

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL *STENOCEREUS GRISEUS* COMO
COAGULANTE NATURAL, EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DE LA EMPRESA LACTEOS DEL CESAR S.A (KLAREN´S), EN LA CIUDAD DE
VALLEDUPAR**

**CARLOS ALFREDO CALDERÓN PÉREZ
ANA MARÍA MENDIETA CÁRDENAS**



**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERIAS Y TECNOLOGIAS
PROGRAMA INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR CESAR**

2019

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL STENOCEREUS GRISEUS COMO
COAGULANTE NATURAL, EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DE LA EMPRESA LACTEOS DEL CESAR S.A (KLAREN´S), EN LA CIUDAD DE
VALLEDUPAR**



**CARLOS ALFREDO CALDERÓN PÉREZ
ANA MARÍA MENDIETA CÁRDENAS**

**ALCIDES TORREGROZA MOZO
INGENIERO QUIMICO
MAGISTER EN CIENCIAS AMBIENTALES
DIRECTOR**

**YIM JAMES RODRÍGUEZ DÍAZ
INGENIERO SANITARIO
MAGISTER EN INGENIERIA AMBIENTAL
ASESOR**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERIAS Y TECNOLOGIAS
PROGRAMA INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR CESAR**

2019

NOTA DE ACEPTACIÓN: _____

PRESIDENTE DEL JURADO: _____

JURADO 1: _____

JURADO 2: _____

FECHA: _____

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios por darme vida y regalarme la sabiduría e inteligencia para culminar mis estudios universitarios, a mi mamá Esperanza Pérez (Q.E.P.D), gracias por que sé que desde el cielo siempre veló por mí para llegar a este momento. A mi abuela Rosa Mendoza le dedico este logro, porque gracias a su tesón y empuje pude lograr este sueño. quiero agradecer a mis tíos Ricardo Calderón y Lucila Calderón que siempre me apoyaron y me ayudaron a no desfallecer.

Agradezco a todos los profesores que hicieron parte de mi formación académica en la Universidad Popular del Cesar, por haber aportado un grano de arena en este sueño que hoy se convierte en realidad, a mi director de proyecto, Ingeniero Alcides Torregroza, por su dedicación, paciencia, apoyo incondicional y sobre todo por sus consejos; sin su ayuda no podríamos haber llegado a la meta. Gracias a la empresa Lácteos del Cesar Klaren´s por darnos las herramientas y la información necesaria para el desarrollo de esta investigación.

A mi compañera de tesis, mi amiga Ana María Mendieta gracias por su cariño, por tenerme paciencia y por estar siempre ahí durante todo este proceso, por su esfuerzo y dedicación logramos escalar un peldaño mas en la vida académica, no fue fácil, pero gracias a la ayuda de Dios hoy podemos decir ¡lo logramos!

Agradezco especialmente a Augusto Aponte, mi actual jefe, quien se convirtió en parte de mi familia, me dio la oportunidad de salir adelante en mi carrera universitaria y a no decaer a pesar de los compromisos laborales.

Solo me queda decir gracias a todas las personas, amigos y familiares que estuvieron junto a mí, apoyándome y animándome en esta etapa de mi vida, ayudándome a luchar contra todo pronostico y estar hoy aquí para convertirme en un ingeniero ambiental y sanitario.

Carlos Alfredo Calderón Pérez

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios por su amor que no tiene fin, me permite disfrutar de todos mis logros que son resultado de su gracia y misericordia, por darme fortaleza y por enviar ángeles en el transcurso de este camino, por el regalo más maravilloso que pudo darme que son mis padres.

Quiero agradecer y dedicarle esto a mis padres, por darlo todo y estar siempre para mí, por su amor incomparable y por ser los cómplices y promotores de todos mis sueños. Gracias a mi mamá por su paciencia, por su amor tan puro y por ser el motor y la luz de mi vida. Gracias a mi papá por sus consejos, su apoyo y por enseñarme que nada me queda grande, los amo.

Gracias a todos los profesores que hicieron parte de mi formación académica, quiero agradecer en especial a nuestro director Alcides Torregroza por sus consejos, ayuda y apoyo para hacer posible esta meta. Gracias a la empresa Lácteos del Cesar Klaren´s por darnos las herramientas y la información necesaria para el desarrollo de esta investigación.

Gracias a todas las personas que aportaron su grano de arena, a mis amigos por darme aliento y alegrarse por mis triunfos, en especial a mi compañero y amigo Carlos Calderón por su paciencia y esfuerzo, sin ti no hubiese sido igual, ¡LO LOGRAMOS!

Ana María Mendieta Cárdenas

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	5
	pág.
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
2. JUSTIFICACIÓN	23
3. OBJETIVOS	26
3.1 OBJETIVO GENERAL	26
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	26
4.1 ANTECEDENTES	27
4.2 MARCO TEORICO	33
4.2.1 Procesos industriales lácteos	33
4.2.2 Aguas residuales industriales lácteas	37
4.2.2.1 Sistema actual de tratamiento de la industria Lácteos Del Cesar	38
4.2.2.2 Tratamiento de las aguas residuales	38
4.2.3 Características físicoquímicas del agua residual	40
4.2.4 Coloides	44
4.2.5 Coagulación	46
4.2.5.1 Coagulantes	49
4.2.5.1.1 Coagulantes metálicos	49
4.2.5.1.2 Coagulantes naturales	52
4.2.5.1.2.1 Stenocereus griseus	54
4.3 MARCO CONTEXTUAL	55
4.3.1 Localización	55
4.3.2 Reseña histórica	57
4.4 MARCO LEGAL	58
4.5 MARCO CONCEPTUAL	59
5. METODOLOGIA	61
Enfoque Metodológico	61
Diseño Metodológico	61

5.2.1 Población	61
5.2.2. Muestras	62
5.2.3 Etapas del desarrollo metodológico	62
5.3.2.1 Caracterización inicial del agua residual por un laboratorio certificado por el IDEAM (Laboratorio Ambiental y de Alimentos Nancy Flórez SAS).	63
5.3.2.2 Obtención del coagulante natural	64
5.3.2.3 Caracterización del coagulante	67
5.3.2.4 Evaluación de la Eficiencia de los Coagulantes	67
5.3.2.4.1 Medición o Determinación de Parámetros Fisicoquímicos	68
5.3.2.4.2 Sólidos Suspendidos Totales y Volátiles (SST y SSED) (2540B y 2540E)	69
5.3.2.4.3 Aceites y Grasas (A y G) (5520-B)	70
5.3.2.4.4 pH (4500-H+)	70
5.3.2.4.5 Demanda Química de Oxígeno (DQO) (5220-C)	70
5.3.2.5 Diseño Experimental	71
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	74
6.1 Características Fisicoquímicas del Agua Residual Asociada a la Producción de Lácteos	74
6.2 Obtención y Caracterización del Coagulante a Partir del Cactus Stenocereus Griseus	75
6.2.1 Caracterización del coagulante	75
6.3 Determinación de los Cambios de Turbiedad y pH	76
6.3.2 Comportamiento del pH	76
6.3.3 Comportamiento de la turbiedad	82
6.4 Establecer las Dosis Óptimas de los coagulantes para realizar análisis al agua tratada de pH, SSED, SST, DQO, DBO ₅ , A y G.	85
CONCLUSIONES	93
RECOMENDACIONES	95
BIBLIOGRAFIA	97

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coagulantes metálicos

Tabla 2. Aspectos Legales Sobre Uso y Vertimientos de Aguas.

Tabla 3. Parámetros físicos-químicos del agua residual no doméstica ARnD procedente de elaboración de productos lácteos

Tabla 4. Diseño experimental utilizado

Tabla 5. Resultados caracterización de aguas residuales de la planta de Klaren's

Tabla 6. Características físicas del coagulante *Stenocereus griseus*

Tabla 7. Valores de pH antes y después de la primera evaluación para cada concentración de coagulante natural

Tabla 8. Valores de pH antes y después de la segunda evaluación para cada concentración de coagulante natural

Tabla 9. Valores de pH antes y después de la tercera evaluación para cada concentración de coagulante natural

Tabla 10. Resultados de turbiedad con el coagulante natural

Tabla 11. Resultados de turbiedad con el sulfato de aluminio

Tabla 12. Cuadro comparativo agua contaminada agua tratada con coagulante natural

Tabla 13. Cuadro comparativo agua contaminada agua tratada con sulfato de aluminio

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Cambio de pH con el coagulante natural – Primera evaluación

Gráfica 2. Cambios de pH cuando se utiliza sulfato de aluminio – Primera evaluación

Gráfica 3. Cambio de pH con el coagulante natural – Segunda evaluación

Gráfica 4. Cambio de pH con el sulfato de aluminio – Segunda evaluación

Gráfica 5. Cambio de pH con el coagulante natural – Tercera evaluación

Gráfica 6. Cambio de pH con el sulfato de aluminio – Tercera evaluación

Gráfica 7. Comportamiento de la turbiedad por acción del coagulante natural en las tres evaluaciones

Gráfica 8. %Remoción de turbiedad vs Dosis de coagulante natural

Gráfica 9. Comportamiento de la turbiedad en presencia del coagulante sulfato de aluminio

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Beneficios de los coagulantes naturales

Figura 2. Referencia geográfica de Valledupar

Figura 3. Ubicación de la empresa Klaren´s

Figura 4. Balance de materia proceso de obtención del coagulante

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Cubierta de la trampa de grasa

Imagen 2. Apariencia del agua residual en la planta

Imagen 3. Toma de muestras de agua residual para análisis

Imagen 4. Pesaje de las pencas

Imagen 5. Remoción de la cutícula del cactus

Imagen 6. Cactus cortado en bandejas para secar

Imagen 7. Bandejas con cactus en el horno

Imagen 8. Cactus luego de secado de 72 horas @ 60° C

Imagen 9. Molienda del cactus seco

Imagen 10. Reducción de tamaño con tamiz

Imagen 11. Producto tamizado

Imagen 12. Producto final luego de extracción con alcohol anhidro

Imagen 13. Mediciones antes de las pruebas de jarra

Imagen 14. Pruebas de jarra al agua residual

LISTA DE SIGLAS

ARnD: Aguas Residuales no Domesticas

$Al_2(SO_4)_3$: Sulfato de Aluminio

A y G: Aceites y Grasas.

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

$K_2Cr_2O_7$: Dicromato de potássio.

mg/L: Miligramo por litro.

SST: Sólidos Suspendidos Totales

SSED: Sólidos Sedimentables

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. ANOVA Multifactorial - %Remoción Turbiedad

ANEXO B. Resultados análisis de laboratorio NANCY FLÓREZ SAS.

ANEXO C. Registro fotográfico

GLOSARIO

Afluente: Agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio o a algún proceso de tratamiento.

Análisis fisicoquímico del agua: Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas.

Agua residual. Es una combinación de líquido con residuos de desecho de hogares, instituciones, comercios y de las industrias, junto con las aguas subterráneas, superficiales y aguas pluviales. Puede contener sustancias orgánicas, inorgánicas o desechos industriales

Aguas residuales domesticas: Agua residual descargada de residencias e instituciones comerciales o similares a éstas

Aguas residuales industriales. Agua residual en que predominan desechos industriales.

Aguas residuales infiltradas. Aguas extrañas que entran al sistema de alcantarillado de forma directa o indirecta como fugas o grietas.

Biopolímeros: Los biopolímeros, son especies químicas de alto peso molecular, gran tamaño y forma predominantemente alargada que forman parte de las paredes celulares de células animales y vegetales, así como de exoesqueletos (esqueleto exterior) de invertebrados y endoesqueletos (esqueleto interior) de vertebrados.

Carga contaminante: Es el producto de la concentración másica promedio de una sustancia por el caudal volumétrico promedio del líquido que la contiene

determinado en el mismo sitio; en un vertimiento se expresa en kilogramos por día (kg/d).

Carga orgánica: Cantidad de materia orgánica, aplicada a un proceso de tratamiento dado, expresado como peso por unidad de tiempo de superficie o por unidad de peso.

Coagulación: Es el proceso de desestabilización de las partículas suspendidas, ocurre a través de la neutralización de las cargas por la adición de un agente coagulante de modo que se reduzcan las fuerzas de separación o repulsión entre ellas.

Coagulante: Sustancia química en suspensión que induce al aglutinamiento de las partículas muy finas ocasionando la formación de partículas con un volumen mayor.

Concentración de una sustancia, elemento o compuesto en un líquido: La relación existente entre su masa y el volumen del líquido que lo contiene.

Cuerpo de agua: Sistema de origen natural o artificial localizado, sobre la superficie terrestre, conformado por elementos físicos-bióticos y masas o volúmenes de agua, contenidas o en movimiento.

Demanda química de oxígeno (DQO): Es la cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua, oxidables en unas condiciones determinadas. Esta medida de una estimación de las materias oxidables presentes en el agua, cualquiera que sea su origen, orgánico o mineral. Las aguas residuales tienen valores entre 250 y 600 ppm.

Desacetilación: Consiste en la eliminación de un grupo acetilo. Este proceso de transferencia del grupo acetilo (que resulta en un grupo acetoxi) a un compuesto,

para ser específico, debe implicar la sustitución del grupo acetilo por un átomo de hidrógeno.

Dosis óptima: Es la concentración que produce la mayor eficiencia de reacción de un proceso químico.

Eficiencia de tratamiento Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el afluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentaje.

Ensayo de jarras: Prueba de laboratorios que simula las condiciones en que se realiza los procesos de oxidación química, coagulación, floculación y sedimentación en la planta, con diferentes dosis químicas, mezcla a velocidad, tiempo de asentamiento, para estimar el mínimo o la dosis ideal de coagulante requerida para alcanzar los objetivos de calidad en un agua.

Exoesqueleto: Es el esqueleto externo continuo que recubre toda la superficie de los animales del filo artrópodos (arácnidos, insectos, crustáceos, miriápodos y otros grupos relacionados),

Floculación: Aglutinamiento de las partículas desestabilizadas y macropartículas inducidas por una agitación lenta de la suspensión coagulada.

Floculo: Masa coagulada que es formada por la acumulación de partículas suspendidas. Puede ocurrir de forma natural, pero es usualmente inducido a ser capaz de eliminar ciertas partículas de agua.

Grasas y aceite: Sustancia de origen vegetal o animal. Pueden ser líquidos o sólidos.

Materia orgánica: Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como las actividades humanas relacionadas con las síntesis de compuestos orgánicos.

Mezcla rápida: Agitación violenta para producir dispersión instantánea de un producto químico en la masa de agua.

Muestra puntual: Es la muestra individual representativa en un determinado momento tomada al azar para su análisis. Algunos parámetros deben determinarse in situ y otros en el laboratorio.

Norma de vertimiento: Conjunto de parámetros y valores que debe cumplir el vertimiento en el momento de la descarga.

Parámetro: Una variable, propiedad medible cuyo valor está determinado por la característica del sistema, en una familia de elementos, sirve para identificar cada uno de ellos mediante su valor numérico en el caso del agua, por ejemplo: estas pueden ser la temperatura, la presión, la densidad, etc.

Pretratamiento: Proceso utilizado para reducir o eliminar los contaminantes de las aguas residuales antes de que sean descargadas.

Protopectina: Es el termino aplicado a la sustancia original encontrada en las plantas, la cual se deriva la pectina a través de la hidrólisis acida (Flores, 1986).

Polielectrolitos: Son compuestos cuyos componentes tienen tendencia a separarse cuando sus iones entran en contacto con el agua, positivo por un lado y negativo por otro.

Polímeros: Son moléculas de tamaño grande que generalmente forman largas cadenas, las cuales son bastante flexibles. Un polímero es una sustancia de una masa molecular elevada que se compone por un alto número de pequeñas partes conocidas como monómeros, que son las unidades estructurales que se suceden repetidamente a lo largo de la cadena del polímero.

Polisacáridos: Son sustancias de gran tamaño y peso molecular. Son totalmente insolubles en agua, en la que pueden formar dispersiones coloidales. No tienen sabor dulce. Pueden ser cristalizados, mantienen el aspecto de sólidos de color blanco y carecen de poder reductor.

Punto de descarga. Sitio o lugar donde se realiza un vertimiento al cuerpo de agua, alcantarillado o al suelo.

Quelantes: Son las sustancias que tienen la propiedad de fijar los iones metálicos de un determinado complejo molecular.

Quitosano (Q₀): Un polímero de alto peso molecular con grupos amino e hidroxilo reactivo, que por debajo de pH 6,5 presenta una alta densidad de carga, se adhiere fácilmente a las superficies negativamente cargadas y puede formar quelatos con iones metálicos.

Sedimentación: Asentamiento de partículas sólidas en un sistema líquido debido a la gravedad.

Sólidos suspendidos: Pequeñas partículas orgánicas o inorgánicas que se mantienen en suspensión en una solución.

Sólidos totales: Abarca todos los constituyentes sólidos de los desechos líquidos. Están conformados por la cantidad de materia que permanece como residuo después de una evaporación entre 103 y 105 grados centígrados.

Sustancias pépticas: Nombre que se le da al conjunto de carbohidratos coloidales complejos, que se pueden encontrar en las plantas y sus derivados, conteniendo una gran proporción de unidades de ácidos galacturónicos anhidro. La larga cadena de ácidos puede estar parcialmente esterificada por grupos metílicos, o en parte neutralizada por una o más bases. (Robinson, 1991).

Turbidez: Medida de la no transparencia del agua a la presencia de materia orgánica suspendida.

Vertimiento. Descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido.

Vertimiento puntual. El que se realiza a partir de un medio de conducción, del cual se puede precisar el punto exacto de descarga al cuerpo de agua, al alcantarillado o al suelo.

Vertimiento no puntual. Aquel en el cual no se puede precisar el punto exacto de descarga al cuerpo de agua o al suelo, tal es el caso de vertimientos provenientes de esorrentía, aplicación de agroquímicos u otros similares.

PREGRADO INGENIERÍA AMBIENTAL

INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Título: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL STENOCEREUS GRISEUS COMO COAGULANTE NATURAL, EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA LACTEOS DEL CESAR S.A (KLAREN'S), EN LA CIUDAD DE VALLEDUPAR		
Investigadores: Ana María Mendieta Cárdenas, Carlos Alfredo Calderón Pérez		
Correo electrónico:		C.C C.C.
Dirección de correspondencia:		Teléfono:
Nombre del grupo de investigación: Estudios Sanitarios y Ambientales - E.S.A Código Colciencias: COL0046148 Reconocido por Colciencias no__ si_x Categoría A__ B__ C_X D__		No de investigadores:
Nombre de coinvestigadores: Alcides Antonio Torregroza Mozo		
Programa de investigación:		
Línea de investigación institucional:		Línea de investigación maestría: MEDIO AMBIENTE, SALUD Y CULTURA
		Eje temático: Química Ambiental
Sede de ejecución del proyecto:		Ciudad: Valledupar Departamento: Cesar
Duración de proyectos (en meses) 6 meses		
Tipo de proyecto		
Extensión:		
Investigación: Investigación básica:	Investigación aplicada: X	Desarrollo tecnológico o experimental:
Presupuesto Valor total: \$23.000.000,00		
Entidad (s) cofinanciadora: Aportes Personales y Otros		
Descriptor(es)/ palabras clave: Coagulación, Floculación, cactus, Stenocereus Griseus, Sulfato de Aluminio, Turbiedad, pH, DBO, DQO, SST, SSED, Aceites y Grasas.		

RESUMEN

El interés de esta investigación se centró en evaluar la eficiencia de un coagulante obtenido a partir del cactus *Stenocereus griseus* (Cardón guajiro) para el tratamiento de agua residual no doméstica de la planta de productos lácteos Klaren's perteneciente a la empresa Lácteos del Cesar en la ciudad de Valledupar, las muestras fueron tomadas después de la trampa de grasas, para ello se caracterizó el agua residual y se extrajo el mucilago del cactus a través de un proceso de secado, molienda, tamizado y extracción con metanol anhidro. Luego se realizaron unas pruebas de jarra para observar el comportamiento del coagulante natural extraído comparado con el Sulfato de Aluminio a concentraciones de 10 mg/L a 100 mg/L con intervalos de 10 mg/L. Para cada uno de los coagulantes se realizaron 2 réplicas por cada prueba, cuyos valores se analizaron de forma independiente. Se encontró que el coagulante natural a concentraciones por debajo de los 30 mg/L es poco eficiente para la remoción de la turbiedad, pero su comportamiento es cercano al del sulfato de aluminio cuando la concentración aumenta, convergiendo a los 80 mg/L. Análisis posteriores mostraron que además de la turbiedad otros parámetros como la DQO, DBO5, SSED, SST y A y G se reducen considerablemente, muy similares a los alcanzados con el coagulante químico, hasta los rangos permitidos para aguas residuales no domésticas de la elaboración de productos lácteos por la legislación colombiana bajo la Resolución 0631 de 2015. Por otra parte, se corrobora lo mencionado en la literatura sobre el efecto en los cambios de pH, el cual no varía mucho numéricamente, pero son reflejo de grandes cambios que está sufriendo el agua durante su tratamiento.

ABSTRACT

The objective of this research project was to evaluate the efficiency of a coagulant obtained from the cactus *Stenocereus griseus* (Cardón guajiro) for the treatment of non-domestic wastewater from the Klaren's dairy plant belonging to the company Lácteos del Cesar in the city of Valledupar. To do this, the residual water was characterized and the mucilage of the cactus was extracted through a process of drying, grinding, sieving and extraction with anhydrous methanol. Then jar tests were performed to observe the behavior of the extracted natural coagulant compared to aluminum sulfate at concentrations of 10 mg / L to 100 mg / L at 10 mg / L intervals. For each of the coagulants, 2 replicates were made for each test, whose values were analyzed independently. It was found that the natural coagulant at concentrations below 30 mg / L is not very efficient for the removal of turbidity, but its behavior is close to that of aluminum sulphate when the concentration increases, converging to 80 mg / L. Subsequent analyzes showed that in addition to turbidity other parameters such as COD, BOD5, SSED, SST and G and A are considerably reduced, very similar to those achieved with the chemical coagulant, up to the permitted ranges for non-domestic wastewater from the preparation of dairy products by Colombian legislation under Resolution 0631 of 2015. On the other hand, it corroborates what is mentioned in the literature on the effect on pH changes, which does not vary much numerically, but reflect large changes that the water during your treatment.

INTRODUCCIÓN

La empresa Lácteos Del Cesar S.A. comúnmente conocida como KLAREN´S, es una industria dedicada al desarrollo, producción, comercialización de bebidas y alimentos saludables derivados de la leche. Dentro de sus productos comercializados se encuentran leche entera pasteurizada, bebida láctea klassgurt, queso criollo, queso campesino, arequipe, yogurt con cereales y gelatina Klaren´s.

La producción genera alta carga contaminante que ocasiona el deterioro de la calidad de vida y el incumplimiento normativo, lo que obliga a la industria a buscar medidas de minimización de impactos ambientales. Por lo cual se hace necesaria esta investigación para reducir las cargas orgánicas en el efluente hacia la laguna de oxidación y así lograr el cumplimiento de la normatividad vigente (Resolución 0631 de 2015), utilizando mecanismos en los procesos de coagulación como lo son los coagulantes naturales que busquen una optimización en la remoción de sólidos, aceites y grasas.

Por lo tanto, se estudió el comportamiento de parámetros como pH, temperatura, turbidez, demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos sedimentables (SSED), sólidos suspendidos totales (SST), aceites y grasas (A y G), con el fin darle una alternativa de solución a la empresa, a partir de un coagulante natural a base de cactus cardón (*stenocereus griseus*) para el tratamiento de sus aguas residuales.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los principales problemas de la industria láctea es la generación de aguas residuales, tanto por su volumen como por la carga contaminante asociada (leche entera 4% grasa DBO 135.000 mg/l y leche desnatada 0,05% grasa DBO 80.000 mg/l), fundamentalmente de carácter orgánico, la mayor parte del agua consumida en el proceso productivo se convierte finalmente en agua residual. En una central lechera puede esperarse un volumen de vertido entre 1,5 a 2,5 litros por cada litro de leche procesada, y en el conjunto de la industria láctea el rango se amplía hasta 2 a 5 litros, se estima que el 90% de la DQO de las aguas residuales de una industria láctea es atribuible a componentes de la leche y sólo el 10% a sustancias ajenas a la misma. Escuela Organización Industrial (2008).

El Banco de la República (2013) expresa que: “La planta de producción ubicada en Valledupar almacena 60 mil litros de leche por día” lo que produce un vertido de agua 90 mil litros diarios. Bajo estudios de la contraloría municipal de Valledupar, (2009) sus aguas residuales tienen valores en los parámetros, 11700 ppm DQO, 8100 ppm DBO₅, 1655,5 ppm SST y 873,3 ppm Aceites y Grasa, parámetros que están por fuera de los valores permisibles establecidos por la norma legal vigente en los decretos 3930 de 2010 y la resolución 0631 de 2015.

Debido a que la empresa realiza sus vertimientos a la red de alcantarillado municipal, al no darle solución se esperan problemas como aumento de la carga orgánica, obstrucción en tuberías, sobrepresión en la PTAR, contaminación del suelo y agua subterránea.

Basado en lo anterior surge la siguiente pregunta problema:

*¿Será posible que el *stenocereus griseus* sea efectivo en la remoción de: DQO, DBO, SST, SSED, A y G en las aguas residuales de la empresa Lácteos del Cesar S.A Klaren´s?*

2. JUSTIFICACIÓN

El crecimiento continuo de la población, el aumento de nivel de vida, el cambio climático, la industrialización, la agricultura y la urbanización están provocando la disminución de los recursos hídricos en todo el mundo. Wu y col., (2013). El mundo se compone de una parte principal aproximadamente 71% de agua, pero el agua dulce contribuye a solamente una fracción menor de 2,5%. Martine., (2007).

En Colombia y con gran influencia en el Cesar se está dando el fenómeno de la producción de leche, el departamento del Cesar se ha caracterizado por ser ganadero, lo cual ha permitido a la industria láctea expandirse en el mercado con productos como el suero, queso, leche pasteurizada, yogurt entre otros.

De igual forma en el país los tratamientos de las aguas residuales se han llevado de manera tradicional a través de lagunas de oxidación, en la actualidad son pocas las investigaciones registradas en base de datos o publicados en revistas que ratifiquen el uso del cactus como coagulante en la remoción de sólidos, Aceites y Grasas en agua residuales.

Debido a que las industrias lácteas del departamento del Cesar deben cumplir con las exigencias de la Resolución 0631 del 2015, la cual establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a sistemas de alcantarillado público, así como el decreto 3930 de 2010 por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. La Resolución 1023 de 2005 adoptó las Guías Ambientales como un instrumento de autorregulación y autogestión en cada sector productivo como el lechero.

Por lo anterior, esta investigación consiste en desarrollar una alternativa eficiente para el tratamiento de estos efluentes utilizando un polímero natural (*stenocereus griseus*), que es un coagulante de bajo costo, asequible, manejo relativamente

sencillo, la utilización de estos representa un avance importante en la tecnología ambiental sostenible ya que son recursos renovables. Yang., CH. (2010).

En la actualidad, la creciente preocupación mundial sobre los problemas ambientales ha elevado el interés por la investigación de los polielectrolitos naturales porque son de bajo costo, una fuente abundante, altamente biodegradable, de baja toxicidad, son seguros, por lo general tienen un gran número de cargas de superficie, lo que aumenta la eficiencia del proceso de coagulación, tienen un comportamiento favorable al medio ambiente en comparación con coagulantes inorgánicos y polímeros sintéticos. De Souza y col., (2014), Fatombi y col., (2013), Antov y col., (2012), Asrafuzzaman y col., (2011), Yin., (2010), Renault y col., (2009), generan no sólo un volumen mucho más pequeño de lodos de hasta cinco veces más bajas, sino también con un valor nutricional más alto. Como tal, los lodos de tratamiento y manejo de los costos se reducen por lo que es una opción más sostenible. Ndabigengesere y col., (1995). Cuando se extrae de las plantas cultivadas en regiones o comunidades rurales, tienen la ventaja de ser una iniciativa de desarrollo sostenible. Yin., (2010), no consumen alcalinidad, los ajustes de pH se pueden omitir y esto proporciona ahorros de costes adicionales, no son corrosivo. Swati y col., (2005), lo que elimina las preocupaciones de erosiones de tubería.

Con esta investigación se va a comprobar la eficiencia de coagulantes orgánicos en el tratamiento de aguas residuales asociadas a la producción de leche, que de usarse a escala real generara beneficios a la industria lechera como:

- Presentar alternativas competitivas para que la empresa cumpla la normatividad en cuanto al manejo de aguas residuales.
- Mejores condiciones para el desarrollo de las especies acuáticas y calidad de agua para riego.
- Las implicaciones de calidad de vida de los habitantes del sector y el ahorro de los recursos que la empresa puede obtener.

Los análisis de la investigación se realizarán en el laboratorio de la Universidad Popular Del César de la Facultad de Ingeniería de la Universidad, Ciudad de Valledupar departamento del Cesar.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia del *stenocereus griseus* como coagulante natural comparado con el sulfato de aluminio en el tratamiento de aguas residuales de la empresa lácteos del cesar S.A (Klaren´s) en la ciudad de Valledupar.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Caracterizar el caudal efluente de las aguas residuales generadas por la industria láctea (Klaren´s) a través de procesos fisicoquímicos.
- ✓ Obtener y caracterizar el coagulante a partir del cactus *stenocereus griseus* recolectado en los alrededores de la ciudad de Valledupar.
- ✓ Determinar los cambios de turbidez al aplicar diferentes concentraciones del coagulante del *stenocereus griseus* comparadas con las de sulfato de aluminio.
- ✓ Establecer la dosis óptima de los coagulantes para realizar el análisis al agua tratada de los parametros pH, SSED, SST, DQO, DBO₅, Aceites y Grasas.

4.1 ANTECEDENTES

Investigaciones llevadas alrededor del mundo por centros de investigaciones y universidades han venido demostrando que los coagulantes naturales, específicamente de cactus, cuentan con propiedades fisicoquímicas para alcanzar una alta remoción de carga contaminante de aguas residuales no domésticas, tales como los estudios de Buttice., y col., (2015), Yan Choy., y col., (2014), Betatache., y col., (2014), Pezoti., y col., (2014), Sook., Y., (2014), Villabona., A. (2013), Wu., y col., (2010), Yin., y col., (2010), Beltrán., y col., (2009), Hernández., y col., (2009), Caldera., Y., (2007). Zhang., y col., (2006), Rojas., y col., (2004), Martínez, D (2003).

Por otra parte, entre los coagulantes químicos utilizados en la actualidad, se destaca el uso del Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) en el tratamiento de aguas residuales tanto domésticas, como industriales. Los resultados de Bodlund., y col., (2014), Shak., y col., (2014), Teh., y col., (2014), Jarvis., P. (2012), Simate., y col., (2012), Rondeau., y col., (2011), Cataño., y col. (2011), Singh., y col., (2011), Parra., Y., (2011), Caldera., Y (2011), Muñoz., M.(2008), Ahmad., y col., (2006), muestran la eficiencia del Sulfato como coagulante.

En Colombia, hoy día sabemos que las aguas naturales se han ido degradando por diversas circunstancias y a la vez hay una mayor concientización, presión medio ambiental y legislativa, que está provocando que los gestores de los abastecimientos construyan plantas de tratamiento de estos vertimientos, con objeto de extraer la materia sólida y obtener unos efluentes sin lodos que podrán ser vertidos al cauce. García., y col. (2005).

Savaranan., y col., (2017) realizó tratamiento de aguas residuales de una planta de producción de lácteos utilizando coagulantes naturales. Para ello obtuvo coagulantes a partir de la *Dolichas lablab*, *M. oleífera*, *Azadirachta indica* y *Hibiscus*

Rosa Sinensis, cuyos resultados se compararon con el sulfato de aluminio. Por medio de pruebas de jarra se determinaron dosis óptimas de los coagulantes para disminuir la turbiedad; el sulfato de aluminio tuvo una dosis óptima de 0.8 g/L para alcanzar una eficiencia del 75%. Mientras que los coagulantes naturales estuvieron muy por debajo, *Dolichas lablab* 16 g/L para una remoción de turbiedad de 37.45%, *M. oleifera* 1 g/L con 12.95%, *Azadirachta indica* 6.5 g/L y 63% y la *Hibiscus Rosa Sinensis* con dosis óptima de 1 g/L y remoción de turbiedad de 7%.

Torregroza., A., (2017) estudió la eficiencia de coagulantes extraídos del Quitosano, el *Lemaireocereus Griseus* (Cactus Cardón Guajiro) y el Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) como coagulantes en el tratamiento de agua residual asociadas a la producción de aceite de palma. Tomaron muestras de aguas residuales bajo diferentes condiciones de acidez (pH: 4, 5, 6, 7, 8). Los resultados mostraron que la eficiencia de remoción de cada coagulante varió en función del pH, con rendimientos superiores al 90% en todos los parámetros (DQO, SST, SSV y A y G) para el Quitosano en un rango de pH de 4 a 6. El sulfato de aluminio presenta remociones mayores al 60% en DQO, la efectividad mostrada para las demás variables supera el 85% en remoción a pH de 5 a 7 y el *Lemaireocereus Griseus* demuestra su efectividad en A y G superando el 40% en remoción, mientras que para los otros parámetros supera el 70% para pH de 6 a 8.

De igual manera Nharingo., T., y col., (2015) estudiaron los procesos de coagulación-floculación que juegan un papel importante en el tratamiento del agua utilizando inorgánicos y materiales sintéticos. En la actualidad, cactus *Opuntia ficus indica* se explora como un producto barato, abundante y ecológico biofloculante de iones Pb (II) a partir de soluciones acuosas. El cactus se caracterizó por medio de un espectrómetro infrarrojo de transformada de Fourier (FTIR) y la coagulación-floculación proceso fue optimizado para pH, concentración inicial de iones de Pb (II), tamaño de partícula, dosificación, fuerza iónica, contacto tiempo y temperatura antes de su aplicación a agua del río Mukuvisi. FTIR confirmó la participación de -C-O-C-, -OH-, -C = O-, -N-H y -C-H grupos de los polisacáridos, ácidos carboxílicos

y aminoácidos en la eliminación de Iones Pb (II). La variación del porcentaje de eliminación y zeta potencial con pH y dosis de floculante sugirieron la participación de adsorción-carga neutralización y adsorción-puente mecanismos en la coagulación proceso de floculación El proceso fue óptimo a pH 5, fuerza iónica natural, dosificación de 8 mg / L, correspondiente a potencial zeta cero, con tamaño de partícula $\approx 75 \text{ nm}$, a 35 C para un floculante que establece un tiempo de 180 min. La coagulación-floculación proceso fue espontáneo y endotérmico con un cambio positivo en la entropía del sistema. Total, de metales pesados eliminación de 100% (Pb), 85,74% (Zn), 84,16% (Cd) y 93.02% (Cu) se lograron, en condiciones óptimas, cuando se utilizó polvo de *Opuntia ficus indica* para eliminar metales del agua muestreada del río Mukuvisi, Harare, Zimbabue. El cactus *Opuntia ficus indica* resultó ser un floculante eficiente y ecológico que puede remediar eficazmente los iones Pb (II) de las aguas residuales, además las aguas residuales de iones de metales pesados, plaguicidas y colorantes causan una contaminación ecológica severa con los sistemas convencionales métodos de tratamiento que demuestren ser inadecuados, infructuosos o costosos de aplicar. Varios biomateriales han sido recientemente explorados para la bioadsorción y biocoagulación-floculación de contaminantes de aguas residuales En los últimos 10 años, ha habido una amplia producción de investigación sobre el uso de biológicos materiales tales como desechos agrícolas, quitosano, *Moringa Oleifera*, *Eichhornia crassipes*, bacterias, algas, plantas de cactus, etc. en la remediación ambiental. Revisaron biomateriales derivados de *Opuntia ficus-indica* en la descontaminación de aguas residuales.

Así mismo Bouatay., F y col., (2014) verificaron el rendimiento del *Opuntia ficus indica* floculante en decoloración, eliminación de DQO y disminución de la turbiedad, el producto natural se caracterizó mediante espectroscopia UV e Infrarroja. El estudio del efecto, seguido de una optimización y análisis de modelado, de algunos parámetros experimentales sobre el rendimiento de coagulación-floculación, utilizando el mucílago de cactus combinado con sulfato de aluminio (como coagulante), mostró que las mejores condiciones para la floculación proceso se

dieron para un pH igual a 7.25, dosis de floculantes de aproximadamente 40 mg/L, velocidad de mezcla de floculación de aproximadamente 30 rpm y un tiempo de mezcla de floculación de aproximadamente 11 minutos. Esto da una decoloración igual a 99.84%, eliminación de la DQO de aproximadamente 88.76% y disminución de la turbidez de aproximadamente 91.66%. La comparación entre el rendimiento de los floculantes comerciales y el agente bio-floculante mostraron que este último tiene la mayor eliminación de la contaminación.

Al respecto Souza., M. y col., (2014) por medio de unas pruebas preliminares de una suspensión de caolinita lograron una eliminación máxima de la turbidez del 95% utilizando una solución de extracción de NaCl. Los ensayos de optimización se realizaron con efluentes reales utilizando la metodología de superficie de respuesta (RSM) basada en el diseño experimental de Box-Behnken. Se investigaron las respuestas de las variables FeCl_3 , dosis, dosis de cactus y pH en la eliminación de DQO y turbidez de ambos efluentes. Las condiciones óptimas determinadas para los pantalones jeans que lavaban el efluente de la lavandería fueron las siguientes: FeCl_3 160 mg/L, dosis de cactus 2,60 mg/L y pH 5,0. Para el efluente de teñido de telas, las condiciones óptimas fueron las siguientes: FeCl_3 640 mg/L, dosis de cactus 160 mg/L y pH 6,0. La investigación de los efectos del tiempo de almacenamiento y la temperatura del cactus *O. ficus-indica* mostró que la eficacia de la coagulación no se vio afectada significativamente por el almacenamiento a temperatura ambiente durante hasta 4 días.

Su caracterización, composiciones fisicoquímicas, su aplicación en biosorción y floculación de tintes, plaguicidas y especies metálicas que se centran en el equilibrio, la cinética y la termodinámica las propiedades son revisadas Los principales resultados obtenidos en la descontaminación de una variedad de Las aguas residuales que usan cladodios, pulpa de frutas y cáscaras de mucílago y electrolitos muestran niveles muy altos y prometedores capacidad de adsorción máxima de contaminantes y porcentajes de eliminación en el rango de 125.4 a 1000 mg/g y 0.31 a 2251.56 mg/g para la biosorción de colorantes y especies metálicas

respectivamente y el porcentaje de eliminación rangos de 50 a 98.7%, 11 a 93.62% y 17 a 100% para turbidez, demanda química de oxígeno y metales pesados respectivamente por el proceso de coagulación-floculación. Los biomateriales demostraron ser eficientes en contaminantes eliminación de que es necesario explorar la ampliación del estudio de la escala de laboratorio a la comunidad plantas piloto y finalmente a niveles industriales.

En este sentido Villabona., y col., (2013), aplicaron de manera artesanal la Tuna (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante es una práctica tradicional en comunidades rurales. En esta investigación se realizó la caracterización del tallo de la Tuna para obtener el coagulante, el rendimiento del proceso global fue de 65 g de coagulante/Kg de material vegetal. Los resultados indicaron que la penca contiene alto porcentaje de humedad y pequeñas proporciones de saponinas, flavonoides, sales minerales de calcio y hierro; lo cual permitió concluir que estos metabolitos y sales no son los responsables de su poder coagulante debido a las cantidades poco significativas en las que se encuentran. Se consideró que otras especies químicas tales como el ácido poligalacturónico y compuestos algínicos son realmente los que le confieran la cualidad al biomaterial, también se evaluó el poder coagulante del material extraído, se analizó el efecto de tres dosis sobre el color, la turbidez y el pH del agua tratada. Los resultados indicaron que tiene la capacidad de remover 50% del color y 70% de turbidez de aguas crudas con alta turbidez inicial, y que no altera significativamente su pH.

De igual forma Kannadasan., T. y col., (2013) evaluaron la eficiencia de la de un coagulante natural derivado de especies de cactus para la remoción de la turbidez de efluente de la industria de tintes, también estudiaron otros parámetros como el pH y el color, las dosis de cactus de 0.5 a 2.5g tuvieron un efecto marginal sobre el pH final del agua (valor de pH 8.2). El mismo experimento cuando se realizó con jacinto de agua dio como resultado cambios minúsculos en pH, que es menor en comparación con los cactus. Este resultado implica que a pesar de que las dosis

fueron sustancialmente los valores de pH finales aumentados del agua no se vieron afectados en comparación con el uso de productos químicos coagulantes, la cantidad de cactus dosificado se correlacionó con la turbiedad final del agua, observándose que tanto el cactus (*Opuntia*) como el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) tienen el potencial de remover alta turbiedad en aplicaciones industriales.

Por otra parte, Barka., N., y col., (2013) realizaron la biosorción de iones de cadmio (II) y plomo (II) en un biosorbente natural, abundante y de bajo costo desarrollado a partir de cactus *Opuntia* se investigó en modo discontinuo. Los experimentos se llevaron a cabo en función del tamaño medio de partícula biosorbente, el pH, la masa biosorbente, el tiempo de contacto, la concentración inicial de metal y la temperatura. Los resultados experimentales indican que el porcentaje de biosorción aumenta con un aumento en la dosificación de biosorbentes y la disminución del tamaño de partícula. La absorción de equilibrio aumentó con un aumento en la concentración inicial de metal en solución. La biosorción máxima se produjo a un pH de 5.8 y 3.5, respectivamente para los iones de cadmio (II) y plomo (II). Los datos cinéticos de la biosorción se ajustaron adecuadamente con el modelo cinético de pseudo segundo orden. Los datos de equilibrio se ajustaron muy bien al modelo de Langmuir con una capacidad máxima de monocapa de biosorción de 30,42 y 98,62 mg/g, respectivamente para los iones de cadmio (II) y plomo (II). El rendimiento de la biosorción disminuye con un aumento en la temperatura de la solución. El análisis FTIR de biosorbentes cargados y cargados de metal indicó la participación de los grupos CO, OC y COC en la unión de metales.

También Fuentes., y col., (2011) se recolectaron muestras de agua cruda natural en la planta de tratamiento Pueblo Viejo (estado Zulia, Venezuela) y a partir de éstas se prepararon aguas diluidas con turbiedades iniciales de 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 NTU. Estas aguas fueron tratadas con diferentes dosis (300, 400, 500 y 600 ppm) del coagulante natural. Se evaluaron los parámetros pH, turbidez, color y alcalinidad en las aguas crudas y en las tratadas. Después de aplicar las dosis óptimas del coagulante (300, 400, 500 y 600 ppm), los porcentajes de remoción de

turbidez oscilaron entre 14,50 y 80,42% antes de la simulación de la filtración y entre 69,27 y 96,46% luego de ello. Esto demostró la efectividad del coagulante extraído de *Stenocereus griseus* en la potabilización de agua.

En este orden de idea Zhang., J., y col., (2006) evaluó el rendimiento de la coagulación de cactus para actuar como coagulante macromolecular natural se estudió mediante la prueba jarra. La coagulación del cactus alcanzó una eficiencia de eliminación de turbidez comparativamente alta, y se pudo obtener agua con turbidez inferior a 5 NTU con turbiedades iniciales de 20 a 200. Cuando se utilizó para tratar la misma muestra de agua, se encontró la dosis óptima de coagulante de cactus similar a la de $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. También se estudiaron los efectos de factores como el pH, la temperatura y la alcalinidad en la coagulación de cactus. Se puede obtener una alta eficiencia de eliminación de turbidez y DQO cuando se utilizan sólidos de cactus para tratar aguas residuales, fuentes de agua potable (tomadas de Chang jiang, Wuhan) y agua de mar de alta turbidez. Cuando se utilizó cactus con $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ de forma sincrónica para tratar las aguas residuales, la eficiencia de eliminación de la turbidez y la DQO fueron más altas que las de los cactus o solo se utilizó $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Alcanzó una dosis óptima de coagulante de 50 mg/L, con una eliminación de la turbidez de 94% a un pH de 10.

4.2 MARCO TEORICO

4.2.1 Procesos industriales lácteos

Materias primas

Las principales materias primas utilizadas en la industria láctea son: leche entera, leche concentrada, leche en polvo, harina de trigo, grasa vegetal, azúcar, sal, frutas, mermeladas, saborizantes, chocolate, manteca, fermento, enzimas y bacterias entre otras. Los insumos auxiliares son cloro, ácidos y bases, detergentes, etc. Guía para el control y prevención de la contaminación industrial., (1998)

Tratamiento y envasado de leche

- Recepción de la leche y tratamientos previos

La leche se recibe en la instalación transportada en cisternas de acero inoxidable, isotermas o refrigeradas, por medio de bombas es enviada a tanques de almacenamiento pasando por un tamiz con el que se separan las impurezas más groseras que pudiera llevar, Posteriormente la leche pasa a un depósito de desaireación sometido a la acción del vacío con el objeto de eliminar el oxígeno incluido que podría provocar la fragmentación de la materia grasa y alterar su calidad, desde ahí la leche es enviada a una centrífuga de alta velocidad donde se eliminan el resto de impurezas y un gran número de microorganismos, luego la leche pasa a un tanque en el que se enfría hasta 4°C, generalmente en enfriadores de placas, y se bombea a depósitos de almacenamiento de leche cruda desde los que se alimentará a los diferentes procesos de fabricación. Escuela Organización Industrial., (2008).

Tratamientos de la leche

Desde los tanques de almacenamiento de leche cruda, la leche recibe los siguientes tratamientos:

- Precalentamiento en un pasteurizador hasta 60-70°C
- Centrifugado-desnatado
- Homogeneización
- Calentamiento en pasteurizador hasta 72-75°C

Enfriamiento posterior a 4°C en pasteurizador, este enfriamiento puede realizarse con circulación a contracorriente de manera que el calor se ceda a la leche que entra.

La pasteurización es un tratamiento destinado a la destrucción de los microorganismos que puedan provocar olores o sabores desagradables en el producto final, además con este tratamiento se consigue la completa disolución de los ingredientes de la mezcla en el caso de leches especiales (batidos, helados, entre otros.)

En el proceso de centrifugación y desnatado se separa la nata de la leche, que se pasteriza y vuelve a mezclarse con la leche en un porcentaje de grasa estandarizado.

La homogeneización tiene como propósito desintegrar y dividir finamente los glóbulos de grasa en la leche, con objeto de conseguir una suspensión permanente y evitar que la grasa se separe del resto de los componentes y ascienda hacia la superficie por su menor peso. Escuela Organización Industrial., (2008).

Envasado de la leche

El envasado aséptico de la leche consta de dos etapas definidas como son: La esterilización térmica del producto y del circuito de distribución por circulación de agua caliente o vapor, el cartón enrollado, esterilizado químicamente con agua oxigenada generalmente, se transforma paulatinamente en un tubo que, una vez lleno, se cierra lateralmente por arriba y por abajo para, posteriormente, cortarse los envases que salen de la máquina listos para su encartonado y paletizado. Otra alternativa de envasado sería el empleo, con leche pasterizada o esterilizada, de envases de plástico, botella o bolsa, y de cristal. Escuela Organización Industrial., (2008).

Fabricación de yogurt

La leche concentrada o enriquecida con leche en polvo hasta aumentar su extracto seco en un 2-2,5%, es pasteurizada a 90-92°C durante uno a cinco minutos. La

leche debe ser previamente higienizada para eliminar las impurezas presentes y desairadas para eliminar el oxígeno ocluido y posibles olores. Posteriormente, la leche es sometida a una homogenización para dividir finamente y dispersar los glóbulos de grasa evitando que asciendan a la superficie. A continuación, la leche es inoculada con un cultivo de fermentos lácticos en una proporción de un 1,5-3% para enviarse a envasar a unos 45°C manteniéndose esta temperatura durante tres a cuatro horas en las incubadoras, para elaborar yogurt dulce y aromatizado se añaden, antes de la fermentación, el azúcar y los aromas y colorantes deseados. Escuela Organización Industrial., (2008).

Fabricación de mantequilla

La mantequilla es el producto graso obtenido exclusivamente de leche o nata de vaca higienizadas. El proceso básico de obtención de mantequilla dulce es siguiente: la nata separada de la leche mediante centrifugación o decantación es sometida a un tratamiento de pasteurización donde se calienta hasta unos 92°C para ser posteriormente enfriada a unos 8-11°C, temperatura óptima para la transformación de la nata en mantequilla. La nata pasteurizada y enfriada pasa a un batido donde se logra la conversión de la nata en mantequilla granular y mazada que pasan a una sección de drenaje, a continuación, se procede al amasado, que puede tener lugar en una o varias etapas. Cada operación de amasado puede estar seguida de una operación de lavado. La mazada extraída en estas etapas puede ser enfriada y enviada a un tanque de mazada, pudiéndose emplear recirculada en el primer lavado. Posteriormente se puede realizar un ajuste del contenido en agua y una eliminación del aire ocluido en el producto. Finalmente, se procede al envasado del producto final en los diferentes formatos que proceda. Escuela Organización Industrial., (2008).

Elaboración de quesos:

De forma general, el proceso de fabricación del queso, con variantes específicas para cada tipo de queso, consta de las siguientes etapas:

- Recepción y tratamientos previos de la leche, entre los que se incluyen refrigeración, higienización, pasteurización.
- Coagulación y separación parcial del suero.
- Llenado de moldes y prensado previo.
- Moldeado.
- Prensado.
- Salado.
- Maduración.

La leche de vaca empleada en la fabricación de queso debe ser de buena calidad y se debe recibir enfriada en torno a los 4-6°C. Si la leche llega a mayores temperaturas se enfriará a 3-4°C. No obstante, aun cuando la leche sea de buena calidad, se pueden producir infecciones, motivo por el cual la leche se debe someter inicialmente a un tratamiento de higienización pasando por una centrífuga, con o sin desnatado, según el tipo de queso, y posterior pasteurización a 70-80°C durante unos segundos. Escuela Organización Industrial., (2008).

4.2.2 Aguas residuales industriales lácteas

En las plantas de lácteos se producen a diario una considerable cantidad de aguas residuales que puede oscilar entre los 4 a 10 L por cada litro de leche tratada. La mayor parte de estas plantas procede de:

- Limpieza de equipos e superficies
- Aguas de refrigeración (cuando no se recuperan)
- Condensados
- Restos de leche y lactosuero

Todos estos componentes aparecen en las aguas residuales en mayor o menor cantidad, con las aguas de limpieza y los productos que se empleen en ésta. Los contaminantes esperados en la limpieza son materia orgánica, sólidos en suspensión, aceites y grasas, nitrógeno orgánico y detergentes. Generalmente tienen un carácter alcalino, con valores de pH que pueden aproximarse a 11. Escuela Organización Industrial., (2008).

4.2.2.1 Sistema actual de tratamiento de la industria Lácteos Del Cesar

La empresa cuenta con una semi-trampa de grasas ubicada en las áreas de almacenamiento del lacto suero, se encuentra en mal estado sanitario y no es funcional en su totalidad, el cual debe ser clausurado de forma inmediata.

El sistema integrado de trampa de grasas se encuentra en buen funcionamiento en el orden del 80% con algunas deficiencias en la retención de material sólido de gran tamaño, lo cual genera la acumulación de material de gran tamaño en varias secciones de la trampa que incrementan la carga orgánica vertida.

4.2.2.2 Tratamiento de las aguas residuales

Una planta de tratamiento para efluentes lácteos requiere ser diseñada básicamente para remover los niveles contaminantes de parámetros tales como: DBO5, aceites y grasas, sólidos suspendidos, y para corregir el pH del efluente. A pesar de la variabilidad en los parámetros de vertido, se puede considerar unos sistemas básicos de control y de pretratamiento que se adapten a las características generales de los vertidos y que puedan servir de orientación para que las empresas desarrollen unos sistemas más específicos y adecuados a los vertidos que generan.

Con carácter general, el tratamiento de estas aguas residuales puede realizarse mediante un tratamiento biológico, requiriendo previamente la separación de sólidos en suspensión y de Aceites y Grasas. En el caso de las aguas procedentes de la

elaboración de quesos puede ser necesaria, además, la eliminación de fósforo. Por otro lado, dada la elevadísima DQO y conductividad del lactosuero, la primera medida de control es recuperar totalmente los restos de lactosuero y evitar que estos lleguen a mezclarse con el resto de las aguas residuales.

Los sistemas de depuración de aguas residuales deben ser aquellos que garanticen el cumplimiento de los límites establecidos por la legislación en función del punto al que vierte la empresa (sí el vertido se realiza a cauce público los límites son más restrictivos que sí se realiza a un colector de una depuradora de aguas residuales). Escuela Organización Industrial., (2008).

Las tecnologías existentes para el tratamiento de este tipo de efluentes son muy amplias, por lo que es difícil precisar un tratamiento estándar. Antes de la coagulación se deben realizar los siguientes pretratamientos:

- Tamizado: Elimina los sólidos gruesos antes de la entrada a la planta depuradora.
- Tanques de sedimentación: Se utilizan cuando se generan aguas residuales con una alta cantidad de sólidos suspendidos.
- Homogenización y neutralización: En caso de en las aguas hubiese residuos alcalinos o ácidos, estos primero tienen que neutralizarse, de lo contrario se dificulta el tratamiento aguas abajo. Para ello se utilizan tanques de retención, donde se mezclan las corrientes alcalinas y las ácidas, de no ser esto suficiente se deben dosificar compuestos que neutralizan el agua en el tanque de retención.
- Desengrasado: Para desenmulsionar se inyecta aire desde el fondo utilizando un compresor. La grasa que se forma en la superficie se mueve hacia una canaleta, donde se retira.

4.2.3 Características físicoquímicas del agua residual

Algunas de las características físicas químicas de las aguas residuales son las siguientes:

Temperatura.

Suele ser superior a la del agua de consumo, por el aporte de agua caliente procedente del aseo y las tareas domésticas. Oscila entre 10°C y 21°C, con un valor medio de 15°C, aproximadamente. Esta mayor temperatura ejerce una acción perjudicial sobre las aguas receptoras, pudiendo modificar la flora y fauna de éstas, y dando lugar al crecimiento indeseable de algas, hongos, etc.

También, el aumento de temperatura puede contribuir al agotamiento del oxígeno disuelto, ya que la solubilidad del oxígeno disminuye con la temperatura. Gracia., C., y col., (2014).

Turbidez.

Se define como la propiedad óptica de una muestra para disipar y absorber la luz en vez de transmitirla en línea recta. En el caso del agua, esta es causada por las partículas coloidales como la arcilla, minerales, algas, diminutas partes de materia orgánica e inorgánica, plancton y microorganismos. Partículas como estas le proporcionan color aparente al agua. En términos matemáticos, la turbidez se puede definir como el logaritmo natural de la disminución de la intensidad luminosa, al pasar un rayo de luz a través de un medio de espesor x , como aparece en la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{1}{x} \text{Ln}\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

La turbidez aparente de una suspensión está relacionada con el número, masa, tamaño, forma, índice de refracción y concentración de las partículas. Desde el punto de vista químico, la dispersión de arcillas es la causa principal de turbidez en

el agua. Las arcillas abarcan una amplia gama de compuestos, pero en general son silicatos de aluminio con fórmulas bastante complejas y adquiere plasticidad al mezclarse con el agua. Environmental Protection Agency., (2015).

Color.

Material vegetal en descomposición y algunos minerales de hierro y magnesio se encuentran entre las principales sustancias causantes de color en el agua natural. Cualquiera sea su origen, los compuestos responsables de este color, se conocen como sustancias húmicas, aunque no se tienen mayores detalles de su estructura molecular, se sabe que, en general contienen carbono, hidrogeno, oxígeno y nitrógeno en porcentajes variables. La presencia de color en agua genera una mayor demanda de cloro, a la vez sirve como nutriente para agentes patógenos y afecta la eficiencia de los procesos industriales. EPA., (2015).

El color en el agua se asocia a sustancias en solución (color verdadero) o en suspensión (color aparente). Sin embargo, existe discusión entre los académicos sobre este tema, porque pruebas realizadas sitúan a las partículas causantes del color aparente entre los 3.5 y 10 μm , tamaño correspondiente tanto a las coloides como a las soluciones verdaderas.

Por otro lado, dado que en aguas naturales los colores predominantes van desde diferentes tonalidades amarillas hasta pardo, y dado que estas tonalidades se pueden simular con bastante aproximación utilizando soluciones de cloroplatino de potasio a diferentes concentraciones se ha tomado este patrón como referencia para expresar el color. La unidad adoptada, a nivel internacional, como referencia es equivalente a una solución de 1 mg cloroplatino de potasio por litro (UPC).

Sólidos.

Se pueden clasificar en:

- Totales: residuos que quedan tras la evaporación y secado de la muestra a 130°C durante 60 mm.
- Fijos: residuos remanentes después de la evaporación y carbonización a 600°C, durante minutos.
- Volátiles: es la diferencia entre sólidos totales y fijos.

Materia orgánica.

Constituye la tercera parte de los elementos de las aguas residuales, siendo los principales compuestos que se pueden hallar: - Proteínas (40-60 %) - Carbohidratos (25-50 %) – Aceites y Grasas (10 %), en las aguas residuales urbanas, la urea y el amoníaco constituyen las principales fuentes de nitrógeno, junto con las proteínas. La materia orgánica también puede aportar azufre, hierro y fósforo. La mayoría de los aminoácidos presentes en la naturaleza pueden detectarse en las aguas residuales, como producto de la descomposición de proteínas. Otros compuestos importantes son los azúcares como la glucosa, lactosa, sacarosa, fructosa y galactosa; y los ácidos como el acético, propiónico, butírico, láctico y cítrico. También, se pueden encontrar celulosa, almidón y lignina. Las grasas son descompuestas más lentamente por las bacterias, pero pueden actuar sobre ellas los ácidos minerales, dando glicerina y ácidos grasos; éstos, a su vez, pueden reaccionar con los álcalis, dando glicerina y jabones (sales alcalinas de ácidos grasos). EPA., (2015).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

Es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica presente en el agua. Esta prueba se realiza durante 5 ó 3 días a 20°C por lo que se expresa como DBO o DBO₅, respectivamente. Se puede obtener mediante determinación de la concentración de oxígeno disuelto de la medida de la DBO₅, es el procedimiento manométrico basado en el respirómetro de Warburg. El CO₂ desprendido determinación de DBO₅. EPA., (2015).

Demanda química de oxígeno (DQO).

Mide la cantidad de materia orgánica del agua, mediante la determinación del oxígeno necesario para oxidarla, pero en este caso proporcionado por un oxidante químico como el permanganato potásico o el dicromato potásico. Este parámetro no puede ser menor que la DBO, ya que es mayor la cantidad de sustancias oxidables por vía química que por vía biológica. Habitualmente se realiza la determinación con permanganato en las aguas para consumo, denominándose oxidabilidad al permanganato, mientras que en las aguas residuales se realiza con dicromato, llamándose más propiamente DQO. Environmental Protection Agency., (2015).

Clarificación.

Etapa del tratamiento del agua se le retiran la turbidez y color, pero todavía conserva agentes patógenos, el proceso consta de las siguientes 4 fases:

Dosificación del coagulante: en este punto se le agrega un agente coagulante para desestabilizar las partículas coloidales presentes en el agua.

Floculación: estos equipos, pueden ser mecánicos o hidráulicos, y se utilizan para lograr una mezcla homogénea entre el producto coagulante y el agua cruda. Gracias a su movimiento constante hacen posible que las partículas presentes en el agua se aglutinan, formando los llamados floc.

Los floculadores mecánicos son aspas de grandes dimensiones, los cuales por lo general operan a bajas velocidades de mezclado. En cuanto a los hidráulicos, estos son canales en forma serpentina, donde se produce una turbulencia que genera la agitación, y por ende la aglomeración de los coloides. Environmental Protection Agency., (2015).

4.2.4 Coloides

En general, son diminutas partículas sólidas que no 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 remoción. Rodríguez., (2008).

Forma: La forma de los coloides tiene relación directa con sus propiedades. Sin embargo, no existe una clasificación adecuada de las formas coloidales. Algunos las clasifican en isométricas y anisométricas. Las primeras son aquellas que tienen dimensiones uniformes en todas las direcciones (esferas, poliedros); las segundas son las que se extienden en una o dos dimensiones, estas pueden ser cilindros, láminas, cintas, etc.

Propiedades: Al presentar un movimiento browniano, esto significa que se mueven de manera constante e irregular. Sumado a esto, también poseen una gran área superficial específica, es decir, su masa es despreciable con respecto a su área. Gracias a esto, las partículas coloidales desafían a la gravedad, este comportamiento evita que puedan ser removidas por una sedimentación simple. Esto se debe a que, mediante su inmensa área superficial, los coloides adsorben iones en cantidades desiguales, originando la formación de una carga eléctrica que contribuye a su estabilidad. El grado de estabilidad está determinado por el potencial Z, el cual se relaciona con la carga y la distancia a través de la cual esta carga es efectiva.

El efecto Tyndall-Faraday describe la forma como se dispersa la luz en una solución coloidal, este fenómeno se utiliza para determinar la turbiedad del agua, puesto que

la dispersión de un haz incidente guarda una estrecha relación con el diámetro, número, masa, tamaño y forma de las partículas presentes en la muestra.

Teoría de la doble capa: Las partículas coloidales se caracterizan por estar rodeadas por dos capas eléctricas, estas son la base de su gran estabilidad. La capa interna consiste tanto en cationes como en aniones, pero por lo general su carga neta es negativa. Esta capa externa posee cationes intercambiables como Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , etc.

Potencial Z: Es la medida, en milivoltios, del potencial eléctrico generado entre las dos capas que rodean al coloide. Este parámetro se usa para controlar el comportamiento del coloide puesto que tiene una relación directa con las fuerzas de repulsión, las cuales impiden la unión entre los coloides. La repulsión electrostática llega a ser importante cuando los coloides se aproximan y la doble capa comienza a interferir. En este caso, se requiere energía adicional para sobrepasar esta repulsión y forzar la unión entre las partículas.

Fuerzas de Van der Waals: Constituyen una fuerza de atracción intermolecular, causadas por la interacción de dipolos, ya sean permanentes o inducidos. Es decir, son el resultado de la atracción entre las moléculas individuales de cada coloide, este efecto es aditivo. Por otro lado, la estabilidad del coloide depende de la carga neta resultante al sumar las fuerzas de repulsión y atracción.

Aplicación del potencial Z en la coagulación del agua: El potencial zeta es una manera adecuada de optimizar la dosificación de coagulante. Debido a su diminuto tamaño y su complejo comportamiento las partículas coloidales no pueden ser removidas por métodos de sedimentación y filtración convencional. Es por ello que hoy en día estos se eliminan mediante la disminución del potencial zeta con coagulantes tales como el alumbre, cloruro férrico y/ o polímeros catiónicos. Una

vez reducida o eliminada la carga no existirán fuerzas repulsivas que impidan la formación de macropartículas.

4.2.5 Coagulación

En general el agua de uso doméstico o industrial debe recibir una serie de tratamientos previos para garantizar las condiciones de calidad requeridas por los potenciales consumidores. Una de las etapas fundamentales en cualquier proceso de adecuación, es la desestabilización eléctrica de las partículas coloidales, este fenómeno conocido como coagulación, permite que estos pequeños sólidos disueltos en el agua se aproximen unos a otros lo suficiente como para aglomerarse y formar partículas de mayor tamaño que sedimentan por gravedad.

Este fenómeno ocurre al adicionar un agente coagulante, el cual cancela las cargas electrostáticas de las partículas al tiempo que origina una compresión de la capa difusa que rodea los coloides, lo cual les permite la formación de floc a través de un mecanismo de puentes entre partículas, produciendo una malla porosa en función de su radio efectivo, facilitando así la formación de macro flóculos. Singley., (1986).

En resumidas cuentas, su objetivo principal es aglomerar las partículas coloidales para formar macropartículas de fácil sedimentación, con el fin de disminuir la cantidad de sólidos suspendidos y disueltos, por ende, la turbidez y color del agua.

- Mediante este proceso también se espera:
- Remover los agentes patógenos susceptibles a ser coagulados.
- Remover el color aparente del agua.
- Remover sustancias peligrosas para los humanos.
- Destruir las algas y el plancton, presente.

La coagulación y la floculación podrían lograrse utilizando cualquiera de los dos coagulantes naturales o coagulantes de base química. Entre el dos, los coagulantes naturales han sido reconocidos durante mucho tiempo su aplicación en la

purificación de agua tradicional que era evidente a partir de varios registros antiguos citados. Dorea., (2006).

Por otro lado, la difusión mundial de alumbre como un coagulante para el suministro de agua pública se produjo de nuevo en el siglo XIX. Desde entonces, China se ha convertido el usuario de alumbre más antiguo del mundo para la clarificación del agua seguido por otras naciones a nivel mundial. En los Estados Unidos, los coagulantes metálicos como las sales férricas tienen su reinado en el agua tratamiento desde 1880. Como el rendimiento de estos acostumbrados coagulantes químicos es dudoso en ciertas condiciones de trabajo como bajas temperaturas, los desarrollos en curso tienen como resultado la introducción de coagulantes de aluminio polimerizados. Jahn., (2001).

El cloruro de polialuminio (PACl) ha cosechado un crecimiento mercado debido a su superioridad superior y menor consumo de alcalinidad Floculantes de polímeros sintéticos orgánicos como la poliacrilamida más común también está disponibles en el mercado; ofreciendo una selección más amplia de coagulantes químicos para atender requisitos diversos de las plantas individuales de tratamiento de agua. Bolto., (2017).

Con la invasión de coagulantes químicos, tradicional los métodos de clarificación del agua con coagulantes naturales no son practicados, excepto en los países rurales y en desarrollo que tienen acceso limitado a estos productos químicos. Esta marcó el comienzo de un cambio de paradigma hacia la dependencia de los coagulantes químicos en el tratamiento del agua turbia.

Con los años, este escenario ha llevado gradualmente al estancamiento en el desarrollo de coagulantes naturales. Una brecha infinita tiene ya que existía dibujando líneas obvias entre estas dos variantes de coagulante como la clarificación tradicional del agua método se vuelve obsoleto.

A pesar de la superioridad de los coagulantes químicos en el tratamiento de turbias agua, todavía carecen en términos de química verde. En el Década de 1960, se publicaron los efectos perjudiciales de los coagulantes químicos en el ser humano la salud Productos químicos utilizados para la coagulación. Simate., (2012).

Aluminio residual en el agua tratada con alumbre ha sido el centro de debate, ya que es vinculado a graves problemas de salud, como el desarrollo de Enfermedad de Alzheimer y demencia senil. Walton., (2013).

Otro inconveniente principal de hidrolizar coagulantes metálicos es la generación de lodos voluminosos de óxido hidratado que es no biodegradable debido a la naturaleza del coagulante. Por ejemplo, el 99% del lodo de alumbre está compuesto de agua y el lodo de alumbre es bastante difícil de eliminar. Gregory., (2006).

El lodo de alumbre también tiene la desventaja de causar la absorción de fósforo de plantas debido a la absorción de fósforo inorgánico que conduce a fitotoxicidad de aluminio. Ha sido estimado que una planta de tratamiento de agua típica con el tratamiento capacidad de 190 millones de L por día usando alumbre resultaría en al menos 3 toneladas de residuos sólidos secos; acumulando a más de 1000 toneladas anuales. Este hallazgo indirectamente se traduce en la entrada excesiva de lodo a vertederos existentes que actualmente se informa que son insuficientes para atender la cantidad de lodo que crece rápidamente. Además, tratamiento de agua altamente turbia requiere varios proteolíticos aditivos junto con alumbre por lo que es un proceso costoso. Cornwell., (1999).

Tales métodos complicados para el tratamiento de agua altamente turbia son difíciles de adoptar en países pobres o en desarrollo, donde métodos rentables y simples de tratamiento de agua potable son necesarios. Debido a la caída de coagulantes químicos, existe la necesidad de considerar otro potencial alternativas para la clarificación del agua para minimizar el medio ambiente daños y para salvaguardar el bienestar de los humanos. Boblund., (2014).

4.2.5.1 Coagulantes

Su función es realizar la desestabilización de las partículas para facilitar su remoción. Pueden ser metálicos, poliméricos o polielectrólitos, los hay sintéticos y naturales.

4.2.5.1.1 Coagulantes metálicos

A lo largo de la historia, han sido los más utilizados para el tratamiento del agua cruda, poseen la capacidad de actuar como coagulantes y floculantes, cuando son disueltos estos forman compuestos complejos hidratados. Si se dosifican en exceso pueden llegar a ser nocivos para la salud humana. Entre los más utilizados se hallan:

Tabla 1. Coagulantes metálicos

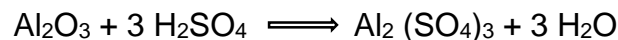
Compuestos de aluminio	
Sulfato de aluminio	$\text{Al}_2\text{SO}_4 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$
Aluminato de sodio	NaAlO_2
Alumbre de potasio	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Alumbre de amonio	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Policloruro de aluminio	$\text{Al}_2(\text{OH})_n\text{Cl}_{6-n}$
Compuestos de hierro	
Cloruro férrico	FeCl_3
Sulfato férrico	$\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$
Sulfato ferroso	$\text{Fe}(\text{SO}_4)_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Otros	
Carbonato de magnesio	MgCO_3

Fuente: Autor

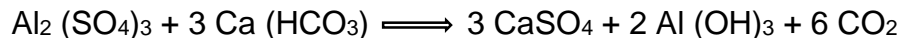
Sulfato de Aluminio: también conocido como alumbre, funciona mejor en un intervalo de pH entre 6 y 8. Produce flóculos pequeños de fácil remoción. No es muy efectivo para aguas con alta carga contaminante, es el más utilizado para el tratamiento de agua potable, además no necesita aditivos. Su inhalación puede ser

nociva, en grandes cantidades es tóxico para la vida acuática y causa alergia en los ojos.

El Sulfato de Aluminio es un producto que, tanto en su forma sólida como en disolución, se produce a partir de un mineral rico en aluminio (como puede ser la bauxita, caolín, arcilla o bien hidratos de Aluminio) que es atacado por el ácido Sulfúrico, según la reacción:



La solubilidad del Sulfato de Aluminio es completa en agua (a 20 °C), siendo el límite teórico a 15 °C, para el sólido (170 g Al₂O₃/kg), de 410 g de sólido/kg de solución. Su temperatura de ebullición es de 120 °C a 1 bar de presión y su temperatura de descomposición es a 650 °C. La reacción teórica que se produce al poner en contacto el sulfato de Aluminio con agua, es de un modo simplificado la siguiente:



Sulfato Férrico: produce flóculos grandes fáciles de remover, pero genera alta corrosión, por eso no se usa para el tratamiento de aguas para uso doméstico, se aplica más en el tratamiento de aguas residuales y en aquellas con una alta concentración de hierro.

Sulfato Ferroso: presenta problemas de coloración cuando se administra sin aditivos, como óxido de calcio, esta permite la precipitación del ion ferroso que es bastante soluble y permite la precipitación Mg y Fe, o con cloro para aumentar su intervalo de acción de pH y remoción efectiva del color.

Cloruro Férrico: genera gran corrosión y presenta problemas de coloración, su uso para el tratamiento de aguas es limitado por su corto intervalo de pH y problemas de remoción de hierro.

Aluminato de Sodio: Es muy poco usado, solo se utiliza para remover el color a pH bajos, se usa junto con alumbre para disminuir la dosis de este último.

Polielectrólitos: Son polímeros orgánicos sintéticos de gran tamaño molecular con carga eléctrica neta, existen gran variedad disponibles en el mercado, estos coagulantes son muy eficaces en un amplio rango de pH y debido a su alto costo se utilizan junto con los coagulantes metálicos. Se clasifican según su carga en:

- Catiónicos: estos tienen carga positiva, al entrar en contacto con el agua forman aniones, los cuales permiten remover las partículas de carga negativa y son más eficaces a pH bajos.
- Aniónicos: tienen carga negativa, al entrar en contacto con el agua forman cationes, que permiten remover las partículas de carga positiva y son más eficaces a pH altos.
- No iónicos: son neutros, al entrar en contacto forman iones positivos y negativos. Pero se necesitan dosis mayores en comparación con los anteriores para obtener resultados similares.

La cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación, así:

- ✓ Poca cantidad del coagulante no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microfloculo es muy escaso, por lo tanto la turbiedad residual es elevada.
- ✓ Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microfloculo con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación muy bajas, por lo tanto la turbiedad residual es igualmente elevada.
- ✓ La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación; se determina mediante los ensayos de pruebas de jarra.

Coagulantes orgánicos incluyendo polielectrolitos catiónicos y aniónicos, los polímeros no iónicos, anfóteros y los polímeros modificados hidrofobicamente, y floculantes naturales (derivados del almidón, gomas guar, taninos y alginatos, entre otros). Numerosos productos biológicos se han propuesto y estudiado como coagulantes y floculantes eficaces para la sustitución de materiales convencionales.

Algunos de los productos llamados "biofloculantes" son biopolímeros (almidones, el Quitosano y alginatos) y materiales microbianos producida por microorganismos como bacterias, hongos y levaduras, en comparación con los floculantes químicos convencionales. Se cree que el uso de biofloculantes aumentará. Renault., y col., (2009).

4.2.5.1.2 Coagulantes naturales

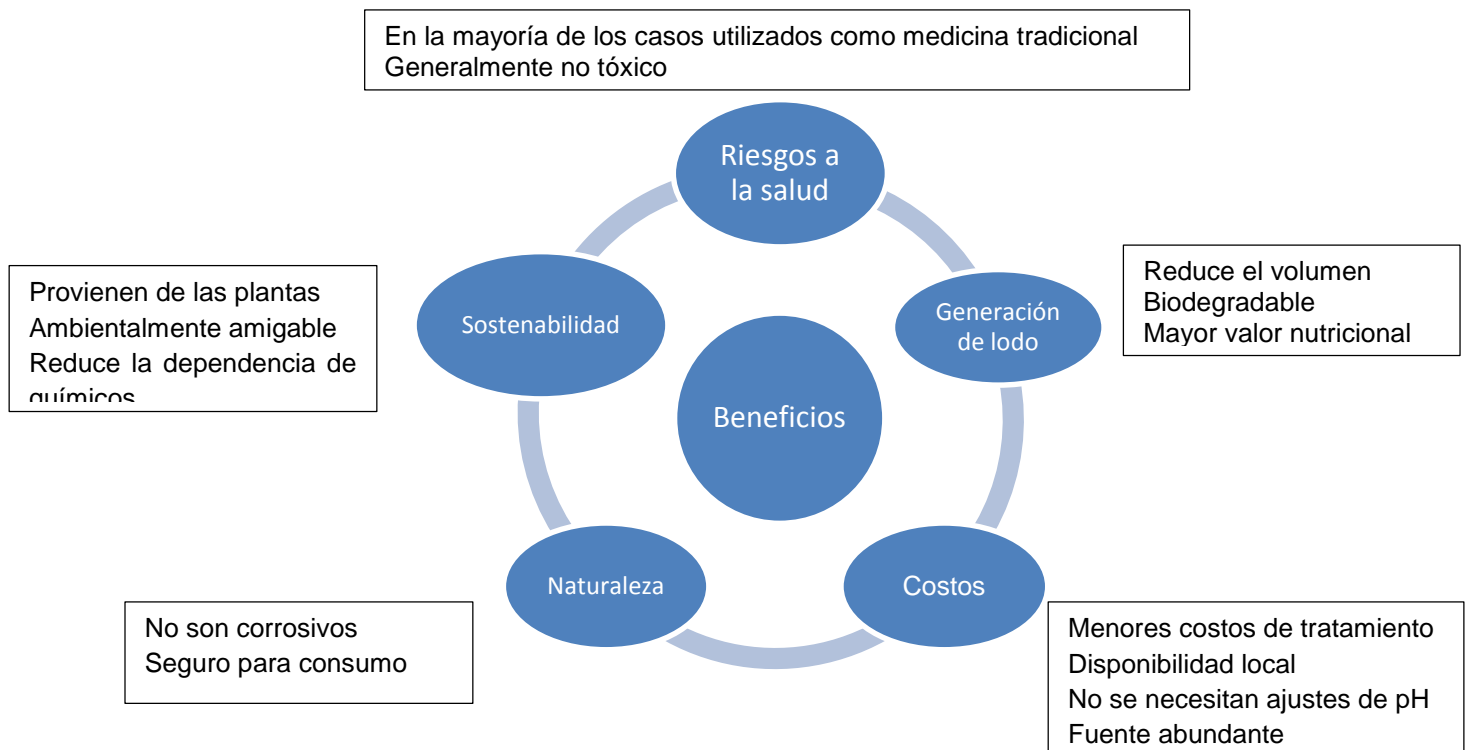
Son una fuente alternativa con gran potencial aún no explotado suficientemente; se producen de manera espontánea, debido a reacciones bioquímicas que ocurren en animales y en plantas. Por lo general, presentan una mínima o nula toxicidad y, en muchos casos, son productos alimenticios con alto contenido de carbohidratos y de proteínas solubles en agua Algunos de ellos tienen propiedades coagulantes o floculantes que actúan de modo similar a los coagulantes sintéticos, aglomerando las partículas en suspensión que contiene el agua cruda, facilitando su sedimentación y reduciendo la turbidez inicial; en muchos lugares son utilizados en forma empírica por nativos para aclarar el agua turbia, con muy buenos resultados. Yin., (2010).

A diferencia de los coagulantes químicos, los coagulantes naturales a base de plantas son seguros, respetuosos del medio ambiente y generalmente libre de tóxicos. Se ha descubierto que los coagulantes naturales generan no solo un mucho menor volumen de lodo de hasta cinco veces menor pero también con un mayor valor de lodo como tal, el tratamiento de los lodos y los costos de manejo son bajado

haciéndolo una opción más sostenible. La planta cruda extractos a menudo están disponibles localmente y, por lo tanto, un bajo costo alternativa a los coagulantes químicos. Desde coagulantes naturales no consuma alcalinidad a diferencia del alumbre, los ajustes de pH pueden ser omitidos y esto proporciona ahorros de costos adicionales, los coagulantes naturales tampoco son corrosivos que eliminar las preocupaciones de erosiones de tuberías. Asrafuzzaman., (2011).

Los polímeros naturales se producen de manera espontánea, debido a reacciones bioquímicas que ocurren en animales y plantas, poseen una compleja estructura química, por lo general están constituidos por varios tipos de polisacáridos y proteínas, algunos de ellos tienen propiedades coagulantes o floculantes y en muchos lugares son utilizados en forma empírica por los nativos para aclarar el agua turbia con muy buenos resultados. En la siguiente imagen se encuentran las ventajas de utilizar coagulantes naturales.

Figura 1. Beneficios de los coagulantes naturales.



Fuente: Autor

4.2.5.1.2.1 *Stenocereus griseus*

Comprende un grupo heterogéneo de cactus distribuidos desde el sur de Arizona hasta el norte de Colombia y Venezuela. Cuenta con 22 especies de hábitos diversos que van desde rastreros, formadores de colonias, hasta arbustivos-candelabriformes. A este taxón pertenecen las plantas conocidas como pitayas, cuyos frutos son aprovechados para consumo humano. Todas habitan en bosques tropicales caducifolios y en matorrales xerófilos del neotrópico. Gibson., (1989).

El “cardón guajiro” o “yosú” (en lengua Wayúu), *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb, es un cactus columnar que puede alcanzar hasta 11 m de altura, tiene un crecimiento de tallos ramificados como un árbol, alcanzando alturas de 6-9 metros de altura. Los tallos verticales de color verde, ligeramente glauco con un diámetro de 9-12 cm, tiene seis a diez costillas, por debajo las areolas con una a tres espinas centrales de 1.5 centímetros de largo. La más larga de ellas tiene una longitud de hasta cuatro centímetros. Las seis a once espinas radiales son de 6 a 10 milímetros de largo, las flores en forma de embudo ancho, de color blanco que están abiertas por la noche y permanecen abiertas hasta el mediodía del día siguiente. Sus brácteas se doblan hacia atrás. Las flores miden hasta 10 cm de largo, son esféricas a oblongas, de color verde amarillento a púrpura rojo oscuro o las frutas que alcanzan un diámetro de hasta 5 cm, se establecen con espinas que se encuentran en la madurez, la pulpa es de color rojo. Maldonado., (2001).

En Colombia este tipo de cactus está presente en los departamentos de La Guajira, Cesar, Magdalena, y en el desierto de la Tatacoa y en los enclaves subxerofíticos del cañón de río Dagua, cañón del Chicamocha, valle alto del río Magdalena y Cúcuta (Cavelier, 1998). A pesar de que la especie presenta una distribución relativamente amplia en el país, estudios concernientes a aspectos de su biología, ecología y lineamientos para su conservación son prácticamente nulos. Figueroa., (2004).

El “yosú” es usado desde hace mucho tiempo por indígenas de la etnia Wayúu; en Colombia es uno de los pocos grupos étnicos precolombinos que actualmente conservan sus rasgos culturales. Este cactus, es un recurso que les ofrece una gama variada de opciones para satisfacer no solo sus necesidades alimenticias; sino también las de sus animales domésticos, el xilema de la planta conocido tradicionalmente como “yotojoro” constituye la materia prima que utilizan los Wayúu para la construcción de sus viviendas. Los nativos ven en la utilización de *S. griseus* una alternativa fácil y económica para la construcción; pero hasta el momento, no existe conocimiento acerca del estado actual del extenso cardonal guajiro, la magnitud de usos, técnicas de aprovechamiento y conservación de la especie. Pimienta., (2004).

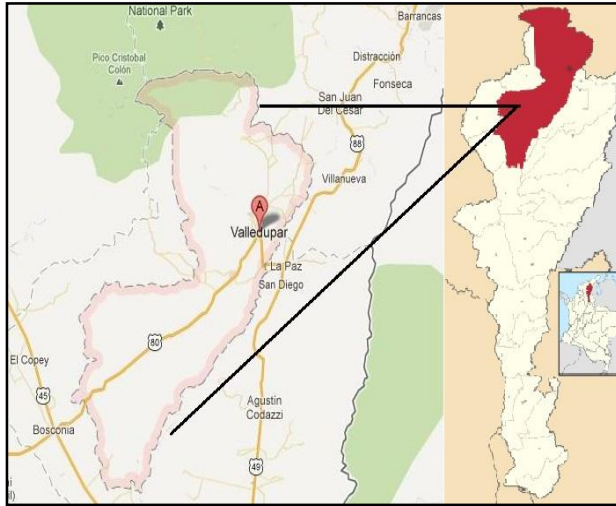
4.3 MARCO CONTEXTUAL

4.3.1 Localización

Valledupar es la capital del Departamento del Cesar, cuenta con 204 barrios, 15 asentamientos, 25 corregimientos y 102 veredas, con una extensión de 4.192KM² (el 18% de la extensión del departamento) de los cuales el 40% corresponden a área de protección forestal según la Ley 2a de 1959. El perímetro urbano abarca 50.5 KM² y está dividido en seis comunas. Además de limitar al norte con el departamento de La Guajira, Valledupar es la capital del Área Metropolitana del Valle del Cacique Upar, conocida actualmente como MetropoliUpar, que agrupa en un mismo proyecto de desarrollo a los municipios de Valledupar, La Paz (Los Robles), Manaure Balcón del Cesar, San Diego y Agustín Codazzi fundada por los conquistadores españoles el 6 de enero de 1550 y dominada por los pueblos indígenas de Aruhacos, Kogüi, Kankuamos, Wiwa y Yukpa, Valledupar cuenta con todos los pisos térmicos, desde los picos nevados de la Sierra Nevada de Santa Marta y las alturas de la Serranía del Perijá hasta el fértil Valle bañado

principalmente por los ríos Guatapurí, Badillo y Cesar. Alcaldía de Valledupar., (2016).

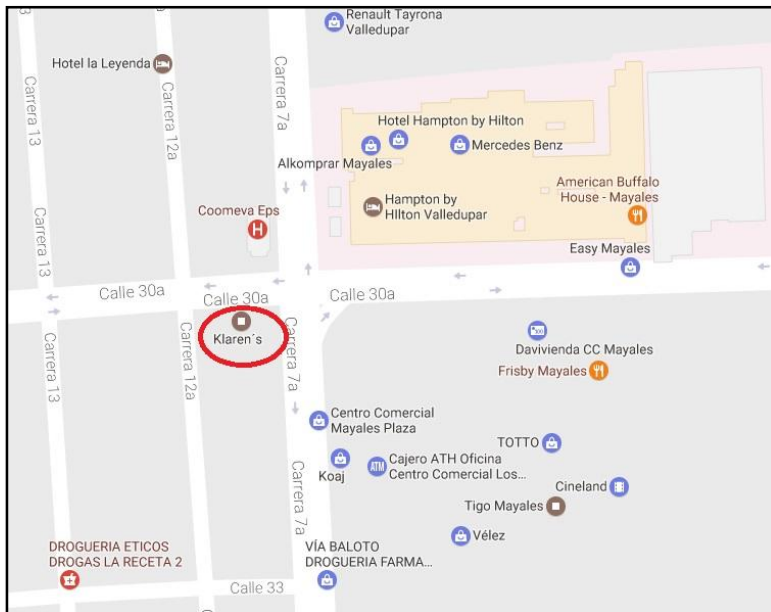
Figura 2. Referencia geográfica de Valledupar.



Fuente. Google Maps (2017).

El proyecto se realizará en la industria Klaren´s, dentro del municipio de Valledupar. El domicilio de esta empresa es la carrera 7ª numero 30ª-04.

Figura 3. Ubicación de la empresa Klaren´s



Fuente. Google Maps

4.3.2 Reseña histórica

La historia de Klaren´s nace en 1984 por iniciativa del Manizaleño Manuel Gutiérrez Murillo, piloto de aviación, quien apasionado por los productos lácteos deja a un lado su profesión para hacer realidad el sueño de tener su propia fábrica procesadora de leche, sin imaginarse que era una necesidad latente en el mercado de Valledupar.

Con una producción de tan solo 500 Litros diarios de LECHE PASTEURIZADA HOMOGENIZADA, Klaren´s comienza a abastecer el mercado urbano, el cuál aceptó masivamente su producto y estimuló así el crecimiento y desarrollo de otros derivados lácteos. Poco a poco fue ganando un merecido espacio hasta lograr la reputación de la que goza hoy en día, y que le ha permitido incursionar en los más exigentes mercados nacionales.

Klaren´s presentaba opciones variables de consumo con Yogurt en diferentes sabores, Quesos frescos, Quesos semimadurados, Gelatinas y Suero (SOUR CREAM), este último elaborado técnicamente y pasteurizado, que la llevó al calificativo de embajadora Vallenato en el interior del país.

En el año 1990 ingresamos al mercado Bogotano con nuestro producto el suero, y a la fecha ya estamos con todo nuestro catálogo de productos satisfaciendo a nuestros clientes.

En 1992 Klaren´s inaugura su sede propia en Barranquilla, en nueva bodega equipada con cuarto frio, oficinas y red de sistemas, e inicia la remodelación y mejoramiento como primera etapa de la ampliación del área de producción, recepción de leche, áreas y equipos de servicios (energía, vapor, agua helada, aire comprimido), cuartos fríos y área de despachos.

En el año 2007, Klaren´s pasa de ser Compañía Limitada a Sociedad Anónima, facilitando la entrada de inversionistas nacionales y extranjeros para posteriormente lanzar al mercado la LECHE ENTERA ULTRAPASTEURIZADA LARGA VIDA

marca KLAREN´S y estar a la vanguardia de lo último en tecnología lanzando al mercado LECHE SEMIDESCREMADA DESLACTOSADA.

En el año 2011 seguimos con el plan de expansión de nuestra empresa abriendo otro distrito de ventas en AGUACHICA en el sur del cesar.

Para el año 2012, pensando en el bienestar de nuestra sociedad más necesitada pone a disposición la nueva BEBIDA ALIMENTICIA UHT LARGA VIDA A BASE DE LECHE ENTERA MARCA CAMPOADELA desarrollada con los últimos avances en tecnología, y muy nutritiva.

En el año actual 2013 lanza al mercado el refresco de agua marca CITRUS, sabor naranja y la proyección para ofrecer al mercado LECHE ENTERA SABORIZADA UHT EN SABORES AREQUIPE, CHOCOLATE, FRESA, VAINILLA Y AVENA para satisfacción de los niños.

4.4 MARCO LEGAL

En Colombia la norma que regula los parámetros de calidad de agua para consumo humano se rige bajo las condiciones 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 aplica a todas las personas prestadoras que suministren o distribuyan agua para consumo humano, ya sea cruda o tratada, en todo el territorio nacional, independientemente del uso que de ella se haga para otras actividades económicas, a las direcciones territoriales de salud, autoridades ambientales y sanitarias y a los usuarios.

Entre las normas colombianas reguladoras del medio ambiente, se encuentran resoluciones, decretos y leyes que hacen referencias a las aguas residuales, a continuación, se mencionaran algunas de ellas:

Tabla 2. Aspectos Legales Sobre Uso y Vertimientos de Aguas.

Constitución Nacional 1991	Política Derechos Colectivos y del Ambiente	Capítulo III	Art 79,80
Decreto 1594 de 1984	Uso del agua y vertimientos	Capítulo IV, VI	Art: 42,72,73
Decreto 2811 de 1974	Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente	Título I,II, VI,VIII	Art:77,132,133,134,135,145,155
Ley 9 de 1979	Código Sanitario Nacional	Título I	Art 10,17,20,
Ley 99 de 1993	Organiza el SINA y crea el Ministerio del Medio Ambiente.	Título VI	Art 31,66
Decreto 3100 de 2003	Tasas retributivas	Capítulo III	
Resolución 240 del 2004	Establece tarifa mínima para las tasas por utilización de agua		
Decreto 1180 de 2003	Licencias Ambientales		
Resolución 1023 del 2005	Adopta guías ambientales y la resolución 0631 del Capítulo VI donde se expide parámetros Físicoquímicos.	Capítulo VI	Art 9
Resolución 0631 del 2015	Establece Parámetros y valores máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a sistemas de alcantarillados públicos	Capítulo VI	Art 9

Fuente: Autor.

4.5 MARCO CONCEPTUAL

Aguas servidas. Residuos líquidos provenientes del uso doméstico, comercial e industrial.

Carga contaminante. Es el producto de la concentración másica promedio de una sustancia por el caudal volumétrico promedio del líquido que la contiene determinado en el mismo sitio; en un vertimiento se expresa en kilogramos por día (kg/d).

Coagulación. Aglutinación de las partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua mediante la adición de coagulantes.

Coagulantes. Sustancias químicas que inducen el aglutinamiento de las partículas muy finas, ocasionando la formación de partículas más grandes y pesadas.

Concentración de una sustancia, elemento o compuesto en un líquido. La relación existente entre su masa y el volumen del líquido que lo contiene.

Dosis óptima. Concentración que produce la mayor eficiencia de reacción en un proceso químico.

Lodo. Suspensión de un sólido en un líquido proveniente de tratamiento de aguas, residuos líquidos u otros similares.

Muestra puntual. Es la muestra individual representativa en un determinado momento.

Muestra compuesta. Es la mezcla de varias muestras puntuales de una misma fuente, tomadas a intervalos programados y por periodos determinados, las cuales pueden tener volúmenes iguales o ser proporcionales al caudal durante el periodo de muestras.

Prueba de jarras. Ensayo de laboratorio que simula las condiciones en que se realizan los procesos de oxidación química, coagulación, floculación y sedimentación en la planta.

Punto de descarga. Sitio o lugar donde se realiza un vertimiento al cuerpo de agua, al alcantarillado o al suelo.

Recurso hídrico. Aguas superficiales, subterráneas, meteóricas y marinas.

Sólidos disueltos. Mezcla de un sólido (soluto) en un líquido solvente en forma homogénea.

Sólidos suspendidos. Pequeñas partículas de sólidos dispersas en el agua; no disueltas.

Turbiedad. Propiedad óptica del agua basada en la medida de luz reflejada por las partículas en suspensión.

Vertimiento puntual. El que se realiza a partir de un medio de conducción, del cual se puede precisar el punto exacto de descarga al cuerpo de agua, al alcantarillado o al suelo.

5. METODOLOGIA

Enfoque Metodológico

La investigación es de tipo experimental, enmarcada en la línea de investigación de Medio Ambiente, Salud Y Cultura, cuyo propósito es evaluar la eficiencia del coagulante obtenido a partir del cactus *stenocereus griseus* en el tratamiento de aguas residuales asociadas a la producción de lácteos de la planta Klaren's de la compañía Lácteos del Cesar S.A., ubicada en la capital del departamento del Cesar, Valledupar.

Diseño Metodológico

5.2.1 Población

La población objeto de estudio son las aguas residuales asociadas a la elaboración de productos lácteos, para el desarrollo de la investigación se realizaron muestreos simples en el punto de descarga al sistema de tratamiento en la empresa lácteos del Cesar ubicado en la carrera 12ª, entre la calle 30ª y la calle 33 en Valledupar, teniendo en cuenta los picos máximos de producción, los cuales son de 9:00 am a 4:00 pm.

5.2.2. Muestras

Se recolectaron muestras de aguas residuales, generadas en los procesos de Klaren's, en recipientes plásticos de 20 L para determinar los parámetros en estudio de turbiedad estas se almacenaron en envases de vidrio de 200 ml y las de aceites y grasas, conservadas con ácido Clorhídrico, según lo establecido en los métodos estándares APHA AWWA WPCF. Londoño., A. y col. (2010), las muestras se trasladaron al laboratorio y se refrigeraron a 4°C para su conservación en el laboratorio de ingeniería ambiental y sanitaria de la Universidad Popular del Cesar. Se analizaron antes y después del tratamiento de coagulación para evaluar la efectividad del *Stenocereus griseus*.

Para la medición del caudal se utilizó un cronometro de mano y un recipiente de 5 galones, donde se tomaron los tiempos de llenado del recipiente, con 4 replicaciones, hasta obtener un promedio representativo de medición.

5.2.3 Etapas del desarrollo metodológico

Con el fin de llevar el seguimiento y control de las actividades del proyecto de investigación se crearon estructuras de desglose de trabajo (Project Management Institute, 2018), cada una con una meta medible, estas son:

- Caracterización del agua residual no doméstica de la planta de Klaren's: Con esta se confirmó el planteamiento del problema realizado y el objetivo al que apunta el proyecto de investigación. A partir de estos valores se compararon los valores finales obtenidos, son la variable de entrada para la evaluación de la eficiencia del coagulante.
- Obtención del coagulante *Stenocereus griseus*: Con base en la revisión bibliográfica y algunas consultas a estudiantes y docentes de la Universidad Popular del Cesar, se determinó el método más adecuado para la extracción del coagulante con su principio activo en mayor proporción.

- Caracterización del coagulante: Se realizó con el fin de contar con algunas propiedades físicas, necesarias para la determinación de algunas relaciones de causalidad en los ensayos y para registrarlas en el documento del proyecto.
- Evaluación de la eficiencia del coagulante del *Stenocereus griseus*: Para ello se realizaron todas las pruebas de jarra al agua residual de la planta de Klaren´s establecidas en el diseño experimental.

5.3.2.1 Caracterización inicial del agua residual por un laboratorio certificado por el IDEAM (Laboratorio Ambiental y de Alimentos Nancy Flórez SAS).

Se determinaron parámetros en la muestra de agua como turbidez, color, sólidos suspendidos totales, DBO, DQO, pH, etc. Con el fin de determinar qué tan desviados están los valores con respecto a la Resolución 0631 de 2015 en el cual se establecen los parámetros a monitorear y sus valores límites de las aguas residuales no domésticas generados en el sector de la elaboración de productos lácteos. En la tabla 3 se muestran dichos parámetros con sus respectivos valores límite.

Tabla 3. Parámetros físicos-químicos del agua residual no doméstica ARnD procedente de elaboración de productos lácteos

Parámetros	Valores Límite – Res. 0631 de 2015	Técnica Utilizada*
pH	5.00 – 9.00	SM 4500-H + B – Electrométrico
Sólidos Sedimentables SSED (mL/L)	2 mL/L	SM 2540 F – Cono Imhoff.
Sólidos Suspendidos Totales SST (mg/L)	150 mg/L	SM 2540 D – Gravimétrico
Demanda Química de Oxígeno DQO (mg O ₂ /L)	450 mg O ₂ /L	SM 5220 C – Reflujo Cerrado – Volumétrico

Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5 (mg O ₂ /L)	250 mg O ₂ /L	SM 5210 B/EPA 360.3 – Incubación en 5 días
Aceites Y Grasas (mg/L)	20 mg/L	SM 5520 B – Partición líquido-líquido

Fuente: Autor.

*Procedimientos internos del laboratorio

Tanto la toma de muestra, transporte, custodia y análisis fue realizada por empleados del laboratorio Nancy Flórez SAS, el cual cuenta con la autorización del IDEAM bajo la NTC-ISO/IEC 17025:2005.

5.3.2.2 Obtención del coagulante natural

Para extraer el coagulante en polvo se aplicó un procedimiento similar al sugerido por Almendárez., (2004). La metodología general involucra cinco etapas, las cuales consisten en reducción inicial de tamaño, secado, molienda y tamizado, extracción de clorofila, y eliminación de solvente, la planta del cactus fue obtenida en la zona rural de la ciudad de Valledupar, el procedimiento utilizado para su obtención es el siguiente:

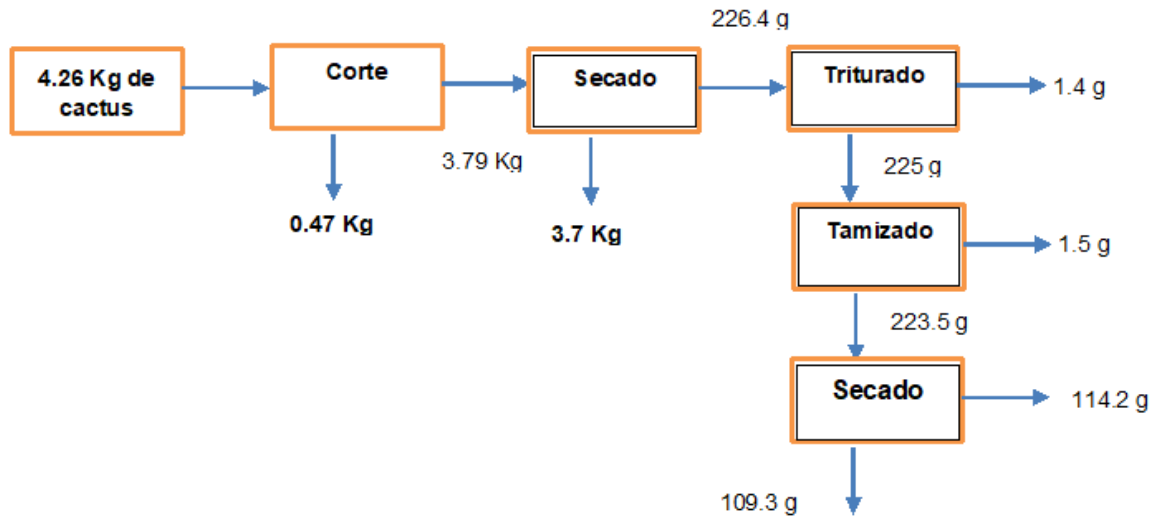
- Inicialmente se tomaron plantas de cactus a las afueras de la ciudad de Valledupar, comprobando que fuese la especie en cuestión por medio de comparación con fotografías obtenidas de internet y de imágenes de la bibliografía consultada. Uno de los parámetros que confirmaron que era la especie de cactus en cuestión fue la altura. Posteriormente se procedió a recoger varias pencas del cactus con un peso total de 4.26 Kg.
- Se llevaron al laboratorio para lavarlas y quitarles la parte exterior, procurando que el material de la parte interna no se fuese a deteriorar. Posteriormente se procedió a pesar el cactus sin la capa exterior o cutícula, obteniéndose un peso de 3.79 Kg.

- La pulpa se cortó en varias tiras delgadas y se iban colocando sobre un plástico que cubría la mesa. Parte de la pulpa era muy líquida y quedaba impregnada en el plástico. Las tiras se colocaron en varias bandejas y se pusieron a secar durante 72 horas continuas en un horno a una temperatura que oscilaba entre 60 y 62° C.
- Después de este periodo se volvió a pesar la masa residual que quedó en las bandejas, reduciéndose hasta 226.4 gr. Las tiras estaban bastante deshidratadas y su color había cambiado de verde a un color café y su apariencia ya no era gelatinosa o elástica, sino más bien quebradiza.
- Cada una de las tiras deshidratadas fue triturada en un mortero hasta alcanzar el tamaño más pequeño posible, luego se sometió a un proceso de molienda en un molino analítico modelo A11 basic 81 115v, 50/60Hz para así conseguir un polvo aún más fino. Posteriormente se hizo pasar por un tamiz certificado con la ASTM E-1195 de malla número 35 hasta obtener un diámetro de partícula menor a 0.5 mm, este paso es muy importante porque permite aumentar el área superficial del coagulante extraído, de tal forma que se aumenta la eficiencia del solvente para extraer las sustancias no deseadas del material. En la operación de tamizado las pérdidas están alrededor del 0.5%; esto se debe a que el tamaño de partícula es homogéneo del polvillo obtenido y muy poco material quedo en la malla sin que se pudiera tamizar, estas pérdidas a escala industrial supondrían el uso de métodos más eficientes para la obtención del coagulante a partir del cactus para justificar los costes de energía y de solvente a utilizar.
- Para contar con un producto de alta pureza, se procedió a realizar una extracción con metanol anhidro como solvente. se dejó en un recipiente cerrado por un periodo 7 horas. Este se realiza para remover clorofila, pigmentos y demás compuestos químicos que hacen parte de la estructura vegetal del cactus, por su solubilidad con el agua podría disminuir la eficiencia del coagulante.

- Después de ese tiempo, se filtró y se secó a una temperatura de 40° C, para asegurar que se había removido todo el solvente.

Según el balance de masa, solo el 2.5% de la masa tomada del cactus es el coagulante y después que se ha retirado la cutícula, apenas un 3% de la parte interna del cactus se ha utilizado. Al observar las pérdidas en el balance de materia, la remoción de la capa interna y la de extracción no resultan tan determinantes en la reducción de la masa, como lo hace el secado de las tiras.

Figura 4. Balance de materia proceso de obtención del coagulante



Fuente: Autor.

5.3.2.3 *Caracterización del coagulante*

Se determinaron las siguientes propiedades físicas del coagulante obtenido:

- pH: Para ello primero se solubilizó en agua destilada y se determinó cual era el pH inicial por medio de un potenciómetro, para lo cual se aplicaron los métodos:
 - ASTM E70 para la determinación de pH en soluciones acuosas.
 - BS 3145 Especificación para pH metros en laboratorios.
 - ANSI IT4.36 Por medio de la cual el equipo fue calibrado.
- Textura: Se apreció físicamente como era la textura del polvillo obtenido.
- Densidad a granel: Utilizando un picnómetro se determinó la densidad del coagulante.

5.3.2.4 *Evaluación de la Eficiencia de los Coagulantes*

La evaluación de los coagulantes se realizó mediante pruebas de jarra, basada bajo el estándar ASTM D2035 – 08. Se realizaron las pruebas establecidas en el diseño experimental de este proyecto de investigación.

Estos ensayos se realizaron mediante el siguiente procedimiento simplificado, cuyos equipos técnicos específicos se describen en la siguiente sección.

- Se tomó un volumen de agua residual en cada uno de los seis recipientes, 1L para cada uno de ellos.
- Se midió y registró el pH y la turbiedad del agua en cada una de las muestras que se encontraban en dichos recipientes.
- Se inició el equipo a una velocidad de 100 rpm durante 2 minutos.

- El coagulante previamente pesado en una balanza analítica Adam Ninbus NBL 254e y disuelto completamente en agua destilada se agregó a las jarras, mientras que a las muestras se les disminuyó la agitación a 30 rpm. Esto se dejó durante un periodo de 30 minutos. Una de las jarras se dejaba sin agregar el coagulante para que sirviera como muestra control o testigo blanco.
- Al finalizar los 30 minutos se detuvo la agitación y se dejó reposar por 30 minutos más.
- Después se midió y se registró la turbiedad y el pH final.

Para determinar la concentración óptima se consideró la menor concentración del coagulante que removió el mayor valor de turbiedad.

Debido a que el agua no contaba con una turbiedad constante, sino que dependiendo de los procesos que se realizan en la planta esta varía, manteniéndose en el orden del valor obtenido en la caracterización del agua residual por parte del laboratorio certificado. Se hizo conveniente utilizar el porcentaje de remoción, el cual se calcula con base a la turbiedad inicial.

$$\%Remoción = \frac{(t_0 - t_m)}{t_0} \times 100\%$$

Donde t_0 y t_m son las turbiedades inicial y final.

5.3.2.4.1 Medición o Determinación de Parámetros Fisicoquímicos

Para la caracterización de las aguas de producción de industria láctea se determinó la turbidez, pH, DQO, DBO, SST, A y G, SSED antes y después del tratamiento de

coagulación para evaluar la efectividad del Cactus y sulfato de aluminio siguiendo la misma metodología antes mencionada, todos se describen a continuación.

5.3.2.4.2 Sólidos Suspendidos Totales y Volátiles (SST y SSV) (2540B y 2540E)

Para la determinación de los SST y SSED se empleó el método gravimétrico, usando una balanza analítica Mettler (Toledo Al₂O₄), papel de filtro con fibra de vidrio y cápsulas de aluminio. Se filtraron por succión 50 mL de muestra a través papel de filtro previamente pesado en una cápsula de aluminio hasta peso constante (P1), las cápsulas se introdujeron en un horno (Mettmert) con un rango de temperatura de 103 - 105°C durante una hora. Luego se dejaron enfriar en un desecador hasta peso constante (P2). Seguidamente las cápsulas se introdujeron en una mufla (Thermolyne SYBRON 47900 Furnace) a 550°C durante 15 minutos y luego se dejaron enfriar en un desecador hasta peso constante (P3). Las ecuaciones 3 y 4 permitieron determinar las concentraciones de SST y SSED respectivamente, en las muestras de agua residual.

$$\text{SST (mg/L)} = (P2 - P1) \times 106/\text{VM}$$

$$\text{SSED (mg/L)} = (P2 - P3) \times 106/\text{VM}$$

Dónde:

P1: Peso de la cápsula, a temperatura ambiente, (g).

P2: Peso del residuo + cápsula, a 103-105°C, (g).

P3: Peso del residuo + cápsula, a 500°C, (g).

VM: Volumen de Muestra (mL).

5.2.3.4.3 Aceites y Grasas (A y G) (5520-B)

Para la determinación de los A y G se utilizó el método gravimétrico. Se agregaron 180 mL de muestra en un balón de separación, luego se adicionaron 2 mL de ácido clorhídrico y 30 mL de xileno como solvente. Posteriormente se realizó el proceso de extracción, se repitió la extracción dos veces más con 15 mL del solvente, recolectando en un vaso de precipitado previamente secado y pesado (P4), previa filtración en papel de filtro conteniendo Na₂SO₄, la fase orgánica. Se dejó evaporar hasta alcanzar peso constante (P5). La ecuación 5 permitió determinar la concentración de A y G.

$$A \text{ y } G \text{ (mg/L)} = (P5 - P4) \times 106/VM \text{ (5)}$$

Dónde:

P4: Peso del vaso de precipitado (g).

P5: Peso del vaso de precipitado + muestra (g).

VM: Volumen de Muestra, (mL).

5.3.2.4.4 pH (4500-H+)

El pH se determinó a través del método potenciométrico, usando un pH-metro (Orión Research 611), con electrodo de vidrio, calibrado con soluciones buffers de pH 4 y 7. Se midieron 50 mL de muestra en un matraz de 250 mL, se introdujo electrodo del pH-metro hasta obtener la lectura constante.

5.3.2.4.5 Demanda Química de Oxígeno (DQO) (5220-C)

Para la determinación de la DQO se empleó el método titulométrico. Se prepararon tubos de digestión agregando 1,5 mL de solución de Dicromato de Potasio 0,025N, 3,5 mL de ácido Sulfúrico (H₂SO₄) y trazas de Sulfato de Plata (Ag₂SO₄). Luego se adicionaron en cada tubo 2 mL de la muestra, para el control y la muestra de las aguas residuales de la planta de lácteos antes y después del tratamiento, también se preparó un blanco agregando 2 mL de agua destilada. Los tubos se colocaron en un equipo para digestión (HACH) por reflujo a 150°C durante 2 h. luego de dejar enfriar se titula con FAS adicionando 2 o 3 gotas de Ferroina. El punto final de la titulación es el cambio de color de azul verdoso a café rojizo. Registrar el volumen gastado en el blanco como V_b y el volumen gastado por la muestra como V_m. El valor de V_m debe ser menor que el de V_b de no ser así debe repetirse la prueba.

$$N = \text{ml dicromato} * N \text{ dicromato} / \text{ml FAS}$$

$$\text{DQO, ppm O}_2 = ((V_b - V_m) * N + 8000 * f) / \text{ml muestra}$$

Dónde: N: Normalidad exacta del FAS

F: Factor de dilución > 1 si se hizo.

5.3.2.5 Diseño Experimental

Una vez obtenido el coagulante se procede a realizar los ensayos para determinar la dosis adecuada con la cual se alcance el mayor rendimiento para el tratamiento de aguas residuales de la planta de Klaren's en Valledupar.

El objetivo de la investigación es evaluar la eficiencia del coagulante natural obtenido del cactus para el tratamiento de esta agua en específico, se seleccionó un coagulante convencional y de reconocida eficiencia para comparar el rendimiento su rendimiento.

Para realizar estas pruebas se utilizó el siguiente diseño experimental completamente al azar de efectos fijos, cuyos factores fueron el tipo de coagulante (sulfato de aluminio y *Stenocereus griseus*), y la dosis del coagulante, el cual fue de 10 mg/L a 100 mg/L con intervalos de 10 mg/L. Estos valores se tomaron con base

a la revisión bibliográfica donde se observó que en los trabajos se utilizan dosis de los 20 a los 90 mg/L.

El diseño experimental utilizado es aleatorio dando la misma probabilidad de inclusión de todos los niveles. La variable dependiente o respuesta a los experimentos fueron los resultados de % de remoción de turbiedad y pH finales obtenidos del agua luego de haber sido tratada. Para contar con valores más precisos se realizaron un tratamiento más dos réplicas. Se realizaron dos tratamientos independientes con los tipos de coagulantes más un tratamiento de control y 10 valores para el factor de dosificación, para alcanzar un total de 20 ensayos; en resumen, el diseño experimental contó con dos factores, uno es el tipo de coagulante con dos niveles, y el otro es la dosis de coagulante con 10 niveles, de la forma $2^1 \times 10^1$. Sumando las dos réplicas para cada uno de ellos da un total de 60 ensayos. En la siguiente tabla se presenta el diseño experimental descrito.

Tabla 4. Diseño experimental utilizado

Dosis Coagulante	10 mg/L (b ₁)	20 mg/L (b ₂)	30 mg/L (b ₃)	40 mg/L (b ₄)	50 mg/L (b ₅)	60 mg/L (b ₆)	70 mg/L (b ₇)	80 mg/L (b ₈)	90 mg/L (b ₉)	100 mg/L (b ₁₀)
<i>Stenocereus griseus</i> (a ₁)	a ₁ b ₁	a ₁ b ₂	a ₁ b ₃	a ₁ b ₄	a ₁ b ₅	a ₁ b ₆	a ₁ b ₇	a ₁ b ₈	a ₁ b ₉	a ₁ b ₁₀
Sulfato de Aluminio (a ₂)	a ₂ b ₁	a ₂ b ₂	a ₂ b ₃	a ₂ b ₄	a ₂ b ₅	a ₂ b ₆	a ₂ b ₇	a ₂ b ₈	a ₂ b ₉	A ₂ b ₁₀

Fuente: Autores

El resultado $a_n b_n$ corresponde a la mencionada respuesta de cada uno de los ensayos; con el fin de contar con el control sobre los factores evaluados, en una de las jarras se coloca una muestra testigo, para conocer cualquier tipo de interferencia o efectos en el tiempo. En la siguiente tabla se resumen los tratamientos realizados

con T₁ (Dosificación de coagulante natural), T₂ (Dosificación de sulfato de aluminio) y T₃ (Prueba de control) y las repeticiones para cada uno de estos

Los valores obtenidos se sometieron a análisis estadístico descriptivo, relacionándolos con la dosificación y la información recolectada durante cada una de las fases del proyecto. También se realizó correlación a nivel de significancia 0,05 entre los parámetros, empleando el programa estadístico comercial Statgraphics Centurión XVI, cuyos resultados se encuentran en el Anexo A.

Para estos experimentos existen unos factores de ruido, tales como, las variaciones climáticas que se presentaron durante las tomas de las muestras, la cantidad de agua en comparación con la cantidad de leche en la trampa de grasa, el mayor o menor uso de detergentes para las tareas de limpieza en la planta. Sin embargo, dichos factores no se consideraron el desarrollo de este estudio, puesto que al acumularse todas las aguas en la trampa de grasa antes de desecharse el agua se homogeniza. Además, todas las muestras fueron tomadas en un mismo punto.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las pruebas fisicoquímicas realizadas de cada uno de los parámetros en estudio y los rangos óptimos establecidos para el coagulante natural a partir del cactus *Stenocereus griseus* y el coagulante sulfato de aluminio. Al igual que los parámetros para evaluar el desempeño en la remoción de contaminantes del agua residual de la planta de Klaren´s.

6.1 Características Fisicoquímicas del Agua Residual Asociada a la Producción de Lácteos

Los resultados obtenidos luego de analizar el efluente de agua residual de la planta de Klaren´s se encuentra en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados caracterización de aguas residuales de la planta de Klaren´s

PARÁMETROS	VALOR OBTENIDO	VALORES LÍMITE – Res. 0631 de 2015
pH	6.96	5.00 – 9.00
SST	1560	150.00
SSED	1.6	2.00
DQO	8485 mg O ₂ /L	450.00 mg O ₂ /L
Aceites y Grasas	853	30.00
DBO	4886 mg O ₂ /L	250.00 mg O ₂ /L
Cloruros	536	500.00
Sulfatos	68.1	500.00

Fuente: Autor.

En la tabla 5 se observa que el pH está en el rango permitido, SSED y los sulfatos, se encuentra por debajo de los límites permitidos según la legislación colombiana Resolución 0631 de 2015, los demás resultados superan ampliamente dicho umbral.

Estos resultados sustentan la necesidad de evaluar tecnologías destinadas a mejorar la calidad de los efluentes lácteos para su disposición final a cuerpos de aguas naturales y/o utilización para riego.

6.2 Obtención y Caracterización del Coagulante a Partir del Cactus *Stenocereus Griseus*

El rendimiento de obtención del mucílago de cactus en su forma pura es muy bajo, alrededor de un 2.5%. En el secado posterior a la etapa de cortado, según la figura 4 representa un 76.3% de las pérdidas globales del proceso. Resultado comparable con la literatura especializada en las plantas de cactus, en la cual se reporta un contenido de agua de 70 hasta un 90% de la masa de los tallos. Torregroza., (2017).

El rendimiento obtenido por Torregroza, A., (2017) para el *Stenocereus griseus*, fue de 1.68% desde la recolección de los cactus en su sitio natural hasta el tamizado, resultados que difiere con los investigadores donde el rendimiento fue ligeramente superior de 5.2%.

6.2.1 Caracterización del coagulante

Algunas propiedades físicas del coagulante extraído se resumen en la tabla 6. Estas propiedades son muy importantes porque van a ser parte del perfil de identidad del material y para compararlo con el otro solvente que se utilizó para evaluar la eficiencia con aguas residuales de la planta de Klaren´s en Valledupar.

Tabla 6. Características físicas del coagulante *Stenocereus griseus*

Propiedad	Valor	Método	Equipo
pH	6.78	Potenciómetro	pH metro
Estado físico	Sólido	No aplica	No aplica
Textura	Polvo suave, similar al almidón		
Color	Beige	No aplica	No aplica
Densidad	0,72	Gravimetría	Picnómetro

Fuente: Autor.

6.3 Determinación de los Cambios de Turbiedad y pH

6.3.2 Comportamiento del pH

Los resultados que se presentan en la tabla 7, 8 y 9 muestran los valores de pH antes y después de cada una de las tres evaluaciones para cada concentración de coagulante natural.

Tabla 7. Valores de pH antes y después de la primera evaluación para cada concentración de coagulante natural

Tipo de coagulante	Condiciones	10 ml	20 ml	30 ml	40 ml	50 ml	60 ml	70 ml	80 ml	90 ml	100 ml
Coagulante natural	pH Inicial	6.86	6.74	6.82	6.9	6.63	6.65	6.7	6.54	6.77	6.68
	pH Final	6.03	6.18	6.5	6.31	6	6.33	6.31	6.34	6.21	6.19
	Diferencia	-0.83	-0.56	-0.32	-0.59	-0.63	-0.32	-0.39	-0.2	-0.56	-0.49
Sulfato de aluminio	pH Inicial	6.75	6.64	6.52	6.77	6.78	6.74	6.59	6.63	6.64	6.79
	pH Final	6.77	6.41	6.42	6.56	6.68	6.77	6.54	6.75	6.59	6.46
	Diferencia	0.02	-0.23	-0.1	-0.21	-0.1	0.03	-0.05	0.12	-0.05	-0.33

Tabla 8. Valores de pH antes y después de la segunda evaluación para cada concentración de coagulante natural

Tipo de coagulante	Condiciones	10 ml	20 ml	30 ml	40 ml	50 ml	60 ml	70 ml	80 ml	90 ml	100 ml
Coagulante natural	Inicial	6.71	6.73	6.68	6.75	6.85	6.69	6.79	6.74	6.5	6.79
	Final	6.07	6.19	6.13	6.09	6.08	6.21	6.49	6.16	6.46	6.13
	Diferencia	-0.64	-0.54	-0.55	-0.66	-0.77	-0.48	-0.3	-0.58	-0.04	-0.66
Sulfato de aluminio	Inicial	6.86	6.86	6.75	6.89	6.6	6.68	6.61	6.57	6.63	6.67
	Final	6.5	6.6	6.64	6.48	6.41	6.7	6.68	6.74	6.66	6.67
	Diferencia	-0.36	-0.26	-0.11	-0.41	-0.19	0.02	0.07	0.17	0.03	0

Tabla 9. Valores de pH antes y después de la tercera evaluación para cada concentración de coagulante natural

Tipo de coagulante	Condiciones	10 ml	20 ml	30 ml	40 ml	50 ml	60 ml	70 ml	80 ml	90 ml	100 ml
Coagulante natural	Inicial	6.78	6.72	6.61	6.53	6.85	6.88	6.66	6.77	6.89	6.82
	Final	6.18	6.4	6.17	6.3	6.12	6.21	6.05	6.44	6.41	6.16
	Diferencia	-0.6	-0.32	-0.44	-0.23	-0.73	-0.67	-0.61	-0.33	-0.48	-0.66
Sulfato de aluminio	Inicial	6.9	6.75	6.57	6.62	6.8	6.78	6.75	6.85	6.77	6.9
	Final	6.66	6.45	6.42	6.51	6.47	6.65	6.6	6.49	6.6	6.48
	Diferencia	-0.24	-0.3	-0.15	-0.11	-0.33	-0.13	-0.15	-0.36	-0.17	-0.42

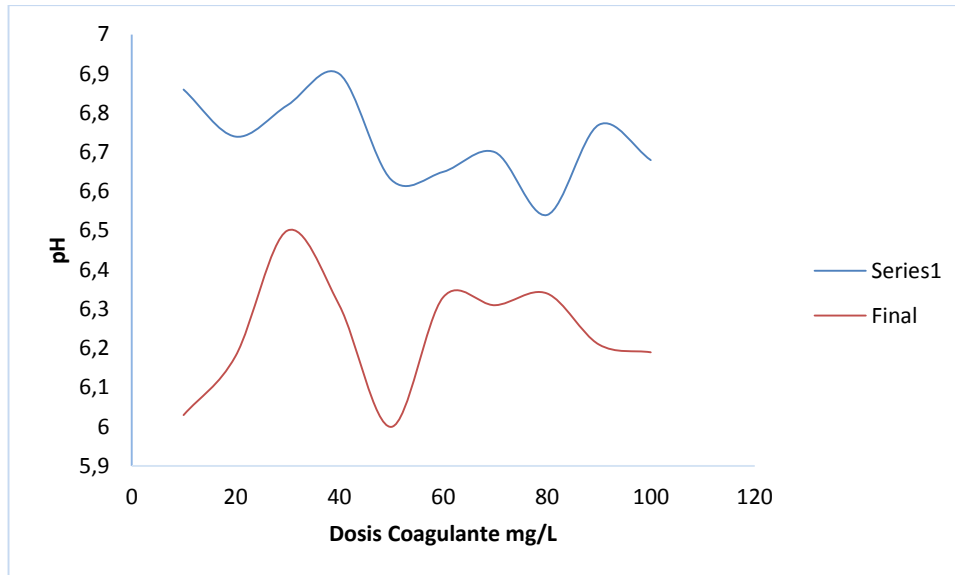
Fuente: Autor.

Los cambios de pH utilizando el coagulante natural se mantuvieron cercanos a la neutralidad, así como se encontraba el agua residual al inicio.

Los diferentes valores de pH en el agua residual indican que probablemente los contaminantes del agua provengan de diferentes áreas de la planta y en diferentes proporciones durante la jornada.

Los valores negativos de la evaluación 1 es la diferencia entre los valores de pH iniciales y finales del agua para cada una de las evaluaciones.

Gráfica 1. Cambio de pH con el coagulante natural – Primera evaluación

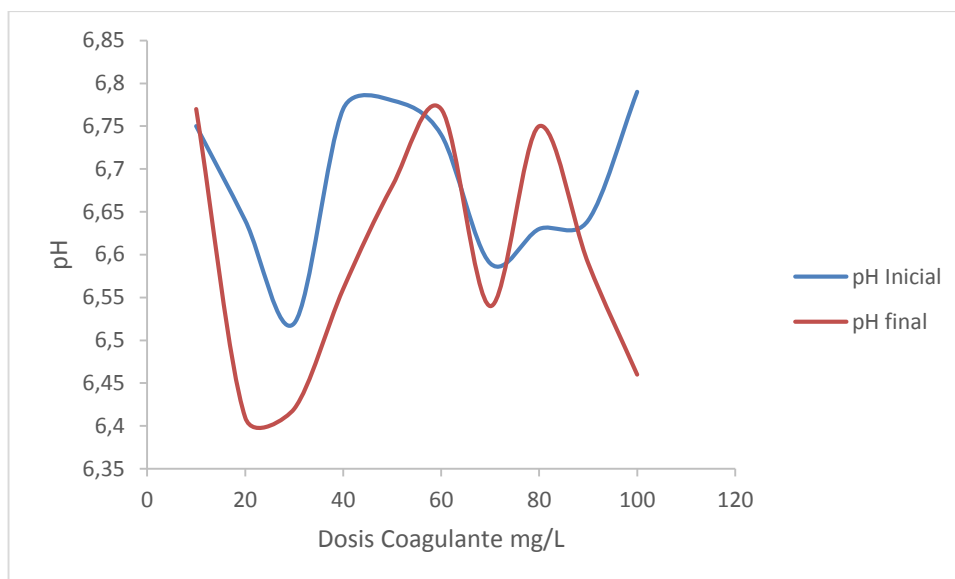


En la gráfica 1, el color azul representa el valor inicial del pH, mientras que el color rojo el final, se observa que el coagulante natural llevó a una disminución de pH. Al agregar las dosis de coagulante el pH inicialmente es muy variable, pero a medida que se aumentan estas, el pH se va estabilizando hasta un valor constante.

Para el agua residual del mismo lote tomada durante ese mismo día, se observa que el sulfato de aluminio tiene un comportamiento diferente al coagulante de cactus en varios ensayos, los valores de pH en general tienden a volverse un poco más alcalinos.

Con el sulfato de aluminio en la mayoría de las concentraciones se mantiene la tendencia de proporcionalidad del coagulante natural, pero a altas concentraciones el proceso se vuelve inverso, tal como lo muestra la gráfica 2.

Gráfica 2. Cambios de pH cuando se utiliza sulfato de aluminio – Primera evaluación

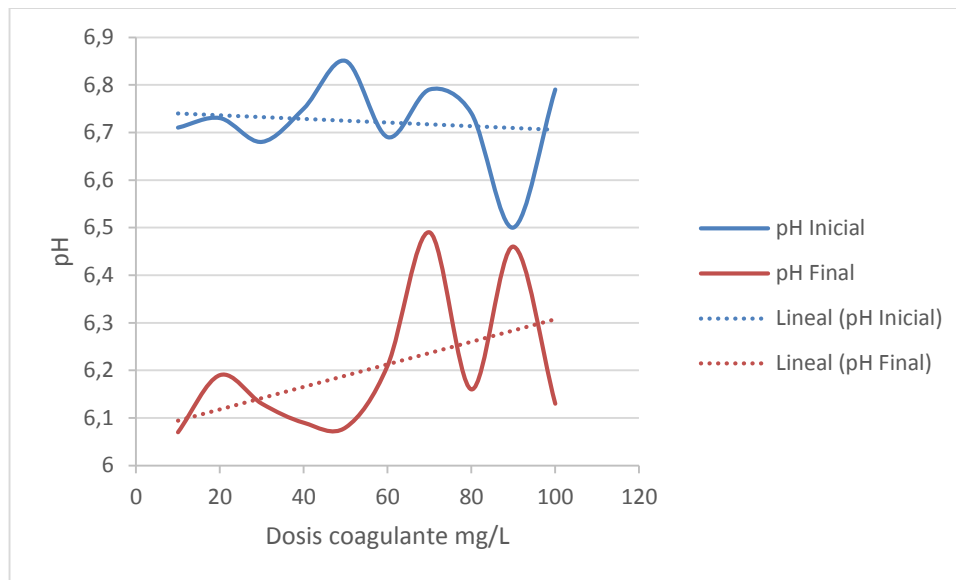


En la gráfica 2 se observa que la concentración de 70 mg/L, donde el pH inicial era ligeramente alcalino; después de la adición del coagulante, continúa conservando el mismo régimen. Sin embargo, después de la dosis de 80 mg/L el pH aumentó durante el proceso de coagulación, para posteriormente caer abruptamente hasta la dosis de 100 mg/L. En esta gráfica utilizar intervalos pequeños ayuda a evidenciar los pequeños cambios en el pH que se producen debido a las formaciones de iones (neutralizaciones), las cuales son determinantes para que el proceso sea eficiente, de lo contrario no se reportarían cambios notables en esta variable.

En la segunda evaluación para cada uno de los coagulantes la tendencia del pH se mantuvo, sin embargo, y como se había dicho anteriormente las diferencias de las cargas contaminantes permiten que el agua residual tenga una tendencia ligeramente alcalina o ligeramente ácida.

Como se puede ver en la gráfica 3, hasta una concentración de 40 mg/L de coagulante natural, mantuvo la proporcionalidad, pero después de dicha concentración, el pH final tuvo una tendencia a ser ácida.

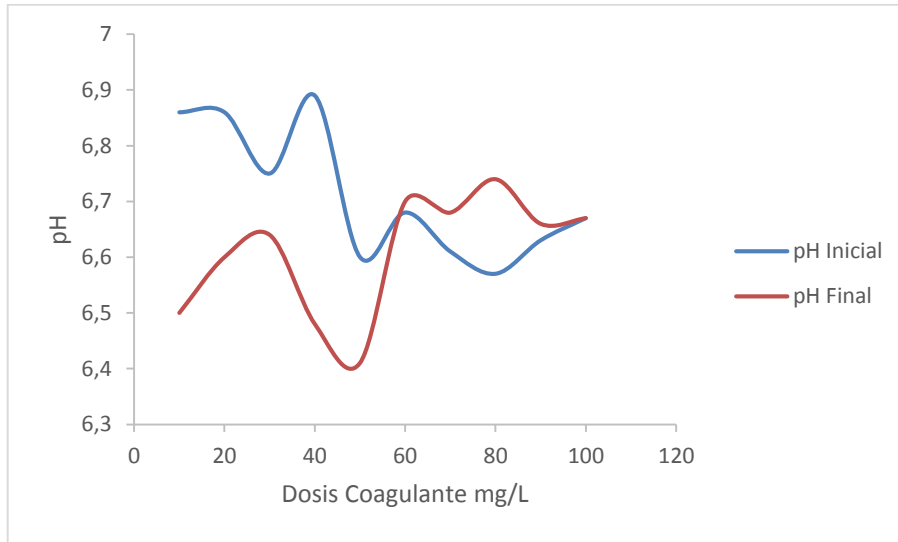
Gráfica 3. Cambio de pH con el coagulante natural – Segunda evaluación



Con el sulfato de aluminio, el comportamiento cambia con respecto a la primera evaluación. En la gráfica 3, se observa que en las primeras concentraciones hasta los 40 mg/L el pH cuenta con variaciones insignificantes; sin embargo, cuando se aumenta la dosificación del coagulante hay variaciones con valles y crestas intermitentes cada 20 mg/L.

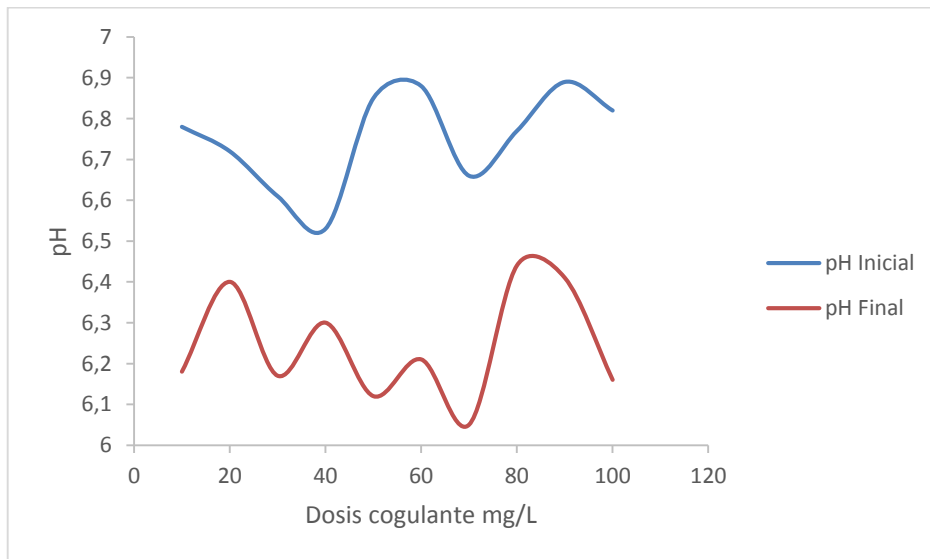
En la gráfica 4, se puede observar que para la dosificación de 100 mg/L el pH alcanza un valor similar a la inicial, probablemente la mezcla ya está estabilizada y adicionar más coagulante no tendría un efecto significativo en los cambios fisicoquímicos que allí se presentan.

Gráfica 4. Cambio de pH con el sulfato de aluminio – Segunda evaluación



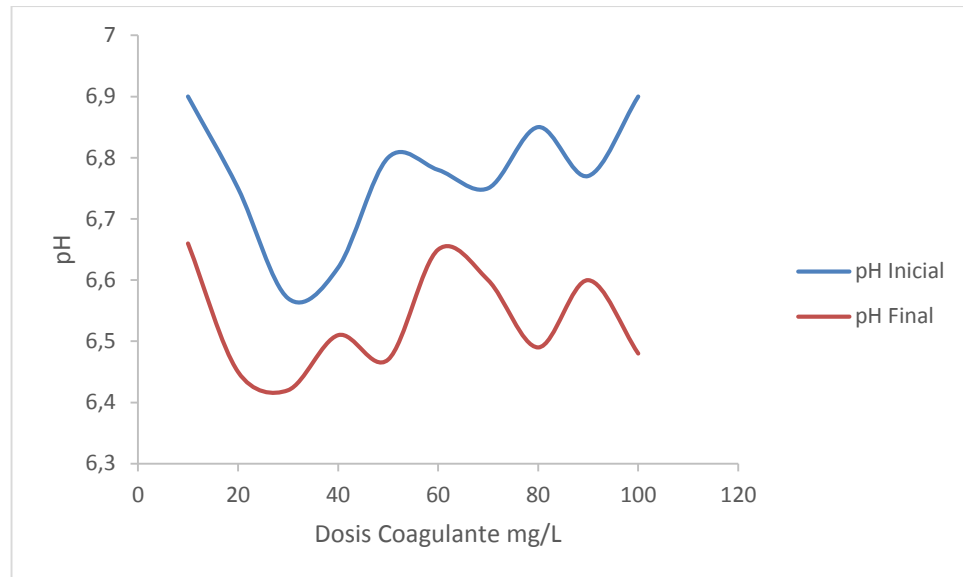
Para la última evaluación utilizando el coagulante natural, el pH del agua tratada tuvo un comportamiento casi sinusoidal con muchos valles y crestas casi de forma periódica, hasta la concentración de 70 mg/L, luego tuvo una tendencia a un pH alcalino hasta la concentración de 90 mg/L. En la gráfica 5 se puede observar dicho comportamiento más claramente.

Gráfica 5. Cambio de pH con el coagulante natural – Tercera evaluación



En cuanto al uso del sulfato en esta evaluación, los cambios del pH final son proporcionales al pH de cada una de las muestras, a excepción de la dosis de 100mg/L, donde el pH inicial tendía hacia la neutralidad, pero luego del tratamiento del agua, tendió a continuar ácido.

Gráfica 6. Cambio de pH con el sulfato de aluminio – Tercera evaluación



En la gráfica 6, se observa que el comportamiento del pH para la tercera evaluación, en el cual los perfiles de pH inicial para la muestra y pH final son casi coordinados, excepto en la última muestra, donde el pH tendió a ser neutro y con el tratamiento se mantiene en el rango alcalino. A concentraciones por encima de los 100 mg/L, probablemente el agua residual pueda llegar a ser peligrosamente ácida y difícil de tratar aguas abajo.

Los resultados de pH, en cada uno de los ensayos, tuvieron un comportamiento similar a los reportados en la literatura. En el estudio de Torregroza, A., (2017), este parámetro aunque era uno de los factores a variar, el rango en que se obtuvieron los mejores resultados para remoción de turbidez, DBO, DQO y A y G utilizando el cactus *Stenocereus Griseus* en un rango de pH de 6 a 8 para el tratamiento de agua residual de una planta de aceites; similar al alcanzado en este estudio como una de

las respuestas del diseño experimental y al encontrado en el agua residual de la planta de lácteos al tomar muestras de manera aleatoria.

Los estudios comparativos con este trabajo en lo relativo al pH es el de Bouatay, y col., (2014), en el cual a través de un análisis estadístico se determinó que el mejor valor de este parámetro para el tratamiento de agua residual de la industria textil es de 7.25 con coagulante a partir del cactus *Opuntia ficus*.

En el trabajo publicado por Kannadasan, y col., (2013) para el efluente de una planta de tintes, el pH también se mantuvo casi invariable luego de realizarle el proceso de coagulación al agua.

6.3.3 Comportamiento de la turbiedad

Se observa en el ANOVA que las interacciones de los datos de coagulantes se encuentran en dosis de 80 a 100 mg/L.

A continuación, se presenta la tabla 10 donde se encuentran los resultados de las 30 corridas para el coagulante natural obtenido a partir del cactus.

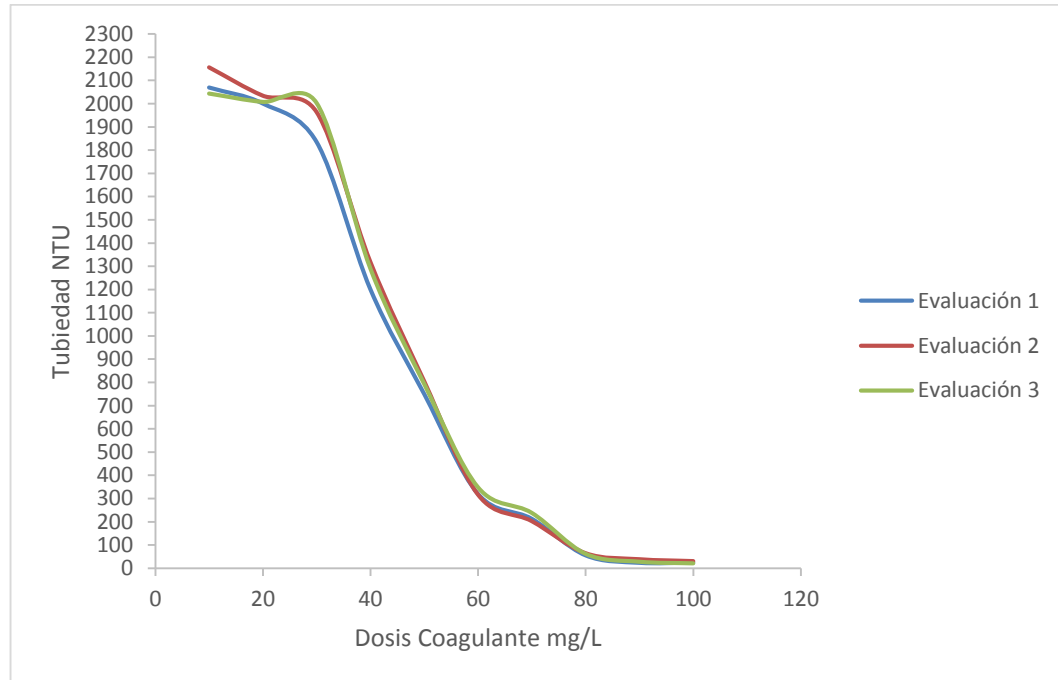
Tabla 10. Resultados de turbiedad con el coagulante natural

	10 mg/L	20 mg/L	30 mg/L	40 mg/L	50 mg/L	60 mg/L	70 mg/L	80 mg/L	90 mg/L	100 mg/L
Evaluación 1 – Valores de Turbiedad Alcanzada (NTU)										
Inicial	2246	2205	2217	2283	2205	2201	2306	2288	2220	2238
Final	2069	2000	1834	1200	750	320	213	56	24	25
Remoción	7,88	9,30	17,28	47,44	65,99	85,46	90,76	97,55	98,92	98,88
Evaluación 2 – Valores de Turbiedad Alcanzada (NTU)										
Inicial	2305	2282	2286	2261	2239	2301	2302	2242	2290	2287
Final	2156	2034	1963	1317	804	316	202	64	38	30
Remoción	6,46	10,87	14,13	41,75	64,09	86,27	91,23	97,15	98,34	98,69
Evaluación 3 – Valores de Turbiedad Alcanzada (NTU)										
Inicial	2246	2315	2206	2253	2239	2302	2223	2304	2281	2232
Final	2043	2007	2002	1289	793	348	238	62	28	21
Remoción	9,04	13,30	9,25	42,79	64,58	84,88	89,29	97,31	98,77	99,06

Fuente: Autor.

Al graficar los valores de esta tabla se pueden apreciar mejor las diferencias y similitudes en su comportamiento, en todas las evaluaciones se observa un comportamiento constante al inicio, pero luego este va tomando una forma cercana a la línea logarítmica, tal como aparece en la gráfica 7.

Gráfica 7. Comportamiento de la turbiedad por acción del coagulante natural en las tres evaluaciones



Fuente: Autor.

Las curvas son bastante similares, eso indica la turbiedad homogénea del agua residual de la planta, al igual que el del coagulante, en las curvas se observa que en las concentraciones de 10 y 20 mg/L, la actividad del coagulante sobre el agua es prácticamente nula, pero después de los 30 mg/L, la caída de la turbiedad es bastante fuerte. Posteriormente a esto, la turbiedad se estabiliza a los 60 mg/L aproximadamente y vuelve a caer un poco en concentraciones cercanas a los 80 mg/L.

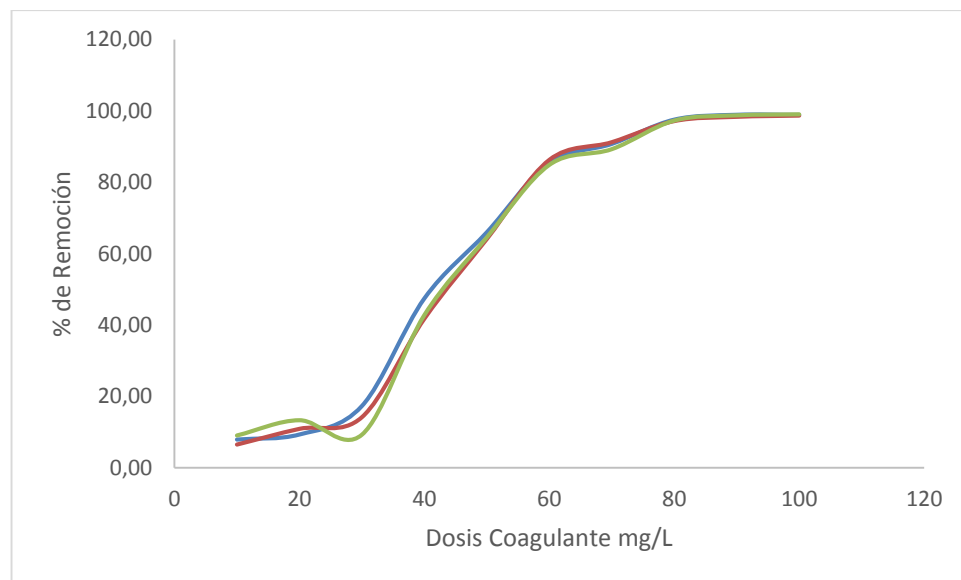
Los estudios comparativos como Betatache.,H. y col (2014) con opuntia ficus en agua residual se obtuvo un porcentaje de remoción de turbiedad de un 97,7%.

En los estudios realizados por Rodriguez., Y. y col. (2012) con el coagulante natural de quitosano en aguas residuales de tipo petrolera, se obtuvo un rango de porcentaje de remoción de turbiedad entre el 90% – 95%.

6.4 Establecer las Dosis Óptimas de los coagulantes para realizar análisis al agua tratada de pH, SSED, SST, DQO, DBO₅, A y G.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las diferentes pruebas realizadas a cada uno de los parámetros estudiados, el porcentaje de remoción es un mejor indicador para comparar la eficiencia de las dosis aplicadas al agua. En la gráfica 8 se observa que en las tres evaluaciones el mayor porcentaje de remoción se obtiene a los 80 mg/L.

Gráfica 8. %Remoción de turbiedad vs Dosis de coagulante natural



En la gráfica 8 se observa que la tendencia es que el porcentaje de remoción se vuelve constante un poco antes de alcanzar la dosis máxima a los 80 mg/L.

De acuerdo con el análisis anterior, la muestra seleccionada para enviar a laboratorio para realizar los análisis físicos y químicos fue el agua tratada con coagulante natural en una concentración del 80 mg/L.

En cuanto a las restantes 30 corridas del diseño experimental realizadas con sulfato de aluminio se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran en la tabla 11.

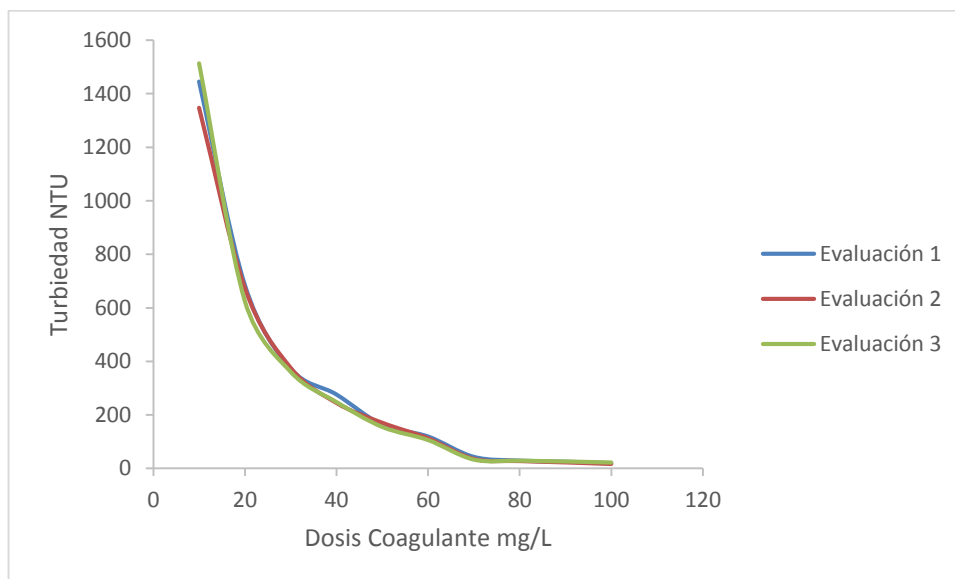
Tabla 11. Resultados de turbiedad con el sulfato de aluminio

	10 mg/L	20 mg/L	30 mg/L	40 mg/L	50 mg/L	60 mg/L	70 mg/L	80 mg/L	90 mg/L	100 mg/L
Evaluación 1 – Valores de Turbiedad Alcanzada (NTU)										
Inicial	2272	2235	2282	2314	2252	2308	2290	2252	2200	2223
Final	1445	685	373	276	163	119	43	29	25	20
Remoción	36,40	69,35	83,65	88,07	92,76	94,84	98,12	98,71	98,86	99,10
Evaluación 2 – Valores de Turbiedad Alcanzada (NTU)										
Inicial	2287	2260	2299	2228	2263	2201	2247	2320	2243	2301
Final	1347	674	376	245	171	113	36	28	23	17
Remoción	41,10	70,18	83,65	89,00	92,44	94,87	98,40	98,79	98,97	99,26
Evaluación 3 – Valores de Turbiedad Alcanzada (NTU)										
Inicial	2266	2307	2269	2300	2240	2289	2319	2217	2213	2238
Final	1513	625	361	248	155	106	33	29	26	22
Remoción	33,23	72,91	84,09	89,22	93,08	95,37	98,58	98,69	98,83	99,02

En este caso, la remoción de la turbiedad inició desde los 10 mg/L, incluso para las tres evaluaciones a los 40 mg/L el porcentaje de remoción de la turbiedad supera el 88%; esto indica que, a bajas concentraciones de coagulante, el sulfato de aluminio tiene una mayor eficiencia que el coagulante natural, sin embargo, los valores que se alcanzan al final de la dosificación máxima son bastante cercanos entre sí.

Al graficar estos valores de turbiedad vs dosificación de coagulante, se obtiene la gráfica 9, en ella se observa cambios bruscos en la curva como sucedió con el coagulante natural, pero desde concentraciones más bajas, por tanto, esta curva busca la convergencia a valores más bajos en el eje X, es decir, de dosificación:

Gráfica 9. Comportamiento de la turbiedad en presencia del coagulante sulfato de aluminio



Como era de esperarse un producto manufacturado de alta calidad, se espera que su variabilidad sea muy baja, tal y como lo está mostrando en la gráfica 9, la caída de la turbiedad es bastante pronunciada desde las concentraciones más bajas. La curva se vuelve suave a los 40 mg/L y cae un poco más hasta estabilizarse a los 70 mg/L.

Con la gráfica del porcentaje de remoción se define a la dosis de 70 mg/L como en la que se da el punto de quiebre definitivo, con un porcentaje de remoción de 98.3% en promedio, por tanto, es el agua residual tratada con esta dosis la que se envió al laboratorio para su análisis.

En el Anexo B se encuentran los resultados de las muestras analizadas en el laboratorio. Al comparar estos resultados con los de la tabla 2 y la tabla 3, se obtiene la tabla 12.

Tabla 12. Cuadro comparativo agua contaminada agua tratada con coagulante natural

Parámetros	Agua Contaminada	Agua Tratada	Valores Límite – Res. 0631 De 2015
pH	6.96	7.4	5.00 – 9.00
Sólidos Sedimentables SSED (mL/L)	1.6	< 0.1	2 mL/L
Sólidos Suspendidos Totales SST (mg/L)	1560	12.7	150 mg/L
Demanda Química de Oxígeno DQO (mg O ₂ /L)	8485	48.8	450 mg O ₂ /L
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO ₅ (mg O ₂ /L)	4886	42.6	250 mg O ₂ /L
Aceites y Grasas (mg/L)	853	< 10	20 mg/L

La carga contaminante del agua fue reducida significativamente y se encuentra dentro de los parámetros exigidos por la legislación colombiana a través de la Resolución 0631 de 2015 para aguas residuales no domésticas generadas por la elaboración de productos lácteos.

A pesar de que los únicos indicadores primarios fueron la turbiedad y el pH, el cual continua dentro de los parámetros, mientras que la turbiedad llegó hasta un valor muy bajo, similar a los reportados por quienes llevan desde hace ya un tiempo investigando con coagulantes naturales, especialmente el cactus (Antov, 2010).

Gracias al tratamiento que recibió el agua residual, los SSED se redujeron a valores muy bajos, los SST se redujeron en un 99%, la DQO ni siquiera alcanza un 11% del límite permitido por la normatividad colombiana, la DQO se redujo en un 99% junto a las grasas y aceites, inicialmente los mayores contaminantes del agua se redujeron a valores muy bajos.

De la misma manera, con el sulfato de aluminio también se obtuvieron resultados positivos como se puede observar en la tabla 13.

Tabla 13. Cuadro comparativo agua contaminada agua tratada con sulfato de aluminio

Parámetros	Agua Contaminada	Agua Tratada	Valores Límite – Res. 0631 De 2015
pH	6.96	7.44	5.00 – 9.00
Sólidos Sedimentables SSED (mL/L)	1.6	< 0.1	2 mL/L
Sólidos Suspendidos Totales SST (mg/L)	1560	12	150 mg/L
Demanda Química de Oxígeno DQO (mg O ₂ /L)	8485	113	450 mg O ₂ /L
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5 (mg O ₂ /L)	4886	30.9	250 mg O ₂ /L
Aceites y Grasas (mg/L)	853	< 10	20 mg/L

En general, estos valores estuvieron muy cercanos con los del coagulante natural, a excepción de la demanda bioquímica de oxígeno, donde el sulfato tuvo un porcentaje de remoción 15% superior al del cactus.

Es importante saber que al remover turbiedad del agua también se eliminan otros contaminantes físicos, químicos y microbiológicos del agua, lo cual posibilita menores operaciones para su tratamiento aguas abajo. Además, tratándose de una empresa de producción, el agua se podría llegar a reciclar para tareas de limpieza.

Con esto el coagulante natural demuestra que, aunque no cuente con una alta eficiencia a bajas concentraciones, si puede llegar a obtener resultados similares cuando estas se van aumentando.

Al comparar estos resultados con un estudio también realizado al tratamiento de a agua residual con el mucílago de cactus como coagulante en una planta de lácteos por Savaranan, y col., (2017) la dosis que entregó los mejores resultados fue la de 800 mg/L con un valor de 75% para el sulfato de aluminio; mientras que

el mejor resultado obtenido con coagulantes naturales fue el de la *Azadirachta indica* con 6.5 g/L y 63% de porcentaje de remoción.

Los resultados obtenidos por Fuentes, y col., (2011) con el mismo tipo de cactus *Stenocereus griseus* pero para agua cruda demuestra que este coagulante tiene un gran potencial para utilizarlo no solamente en agua residual sino también para potabilizarla, puesto que los resultados de la tabla 11 llevan a valores considerablemente bajos, en comparación a los parámetros exigidos por la legislación colombiana.

Con otros tipos de cactus como el *Opuntia ficus indica* los porcentajes de remoción de turbidez no superan el 70%. Villabona, y col., (2013). Pero para el caso de efluentes más industriales como los de las tintorerías superan el 93% de remoción. Kannadasan y col., (2013), Bouatay, y col., (2014), Souza, y col., (2014).

En cuanto a las dosis óptimas, los valores en este trabajo se asemejan a los obtenidos por Zhan, J. y col., (2006), en el cual se pudo obtener una eliminación de turbidez y DQO comparativamente similar a la de un producto químico a base de aluminio, siendo la dosis optima de 50mg/L.

Según los estudios realizados por Torregroza., A y col. (2017) la dosis óptima para aguas residuales de industria de aceite con el *Stenocereus griseus*, el rango de mejor comportamiento fluctuó entre 170 y 300 mg/L.

De acuerdo a información suministrada por la compañía Klaren's, esta consume, en procesos de producción de lácteos y para el lavado de equipos y limpieza de las áreas, un promedio de 120 m³ de agua por día. Durante un año la planta funciona 300 días en promedio, considerando los descansos colectivos, celebraciones especiales y cierres por mantenimiento. Es decir:

$$\text{Consumo anual} = 120 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times 300 \text{ día} = 36000 \text{ m}^3/\text{año}$$

Las grasas y aceites, sustancias inmiscibles en el agua, son el principal contaminante por remover para reducir la turbiedad del agua. En esta investigación la remoción de turbiedad alcanza valores del 88% tanto para el coagulante natural como para el sulfato de aluminio, la cual es proporcional a la concentración de aceites y grasas en el agua residual.

En la tabla 4 el valor reportado para este parámetro es de 853 mg/L. Asumiendo que esta se reduce en un 88%:

$$853 \frac{mg}{L} \times 0.88 = 750.64 \text{ mg/L}$$

Si se convierten las unidades:

$$750.64 \frac{mg}{L} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1 \times 10^6 \text{ mg}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = 0.751 \text{ Kg/m}^3$$

La cantidad ideal de grasa y aceite removida corresponde al producto de la cantidad de agua contaminada por el análisis reportada para las aguas residuales de Klaren's.

$$36000 \text{ m}^3 \times 0.751 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 27036 \text{ Kg}$$

La densidad de la grasa de la leche es constante en una temperatura de 15° a 25°C, con un valor de 931 Kg/m³. Universidad nacional agraria la molina., (2013)

Por tanto, el volumen de grasas y aceites removidos del agua residual es:

$$V_{AyG} = \frac{27036 \text{ Kg}}{931 \text{ Kg/m}^3} = 29.04 \text{ m}^3$$

Una cantidad muy pequeña durante el año en comparación con la cantidad de agua y otros contaminantes solubles en ella de 36000 m³.

Por lo anterior el agua de la planta tiene un gran potencial de aprovechamiento, puesto que prácticamente toda la consumida en los procesos de lavado de equipos y áreas se puede reutilizar en un alto porcentaje. Cabe resaltar que después del

proceso de coagulación, se deben establecer controles que permitan que el agua sea útil para otros procesos dentro de la planta y para el desarrollo de otros microorganismos.

CONCLUSIONES

Sobre la base a los resultados se pueden resaltar las siguientes conclusiones:

1. Las características fisicoquímicas (A y G, DQO, DBO₅, SST) de las muestras de las aguas de residuales tomada la planta de productora de lácteos Klaren´s no cumplen con los valores máximos exigidos por la norma (RES. 0631 de 2015), si se vertiesen directamente a cuerpos receptores.
2. La obtención del coagulante a partir del *Stenocereus griseus* requiere un proceso de varias etapas en la que se disminuye continuamente su masa por encima del 95% en comparación con la del cactus inicial, especialmente durante la etapa de secado, este puede ser uno de los factores más importantes para una evaluación económica del uso de este coagulante.
3. El agua residual de la planta Klaren´s se encuentra en un rango óptimo de pH, de 6 a 8, para realizar procesos de coagulación, con lo que se evita un pretratamiento para la modificación de este.
4. En comparación con el coagulante metálico sulfato de aluminio, el coagulante natural cuenta con poca actividad a dosis por debajo de los 30 mg/L, desde donde su efectividad adquiere un comportamiento similar a la de los coagulantes convencionales.
5. La dosis óptima para el sulfato de aluminio fue de 70 mg/L mientras que para el obtenido del cactus fue de 80 mg/L para el agua residual de la planta de lácteos, alcanzando porcentajes de remoción de la turbiedad por encima del 88% con ambos coagulantes de forma independiente.

6. El coagulante obtenido del cactus *Stenocereus griseus* se puede emplear para el estudio de otro tipo de aguas residuales no domésticas y también para el proceso de potabilización de agua, gracias a que es un producto libre de metales que produzcan efectos adversos en la salud.

RECOMENDACIONES

Después de haber realizado el anterior proyecto se establecen las siguientes recomendaciones:

1. Continuar con la línea de investigación de los coagulantes naturales por sus múltiples beneficios, para lo cual es necesario que se continúe explorando con el *Stenocereus griseus*, con otras especies de mucílago y aplicado a diferentes tipos de vertimientos de aguas residuales o para el tratamiento de agua potable.
2. Recomendar a la empresa Lácteos del Cesar realizar un tratamiento adecuado de sus aguas residuales antes de su vertimiento, y también de evaluar la posibilidad de tratar el agua residual mediante el coagulante obtenido a través del cactus *Stenocereus griseus* para reutilizarla en la planta.
3. Realizar evaluaciones simultáneas para evaluar la eficiencia de varios coagulantes obtenidos a partir de plantas autóctonas de la región.
4. Direccionar este estudio a otros posteriores, específicamente al aprovechamiento de los materiales retirados de la planta como la cutícula, la comparación frente a otros coagulantes y la determinación de las sustancias activas que generan la coagulación.
5. Se sugiere que se realicen pruebas en las que se combinen los dos coagulantes utilizados en esta investigación en diferentes proporciones.
6. Realizar estudios para la evaluación económica para la producción y el uso del coagulante natural obtenido a partir del *Stenocereus griseus*, puesto que en la actualidad no se está llevando a cabo este tratamiento para un mayor aprovechamiento del agua residual y cumplimiento de la actual y futura legislación ambiental.

7. Se sugiere que se hagan investigaciones con diseños para producción del mucílago de cactus a escala piloto, incluyendo equipos para secado, torres de extracción y tuberías, teniendo en cuenta la optimización a partir de los fundamentos de las operaciones unitarias.
8. Gestionar la dotación de los laboratorios de la Universidad Popular del Cesar de los equipos y materiales para que no haya necesidad de dirigirse a terceros, con el fin de obtener análisis de materiales.
9. Recomendar investigaciones para determinar el área del sedimentador trabajando con coagulante natural

BIBLIOGRAFIA

- Ahmad, A., Sumathi, S., y Hameed, B. (2006). Adsorption of residue oil from palm oil mill effluent using powder and flake chitosan. School of Chemical Engineering, Engineering Campus, University Sains Malaysia, 14300. *Water Research*, 39 (12), 2483-2494.
- Alcaldia Municipal De Valledupar. (2016). Plan de desarrollo municipal “Valledupar Avanza 2016-2019”. Valledupar. 2016. 298 p.
- Almendárez, N. (2004). Comprobación de la efectividad del coagulante (Cochifloc) en aguas del lago de Managua Piedras Azules. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 5(1), 46-54.
- Antov, M. (2010). Proteins from common bean (*Phaseolus vulgaris*) seed as a natural coagulant for potential application in water turbidity removal. *Bioresource Technology*, 101: 2167 - 2172.
- Antov, M.G., Sciban, M.B., Prodanovic, J.M., 2012. Evaluation of the efficiency of natural coagulant obtained by ultrafiltration of common bean seed extract in water turbidity removal. *Ecol. Eng.* 49, 48–52.
- Asrafuzzaman, M., Fajrudin Anm, Alamgir Hossain M. (2011). La reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales disponibles a nivel local ISRN *Microbiol.* (2011), p. 632189
- Banco De La Republica De Colombia. (2013). La industria de lácteos en Valledupar. Primera en la región Caribe. Documento de trabajo sobre economía regional. Valledupar, Cesar. Marzo de 2013. 58 p.

- Beltrán, H., J., y Sanchez, M., (2009) Improvement of water treatment pilot plant with *Moringa oleifera* extract as flocculant agent. *Enviro metal Technology* 30 (6), 525-534.
- Betatache H. Aouabed A, Drouiche N, H. Lounici H (2014). Conditioning of sewage sludge by prickly pear cactus (*Opuntia ficus Indica*) juice. *Ecological Engineering* 70 (2014) 465–469 Contents lists available at Science Direct
- Boblund, I. (2014). Coagulant proteins identified in Mustard: a potential water treatment. *Environ. Sci. Technol.*(11), 873 - 880.
- Bolto, B. (2007). Organic polyelectrolytes in water treatment. *Water Res.*, 11: 2301 - 2324.
- Buttice A., Alcantar N., (2015) Sediment Removal with the *Opuntia ficus-indica* Cactus: A Water Purification Method for Communities in Latin America. University of South Florida, Tampa, FL, USA Current as of 2 January 2015. 2014, P. 98–103
- Caldera, Y., Mendoza, I., Briceño, L., García, J., Y Fuentes, L. (2007). Eficiencia de las semillas de moringa oleífera como coagulante alternativo en la potabilización de agua. *Rev. Tec. Univ. Zulia.* 41, (2), 244-254.
- Carpinteyro-Urban, S. (2012). Cosmetic Industry Effluent. *Water Air Soil Poll.*(223), 4925 - 4936.
- Cataño, M., y Sánchez., B. (2011). Evaluación de coagulantes naturales y Químicos como alternativa de tratamiento para la remoción de algas, Fosforo y sedimentos en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la estación Salguero en el Municipio de Valledupar –Cesar.

- Cavelier, J. (1998). Formaciones xerofíticas y subxerofíticas. Informe nacional sobre el estado de la biodiversidad. Instituto Alexander von Humbolt, 96 - 105.
- Cornwell, D. (1999). *Water Quality and Treatment: A Handbook of Community Water Supplies*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Díaz, A. (1999). A preliminary evaluation of turbidity removal by natural coagulants indigenous to Venezuela. *Process Biochemistry*, 35: 391 - 395.
- Dorea, C. (2006). Use of *Moringa* spp. seeds for coagulation: a review of a sustainable option. *Water Sci Technology. Water Suply*, 219 - 227.
- Escuela Organización Industrial. (2008). Contaminación de las aguas. Sector Lácteo. Máster Profesional en Ingeniería y Gestión Medio Ambiental. Sevilla. Abril, 2008. 22 p.
- E. Ikeda, D. R. (2002). Poultry Slaughterhouse Effluent. *Environ. Technol.*(23), 949 - 954.
- EPA. (2015). *Waste Water Basics 101*.
- Fatombi Jk, Lartiges B, Aminou., T, Barres., O, Caillet., C (2013) Una proteína coagulante natural a partir de la copra (Cocos nucifera): el aislamiento, caracterización y potencial para la purificación del agua Purif septiembre. *Technol.*, 116 (2013), pp. 3540
- Figueroa, Y. (2004). Guía ilustrada de la flora del “desierto de la Tatacoa” Huila, Colombia. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Gibson, A. (1989). The Systematics and Evolution of Subtribe Stenocereinae. 7. The Macherocerei of *Stenocereus*. *Cact Succ J.*, 61: 104 - 112.

- Gracia C, Herrera A., (2014) formulación de la planta de tratamiento de aguas residuales domesticas para el 50% de la población del municipio de Fusagasugá - Cundinamarca año 2014. Corporación universitaria minuto Dios. Girardot, Colombia.
- Gregory, J., (2006). *Interface Science in Drinking Water Treatment* (Vol. 3). Londres, Reino Unido: Academic Press.
- Humpire, F., (2017) Efecto del pH y tiempo en la depuración del lacto suero residual por electrocoagulación. Universidad nacional del altiplano. Facultad de ciencias agrarias. Puno, Perú.
- Jahn, S. (2001). Drinking water from Chinese rivers: challenges of clarification. *Water Supply Res Technol*, 50: 15 - 27.
- Jarvis, A., Sharp, E., Pidou, M., Molinder, R., Parsons S., Jefferson, B., (2012) Comparison of coagulation performance and floc properties using a novel zirconium coagulant against traditional ferric and alum coagulants. *Water research* 46 (2012) 4179 e 4187.
- Kannadasan, D., (2013). Dye Industry Effluent. *Environ Sci Toxicol Food Technol*(3), 41 - 43.
- Keating P. (1999). Introducción a la lactología. Segunda Edición. Editores México.
- Khadhraoui, M., (2014). Cactus juice as bioflocculant in the coagulation-flocculation process for industrial wastewater treatment: a comparative study with polyacrylamide. *Water Sci Technol*.(70), 1175 - 1181.
- Maldonado, G., (2001). Comportamiento De Semillas Y Plántulas De Cinco Especies De Cactaceae De Los Alrededores De Santa Marta. Universidad Del Magdalena.

- Martine, G., (2007). Estado de la Población Mundial 2007: Liberar el potencial del crecimiento urbano. Nueva York.
- Martínez, D., Chávez, M., Díaz, A., Chacín, E., y Fernández, N. (2003). Eficiencia del cactus *lefaria* para su uso como coagulante en la clarificación de aguas. Rev. Tec. Univ. Zulia. 26, (1), 27-33.
- Mendoza, J., Villamil, H., (2012). Eficiencia del cactus cardón *stenocereus griseus* como coagulante en el tratamiento de las aguas asociadas a la producción de aceite de palma. Universidad Popular del Cesar. Facultad de Ingenierías y Tecnológicas. Valledupar, Cesar. 2012.
- Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible. (2010). Decreto 3930 De 2010. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979. Bogotá D.C., Colombia. 2010. 29 p.
- Moscote, E., Olivero, J., (2016). Evaluación de la efectividad de la tuna opuntia-Cochenillifera como coagulante para remoción de turbidez en la cuenca alta del rio Guatapuri. Universidad Popular del Cesar. Facultad de Ingenierías y Tecnológicas. Valledupar, Cesar. 2016. 110 p.
- Muñoz R. Moreira, A., Duarte, M., Nandenha, J., & Macedo, G. R. (2008). Estudio del mecanismo de remoción de hierro y cobre presentes en aceites lubricantes usados mediante bioadsorción. Información tecnológica, 19(1), 57-68.
- Ndabigengesere., A., Subba Narasiah, K., Bg Talbot (1995) Los agentes activos y el mecanismo de la coagulación de aguas turbias utilizando Moringa oleífera.
- Noordin, M. Y., Venkatesh, V. C., Elting, S., & Abdullah, A. (2004). Application of response surface methodology in describing the performance of coated carbide

tools when turning AISI 1045 steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 145, 46–58.

- Parra, Y., Cedeño, M., García, M., Mendoza, I., González, Y., & Fuentes, L. (2011). Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de *Opuntia wentiana* (Britton & Rose)/ (Cactaceae). *Redieluz*, 1(1).
- Pezoti, O., Cazetta, A., Gomes, R., Barizão, E., Souza, I., Martins, A., Asefa, T., Almeida, V.C. (2014). Synthesis of ZnCl₂-activated carbon from macadamia nut endocarp (*Macadamia integrifolia*) by microwave-assisted pyrolysis: optimization using RSM and methylene blue adsorption. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 105, 166–176.
- Pimienta, T., (2004). *Arquitectura wayúu: valoración, pluralidad e identidad cultural*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Project Management Institute. (28 De Marzo De 2018). *Pmbok Guide And Standars*.
- Rebah, B., (2017). Cactus an eco-friendly material for wastewater treatment: A review. *Journal of Material and Environmental Sciences*, 8, 1770 - 1782.
- Renault, F., Sancey, B., Badot, P., Y Crini G. (2009) Chitosan for coagulation flocculation processes – An eco-friendly approach. *European Polymer Journal*, 45, 1337–1348.
- Rodríguez, C., (2008). *Uso y Control del proceso de Coagulación en plantas de tratamiento de agua potable*. Sincelejo: Universidad de Sucre.

- Rojas, E. y Salazar, C. (2004). Obtención y evaluación de la efectividad del polímero natural extraído del cactus (*Cereus deficiens*) en la clarificación de aguas. Trabajo especial de grado. Departamento de ingeniería química. Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de sucre”. Barquisimeto, Venezuela.
- Rondeau, H., Gadda, J., Commenges, D., Dartigues, J., (2011) de aluminio en el agua potable y el deterioro cognitivo en ancianos: la cohorte PAQUID A.m. J. *Epidemiol.*, 154 (3) (2001), pp. 288 – 290
- Simate, G., (2012). Human health effects of residual carbon nanotubes and traditional water treatment chemicals in drinking water. *Environ. Int.*, 39: 38 - 39.
- Singh, V., Kumar, P., (2011). Cassia seed gums: a renewable reservoir for synthesizing high performance materials for water remediation. *Biopolymers: Biomedical and Environ App* 270-290.
- Singley, J., (1986). Revisión de la teoría de coagulación del agua. Miami.
- Souza, M.T.F., (2014). Jeans Laundry Effluent. *Environ. Monit Assess.*(186), 5261 - 5261.
- Swati., M., (2005). Los estudios de coagulación en extractos naturales de semillas J. *Indian Water Works Assoc.*, 37 (2) (2005), pp. 145149.
- Teh C.Y, Wu T.Y, Juan J.C. (2014) Potential use of rice starch in coagulation-flocculation process of agro-industrial wastewater: treatment performance and flocs characterization, *Ecol. Eng.* 71 (2014) 509–519.
- Torre, Dan (2017). *Cactus*, Londres. Reaktion Books Ltd. eISBN 9781780237695.

- Torres, L., (2012). Municipal Water Effluent. *Nat. Resour.*(3), 35.
- Torregroza, A., (2017). Eficiencia de coagulantes en el tratamiento de aguas residuales asociadas a la producción de aceites de palma en Palmacara Cesar. Trabajo de grado de Maestría en Ciencias Naturales, Universidad Popular del Cesar.
- Vázquez, O., (1994). Extracción de coagulantes naturales del nopal y aplicación en la clarificación de aguas residuales. Tesis de grado. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey. México D.F.
- Villabona, Á., Paz, I., & Martínez García, J., (2013). Characterization of *Opuntia ficus-indica* for using as a natural coagulant. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 15(1), 137-144.
- Vishali, S., (2015). Paint Industry Effluent. *Desalin Water Treatment*(56), 1489-1497.
- Yang, C., (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and waste water treatment *Journal of Water Process Engineering* 6 (2015) 174–192 Contents lists available at Science Direct *Journal of Water Process Engineering* journal homepage: www.elsevier.com/locate/jwpe.
- Walton, J., (2013). Aluminum's involvement in the progression of Alzheimer's disease. *Alzheimer's Dis.*, 35: 7 - 43.
- Wu, T.Y., Mohammad, A.W., Jahim, J.M., Anuar, N., 2009b. A holistic approach to managing palm oil mill effluent (POME): biotechnological advances in the sustainable reuse of POME. *Biotechnol. Adv.* 27, 40–52.

- Wu, T.Y., Mohammad, A.W., Jahim, J.M., Anuar, N. (2010). Pollution control technologies for treatment of palm oil mill effluent (POME) through end-of-pipe processes. *J. Environ. Manage.* 91, 1467–1490.
- Zhang, J.D., Zhang, F., Luo, Y.H., Yang, H., (2006). A preliminary study on cactus as coagulant in water treatment. *Process Biochem.* 41 (3), 730–733.
- Zellami, M., (2014). Food Industry Effluent. *Water Sci. Technol.*(70), 1175 - 1181

ANEXO A. ANOVA Multifactorial - %Remoción Turbiedad

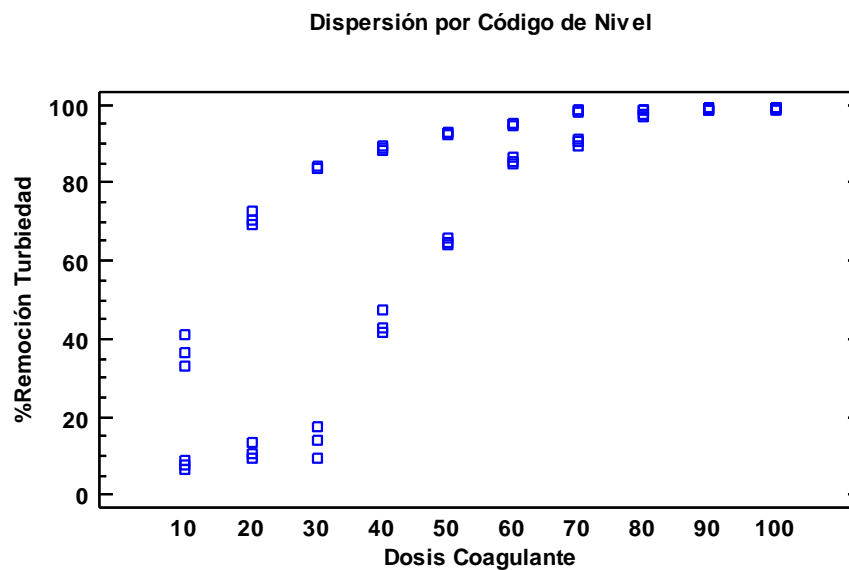
Variable dependiente: %Remoción Turbiedad

Factores:

Dosis Coagulante

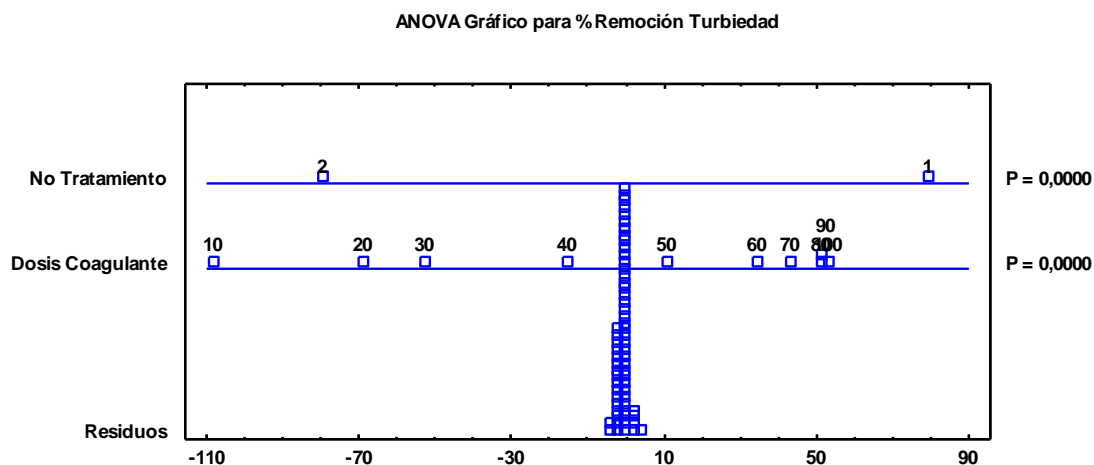
No Tratamiento

Número de casos completos: 60



Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de varios factores para %Remoción Turbiedad. Realiza varias pruebas y gráficas para determinar qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre %Remoción Turbiedad. También evalúa la significancia de las interacciones entre los factores, si es que hay suficientes datos. Las pruebas-F en la tabla ANOVA le permitirán identificar los factores significativos. Para cada factor significativo, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuales medias son significativamente diferentes de otras. La Gráfica de Medias y la Gráfica de Interacciones le ayudarán a interpretar los efectos significativos. Las Gráficas de Residuos le ayudarán a juzgar si los datos han violado los supuestos subyacentes al análisis de varianza.

Análisis de Varianza para %Remoción Turbiedad - Suma de Cuadrados Tipo III



<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Dosis Coagulante	41865,9	9	4651,77	1729,77	0,0000
B:No Tratamiento	9445,88	1	9445,88	3512,48	0,0000
INTERACCIONES					
AB	8969,99	9	996,666	370,61	0,0000
RESIDUOS	107,57	40	2,68924		
TOTAL (CORREGIDO)	60389,4	59			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de %Remoción Turbiedad en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III, la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 3 valores-P son menores que 0,05, estos factores tienen

un efecto estadísticamente significativo sobre %Remoción Turbiedad con un 95,0% de nivel de confianza.

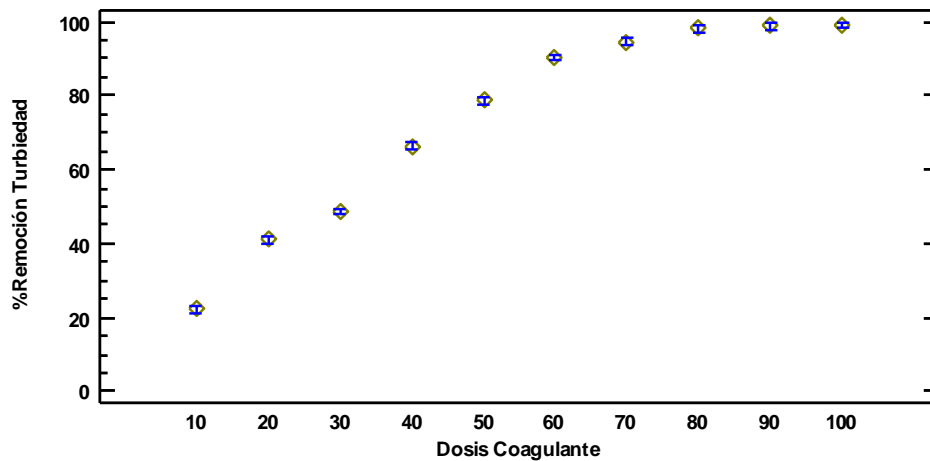
Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para %Remoción Turbiedad con intervalos de confianza del 95,0%

			<i>Error</i>	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>
<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Est.</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>
MEDIA GLOBAL	60	73,7708			
Dosis Coagulante					
10	6	22,3517	0,669482	20,9986	23,7047
20	6	40,985	0,669482	39,6319	42,3381
30	6	48,675	0,669482	47,3219	50,0281
40	6	66,3783	0,669482	65,0253	67,7314
50	6	78,8233	0,669482	77,4703	80,1764
60	6	90,2817	0,669482	88,9286	91,6347
70	6	94,3967	0,669482	93,0436	95,7497
80	6	98,0333	0,669482	96,6803	99,3864
90	6	98,7817	0,669482	97,4286	100,135
100	6	99,0017	0,669482	97,6486	100,355
No Tratamiento					
1	30	86,318	0,299402	85,7129	86,9231
2	30	61,2237	0,299402	60,6186	61,8288
Dosis Coagulante por No Tratamiento					
10,1	3	36,91	0,946791	34,9965	38,8235
10,2	3	7,79333	0,946791	5,87979	9,70687

20,1	3	70,813 3	0,94679 1	68,899 8	72,726 9
20,2	3	11,156 7	0,94679 1	9,2431 3	13,070 2
30,1	3	83,796 7	0,94679 1	81,883 1	85,710 2
30,2	3	13,553 3	0,94679 1	11,639 8	15,466 9
40,1	3	88,763 3	0,94679 1	86,849 8	90,676 9
40,2	3	43,993 3	0,94679 1	42,079 8	45,906 9
50,1	3	92,76	0,94679 1	90,846 5	94,673 5
50,2	3	64,886 7	0,94679 1	62,973 1	66,800 2
60,1	3	95,026 7	0,94679 1	93,113 1	96,940 2
60,2	3	85,536 7	0,94679 1	83,623 1	87,450 2
70,1	3	98,366 7	0,94679 1	96,453 1	100,28
70,2	3	90,426 7	0,94679 1	88,513 1	92,340 2
80,1	3	98,73	0,94679 1	96,816 5	100,64 4
80,2	3	97,336 7	0,94679 1	95,423 1	99,250 2
90,1	3	98,886 7	0,94679 1	96,973 1	100,8
90,2	3	98,676 7	0,94679 1	96,763 1	100,59
100,1	3	99,126 7	0,94679 1	97,213 1	101,04
100,2	3	98,876 7	0,94679 1	96,963 1	100,79

Esta tabla muestra la media de %Remoción Turbiedad para cada uno de los niveles de los factores. También muestra los errores estándar de cada media, los cuales son una medida de la variabilidad en su muestreo. Las dos columnas de la extrema derecha muestran intervalos de confianza del 95,0% para cada una de las medias.

Medias y 95,0% de Fisher LSD



Pueden desplegarse estas medias e intervalos seleccionando Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas.

Pruebas de Múltiple Rangos para %Remoción Turbiedad por Dosis Coagulante

Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Dosis Coagulante</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
10	6	22,3517	0,66948 2	X
20	6	40,985	0,66948 2	X
30	6	48,675	0,66948 2	X
40	6	66,3783	0,66948 2	X
50	6	78,8233	0,66948 2	X
60	6	90,2817	0,66948 2	X
70	6	94,3967	0,66948 2	X

80	6	98,0333	0,66948 2	X
90	6	98,7817	0,66948 2	X
100	6	99,0017	0,66948 2	X

<i>Contras te</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferenci a</i>	<i>+/- Límites</i>
10 - 20	*	-18,6333	1,91354
10 - 30	*	-26,3233	1,91354
10 - 40	*	-44,0267	1,91354
10 - 50	*	-56,4717	1,91354
10 - 60	*	-67,93	1,91354
10 - 70	*	-72,045	1,91354
10 - 80	*	-75,6817	1,91354
10 - 90	*	-76,43	1,91354
10 - 100	*	-76,65	1,91354
20 - 30	*	-7,69	1,91354
20 - 40	*	-25,3933	1,91354
20 - 50	*	-37,8383	1,91354
20 - 60	*	-49,2967	1,91354
20 - 70	*	-53,4117	1,91354
20 - 80	*	-57,0483	1,91354
20 - 90	*	-57,7967	1,91354
20 - 100	*	-58,0167	1,91354
30 - 40	*	-17,7033	1,91354
30 - 50	*	-30,1483	1,91354
30 - 60	*	-41,6067	1,91354
30 - 70	*	-45,7217	1,91354
30 - 80	*	-49,3583	1,91354
30 - 90	*	-50,1067	1,91354
30 - 100	*	-50,3267	1,91354
40 - 50	*	-12,445	1,91354
40 - 60	*	-23,9033	1,91354
40 - 70	*	-28,0183	1,91354
40 - 80	*	-31,655	1,91354
40 - 90	*	-32,4033	1,91354
40 - 100	*	-32,6233	1,91354
50 - 60	*	-11,4583	1,91354
50 - 70	*	-15,5733	1,91354
50 - 80	*	-19,21	1,91354

50 - 90	*	-19,9583	1,91354
50 - 100	*	-20,1783	1,91354
60 - 70	*	-4,115	1,91354
60 - 80	*	-7,75167	1,91354
60 - 90	*	-8,5	1,91354
60 - 100	*	-8,72	1,91354
70 - 80	*	-3,63667	1,91354
70 - 90	*	-4,385	1,91354
70 - 100	*	-4,605	1,91354
80 - 90		- 0,74833 3	1,91354
80 - 100		- 0,96833 3	1,91354
90 - 100		-0,22	1,91354

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 42 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 8 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Gráfico de Interacciones

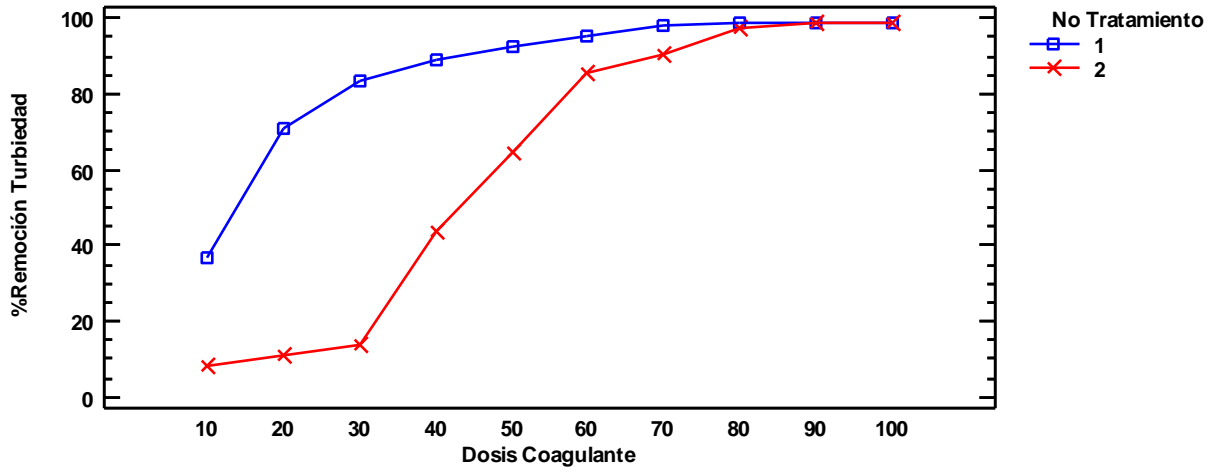


Gráfico de Residuos para %Remoción Turbiedad

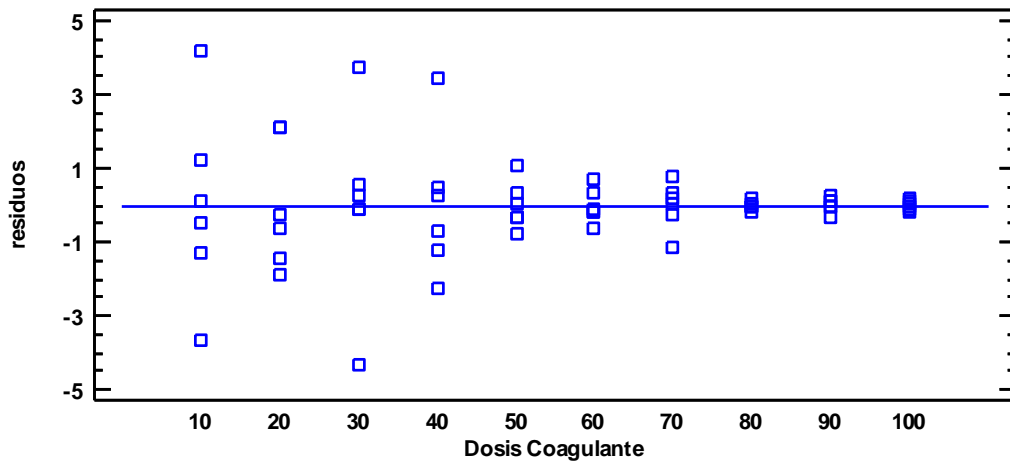


Gráfico de Residuos para % Remoción Turbiedad

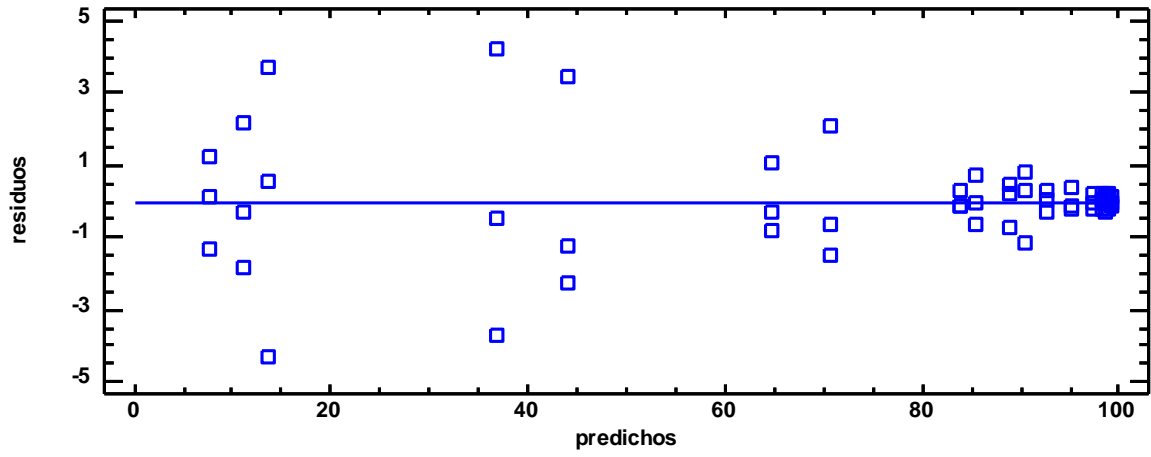
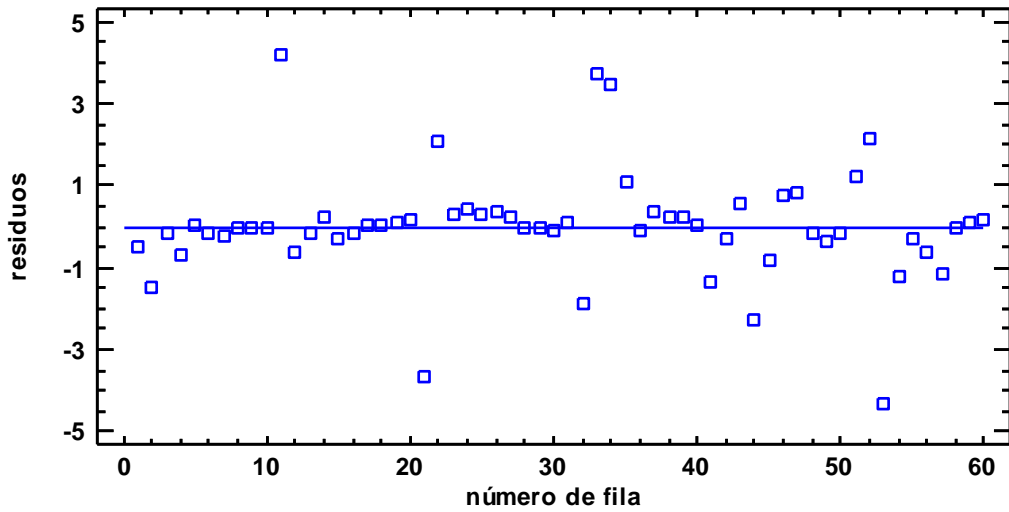



Gráfico de Residuos para %Remoción Turbiedad



ANEXO B. RESULTADOS ANÁLISIS DE LABORATORIO NANCY FLÓREZ SAS



Nancy Flórez García S.A.S
 Confiable en toda prueba
 N°: 824.005.888-0

COD: RO-104 Ver: 07 del 14 de Febrero de 2018
CERTIFICADO DE ANALISIS FISICOQUIMICO
 N° 14095

INFORMACION DEL CLIENTE
 EMPRESA : CARLOS ALFREDO CALDERON PEREZ
 DIRECCION : MZ 8 CS 9A LA CASTELLANA
 CONTACTO : CARLOS ALFREDO CALDERON PEREZ
 CARGO : PARTICULAR

NIT : 1007620810
 CIUDAD : VALLEDUPAR
 TELEFONO : 3008862504

INFORMACION DE LA MUESTRA
 NOMBRE : AGUA RESIDUAL NO DOMESTICA
 LUGAR DE MUESTREO : LABS INGENIERIA AMBIENTAL Y SANEAMIENTO UPC
 PUNTO DE MUESTREO : LABORATORIO
 CODIGO : 180436819
 LOTE : N.A
 REGISTRO INVIMA : N.A

TIPO DE MUESTRA : SIMPLE
 PLAN DE MUESTREO : N.S
 PROC. DE MUESTREO : N.S

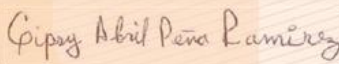
HORA MUESTRA : 11:00 a.m.
 MUESTREO : 16/04/2018
 RECEPCION : 16/04/2018
 INICIO ENSAYOS : 17/04/2018
 FINAL ENSAYOS : 26/04/2018
 INFORME : 27/04/2018

ANALISIS	METODO - TECNICA	RESULTADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) mg O2/L (A)	SM 5210 B / EPA 360.3 - Incubación 5 días	42,6
Demanda Química de Oxígeno (DQO) mg O2/L (A)	SM 5220 C - Reflujo cerrado - Volumétrico	48,8
Grasas y Aceites mg/L (A)	SM 5520 B - Partición líquido - líquido	<10,0
pH (26,8 °C) U de pH	SM 4500-H+ B - Electrométrico	7,40
Sólidos Sedimentables mL/L (A)	SM 2540 F - Cono Imhoff	<0,1
Sólidos Suspendidos Totales mg/L (A)	SM 2540 D - Gravimétrico	12,7
Temperatura °C	SM 2550 B - Electrométrico	26,8
Turbiedad NTU (A)	SM 2130 B - Nefelométrico	5,42

NOTA :El cliente informa que esta muestra fue tratada con natural de cactus como coagulante.
 Muestra tomada y traída al laboratorio por el cliente.

N.A: No Aplica N.S: No Suministrado
 (A): Acreditado (S): Subcontratado

Todo resultado del laboratorio está respaldado por una marca que verifica su autenticidad.
 Resultado no controlado una vez entregado al cliente.
 El resultado aplica unicamente a la muestra recibida y analizada.
 No se permite la reproducción parcial de este documento sin autorización expresa del laboratorio.

APROBÓ

GIPSY PEÑA
 Jefe Físicoquímica
 Fin de Informe

Página 1 de 1

Teléfonos: (5)5842072 Fax:5703920-3145060908 E-mail: calidad.amb@labsnancyflorez.com.co
 Carrera 15No. 13C - 72 Esquina - Valledupar

COD: RO-104 Ver: 07 del 14 de Febrero de 2018

CERTIFICADO DE ANALISIS FISICOQUIMICO
N° 14096

INFORMACION DEL CLIENTE
 EMPRESA : CARLOS ALFREDO CALDERON PEREZ
 DIRECCION : MZ 8 CS 9A LA CASTELLANA
 CONTACTO : CARLOS ALFREDO CALDERON PEREZ
 CARGO : PARTICULAR
 NIT : 1007620810
 CIUDAD : VALLEDUPAR
 TELEFONO : 3008862504

INFORMACION DE LA MUESTRA
 NOMBRE : AGUA RESIDUAL NO DOMESTICA
 LUGAR DE MUESTREO : LABS INGENIERIA AMBIENTAL Y SANEAMIENTO UPC
 PUNTO DE MUESTREO : LABORATORIO
 CODIGO : 180436818
 LOTE : N.A
 REGISTRO INVIMA : N.A
 TIPO DE MUESTRA : SIMPLE
 PLAN DE MUESTREO : N.S
 PROC. DE MUESTREO : N.S
 HORA MUESTRA : 02:30 p.m.
 MUESTREO : 16/04/2018
 RECEPCION : 16/04/2018
 INICIO ENSAYOS : 17/04/2018
 FINAL ENSAYOS : 26/04/2018
 INFORME : 27/04/2018

ANALISIS	METODO - TECNICA	RESULTADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) mg O2/L (A)	SM 5210 B / EPA 360.3 - Incubación 5 días	30,9
Demanda Química de Oxígeno (DQO) mg O2/L (A)	SM 5220 C - Reflujo cerrado - Volumétrico	113
Grasas y Aceites mg/L (A)	SM 5520 B - Partición líquido - líquido	<10,0
pH (27,2 °C) U de pH	SM 4500-H+ B - Electrométrico	7,44
Sólidos Sedimentables mL/L (A)	SM 2540 F - Cono Imhoff	<0,1
Sólidos Suspendidos Totales mg/L (A)	SM 2540 D - Gravimétrico	12,0
Temperatura °C	SM 2550 B - Electrométrico	27,2
Turbiedad NTU (A)	SM 2130 B - Nefelométrico	4,31

NOTA : El cliente informa que esta muestra fue tratada con Sulfato de Aluminio como coagulante. Muestra tomada y traída al laboratorio por el cliente.

N.A: No Aplica N.S: No Suministrado
 (A): Acreditado (S): Subcontratado

Todo resultado del laboratorio está respaldado por una marca que verifica su autenticidad.

Resultado no controlado una vez entregado al cliente.

El resultado aplica únicamente a la muestra recibida y analizada.

No se permite la reproducción parcial de este documento sin autorización expresa del laboratorio.

APROBÓ

Gipsy Abril Peña Ramirez

GIPSY PEÑA
 Jefe Físicoquímica
 Fin de Informe

ANEXO C. REGISTRO FOTOGRÁFICO

Caracterización del agua residual



Imagen 1. Cubierta de la trampa de grasa



Imagen 2. Apariencia del agua residual en la planta



Imagen 3. Toma de muestras de agua residual para análisis

Obtención del coagulante



Imagen 4. Pesaje de las pencas



Imagen 5. Remoción de la cutícula del cactus



Imagen 6. Cactus cortado en bandejas para secar



Imagen 7. Bandejas con cactus en el horno



Imagen 8. Cactus luego de secado de 72 horas @ 60° C

Imagen 9. Molienda del cactus seco



Imagen 10. Reducción de tamaño con tamiz

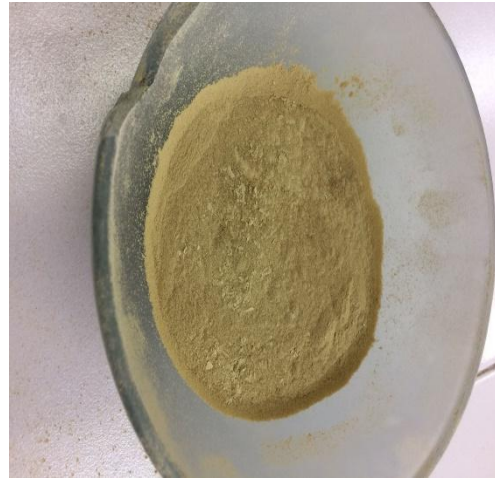


Imagen 11. Producto tamizado

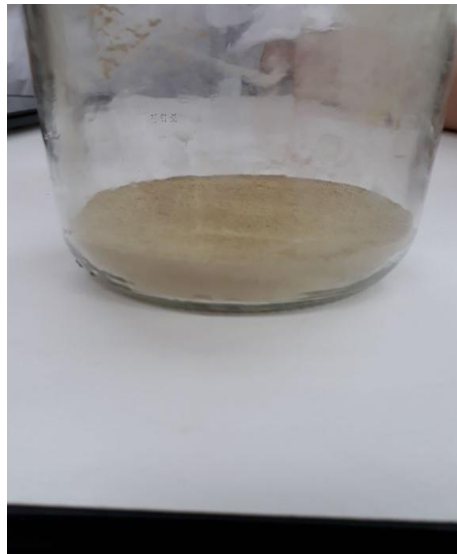


Imagen 12. Producto final luego de extracción con alcohol anhidro

Evaluación del coagulante



Imagen 13. Mediciones antes de las pruebas de jarra



Imagen 14. Pruebas de jarra al agua residual