16 de junio de 2020] Disponible en:

Tabla 8 (Continuación)

#	Autor	Estado	Dosificación (ppm)		Turbidez agua (NTU)		pH		Remoción turbidez (%)
			Rango	Optima	Cruda	Tratada	Cruda	Tratada	
15	Wan, J. et al 2018 ⁶⁶	Líquido	0 - 1300	500	380	30	5	6.5	91.94
16	Freitas, S. et al 2019 ⁶⁷	Líquido	0 - 50	30	111	4.4	6.25	6.8	96
17	Rubini, S. et al 2019 ⁶⁸	Sólido	0 - 20	15	90	40	7.69	7.55	55
18	Ibarra, N. et al 2018 ⁶⁹	Sólido	42 - 52	52	15	1	7	7.26	93
19	Al-Saati, N. et al 2016 ⁷⁰	Líquido	0 - 16	4	26.4	3.3	7.7	8.2	87.4
20	Deshmukh, S. et al 2019 ⁷¹	Sólido	60 - 110	70	468	76	7.8	7.95	84

Fuente: elaboración propia.

https://www.researchgate.net/publication/279782708_A_Preliminary_Study_of_Opuntia_stricta_as_a_Coagulant_for_Turbidity_Removal_in_Surface_Waters

⁶⁶ WAN, J. et al. Treatment train for tailings pond water using *Opuntia ficus-indica* as coagulant. Separation and Purification Technology. p10,2018 [En línea][citado 17 junio de 2020] doi: 10.1016/j.seppur.2018.09.083

⁶⁷ FREITAS, S. et al. Pretreatment using *Opuntia cochenillifera* followed by household slow sand filters: technological alternatives for supplying isolated communities. *Environmental Technology*, 1–30. P40,2018 [En línea][17 de junio de 2020] Disponible en: doi:10.1080/09593330.2019.1582700

⁶⁸ RUBINI, S. et al. Exploring the use of Cactus and Neem Leaf Powder as an Alternative Coagulant in Treatment of Wastewater. p1562,2019 [En línea][citado 17 de junio de 2020] Disponible en: doi: 10.35940/ijrte.B2241.078219

⁶⁹ IBARRA, N. et al. Comparison of the Efficiency of Biopolymer Derived from Melocactus Sp and Aluminum Polichloride (PAC) in the Process of Crude Water Flocculation. p157,2019 [En línea][citado 17 de junio de 2020] Disponible en: doi: 10.3303/CET1864027

⁷⁰ AL-SAATI, N. et al. Comparing cactus (*Opuntia* spp.) and alum as coagulants for water treatment at Al-Mashroo Canal: a case study. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13(12), 2875,2016 [En línea][citado 17 de junio de 2020] Disponible en:doi:10.1007/s13762-016-1114-0

⁷¹ DESHMUKH, S. et al. Wastewater Treatment Using Bio-Coagulant as Cactus *Opuntia Ficus Indica*. [En línea][Citado 18 de junio de 2020] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/333296057_Wastewater_Treatment_Using_Bio-Coagulant_as_Cactus_Opuntia_Ficus_Indica

Según estudios realizados se encontró que la *Opuntia Ficus Indica* muestra resultados óptimos en estado líquido a una concentración de 5 mg/L, porque logra una reducción en la turbidez del agua en 98%. De acuerdo con el análisis llevado a cabo en la matriz, en estado sólido la mejor concentración fue de 20 mg/L porque se obtuvo un valor de remoción de 94% de eliminación de las partículas suspendidas, adicionalmente, la dosificación presentada en cada procedimiento fue efectiva para ayudar en la coagulación de la materia orgánica e inorgánica. Se evaluará la viabilidad de la implementación de estas dos dosificaciones en el capítulo posterior, para así llegar a la respuesta del problema planteado en este proyecto de investigación.

3.4.1 Justificación de la matriz bibliográfica. Con base en la información recolectada en los motores de búsqueda mencionados anteriormente, se determinó que es importante conocer la dosificación para el tratamiento del agua potable en un rango de dos variables de menor a mayor y de esta forma seleccionar la concentración óptima para el tratamiento de agua potable, dependiendo de la dosis evaluada en el test de jarras se elige el porcentaje de remoción de turbidez de forma teoría y por otra parte, se tiene en cuenta la turbidez del agua cruda antes y después para ser seleccionada se observa que el pH no afecta las condiciones del agua ni la de los coagulantes.

3.4.2 Casos de estudio seleccionados. Con el proposito de resaltar los mejores resultados obtenidos en la matriz, se realiza un análisis teniendo en cuenta el procedimiento que utilizaron para terminar la concentración adecuada, y el porcentaje de remoción de la turbidez. En general se comparan los dos procedimientos seleccionados con la siguiente tabla 9.

Como se puede apreciar, la diferencia de tiempo es evidente porque en el estado líquido se gastó aproximadamente una hora y en forma solida se empleó 1 día debido al uso de diferentes equipos y operaciones unitarias en la transformación de la materia prima al producto deseado. También al evaluar la turbidez final solo se cumple de manera líquida según la normal colombiana que corresponde a 2 NTU, sin embargo, el otro procedimiento es de 5 NTU. Esto es por la cantidad de dosificación que se utilizó para remover las impurezas del agua cruda

En la siguiente tabla se evidencia, los resultados de caso de estudio para el coagulante sólido y líquido, de forma teoría y a una escala piloto o en el laboratorio.

Tabla 9 Casos de estudio

Estado	Líquido	Sólido
Turbidez inicial	90.3 NTU	80 NTU
Turbidez final	1.9 NTU	5 NTU
pH	7	6.9
Dosis	5 mg/L	20 mg/L
Tiempo	60 min	24 horas
Remoción de la turbidez	98%	94%

Fuente: elaboración propia. Basado en LANS et al 2020 & MILLER et al. 2008.[En línea][Citado 20 junio 06-2020] Disponible en: doi: 10.1007/s10668-020-00663-8 y doi:10.1021/es7025054

De acuerdo, a la **tabla 9** para la obtención de coagulante líquido y sólido se utiliza el método de extracción sólido líquido, además se realizó varios análisis para determinar las características fisicoquímicas, los dos experimentos son seleccionados por tener la mayor remoción de turbidez con una dosificación mínima. Conforme, a los estudios encontrados y seleccionados, para la extracción del coagulante en estado líquido se realizó el siguiente procedimiento; primero se seleccionó el *Opuntia Ficus Indica* de las comunidades rurales del departamento de Córdoba en el municipio de Cerete, Colombia⁷². Posterior los cladodios recolectados iniciaron un proceso de desinfección con el propósito de eliminar todas impurezas externas y extraer la parte interna de color transparente, posterior se utilizó un mortero para triturar la parte gelatinosa, la mezcla se separó por centrifugación a 3700 rpm durante 15 minutos, finalmente el mucilago en forma líquida se almaceno en un refrigerador a 277,15°C por 60 días, cabe a resaltar que Lans, menciona que el coagulante puede aumentar la eficiencia superior al 90%⁷³ si se mantiene guardado por 5 días. En el artículo, se realizó una prueba de jarras, porque generalmente este permite usar 6 vasos precipitados de 1 L y es una simulación a los procesos reales en las plantas de tratamiento de agua. En este ensayo se empleó una mezcla rápida a 200 rpm durante 1 minuto, con la intención de observar el comportamiento del coagulante líquido en la mezcla al desestabilizar las partículas coloidales en el agua y de acuerdo con la **ecuación 1** se determina la capacidad de remover la materia orgánica disuelta en el agua, es decir la Tc es la turbidez inicial y Tf es la turbidez final con el coagulante natural.

⁷² LANS et al 2020. Op. Cit., 363

⁷³ Lans et al. Op., Cit p 366

La siguiente ecuación fue sugerida por Choudhary en la respectiva revista de investigación.

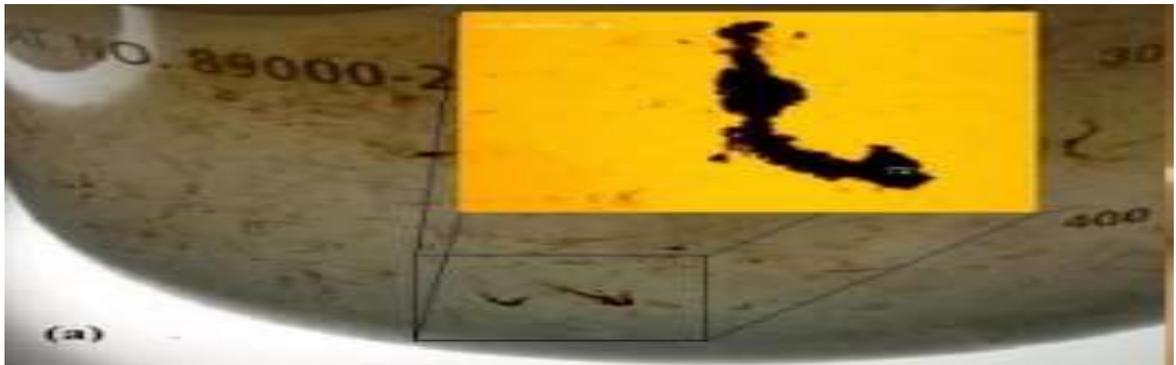
Ecuación 1 Porcentaje de turbidez

$$\%remocion\ de\ turbidez = \frac{T_c - T_f}{T_c} * 100$$

Fuente: Choudhary et al. Evaluation of the potential application of cactus (*Opuntia ficus indica*) as Biocoagulant for Pretreatment of Oil sands Process affected water. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.033>

La turbidez inicial presenta un impacto importante en la determinación de la dosis adecuada, porque cuando la turbidez del agua es alta, requiere una concentración superior, en este caso se usa de 5 mg/L para remover el 98% de la turbidez, como se observa en la **figura 22**, el efecto del coagulante natural es la formación de flocs debido a la presencia de las cargas electrostáticas que interactúan entre sí, para desestabilizar las partículas coloidales y forman flóculos. En este estudio los costos estimados para la producción del biocoagulante es de \$0.16/kg

Figura 22 Formación de Flocs



Fuente: CHOUDHARY. Microscopic images of flocs formed. [En línea] [citado 25 de junio de 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.03>

Por otra parte, el coagulante en forma sólido, se llevó a cabo de la siguiente forma: se recolectó en mercados locales en New Haven, posterior se lavó y se almacenó en un refrigerador a 277.15°K, se separó la capa interna de tejido blanquecino y se usó una licuadora Hamilton Beach para triturar la mezcla, además se usó una secadora por 333.15°K durante 24 horas, cuando el extracto de mucilago estaba seco se utilizó molinillo de café para obtener partículas con 300µm de diámetro para ser almacenado. Según Miller la eficiencia del coagulante extraído es superior 80%⁷⁴ durante dos semanas. Finalmente, al coagulante obtenido se evalúa

⁷⁴ MILLER et al. Op. Cit., p 4275

mediante una prueba de lotes el cual se realizó en un mezclador de laboratorio modelo CLM6 según la norma ASTM D2035-80, consistió en utilizar una mezcla rápida a 335rpm durante 1 min y una mezcla lenta de 35rpm durante 45min con el propósito de observar la capacidad de remover las partículas del agua.

3.4.3 Equipos Utilizados. Para la obtención del coagulante natural de manera líquida y sólida se sugiere que deben estar los siguientes equipos, de acuerdo con la matriz bibliográfica, en la mayoría de los artículos citados se sugieren realizar el proceso de obtención de manera líquida y sólida con los siguientes equipos.

Cuadro 3 Equipos sugeridos para la elaboración del coagulante líquido

COAGULANTE LÍQUIDO			
Equipo	Descripción	Características	\$ Precio
	Mortero	<ul style="list-style-type: none"> » Vasija de paredes gruesas y un pilón » Fabricado en: madera, porcelana vidrio y mármol » Sirve para Moler, triturar 	38,000
	Centrifuga modelo KHT 410E J-RDHI	<ul style="list-style-type: none"> » Genera movimientos de rotación con 24 tubos » Velocidad fija: 14000rpm » Potencia motor: 80W 	399,900
	Turbidímetro Hach 2100N Prolab	<ul style="list-style-type: none"> » Rango: 0 a 4000 NTU » Muestra requerida: 30ml » Alimentación: 50/60nm 	2'780,600
	Equipo de jarras 6 puestos JPS-FT6L	<ul style="list-style-type: none"> » Velocidad: 10-300 rpm » Consumo de energía 300 watts 	3'350,000
	Espectrofotómetro DR6000 HACH	<ul style="list-style-type: none"> » Rango de longitud de onda: 190-1100x10 » Ancho espectral: 2nm 	45'000,000
	Microscopio electrónico de barrido. JSM-7610F Scientific	<ul style="list-style-type: none"> » Técnica de análisis Superficial » Alta resolución » Detector en Columna con filtro de energía 	80'000,000

Fuente: elaboración propia.

Es importante destacar, que los estudios consultados anteriormente sugieren que se debe tener los equipos del **cuadro 3**, para realizar la experimentación a escala piloto además de analizar el producto mediante pruebas de microscopia para

determinar cuáles son las propiedades fisicoquímicas del coagulante obtenido, además consulto los precios de cada uno de los equipos para tener idea cuando vale realizar una inversión de a escala piloto, Sin embargo, los equipos mencionados lo prestan los laboratorios para hacer investigaciones.

Cuadro 4 Equipos sugeridos para el coagulante sólido

COAGULANTE SÓLIDO			
Equipo	Descripción	Características	\$ Precio
	Una licuadora	<ul style="list-style-type: none"> » Volumen: 1.65L » Marca: Hamilton Beach » Voltaje: 110V » Potencia: 650W 	139,900
	Refrigerador	<ul style="list-style-type: none"> » Temperatura Máxima: 8°C » Temperatura Mínima: 2°C 	20'482,985
	Equipo de jarras 6 puestos JPS-FT6L	<ul style="list-style-type: none"> » Velocidad: 10-300 r.p.m » Consumo de energía 300 watts 	3'350,000
	Turbidímetro Hach 2100N Prolab	<ul style="list-style-type: none"> » Rango: 0 a 4000 NTU » Muestra requerida: 30ml » Alimentación: 50/60Hz 	2'780,600
	Microscopio electrónico de transmisión. JEM 1400 PLUS	<ul style="list-style-type: none"> » Voltaje: 20 a 200 kV » resolución 0.4 nm a 120kv » aprovecha los fenómenos físicos-atómicos 	75'000,000
	Estufa de secado TR 240	<ul style="list-style-type: none"> » Función: Secar y Esterilizar 	6'825,469

Fuente: elaboración propia.

Con la ayuda de motores de búsqueda como Google Scholar se determinó el valor real en el mercado colombiano, con el propósito de sugerir los equipos más utilizados para la obtención del coagulante sólido a partir de recursos vegetales

como lo es en este caso, el uso opuntia ficus indica. Por tanto, en el **cuadro 4** se observa las características principales de los equipos como la potencia y el voltaje. Después de realizar una búsqueda de información, Se seleccionó la dosificación de la *Opuntia Ficus Indica* como coagulante en el tratamiento de agua potable, según la matriz se llevó a cabo un análisis bibliométrico para observar varios de los parámetros, como lo es la turbidez y la concentración que utilizaron aunque solo se eligió los mayores porcentajes en la remoción de partículas, en la mayoría de artículos no se describen detalladamente cuantas veces utilizaron el test de jarras, sin embargo se muestran los mejores resultados en cada estudio, cabe resaltar que cada revista de investigación tiene procesos similares para la extracción de coagulante, pero varía en los tiempos, en la calidad del agua, en la turbidez y por supuesto esto hace que se vea directamente afectada la dosificación. Porque si este no se adiciona la cantidad exacta, no se neutralizan totalmente las cargas de las partículas⁷⁵, por tanto, es escasa la formación de flocs o micro flóculos.

En este caso, para el coagulante líquido y sólido la dosis se encuentra entre 5 y 10 ppm respectivamente, lo que significa que se presenta una mayor eficiencia el coagulante líquido como se evidencia en la tabla 8 el porcentaje de la reducción de la turbidez es de 98% y la de coagulante sólido en de 94%, se debe a las pérdidas de materia prima (cactus) al momento de la obtención. Con base a los resultados recolectados se procede realizar un análisis de costos del *Opuntia ficus Indica* como una alternativa de innovación para el tratamiento de agua potable en la fase de la Coagulación. Y de forma definir si utilizar el *Opuntia* es viable económicamente para la empresa.

⁷⁵ COGOLLO, Juan. Op. Cit., p 23

4. ANÁLISIS DE COSTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA *OPUNTIA FICUS INDICA* COMO COAGULANTE NATURAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

Al transcurso del tiempo varios autores han investigado el comportamiento de los coagulantes naturales derivados de plantas, animales y microorganismos que cumplan las mismas funciones de los coagulantes químicos, reduciendo la producción de coagulantes como sulfato de aluminio. Los coagulantes sólidos se presentan como nueva alternativa para mitigar el impacto económico, ambiental. Algunas de las ventajas de los coagulantes es que son biodegradables, no tóxicos, y remueven las impurezas del agua⁷⁶.

Tabla 10 Porcentaje de remoción de otros coagulantes sólidos

#	Planta especie	Remoción de Turbidez %
1	<i>Stenocereus ps</i>	88.58
2	<i>Cereus forbes</i>	88.31
3	<i>Melocactus sp</i>	97.15
4	<i>Aloe vera</i>	92.74
5	<i>Goma de Guar</i>	72.7
6	<i>Mesquite gum</i>	73.09
7	<i>Pitaya (Hylocereus triangularis)</i>	95
8	<i>Guásimo (Guazuma ulmifolia)</i>	95
9	<i>Moringa Oleifera</i>	98.18
10	<i>Dolichos lablab</i>	88.9
11	<i>Cicer arietimun</i>	95.89
12	<i>Opuntia ficus indica</i>	94

Fuente: DAZA. Evaluation of efficiency of bio-polymers p 365 Disponible <https://www.aidic.it/cet/16/49/061.pdf> CARPINTEYRO. Use of Response Surface Methodology in the Optimization of Coagulation Flocculation of Wastewaters Employing Biopolymers Disponible https://ijer.ut.ac.ir/article_651.html, LANS, Doi: 10.1007/s10668-020-00663-8 TAIWO, et al. . Efficacy of a natural coagulant protein from *Moringa oleifera* (Lam) seeds in treatment of Opa reservoir water, Ile-Ife, Nigeria. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03335>. [En línea] [Citado 3 de agosto de 2020]

Como se observa en la **Tabla 10** existen gran variedad de especies que son investigadas para la obtención de coagulantes naturales, de forma líquida y sólida para remover las impurezas en el tratamiento de agua potable, residual y textil. con el propósito de comparar los resultados obtenidos por varios autores se puede evidenciar que existen diferencias en cuanto al porcentaje de remoción de la turbidez de cada especie, esto se debe a los siguientes parámetros, el color del

⁷⁶ FREITAS et al. Op. Cit., p42

agua cruda, la dosificación, los equipos que emplearon para obtención del coagulante sólido. Por otra parte, los coagulantes sólidos, presentan mayor dificultad de la remoción de la turbidez, en el transporte y almacenamiento.

4.1 COSTOS DE LA OPERACIÓN ACTUAL EN LA PLANTA EMSERVILLA

Luego de obtener la dosificación óptima del coagulante natural a base de *Opuntia Ficus Indica* en estado líquido y sólido, se procede a realizar un análisis de costos para su uso en la planta de tratamiento de agua potable de la empresa Emservilla. Antes de esto, se requiere de un diagnóstico a los costos de la operación actual de la empresa, los cuales permitirán dimensionar los resultados obtenidos para el coagulante natural. A continuación, se demuestra un panorama general de los costos actuales de la planta de tratamiento de agua potable. Teniendo en cuenta los siguientes ítems.

Con el propósito de indicar cuales son los costos y gastos de la operación actual en la planta de tratamiento potable, se realizó un flujo de caja (**Tabla 11**), de acuerdo con el ministerio de trabajo de Colombia a partir del salario mínimo legal vigente se derivan una serie de atribuciones como prestaciones sociales y aportes a la seguridad social cada ítem tiene un porcentaje de acuerdo a la ley Colombiana⁷⁷(**Anexo A**), en este caso se llevó a cabo un análisis mensual por parte de los cuatro colaboradores en la planta y los costos mensuales del coagulante en la operación de 30 días y con base a este flujo se determinan que los costos mensuales y anuales son \$47'454,000 y \$569,448.000 respectivamente.

Además, mensualmente se consumen 5000 Kg de Policloruro de aluminio (PAC), el cual equivale a costo mensual de \$26'500,000, Con este valor se puede observar la oportunidad de optimización con la implementación de un coagulante más económico y efectivo que no sea tóxico y que tenga propiedades biodegradables. Por otra parte, se solicitó una cotización (**Anexo B**) para conocer el precio de hidroxiclóruo de aluminio por 1 kg de forma líquida vale \$5,300. Cabe resaltar que el costo anual del coagulante químico representa el 56% de la totalidad de costos anuales de la planta, reafirmando la necesidad de una posible optimización de costos, es ahí, donde nace la idea de la posible sustitución del coagulante actualmente usado.

⁷⁷ MINISTERIO DE TRABAJO. [Citado 30-06-2020] [En línea] Disponible en: <https://www.mintrabajo.gov.co/atencion-al-ciudadano/tramites-y-servicios/mi-calculadora>

Tabla 11 Flujo de Caja

Ítem	UM	CONSUMO		COSTO \$ COP			
		Mensual	Anual	Unitario	Mensual	Anual	
Insumos Químicos	PAC	L	5,000	60,000	5,300	26'500,000	318'000,000
	Cloro gaseoso	Kg	544	6,528	9,500	5'168,000	62'016,000
Servicios	Transporte de insumos	#	1	1	300,000	300,000	3'600,000
	Energía Eléctrica kWh	\$ COP	11,000	132,000	500	5'500,000	66'000,000
Mano de Obra	Sueldo básico	#	4	4	1'500,000	6'000,000	72'000,000
	Auxilio de transporte	#	4	4	103,000	412,000	4'944,000
Prestaciones Sociales	Cesantías	#	4	4	134,000	536,000	6'432,000
	Intereses Sobre cesantías	#	4	4	16,000	64,000	768,000
	Prima de Servicio	#	4	4	134,000	536,000	6'432,000
	Vacaciones	#	4	4	62,500	250,000	3'000,000
Aportes a la seguridad social	Pensión	#	4	4	180,000	720,000	8'640,000
	Salud	#	4	4	127,500	510,000	6'120,000
	Riegos Laborales	#	4	4	104,500	418,000	5'016,000
Parafiscales	Caja de compensación familiar	#	4	4	60,000	240,000	2'880,000
	ICBF	#	4	4	45,000	180,000	2'160,000
	SENA	#	4	4	30,000	120,000	1'440,000
TOTAL (\$)						47'454,000	569'448,000

Fuente: elaboración propia

4.2 ANÁLISIS DE COSTOS COAGULANTE NATURAL A BASE DE *OPUNTIA FICUS INDICA*

Para llevar a cabo el análisis de costos en el coagulante natural se necesita de la cotización de la materia prima, en este caso es la *Opuntia Ficus Indica*, también conocida como “Nopal” en Sudamérica. Se hace una investigación tanto online como offline para encontrar el precio más asequible de la misma, encontrando al proveedor “Vivero Ruiz” ubicado en el km 5 vía Ubaté-Chiquinquirá, Colombia como se representa en la cotización solicitada en el **Anexo C**.

La muestra fotográfica y precio de la materia prima se muestra en la **Cuadro 5**.

Cuadro 5 Cotización *Opuntia Ficus Indica*

<p>Registro fotográfico <i>Opuntia Ficus Indica</i></p>	
<p>Precio (COP/kg)</p>	<p>5,000</p>

Fuente: elaboración propia

Una vez se identifica el precio de la materia prima se procede a realizar el análisis de costos respectivo para el coagulante natural tanto en estado sólido como líquido, para este se ignora el precio de los equipos a utilizar debido a que la empresa Emservilla cuenta con todos los equipos anteriormente planteados, por lo tanto, podría producir sin problema este coagulante en una escala industrial, los aspectos más importantes para este análisis de costos serán: El precio de la materia prima (*Opuntia Ficus Indica*) que se puede apreciar en el Cuadro 5, el rendimiento de esta tanto para la fabricación de coagulante líquido y sólido, el cual, se verá con más detalle más adelante, la dosificación ideal para cada una, esta fue identificada en el capítulo anterior y por último el caudal de tratamiento anteriormente mencionado (95 L/s).

4.2.1 Análisis de costos coagulante natural sólido de *Opuntia Ficus Indica*.

La realización del análisis de costos para el coagulante natural de *Opuntia Ficus Indica* en estado sólido requiere de la identificación del rendimiento de la materia prima, es decir, cuantos mg de coagulante en polvo se obtienen a partir de 1 kg del Nopal, para esto se remitió a la bibliografía utilizada en la matriz bibliográfica de capítulos anteriores. Donde se obtiene la **Tabla 12**, en esta se puede observar que la operación unitaria donde se tiene más pérdida de material es en el secado, esto podría representar una oportunidad de optimización a este proceso si se pensara llevar a una escala industrial.

Tabla 12 Perdidas en la obtención del Coagulante Natural Sólido

Operación	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Pérdida (g)	Pérdida operación (%)	Pérdida global (%)
Remoción de la cutícula	1201.5	989.9	211.6	17.61	17.61
Corte	989.9	969.5	20.4	2.06	1.69
Secado	969.5	79.0	890.5	91.85	74.11
Triturado	79.0	78.5	0.5	0.63	0.04
Tamizado	78.5	78.2	0.3	0.38	0.02
Total	-	-	1123.3	-	93.49

Fuente: VILLABONA ORTIZ, Ángel et al. Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. *Revista Colombiana de Biotecnología* [en línea]. 2013, XV (1),137-144 [citado el 01 de julio de 2020] Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77628609014>

Con base en las pérdidas globales en la obtención del coagulante natural de *Opuntia Ficus Indica* en polvo se obtuvo el rendimiento de este con la siguiente **Ecuación 2**:

Ecuación 2 Rendimiento Coagulante Sólido

$$\text{Rendimiento Coagulante Sólido (\%)} = \frac{\text{Masa final de coagulante obtenido (g)}}{\text{Masa inicial de materia prima (g)}}$$

Fuente: elaboración propia

Aplicando la fórmula mencionada anteriormente, se calcula un rendimiento del 6.51%, con esto, se puede concluir que de 1 Kg de materia prima obtendremos solamente 65.1 mg de coagulante natural en polvo, este rendimiento es bastante bajo y se podría optimizar con las operaciones unitarias involucradas en el proceso de obtención del coagulante natural en polvo, la **Ecuación 3**, se genera teniendo en cuenta que la empresa no debe incurrir en gastos adicionales de compra de equipos, debido a que ya cuenta con estos como se mencionó anteriormente, en esta ecuación se tiene en cuenta los factores decisivos si se llegara a producir este

coagulante natural, estos aspectos son el rendimiento de la materia prima, es decir cuanto coagulante se obtendría de una cantidad inicial cualquiera de *Opuntia Ficus Indica*, la dosificación a utilizar identificada en capítulos anteriores que nos indica que para tratar 1 L de agua cruda necesitaremos 20 mg de coagulante natural sólido para llegar a la turbidez deseada y por último el costo de la materia prima, el cual, se cotizó en 5000 COP por cada kg de *Opuntia Ficus Indica*.

Ecuación 3 Costo de Tratamiento de agua con Coagulante Natural Sólido

$\text{Coagulante Sólido} \left(\frac{\text{COP}}{\text{L}} \right) = \frac{Mi (kg) * C \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)}{Mo (mg)} * CMP \left(\frac{\text{COP}}{\text{kg}} \right)$
$\text{Coagulante Sólido} \left(\frac{\text{COP}}{\text{L}} \right) = \frac{1.201 (kg) * 20 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)}{78,200(mg)} * 5,000 \left(\frac{\text{COP}}{\text{kg}} \right) = 1,536$

Fuente: elaboración propia

Donde

Mi=Masa inicial de la materia prima Kg C=Dosis Optima Coagulante Sólido $\left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)$
 Mo= Masa de coagulante Obtenido (mg) CMP=Costo de la materia Prima $\left(\frac{\text{COP}}{\text{kg}} \right)$

Aplicando la **Ecuación 3** se obtiene que el **costo de tratamiento** es de 1536 COP por cada Litro de agua a tratar para el coagulante natural sólido de *Opuntia Ficus Indica*.

4.2.2 Análisis de costos coagulante natural líquido de *Opuntia Ficus Indica*.

Para el coagulante natural líquido se investiga en los artículos previamente mencionados en la matriz bibliográfica encontrando un valor promedio de 31.87%⁷⁸ de rendimiento, se puede observar que este es mucho mayor al encontrado en la obtención del coagulante natural sólido, esto se explica con el hecho de que el coagulante natural líquido no requiere de una etapa de secado, la cual, como se ha mencionado anteriormente es la operación unitaria con mayor cantidad de pérdidas de material, la dosificación anteriormente identificada fue de 5 mL para tratar 1 L de agua y el costo de materia prima que sigue siendo de 5,000 COP por cada kg de *Opuntia Ficus Indica* obteniendo así la **Ecuación 4**.

⁷⁸ WAN et al. Op. Cit., p 6

Ecuación 4 Costo de Tratamiento de agua con Coagulante Natural Líquido

$$\text{Coagulante líquido } \left(\frac{COP}{L}\right) = CMP \left(\frac{COP}{kg}\right) * \frac{C \left(\frac{mL}{L}\right) * 1 Kg}{RCL \left(\frac{mL}{mg}\right) * 1,000,000(mg)}$$

$$\text{Coagulante líquido } \left(\frac{COP}{L}\right) = 5,000 \left(\frac{COP}{kg}\right) * \frac{5\left(\frac{mg}{L}\right)*1 Kg}{0.3178 \left(\frac{mL}{mg}\right)*1,000,000(mg)} = 0.0784$$

Fuente: elaboración propia

Donde:

RCL=Rendimiento de Coagulante Líquido $\left(\frac{mL}{mg}\right)$

C= Dosis Optima Coagulante Líquido $\left(\frac{mL}{L}\right)$

CMP= Costo de la materia Prima $\left(\frac{COP}{kg}\right)$

Aplicando la **Ecuación 4** se define el **costo de tratamiento** en 0.0784 COP por cada Litro de agua a tratar para el coagulante natural sólido de *Opuntia Ficus Indica*.

4.3 ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE COAGULANTE NATURAL DE OPUNTIA FICUS INDICA

Actualmente la empresa Emservilla trata 95 L/s de agua cruda, lo cual es equivalente a 2'954'880,000 L de agua anuales, con base en esto se puede calcular el costo anual de tratamiento de agua utilizando el coagulante natural tanto en estado líquido como en estado sólido como se puede apreciar en la **Tabla 13**. Este cálculo se realiza como se muestra en la Ecuación 5. El costo del tratamiento anual del coagulante sólido es de \$4'540,000 debido a que para su elaboración se emplean operaciones unitarias demás, como el secado donde se tiene la mayoría de las pérdidas en la producción. Por otro lado, el coagulante líquido es económico y se emplea menos concentración a comparación del actualmente usado por en la empresa

Ecuación 5 Costo de Tratamiento de agua con Coagulante Natural Líquido

$$\text{Costo de tratamiento anual } \left(\frac{COP}{Año}\right) = CT \left(\frac{COP}{L}\right) * 2,954,880,000 \left(\frac{L}{Año}\right)$$

Fuente: elaboración propia

Tabla 13 Comparación de coagulantes

Parámetro	Coagulante natural Sólido	Coagulante natural Líquido	Coagulante Actual
Costo de tratamiento anual en millones (COP)	4'540,000	232	318
Dosificación optima (ppm)	20	5	25
Remoción de turbidez (%)	94	98	97

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 13 se comparan las tres opciones estudiadas, es de destacar el costo de tratamiento anual del coagulante natural sólido, el cual, es muy superior a las otras dos opciones, esto se debe a el bajo rendimiento en la obtención del coagulante natural sólido, sin embargo, se puede observar que la dosificación optima del mismo, es menor a la usada actualmente por la empresa, por lo tanto, es posible conseguir un ahorro si se implementara en el proceso actual de la planta, eso sí, para que sea esto viable se requiere de un rendimiento mayor al 6.51% que es el usado para la obtención del costo de tratamiento, aunque, este no sea la mejor opción al lado del coagulante natural líquido y el coagulante actual, cuenta con un potencial importante que se podría explotar de llegar a optimizar el procedimiento de obtención del mismo, en el que cabe resaltar su facilidad de almacenamiento, debido a que no necesita de temperaturas inferiores a la temperatura ambiente. Sin embargo, se descarta su implementación en el proceso de tratamiento de agua de la empresa Emservilla por todo lo anteriormente mencionado.

Luego de descartar la viabilidad del coagulante natural sólido, se procede a realizar una comparación entre el coagulante natural líquido de *Opuntia Ficus Indica* y el actualmente usado en el proceso de tratamiento de agua de la empresa Emservilla, como se muestra en la **Tabla 14**, donde se compara también el consumo mensual de los coagulantes, debido a que la dosificación del coagulante natural líquido a usar es 5 veces menos comparada con la actualmente usada, el consumo mensual sería 5 veces menor, obteniendo así un valor de 1000 L/mes que equivalen a 12000 L/año.

Tabla 14 Coagulante natural líquido vs Coagulante actual

Parámetro	Coagulante natural Líquido	Coagulante Actual	Diferencia (%)
Costo de tratamiento anual en millones (COP)	232	318	27
Dosificación optima (mL/L)	5	25	80
Remoción de turbidez (%)	98	97	1
Consumo mensual (L/mes)	1000	5000	80

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 14 se pueden observar claramente las optimizaciones que se lograrían si se implementara el Coagulante Natural Líquido en el proceso de tratamiento de agua actualmente usado por la empresa Emservilla y es que este es superior en todos los aspectos, se plantean ahorros de hasta el 27% en el costo de tratamiento anual que equivalen a aproximadamente a 86 millones de pesos Colombianos, una disminución en la dosificación actualmente usada pasando de 25 mL/L a 5 mL/L es una optimización del 80% con la misma reducción de turbidez y que se podría ver reflejada en un menor consumo mensual de coagulante usado pasando de 5000 L/mes a 1000 L/mes, es decir, un consumo 5 veces menor. Todos estos ahorros podrían invertirse en la ampliación de la planta para así poder aumentar los ingresos de la misma y a su vez poder ser pioneros en la inserción de materiales biodegradables en la industria de tratamiento de agua potable en Colombia, cumpliendo así con las metas de desarrollo sostenible que tanto anhelan las empresas hoy en día.

4.3.1 Disponibilidad real del Cactus. El género *Opuntia ficus indica* es el más grande a lo largo del continente porque crece en zonas áridas y semiáridas, como se observa en la Tabla 15, la disponibilidad actual de cactus alrededor de algunas regiones con su respectiva área cultivada por hectáreas.

Tabla 15 Área Cultivada de Cactus95

Regiones/Continentes	Área cultivada (Hectáreas)
Países de Sur América	578,460
Estados Unidos	120
África	1'260,400
Australia	400
Europa	15,500
India	200
Brasil	500,000
México	3'000,000
Colombia	200,000

Fuente: CHOUDHARY et al. Evaluation of the potential application of cactus (*Opuntia ficus indica*) as Biocoagulant for Pretreatment of Oil sands Process affected water. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.033>

El *Opuntia ficus Indica*, es cultivado intereses comerciales para producir bebidas embriagantes, biocombustible, bioplástico, comida para animales y es utilizado para como coagulante del agua cruda de manera tradicional, sin embargo, actualmente se realizan varias investigaciones al cactus con el fin de encontrar nuevas tecnologías verdes.

Finalmente, como se relata a lo largo del documento cabe resaltar que los coagulantes naturales pueden ser basados en plantas, animales y microorganismos

como por ejemplo en vegetales y legumbres, residuos de frutas, en este caso se utilizó el *Opuntia ficus indica* (Cactus) y de acuerdo al análisis bibliométrico se seleccionó la dosificación para encontrar el mayor porcentaje en la remoción de la turbidez, y en comparación con el coagulante químico, la nueva propuesta en este estudio es viable tanto económica como socialmente porque el costo asociado es menor, además se encuentra en abundancia el recurso natural donde se extrae para fabricar este coagulante en forma sólida y líquida, es amigable, biodegradable con el medio ambiente, reduce la dependencia de utilizar químicos, principalmente porque se apuesta a la implementación de tecnologías verdes⁷⁹ en el tratamiento de agua potable, que cumplan las mismas características de los coagulantes sintéticos, por otro lado se observa que coagulantes a base de fuente naturales como el Cactus requiere bajas concentraciones para que sea efectivo en el desestabilización de la materia orgánica e inorgánica. Asimismo, los efluentes asociados al proceso que actualmente se desechan en fuentes hídricas naturales no tendrían ningún efecto negativo en el ecosistema acuático evitando así una posible contaminación ambiental que podría tener repercusiones o sanciones hacia la empresa Emservilla.

Para concluir este capítulo se plantea el impacto que podría tener la integración de un coagulante natural a base de *Opuntia Ficus Indica* en el actual proceso de tratamiento de agua potable de la empresa Emservilla, el cual, sería altamente positivo para la misma, pues ayudaría a reducir los costos asociados al tratamiento de agua que tiene la empresa hoy en día, en donde el coagulante representa hasta el 56% en los costos de operación anuales de la planta, permitiendo general una rentabilidad mayor en el proceso como tal, además de permitir una posible expansión de la capacidad actual de la planta de 95 L/s, debido al menor costo de tratamiento por L de agua cruda, por lo que se establece una oportunidad inmensa para la empresa de ser pionera en esta tecnología bio-amigable no solo en Colombia, sino en toda Latinoamérica. Lo anteriormente mencionado, permitirían que Emservilla se lograra posicionar entre las mejores empresas de tratamiento de agua potable de Colombia.

⁷⁹ Freitas et al. 2017 Op. Cit., p 57

5. CONCLUSIONES

- Se diagnosticó el proceso actual de la empresa Emservilla, en la planta de tratamiento de agua, observando se emplea una dosificación de 25 mg/L de PAC como coagulante, y cuando las condiciones climáticas aumentan la turbidez es necesario emplear un polímero para desestabilizar las partículas suspendidas en el agua cruda. Con una capacidad de 95 L/s la potabilizadora utiliza las siguientes operaciones unitarias: Coagulación, Floculación, Sedimentación, Filtración y Desinfección. Con el propósito de almacenar y distribuir 1700 m³ de agua apta para el consumo de la comunidad Ubatense y se destaca el cumplimiento de la norma 2115 de 2005 del ministerio de ambiente.
- Se estableció el procedimiento de obtención de la *Opuntia Ficus Indica* a partir de una búsqueda de información en fuentes como Google Scholar, SciELO, Dialnet, Science Direct y scopus, sobre el uso del *Opuntia Ficus* como coagulante natural a través de dos procesos de obtención de manera líquida y sólida. Por tanto, para cada procedimiento se realizó un diagrama PFD, indicando las corrientes, los balances de masa y los respectivos equipos empleados, para el coagulante sólido tanto para el líquido se emplean las siguientes operaciones unitarias. Secado, triturado, Centrifugado, Molienda. Con la diferencia que el coagulante sólido requiere más equipos generando mayores costos y pérdidas en la producción.
- Se seleccionó la dosificación de la *Opuntia Ficus Indica* mediante motores de búsqueda como Redalyc, Ebsco Host, Doaj, Scielo y Scienc Direct, en tratamiento de agua potable de acuerdo con un análisis bibliométrico para los procesos de obtención del coagulante de forma líquida y sólida, teniendo en cuenta la turbidez, el porcentaje de remoción, la dosificación y el pH. Según los casos de estudios consultados, se optó por seleccionar los mejores resultados, es decir, la concentración que desestabiliza las partículas suspendida es de 5ppm y 20ppm respectivamente. Lo que significa, que la eficiencia del coagulante líquido es de 98% que se ve reflejada en la reducción de la turbidez y el porcentaje de remoción para el coagulante sólido es de 94%.
- Se realizó un análisis de costos para la implementación de la *Opuntia Ficus Indica* como coagulante natural en el tratamiento de agua potable para las dosificaciones óptimas identificadas por medio de la matriz bibliográfica, concluyendo que el coagulante natural líquido de *Opuntia Ficus Indica* es viable para sustituir al coagulante químico usado actualmente, planteando así una optimización del 27% en los costos de tratamiento de agua anuales, una reducción del 80% con respecto a la dosificación óptima actualmente usada y una disminución de consumo de coagulante del 80%.

6. RECOMENDACIONES

- Se observa un bajo rendimiento en la obtención del coagulante natural en estado sólido porque en el procedimiento se pierde gran parte de su composición en tamizaje es posible plantear una optimización en este para obtener un mayor rendimiento que se vería reflejado en menores costos de producción.
- Según los artículos investigados, se observa que se utilizan coagulantes híbridos, es decir, la combinación de coagulantes naturales e inorgánicos en cierta proporción se ha visto que son más efectivos, por lo que existe una oportunidad de investigación y avance en esta tecnología.
- Se recomienda seguir evaluando el *Opuntia ficus Indica* como coagulante natural en el tratamiento de agua potable ya que se observa un gran potencial en la aplicación de este, además de llevar a la práctica los procesos de obtención de los coagulantes planteados en este trabajo.
- Evaluar la eficiencia del coagulante a partir de la fecha de elaboración y evaluar si el producto caduco o no, es decir si pierde las propiedades el coagulante a lo largo el tiempo o si por el contrario se conserva en buenas condiciones
- Cuantificar el rendimiento real de obtención del coagulante natural a base de *Opuntia Ficus Indica*, tanto como el sólido como para el líquido.
- Realizar una evaluación de viabilidad de producción de coagulante natural a base de *Opuntia Ficus Indica* a partir de un cultivo autosuficiente, lo cual, disminuiría los costos generales del proceso.
- Cuantificar la biodegradabilidad del coagulante a base de *Opuntia Ficus Indica* para así poder compararla con los coagulantes químicos actualmente usados en la industria.

BIBLIOGRAFÍA

ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua 3ed p 1-223[En línea] 2000 [citado 11 de febrero de 2020] Disponible en: ISBN:958-41-0013-0

ABRAJÀN VILLASEÑOR, Alicia. Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucilago de nopal (*Opuntia ficus Indica*). p 1-244 [En línea] 2018 [Citado 18 febrero de 2019]Disponible en: <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/3794>

ADLI, B., TOUATI, M., YABRIR, B., BAKRIA, T., BEZINI, E. Y BOUTEKRABT, A. Caracterización morfológica de algunas accesiones naturalizadas de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. en las regiones esteparias argelinas. *South African Journal of Botany*, 124,211–217. [En línea]. 2019, [citado 22 de mayo de 2020] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.04.017>

AGUIRRE, Sonia E.; PIRANEQUE, Nelson V. and CRUZ, Rosmery K.. Natural Substances: Alternative for the Treatment of Magdalena River's Water in Palermo Colombia. *Inf. tecnol.* [En línea]. 2018, vol.29, n.3 [citado 03 de junio de 2020], pp.59-70. Disponible en: ISSN 0718-0764. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000300059>.

AL-SAATI, N. H. A., HWAIDI, E. H., & JASSAM, S. H. Comparing cactus (*Opuntia* spp.) and alum as coagulants for water treatment at Al-Mashroo Canal: a case study. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13(12), p2875–2882[En línea].2016, [citado el 12 de Abril de 2020] Disponible: doi:10.1007/s13762-016-1114-0

BETATACHE, H., AOUABED, A., DROUICHE, N. Y LOUNICI, H. Acondicionamiento de lodos de depuradora mediante zumo de nopal (*Opuntia ficus Indica*). *Ingeniería ecológica*, 70, 465-469. [En línea] 2014[citado 12 de marzo 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.06.031>

BOUAOUINE, O., BOURVEN, I., KHALIL, F., BRESSOLLIER, P., & BAUDU, M. Identification and role of *Opuntia ficus indica* constituents in the flocculation mechanism of colloidal solutions. *Separation and Purification Technology*, 209, 892–899. [En línea] 2018, [Citado el 24 de marzo de 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.036>

BOUATAY, F. MHENNI. F Use of the Cactus Cladodes Mucilage (*Opuntia Ficus Indica*) As an Eco-Friendly Flocculants: Process Development and Optimization using Stastical Analysis. *International Journal of Environmental Research*, 8(4), 1295-1308, 2018 [En línea] [Citado 20 de mayo de 2020] doi: 10.22059/ijer.2014.822

BOURVEN Isabelle, BOUAOUINE Omar, KHALILL Fouad, & BAUDU Michel. Identification of functional groups of *Opuntia ficus-indica* involved in coagulation process after its active part extraction p11111-1119, 2018 [En línea] [30-05-2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1394-7>

BRAHMI, F., Haddad, S., Bouamara, K., Yalaoui-Guellal, D., Prost-Camus, E., de Barros, J.-P. P., ... Lizard, G. Comparison of chemical composition and biological activities of Algerian seed oils of *Pistacia lentiscus* L., *Opuntia ficus indica* (L.) mill. and *Argania spinosa* L. Skeels. *Industrial Crops and Products*, 151, 112456 [En línea] 2020, [citado 16 de junio de 2020]. doi:10.1016/j.indcrop.2020.112456

BUTTICE, A. L., & ALCANTAR, N. A. . Sediment Removal with the *Opuntia ficus-indica* Cactus: A Water Purification Method for Communities in Latin America. *Comprehensive Water Quality and Purification*, 98–103. [En línea] 2014 [Citado 03-03-2020] doi:10.1016/b978-0-12-382182-9.00007-4

CAMARA DE COMERCIO DE BOGOTA. Caracterización económica y empresarial de las provincias de cobertura de CCB [En línea][Citado 25 de Febrero de 2020] Disponible en: https://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/2889/6233_caracteriz_empresarial_ubate.pdf?sequence=1

CARPINTEYRO URBAN, S. & TORRES L.G Use of Response Surface Methodology in the Optimization of Coagulation Flocculation of Wastewaters Employing Biopolymers.p 717-726, 2013 [En línea][16-06-2020] doi: 10.22059/IJER.2013.651

COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 de 2007. Bogotá D.C Disponible: https://scj.gov.co/sites/default/files/marco-legal/Res_2115_de_2007.pdf

CHOQUE-QUISPE, David; CHOQUE-QUISPE, Yudith; SOLANO-REYNOSO, Aydeé M. y RAMOS-PACHECO, Betsy S.. Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *RTQ* [En línea]. 2018, vol.38, n.2 [citado 16 de febrero de 2020], pp.298-309. ISSN 2224-6185. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852018000200008&lng=es&nrm=iso

CHOUDHARY, M., RAY, MB Y NEOGI, S. Evaluación de la posible aplicación de cactus (*Opuntia ficus-indica*) como biocoagulantes para el pretratamiento del agua afectada por el proceso de arenas bituminosas. *Tecnología de separación y purificación*, 714–724, 2018 [En línea][Citado 15-06-2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.03>

COGOLLO FLÓREZ, Juan MIGUEL. Clarificación De Aguas Usando Coagulantes Polimerizados: Caso Del Hidroxicloruro De Aluminio. DYNA, [S.I.], v. 78, n. 165, p. 18-27, ene. 2011. [En línea] [citado 21 de febrero de 2020] ISSN 2346-2183. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25636/39133>

CONTRERAS LOZANO, Karen. AGUAS MENDOZA, Yelitza. SALCEDO MENDOZA, Guadalupe, OLIVERO VERBEL, Rafael. MENDOZA ORTEGA, Pablo. El Nopal (opuntia ficus-indica) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua. 2015, Vol.1-40-50 Disponible: <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v10n1/v10n1a04.pdf>

CCU PARA LA PRESTACION DEL SERVICIO PUBLICO [En línea][citado el 10 de Marzo de 2020] pp 30. Disponible en:<http://emservilla.gov.co/wp-content/uploads/CCU-ACUEDUCTO-ALCANTARILLADO.pdf>

DAZA GAMEZ Rina., BARAJAS SOLANO, A, EPALZA CONTRESA, M. Evaluation of the Efficiency of Bio-Polymers Derived from Desertic Plants as Flocculation Agents. p 361-365,2016 [En línea][15-06-2020] Disponible en doi: 10.3303/CET1649061

DANE. Análisis de Información CNPV 2018PR[En línea][Citado el 25 de febrero de 2020]Disponible en:<https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/presentacion-CNPV-2018-Cundinamarca.pdf>

De Souza, M. T. F., Ambrosio, E., de Almeida, C. A., de Souza Freitas, T. K. F., Santos, L. B., de Cinque Almeida, V., & Garcia, J. C. (2014). *The use of a natural coagulant (Opuntia ficus-indica) in the removal for organic materials of textile effluents. Environmental Monitoring and Assessment, 186(8), 5261–5271.* doi:10.1007/s10661-014-3775-9

DESHMUKH, S. et al. Wastewater Treatment Using Bio-Coagulant as Cactus *Opuntia Ficus Indica*. [En línea][16-06-2020] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/333296057_Wastewater_Treatment_Using_Bio-Coagulant_as_Cactus_Opuntia_Ficus_Indica

EMSERVILLA S.A EPS CCU PARA LA PRESTACION DEL SERVICIO PUBLICO [En línea][citado el 10 de Marzo de 2020] pp 1-37 . Disponible en:<http://emservilla.gov.co/wp-content/uploads/CCU-ACUEDUCTO-ALCANTARILLADO.pdf>

FAO & ICARDIA Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear, IX international congress on cactus pear and cochineal (2017) Roma (pp. 1-244) Disponible en: <http://www.fao.org/3/I7012EN/i7012en.pdf>

FEDEGAN. Ubaté aumentara su producción de leche en 14 mil litros anuales [En línea][citado el 25 de febrero de 2020] Disponible en: <https://www.fedegan.org.co/noticias/ubate-aumentara-su-produccion-de-leche-en-14-mil-litros-anuales>

FREITAS SOUZA Thabata, ANDRADE ALMEDIA Cibele., Domingos Manholer Daniele., LOPES GERALDINO Cesar., FERREIRA DE SOUZA Tatiane., and GARCIA Carla. Review of utilization Plant-based coagulants as alternatives to textile Wasterwater treatment. *Detox Fashion* p 27-79,2017 [En línea][citado 12 de abril 2020] Disponible en: doi:10.1007/978-981-10-4780-0_2

FREITAS SOUZA Barbara, and SABOGAL PAZ lyda. Pretreatment using *Opuntia cochenillifera* followed by household slow sand filters: technological alternatives for supplying isolated communities. *Environmental Technology*, p1–30,2019 [En línea][citado 12 de abril de 2020] Disponible en: doi:10.1080/09593330.2019.1582700

GERBA, C. P., & PEPPER, I. L. 2019 Book *Environmental and Pollution Science 3ed Chapter 24 - Drinking Water Treatment*. *Environmental and Pollution Science* (pp. 435–454). Elsevier Inc. [En línea][18 de marzo de 2020] <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814719-1.00024-0>

HERNÁNDEZ CAMACHO, Jorge Ignacio; RUEDA ALMONACID, Vicente; SÁNCHEZ PÁEZ, eliodoro. *Zonas áridas y semiáridas de Colombia*. Banco de occidente 1995 ISBN 9589550460

IBARRA, N. et al. Comparison of the Efficiency of Biopolymer Derived from *Melocactus Sp* and Aluminum Polichloride (PAC) in the Process of Crude Water Flocculation. p157-162,2019 [En línea][citado 17 de junio 2020] Disponible en: doi: 10.3303/CET1864027

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. *Compendio de normas para trabajos escritos*. NTC-1486-6166. Bogotá D.C. El instituto, 2018 ISBN 9789588585673 153 p

JIANG Jia-Quian. The role of coagulation in water treatment. *Current Opinion in Chemical Engineering*, vol 8, pp 36-44. [En línea] [citado 21 de febrero de 2020] Disponible en: doi:10.1016/j.coche.2015.01.008

LANS CEBALLOS, E; MARSIGLIA, M; LANS-CUESTA, G. & FORERO DORIA, O. M. Improvement to quality of surface waters from rural communities: vegetable extracts as a sustainable and cheap alternative. p361-369,2020.[En línea][citado 16 de junio de 2020] Disponible en:doi: 10.1007/s10668-020-00663-8

LERDAU, M. T., HOLBROOK, N. M., MOONEY, H. A., RICH, P. M., & WHITBECK, J. L. Seasonal patterns of acid fluctuations and resource storage in the arborescent cactus *Opuntia excelsa*. Relation to light availability and size. *Oecologia* 92 citado p 166-171,1992 [citado 13 de mayo de 2020] Disponible: doi: 10.1007/BF00317359.

MARTÍNEZ GARCÍA, Jasser; GONZÁLEZ SILGADO, Luis Enrique Evaluación Del Poder Coagulante De La Tuna (*Opuntia Ficus Indica*) Para La Remoción De Turbidez Y Color En Aguas Crudas p 54 2012. Tesis de pregrado Ingeniería Química Universidad de Cartagena 2012 [En línea].[Citado 3 febrero 2020] Disponible: [http://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/137/EVALUACI%20N%20DEL%20PODER%20COAGULANTE%20DE%20LA%20TUNA%20\(Opuntia%20ficus%20indica\)%20PARA%20LA%20REMOCI%20N%20DE%20TURBID](http://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/137/EVALUACI%20N%20DEL%20PODER%20COAGULANTE%20DE%20LA%20TUNA%20(Opuntia%20ficus%20indica)%20PARA%20LA%20REMOCI%20N%20DE%20TURBID)

LOZANO-RIVAS, William. A.; LOZANO BRAVO, Guillermo. Potabilización del agua: principios de diseño, control de procesos y laboratorio. Bogotá, Colombia: Universidad Piloto de Colombia, 2015. v.1e [En línea][citado 20 de febrero de 2020] ISBN 9789588537917. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=1593375&lang=es&site=ehost-live&scope=site>.

MILLER, S. M., FUGATE, E. J., CRAVER, V. O., SMITH, J. A., & ZIMMERMAN, J. B. Toward Understanding the Efficacy and Mechanism of *Opuntia* spp. as a Natural Coagulant for Potential Application in Water Treatment. *Environmental Science & Technology*, 42(12), p4274–4279, 2008. [En línea][citado 01 de marzo de 2020] Disponible en: doi:10.1021/es7025054

MUKHTAR, Arslan., WARIS ALI.,& HUSSAIN Ghulam. A Preliminary Study of *Opuntia stricta* as a Coagulant for Turbidity Removal in Surface Waters. P117-124,2015 [En línea][16 de junio 2020] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/279782708_A_Preliminary_Study_of_Opuntia_stricta_as_a_Coagulant_for_Turbidity_Removal_in_Surface_Waters

OLIVERO VERBEL, Enrique., AGUAS MENDOZA Rosario., MERCADO MARTINEZ Dario, CASAS CAMARGO, Diana., & MONTES GAZABON Elena. Utilización de Tuna (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas p71-75 [En línea][citado 15 de junio de 2020] Disponible en: <http://www.unilibre.edu.co/revistaavances/avances-11/art7.pdf>

ONU Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019.No dejar a nadie atrás. [En línea] 2019 pp.1-215 [Citado 16 febrero 2020] ISBN 978-92-3-300108-4 Disponible <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf> p.15

PENG X., YANG G., SHI Y., Zhou Y., ZHANG M., Y LI S. Modelado estadístico basado en el diseño de Box-Behnken para la extracción y las propiedades fisicoquímicas de la pectina de las cabezas de girasol y la comparación con la pectina comercial baja en metoxilo p1-10, 2020 [En línea][citado 31 de julio de 2020] Disponible en: doi: 10.1038/s41598-020-60339-1

REYES, J. Antonio, and Aguirre- Rivera, J. Rogelio. Notas sistemáticas y descripción detallada de opuntia ficusindica (l) mill. (cactaceae). México, D.F.: Red Agrociencia, 2006. [citado 14 de abril de 2020]. Disponible: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30239404>

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad del agua. 2008, 3 ed, p 108. Disponible en: ISBN 958-8060-13-3

RUBINI, S. BALAMURUGAN P., & SHUMUGAPRIYA k Exploring the use of Cactus and Neem Leaf Powder as an Alternative Coagulant in Treatment of Wastewater. p1562,2019 [En línea][17 de junio de 2020] Disponible en: doi: 0.35940/ijrte.B2241.078219

RUIZ VEGA, Rosalba. Distribución, variación morfológica y correlaciones ecológicas de Opuntia en Colombia. Editorial zenú (2013) ISBN:9789585771512 p1-112 Montería, Colombia

SEPÚLVEDA ESPINACE, Ester, SÁENZ HERNÁNDEZ, Carmen, ALIAGA, E. y ACEITUNO, C. *Extraction and characterization of mucilage in Opuntia spp* [en línea]. Santiago, Chile: Universidad de Chile, [citado el 07 de julio 2020] Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/120215>

SILLANPÄÄ, M., NCIBI, M. C., MATILAINEN, A., & VEPSÄLÄINEN, M. (2018). Removal of natural organic matter in drinking water treatment by coagulation: A comprehensive review. *Chemosphere*. Elsevier pp 1-56 Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.09.113>

SINGH, Rajindar. Water and Membrane Treatment. Membrane Technology and Engineering for water Purification Second edition Chapter 2. Elsevier, pp. 81-178. 2015 [Citado: 19 de febrero de 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63362-0.00002-1>.

TRACHTENBERG, Shlomo and MAYER, Alfred. Composition and properties of Opuntia ficus-indica mucilage. *Phytochemistry*, 20(12), 2665–2668.[19-02-2020] Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(81\)85263-6](https://doi.org/10.1016/0031-9422(81)85263-6)

UNESCO. Water for a Sustainable World. [En línea] Paris: 2015 pp1-139 [Citado 16 febrero 2020], p1-139 ISBN 978-92-3-100071-3 Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000231823>

VILLABONA ORTIZ Ángel, PAZ ASTUDILLO Isabel Cristina, Jasser, Caracterización de la Opuntia ficus-indica para su uso como coagulante natural, 2013 Rev Colomb. Biotecnol. Vol. XV No. 1 Julio 2013 137-144 Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v15n1/v15n1a14.pdf>

VILLABONA ORTÍZ, Angel; PAZ, Isabel Cristina; MARTÍNEZ GARCÍA, Jasser. Caracterización de la Opuntia ficus-indica para su uso como coagulante natural. Revista Colombiana de Biotecnología, [S.l.], v. 15, n. 1, p. 137-144, ene. 2013. ISSN 1909-8758.[Citado el 16 de junio de 2020] Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/32768/41778>

VISHALI, S. & KARTHIKETAN R Cactus opuntia(ficus-indica): an eco-friendly alternative coagulant in the treatment of paint effluent. Desalination and Water Treatment, 56(6), p1489–1497,2014 [En línea][16 de junio 2020] Disponible en: doi:10.1080/19443994.2014.945487

WAN, J., Chakraborty, T., Xu, C., & Ray, M. B. Treatment train for tailings pond water using Opuntia ficus-indica as coagulant. Separation and Purification Technology. p10-31,2018 [En línea][citado el 17 de junio 2020] Disponible en: doi:10.1016/j.seppur.2018.09.083

WAMBUI MUMBI A, FENGTING, L & KARANJA A. Sustainable treatment of drinking water using natural coagulant developing countries: A case of informal settlements in Kenya. P1-11,2018[En línea][Citado 06 de junio de 2020] Disponible en: http://www.ewra.net/wuj/pdf/WUJ_2018_18_01.pdf

YIN, C Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. P 1439-1450 [En línea][Citado 07 de abril de 2020] Disponible en: doi:10.1016/j.procbio.2010.05.030

ZHANG, J., ZHANG, J., ZHANG, F., LUO, Y., & YANG, H. A preliminary study on cactus as coagulant in water treatment. Process Biochemistry 41(3), 730-733, 2016 [En línea] [Citado 03 de junio de 2020] Disponible en: en:doi:10.1016/j.procbio.2005.08.016

ANEXO A
PROVISIÓN MENSUAL EN NÓMINA



PROVISIÓN MENSUAL EN NÓMINA

Provisiones Mensuales de Nómina: Las prestaciones sociales se deben provisionar cada vez que se liquida la nómina, estas tienen como finalidad causar mensualmente los gastos correspondientes a las prestaciones sociales de los trabajadores. Al realizar la liquidación definitiva de contrato de trabajo se pueden presentar tres situaciones diferentes: i) Que el valor acumulado de las provisiones por concepto de prestaciones sea igual al valor de la liquidación. En este caso se debe realizar ajuste de provisión. ii) Que el valor acumulado por concepto de provisiones sea inferior. En este caso se debe realizar ajuste de provisión. iii) Que el valor acumulado por concepto de provisiones sea igual al valor determinado en la liquidación del contrato de trabajo.

Salario	1.500.000	?
Transporte	102.854	?
PRESTACIONES SOCIALES		?
Cesantías	133.571	?
Intereses sobre cesantías	16.029	?
Primas	133.571	?
Vacaciones	62.500	?
APORTES A LA SEGURIDAD SOCIAL		?
Pensiones (AFP)	180.000	?
Salud (EPS)	127.500	?
Riesgos Laborales (ARL)	104.400	?
PARAFISCALES		?
Caja de compensación familiar	60.000	?
ICBF	45.000	?
SENA	30.000	?
TOTAL	2.495.425	?
<p>Exoneración para empleadores de acuerdo con el artículo 65 de la Ley 1819 de 2016, para trabajadores que devenguen menos de 10 SMMLV. Salud, SENA e ICBF quedan en cero pesos para el empleador.</p>		
Total con exoneración	2.292.925	?

ANEXO B
COTIZACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS

CLIENTES	912901	Laura Castiblanco		COTIZACIÓN NO.	
CIUDAD	Ubaté-Cundinamarca			785489	
TELEFONO	3216939569	EMAIL	Laura.Castiblanco@estudiantes.uamerica.edu.co		
De acuerdo con su amable solicitud de cotización, nos permitimos presentar a su consideración lo siguientes productos de alta calidad.					
ITEM	COD.PROCTO	CNTD	DESCRIPCION	VLR. UNIT	VALOR TOTAL
16	3917256	1	Hidroxicloruro de aluminio liquido	\$ 5.300,00	\$ 5.300,00
19	2157412	1	Cloro gaseoso Cilindrox68Kg	\$9.500,00	\$ 9.500,00
					\$ 0,00
					\$ 0,00
					\$ 0,00
					\$ 0,00
					\$ 0,00
					\$ 0,00
				SUBTOTAL	\$ 14.830,00
				VALOR IVA	\$ 2.812,00
CONDICIONES COMERCIALES: Tiempo de entrega: inmediato. formas de pago: efectivo cheque o tarjeta de crédito, garantía: (1) año por efectos de fabricación.				Dto	\$ 0,00
				TOTAL COTIZACION	\$ 17.612,00

ANEXO C

COTIZACIÓN DE *OPUNTIA FICUS INDICA*

Ubaté., 1 julio de 2020



SEÑORES

Luis Gabriel Cáceres
Laura Ximena Castiblanco
Universidad de América
Bogotá

ASUNTO: COTIZACIÓN CACTUS

De acuerdo con su amable solicitud, me permito comunicarme para presentar la cotización del solicitado de la siguiente forma.

Referencia	Producto	Presentación	Precio
C-75489D	Opuntia ficus Indica (Cactus)	Sacox1kg	\$5000

CONDICIONES COMERCIALES

- Forma de pago: De contado
- Tiempo de entrega: A partir del día de la compra
- Disponibilidad: Inmediata
- Sitio de entrega: Ubaté.

Km 5 Vía Ubaté Chiquinquirá 100 Mts antes Puente del Río Ubaté, Cundinamarca
Colombia
Vivero Ruiz, Tel 3155750183