



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA TUNA (OPUNTIA
FICUS INDICA) COMO COAGULANTE NATURAL PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para el grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: JORGE ANTONIO VARGAS ESCOBAR

TUTOR: ING. MARCO RAÚL CHUIZA ROJAS

Riobamba-Ecuador

2018

©2017, Jorge Antonio Vargas Escobar

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo las citas bibliográficas del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal de Tesis certifica que: El Trabajo de Investigación:

“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA TUNA (*OPUNTIA FICUS INDICA*)
COMO COAGULANTE NATURAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES”, de responsabilidad del señor Jorge Antonio Vargas Escobar, ha sido
minuciosamente revisado por los miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada
para su presentación.

Ing. Marco Chuiza

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Danielita Borja

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Jorge Antonio Vargas Escobar, declaro que el presente trabajo es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 06 de Junio del 2018

Jorge Antonio Vargas Escobar
160078692-3

DEDICATORIA

La presente investigación dedico a tres personas muy importantes en mi vida, a mi padre Guillermo Vargas y mi madre Dora Escobar por todo el cariño y apoyo que me han brindado durante mi formación académica, por siempre creer en mí, mil gracias amados padres. A mi abuelito Abraham Escobar a quien siempre lo recuerdo con un gran cariño sé que estuvieras muy orgulloso del hombre que ahora soy.

Jorge

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dado salud y vida para poder cumplir uno de mis sueños, a mis padres Guillermo y Dora; a mis hermanos Yadira y Luis por todo el apoyo incondicional demostrado en el transcurso de mi vida por siempre estar presentes en cada momento con sus consejos. A mis sobrinos Mateo, Belén, Adrián, Abraham y Francer por siempre esperarme en casa con una sonrisa. A mi cuñado Ramiro y al resto de mi familia.

De igual manera quiero agradecer a todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Química por los conocimientos impartidos en las aulas durante mi formación, un agradecimiento especial al Ing. Marco Chuiza e Ing. Danielita Borja por su colaboración en la culminación del presente trabajo de investigación. Así como también a los Técnicos Docentes por la ayuda prestada en cada laboratorio que utilice.

De igual manera a mis compañeros y amigos Juan, Terry, Ricardo, Rony, José, Víctor, Verónica T, Verónica S, Erika, Mary y Andrea por haber hecho el paso por la Universidad una de las mejores experiencias. Así como también a mis grandes amigos Diego, Josue, Alejandro, Derlys, Danny, Joel, Sebastián, Oscar, Adrián, Kevin y Alex por siempre estar presentes en los buenos y malos momentos que he pasado.

Por último, agradecer a Abigail por toda la paciencia y apoyo demostrado durante casi toda la Carrera por siempre motivarme a ser mejor persona.

Jorge

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xvi
SUMARY.....	xvii

CAPÍTULO I

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Identificación del problema.....	1
1.2.	Justificación de la investigación.....	2
1.3.	Objetivos.....	3
1.3.1.	<i>General</i>	3
1.3.2.	<i>Específicos</i>	3

CAPITULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	4
2.1.	Antecedentes de la investigación.....	4
2.2.	Marco conceptual.....	5
2.2.1.	<i>Tuna</i>	5
2.2.1.1.	<i>Generalidades</i>	5
2.2.1.2.	<i>Taxonomía</i>	7
2.2.1.3.	<i>Contenido Nutricional de la Tuna</i>	7
2.2.1.4.	<i>Tipos de Tuna</i>	7
2.2.1.5.	<i>Usos y aplicaciones</i>	8
2.2.2.	<i>Coagulación y Floculación</i>	8
2.2.2.1.	<i>Coagulación</i>	8
2.2.2.1.1.	<i>Mecanismo de la coagulación</i>	9
2.2.2.1.1.1.	<i>Compresión de la doble capa</i>	9
2.2.2.1.1.2.	<i>Adsorción y neutralización de las cargas</i>	10
2.2.2.1.1.3.	<i>Inmersión en un precipitado</i>	10
2.2.2.1.1.4.	<i>Adsorción y enlace de puente interparticula</i>	10
2.2.2.1.2.	<i>Factores que influyen en la coagulación</i>	11
2.2.2.1.3.	<i>Principales coagulantes</i>	12
2.2.2.1.3.1.	<i>Coagulantes metálicos</i>	12

2.2.2.1.3.2.	<i>Polielectrolitos</i>	13
2.2.2.1.3.3.	<i>Coagulantes Naturales</i>	13
2.2.2.2.	<i>Floculación</i>	14
2.2.2.2.1	<i>Tipos de Floculación</i>	14
2.2.2.2.1.1	<i>Floculación Pericinética</i>	14
2.2.2.2.1.2	<i>Floculación Ortocinética</i>	15
2.2.3.	<i>Industria láctea en el Ecuador</i>	15
2.2.4.	<i>Aguas Residuales</i>	16
2.2.4.1	<i>Agua Residual Láctea</i>	17
2.2.4.2	<i>Características del Agua Residual</i>	18
2.2.4.2.1	<i>Características Físicas</i>	18
2.2.4.2.1.1.	<i>Color</i>	18
2.2.4.2.1.2.	<i>Olor</i>	18
2.2.4.2.1.3.	<i>Temperatura</i>	18
2.2.4.2.1.4.	<i>Turbidez</i>	18
2.2.4.2.1.5.	<i>Conductividad</i>	19
2.2.4.2.1.6.	<i>Sólidos</i>	19
2.2.4.2.2.	<i>Características Químicas</i>	19
2.2.4.2.3.	<i>Características Biológicas</i>	20
2.2.4.3.	<i>Tratamiento de Aguas Residuales</i>	21
2.2.4.3.1.	<i>Etapas del tratamiento del Agua Residual</i>	21

CAPÍTULO III

3.	MARCO EXPERIMENTAL	23
3.1.	Lugar y pruebas de estudio	23
3.2.	Materiales y Equipos	23
3.3.	Metodología	24
3.3.1.	<i>Caracterización de la materia prima (Tuna)</i>	25
3.3.2	<i>Obtención y caracterización del coagulante natural a partir de la Tuna</i>	25
3.3.2.1.	<i>Obtención del coagulante natural a partir de la Tuna</i>	25
3.3.2.2.	<i>Caracterización del coagulante natural a partir de la Tuna</i>	26
3.3.3.	<i>Muestreo y caracterización de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual láctea inicial</i>	26
3.3.4	<i>Pruebas de tratabilidad del agua residual láctea con el coagulante natural</i>	27

3.3.4.1	<i>Preparación de las soluciones de referencia con el coagulante natural.....</i>	27
3.3.4.2.	<i>Pruebas de jarras.....</i>	28
3.3.5.	<i>Técnicas.....</i>	28
3.3.5.1.	<i>Técnicas para el Análisis proximal del coagulante natural a partir de la Tuna.....</i>	28
3.3.5.2.	<i>Técnicas para la caracterización del agua residual láctea inicial y tratada.....</i>	32

CAPITULO IV

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
4.1	Resultados.....	37
4.1.1.	<i>Caracterización de la materia prima.....</i>	37
4.1.2.	<i>Obtención y Caracterización del coagulante natural.....</i>	38
4.1.2.1.	<i>Obtención del coagulante natural.....</i>	38
4.1.2.1.1.	<i>Lavado y pelado.....</i>	39
4.1.2.1.2.	<i>Cortado.....</i>	40
4.1.2.1.3.	<i>Secado.....</i>	41
4.1.2.1.4.	<i>Molienda y Tamizado.....</i>	43
4.1.2.1.4.1	<i>Molienda.....</i>	43
4.1.2.1.4.2	<i>Tamizado.....</i>	44
4.1.2.1.5.	<i>Extracción.....</i>	46
4.1.2.1.6.	<i>Rendimiento del proceso.....</i>	47
4.1.2.2.	<i>Caracterización del coagulante.....</i>	47
4.1.3.	<i>Caracterización del agua residual inicial.....</i>	48
4.1.4.	<i>Pruebas de Tratabilidad.....</i>	49
4.1.4.1	<i>Selección de la concentración adecuada de coagulante.....</i>	51
4.1.4.2	<i>Selección del volumen adecuado de coagulante.....</i>	56
4.1.5.	<i>Caracterización físico-química y microbiológica del agua residual láctea tratada.....</i>	59
4.1.6.	<i>Evaluación de la eficacia del coagulante natural obtenido a partir de la Tuna.....</i>	60
4.1.6.1	<i>Eficiencia en el ajuste del parámetro pH.....</i>	60
4.1.6.2.	<i>Eficiencia en la reducción del parámetro conductividad.....</i>	61
4.1.6.3.	<i>Eficiencia en la reducción de los parámetros color y turbidez.....</i>	62

4.1.6.4.	<i>Eficiencia en la reducción del parámetro Demanda Química de Oxígeno.....</i>	64
4.1.6.5.	<i>Eficiencia en la reducción del parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno.....</i>	65
4.1.6.6.	<i>Eficiencia en la reducción de los parámetros sólidos suspendidos y sólidos totales.....</i>	66
4.1.6.7	<i>Eficiencia en la reducción de los parámetros microbiológicos Coliformes Fecales.....</i>	68
4.2	Discusión de los resultados.....	70
	CONCLUSIONES.....	74
	RECOMENDACIONES.....	75
	BIBLIOGRAFIA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-2: Clasificación taxonómica de la <i>Opuntia ficus indica</i>	7
Tabla 2-2: Rango de pH para los coagulantes metálicos.....	13
Tabla 3-2: Polímeros naturales que tienen propiedades coagulantes o floculantes.....	14
Tabla 4-2: Principales bacterias, virus y parásitos patógenos presentes en aguas residuales.....	21
Tabla 1-3: Obtención y caracterización del coagulante natural.....	23
Tabla 2-3: Muestreo y caracterización inicial del agua residual láctea.....	24
Tabla 3-3: Pruebas de tratabilidad y caracterización final del agua residual láctea.....	24
Tabla 4-3: Toma de muestra del agua residual láctea.....	26
Tabla 5-3: Determinación del porcentaje de humedad.....	29
Tabla 6-3: Determinación del porcentaje de ceniza.....	29
Tabla 7-3: Determinación del porcentaje de fibra.....	30
Tabla 8-3: Determinación del porcentaje de proteína.....	31
Tabla 9-3: Determinación del porcentaje de grasa.....	31
Tabla 10-3: Determinación del porcentaje de carbohidratos totales.....	32
Tabla 11-3: Determinación del pH.....	32
Tabla 12-3: Determinación de la conductividad.....	33
Tabla 13-3: Determinación de la turbiedad.....	33
Tabla 14-3: Determinación del color.....	34
Tabla 15-3: Determinación de los sólidos suspendidos	34
Tabla 16-3: Determinación de los sólidos totales.....	35
Tabla 17-3: Determinación de la Demanda Química de Oxígeno.....	35
Tabla 18-3: Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	36
Tabla 1-4: Caracterización de la materia prima.....	37
Tabla 2-4: Resultados obtenidos en el proceso de lavado y pelado de las pencas de Tuna.....	40
Tabla 3-4: Resultados obtenidos en el proceso de cortado de la pulpa de Tuna.....	41
Tabla 4-4: Resultados obtenidos en el proceso de secado de la pulpa de Tuna.....	43
Tabla 5-4: Resultados obtenidos en el proceso de molienda de la pulpa seca de Tuna...	44
Tabla 6-4: Resultados obtenidos en el proceso de tamizado del polvo grueso de Tuna...	45
Tabla 7-4: Resultados obtenidos en el proceso de extracción del pigmento de Tuna....	47

Tabla 8-4:	Resultados del rendimiento del proceso de obtención de coagulante natural por lotes.....	47
Tabla 9-4:	Análisis Proximal del coagulante natural obtenido a partir de la Tuna.....	48
Tabla 10-4:	Caracterización físico-química y microbiológica del agua residual láctea antes del tratamiento.....	49
Tabla 11-4:	Resultados obtenidos en las pruebas de Tratabilidad.....	50
Tabla 12-4:	Porcentaje de remoción de turbidez y color del agua tratada.....	51
Tabla 13-4:	Resultados estadísticos a la prueba porcentaje de remoción de la turbidez...	52
Tabla 14-4:	Resultados estadísticos a la prueba porcentaje de remoción del color.....	54
Tabla 15-4:	Prueba de normalidad de datos para la remoción de Turbidez y Color del agua tratada con el coagulante natural.....	56
Tabla 16-4:	Resultados obtenidos del porcentaje de remoción de la turbidez aplicando diferentes volúmenes de coagulante al 2%.....	56
Tabla 17-4:	Resultados obtenidos del porcentaje de remoción del color aplicando diferentes volúmenes de coagulante al 2%.....	58
Tabla 18-4:	Caracterización físico-química y microbiológica del agua residual láctea tratada.....	59
Tabla 19-4:	Determinación de la eficiencia en el ajuste del parámetro pH del agua residual láctea.....	60
Tabla 20-4:	Determinación de la eficiencia en la reducción del parámetro conductividad del agua residual láctea.....	61
Tabla 21-4:	Determinación de la eficiencia en la reducción de los parámetros color y turbidez del agua residual láctea.....	62
Tabla 22-4:	Determinación de la eficiencia en la reducción del parámetro demanda química de Oxígeno del agua residual láctea.....	64
Tabla 23-4:	Determinación de la eficiencia en la reducción del parámetro demanda bioquímica de Oxígeno del agua residual láctea.....	65
Tabla 24-4:	Determinación de la eficiencia en la reducción de los parámetros sólidos disueltos y totales del agua residual láctea.....	66
Tabla 25-4:	Determinación de la eficiencia en la reducción del parámetro microbiológico Coliformes Fecales.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Tuna (<i>Opuntia ficus indica</i>).....	6
Figura 2-2:	Coagulación.....	9
Figura 3-2:	Atrapamiento de las partículas en un floc.....	10
Figura 4-2:	Efecto de puente de las partículas en suspensión.....	11
Figura 5-2:	Composición típica del agua residual doméstica.....	16
Figura 6-2:	Clasificación de los sólidos totales presentes en el agua residual.....	19
Figura 1-3:	Procedimiento para la obtención del coagulante natural a partir de la Tuna...	25
Figura 2-3:	Ensayos de las Pruebas de Jarras.....	28
Figura 1-4:	Proceso de obtención de coagulante natural a partir de la Tuna.....	38

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1-4:	Porcentaje de remoción de la turbidez a diferentes concentraciones de coagulante natural.....	53
Gráfico 2-4:	Porcentaje de remoción del color a diferentes concentraciones de coagulante natural.....	55
Gráfico 3-4:	Porcentaje de remoción de turbidez a diferentes volúmenes de coagulante natural.....	57
Gráfico 4-4:	Porcentaje de remoción del color a diferentes volúmenes de coagulante natural.....	58
Gráfico 5-4:	Determinación de la eficiencia del ajuste del parámetro pH del agua residual láctea.....	61
Gráfico 6-4:	Determinación de la eficiencia en la reducción del parámetro conductividad del agua residual láctea.....	62
Gráfico 7-4:	Determinación de la eficiencia en la reducción del parámetro color del agua residual láctea.....	63
Gráfico 8-4:	Determinación de la eficiencia en la reducción del parámetro turbidez del agua residual láctea.....	63
Gráfico 9-4:	Determinación de la eficiencia en la reducción del parámetro demanda química de Oxígeno del agua residual láctea.....	64
Gráfico 10-4:	Determinación de la eficiencia en la reducción del parámetro demanda bioquímica de Oxígeno del agua residual láctea.....	65
Gráfico 11-4:	Determinación de la eficiencia en la reducción del parámetro demanda bioquímica de Oxígeno del agua residual láctea.....	66
Gráfico 12-4:	Determinación de la eficiencia en la reducción del parámetro sólidos totales del agua residual láctea.....	67
Gráfico 13-4:	Determinación de la eficiencia en la reducción del parámetro microbiológico Coliformes fecales del agua residual láctea.....	68
Gráfico 14-4:	Determinación de la eficiencia de los parámetros físico-químicos y microbiológicos con el uso del coagulante natural en el agua residual de estudio.....	69

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A** Resultados de la caracterización de la materia prima (tuna).
- Anexo B:** Resultados de la caracterización del coagulante natural obtenido a partir de la Tuna.
- Anexo C:** Resultados de la caracterización físico-química y microbiológica del agua residual láctea antes del tratamiento.
- Anexo D:** Resultados de la caracterización físico-química y microbiológica del agua residual láctea después del tratamiento.
- Anexo E:** TULSMA Libro VI Anexo 1 Tabla 9.
- Anexo F:** Obtención del extracto a partir de la Tuna
- Anexo G:** Obtención del extracto a partir de la Tuna
- Anexo H:** Obtención del extracto a partir de la Tuna
- Anexo I:** Recolección del agua residual.
- Anexo J:** Proceso de coagulación y floculación.
- Anexo K:** Proceso de coagulación y floculación.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ALL	Aguas Blancas
ARA	Aguas residuales Agrícolas
RLI	Aguas residuales Industriales
Q	Caudal. (L/s)
DBO₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno. (mg/L)
DQO	Demanda Química de Oxígeno. (mg/L)
°C	Grados centígrados
G	Gramos
Km	Kilómetros
L	Litros
Mg	Miligramos
ml	Mililitros
mm	Milímetros
OD	Oxígeno Disuelto. (mg/L)
pH	Potencial de Hidrogeno
s	Segundos
SST	Sólidos suspendidos totales. (mg/L)
ST	Sólidos totales. (mg/L)
TULSMA	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente
NTU	Unidades nefelométricas de Turbidez.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la tuna (*Opuntia ficus indica*) utilizada como coagulante natural para el tratamiento de aguas residuales industriales (lácteas) en el laboratorio de Química Analítica y Operaciones Unitarias donde se realizó la deshidratación, molienda y tamizado respectivamente; posteriormente se realizó las pruebas de tratabilidad en el laboratorio de Calidad del Agua, para lograr los objetivos se dividió la investigación en 5 etapas las cuales fueron: Caracterización de la materia prima (Tuna), obtención y caracterización del coagulante natural a partir de la Tuna, muestreo y caracterización de las propiedades físico-químicas y microbiológicas del agua residual láctea inicial, pruebas de tratabilidad del agua residual láctea empleando el coagulante natural, caracterización de las propiedades físico-químicas y microbiológicas del agua residual láctea tratada. Para la primera parte se procedió a seleccionar una de las pencas de Tuna, para posteriormente retirarle la cutícula y realizar un análisis fitoquímico, para determinar el pH y metales (Hierro y Calcio); en la segunda etapa se seleccionó 20 g para realizar el análisis proximal del coagulante natural en el laboratorio de bromatología y nutrición animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias. Obteniéndose como resultado un rendimiento en el proceso del 1%. Concluyendo que la eficiencia promedio de la Tuna (*Opuntia ficus indica*) como coagulante natural en el tratamiento del agua residual de la industria láctea “Virgen del Cisne” obtuvo un valor inicial para el color y turbidez igual a 3900 Co/Pt y 361 NTU correspondientemente y un valor final para el color y la turbidez igual a 1880 Co/Pt y 80 NTU respectivamente, alcanzando un porcentaje de remoción del color igual a 51.79% y un porcentaje de remoción de turbidez igual a 77.84%. La eficiencia promedio del coagulante natural fue igual a 44.78%.

Palabras clave: <CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES>, <TUNA (*Opuntia ficus indica*)>, <RENDIMIENTO DEL PROCESO>, <EFICIENCIA>, <AGUA RESIDUAL LÁCTEA>, <COAGULANTE>.

SUMMARY

The objective of the present degree work was to evaluate the efficiency of the (*Opuntia ficus indica*) tuna used as a natural coagulant for the treatment of industrial wastewater (dairy) in the Analytical Chemistry and Unitary Operations laboratory where the dehydration, the grinding and the sifting were done respectively; subsequently, treatability tests were carried out in the Water Quality laboratory, in order to achieve the objectives, the research was divided into 5 stages which were: Characterization of the raw material (Tuna), obtaining and characterization of the natural coagulant from tuna, sampling and characterization of the physical-chemical and microbiological properties of initial dairy wastewater, dairy wastewater treatment tests using the natural coagulant, characterization of the physical-chemical and microbiological properties of the treated dairy wastewater. For the first part we proceeded to select one of the cladodes of Tuna, to later remove the cuticle and perform a phytochemical analysis, to determine the pH and metals (Iron and Calcium); in the second stage, 20g were selected to carry out the proximal analysis of the natural coagulant in the laboratory of bromatology and animal nutrition of the School of Livestock Sciences. A result of 1% was obtained in the process performance. Concluding that the average efficiency of Tuna (*Opuntia ficus indica*) as a natural coagulant in the treatment of the dairy wastewater industry “Virgen del Cisne” obtained an initial value for colour and turbidity equal to 3900 Co/Pt and 361 NTU correspondingly and a final value for colour and turbidity equal to 1880 Co/Pt and 80 NTU respectively, reaching a colour removal percentage equal to 51.79% and a turbidity removal percentage equal to 77.84%. The average efficiency of the natural coagulant was equal to 44.78%.

Key words: < EXACT AND NATURAL SCIENCES>, <TUNA (*Opuntia ficus indica*)>, <PROCESS PERFORMANCE>, < EFFICIENCY>, < DAIRY WASTEWATER>, < COAGULANT>.

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Identificación del problema

La presente investigación tiene como finalidad el utilizar un producto natural que presenta propiedades coagulantes-floculantes que pueden ser utilizadas en el tratamiento de aguas destinadas al consumo y también en aguas de tipo residual.

El agua es un elemento fundamental para el desarrollo de los seres vivos, por tal motivo es importante realizar un adecuado tratamiento luego de su posterior uso en los procesos industriales y domésticos, ya que estos efluentes son descargados directamente en océanos o ríos afectando tanto a la flora como a la fauna.

En la actualidad la contaminación del agua que es producida afecta a la mayor parte de ciudades y países. Por tal motivo se busca alternativas de mejorar la calidad del agua, a partir de procesos o sustancias amigables con el medio ambiente. En el tratamiento de aguas potables y residuales en la etapa de coagulación y floculación se utilizan coagulantes químicos como sulfato de aluminio, sulfato ferroso, cloruro férrico, aluminato de sodio, alumbre de potasio, etc. Para eliminar los sólidos suspendidos que otorgan color y turbiedad indeseables en las aguas.

A través de los procesos de coagulación y floculación, se obtiene la eliminación de turbidez, sólidos totales, suspendidos, color y metales pesados que sobrelleva a la reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Los coagulantes químicos son muy efectivos, pero se ha realizado investigaciones que al utilizar sulfato de aluminio puede ser nocivo para la salud humana. Como lo reporta (Romero, 1988, p. 98) que manifiesta lo siguiente: “si no es controlado adecuadamente los coagulantes a base de aluminio podrían dejar en el agua tratada cierta cantidad de aluminio residual” poniendo en peligro la salud de los seres vivos, afectando al sistema nervioso central. La utilización de coagulantes naturales busca la posibilidad de reducir o sustituir a los coagulantes químicos que pueden llegar a ser nocivos para la salud de las personas, animales y plantas. Por este motivo se

va a determinar la eficiencia de la Tuna (*Opuntia ficus indica*) como coagulante natural en el tratamiento de las aguas residuales de la Industria láctea.

1.2. Justificación

En la actualidad el uso de coagulantes naturales para el tratamiento de aguas potables o residuales es mínimo, ya que se sigue usando el coagulante primario y tradicional como es el sulfato de aluminio o alúmina para la clarificación de dichas aguas, el problema que se presenta es el residuo de aluminio en el agua tratada que puede ser perjudicial para el medio ambiente y para la salud de los seres vivos debido a que puede afectar gravemente el sistema nervioso central, al momento de incorporar estos efluentes a los ríos, lagos, etc.

La utilización de coagulantes naturales genera una menor cantidad de lodos en los procesos de coagulación-floculación (Ndabigengesere et al, 1995: pp.703-710). Los cuales son más fáciles para su respectivo tratamiento. Los coagulantes naturales para su utilización en el tratamiento de aguas no dependen del pH y no causan aumento en la conductividad (Romero, 2000, pp. 452-468).

En el presente trabajo de investigación se propone utilizar un coagulante natural obtenido a partir de la tuna (*Opuntia ficus indica*) para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea en la etapa de coagulación- floculación, debido a que las pencas de la planta contienen carbohidratos a los cuales se les atribuye el poder coagulante con resultados positivos en el tratamiento de aguas destinadas al consumo (Díaz et al, 1999: pp.391-395). El coagulante natural obtenido no representa ningún peligro para la salud ni problemas de contaminación, debido a que es un producto amigable con el medio ambiente.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Evaluar la eficiencia de la tuna (*Opuntia ficus indica*) como coagulante natural para el tratamiento de aguas residuales.

1.3.2. Específicos

- Obtener y caracterizar el extracto obtenido de la tuna (*Opuntia ficus indica*).
- Caracterizar las propiedades físico-químicas y microbiológicas del agua residual industrial.
- Realizar pruebas de tratabilidad del agua residual usando el extracto obtenido.
- Determinar la eficiencia que tiene este coagulante para reducir los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos presente en el agua residual industrial.
- Comparar los resultados obtenidos con los parámetros establecidos por la normativa vigente en el Ecuador TULSMA Libro VI Anexo 1 Tabla 9.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

En las últimas décadas, los estudios realizados sobre nuevas tecnologías para el tratamiento de agua potable se han centrado en la obtención de coagulantes a partir de fuentes naturales. Entre las investigaciones más destacadas están; la realizada en Venezuela al Cactus latifaria y las semillas de *Prosopis juliflora*, los agentes extraídos de estas plantas se usaron en el tratamiento de aguas sintéticas, con características similares a las aguas crudas utilizadas en los procesos de potabilización locales. El agua tratada presento una turbiedad final cercana a los estándares exigidos de 5 NTU. Se manejaron condiciones iniciales de alta turbidez (100 a 200 NTU) y baja turbidez (30 – 40 NTU), durante los experimentos la dosis óptima resultó ser inferior a la del sulfato de aluminio y se compararon con resultados anteriores obtenidos con Moringa Oleífera. El tratamiento de estas semillas con solventes apolares produjo en algunos casos, coagulantes con propiedades distintas a las iniciales (Díaz et al, 1999: pp.391-395).

En 2004, Nabyarina Almendárez extrajo y analizó, de la Tuna (*Opuntia Cochinellífera*), un polielectrólito de origen natural. El proceso de extracción se llevó a cabo a través de una serie de operaciones unitarias de secado, molido, tamizado, lixiviación con alcohol etílico, filtración y evaporación. Para caracterizar este coagulante se sometió a una espectroscopia infrarroja, esto permitió identificarlo como un polielectrólito y para la comprobación de su capacidad coagulante, se realizó la prueba de jarra, con aguas potables con turbidez de 49 NTU, 199 UPC y un pH de 9,14, los resultados mostraron alta eficiencia con los coagulantes metálicos, una eficiencia media con el coagulante natural y una baja eficiencia con el coagulante sintético (Almendárez, 2004, pp.1-9).

En 2012, Jiménez J; Vargas, M; Quirós, N. Evaluaron la eficiencia del cactus de la tuna para remover el color en agua de río y agua artificial para el consumo humano. Como resultado se obtuvo una eficiencia de remoción de color del 94% en agua artificial, cuando se aplicó como tratamiento único (45 mg/l) .Sin embargo, el agua tratada con tuna dejó un valor de DQO residual del doble (21 mg/l) con relación al tratamiento convencional. La tuna fue poco efectiva para

remover el color generado por sustancias húmicas en aguas de baja turbidez y alcalinidad, pero su aplicabilidad como coagulante/floculante en aguas de alta turbidez y alcalinidad es promisoría (Jiménez et al, 2012: pp.55-62).

En 2013, Villabona, A; Paz, I; Martínez, J, caracterizaron la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. Las pencas de la planta se sometieron a operaciones de corte, pelado, secado, molienda, tamizado y despigmentado. 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 potable. 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 (Villabona et al, 2013: pp.137-144).

En 2015, Alcázar León Daniela realizó la investigación sobre la aplicación de un coagulante natural obtenido a partir de la penca de tuna (*Opuntia ficus indica*) para la mejora de la calidad en aguas de consumo en la localidad de Achocalla. Como resultado final de su investigación obtuvo que el coagulante extraído de *Opuntia ficus indica* presenta una alta actividad como coagulante debido a su capacidad para remover la turbidez inicial de aguas naturales con turbiedad intermedia, presentando un porcentaje de remoción promedio del 93.15 % a 90.82 % (Alcázar, 2015, pp.34-56).

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Tuna

2.2.1.1. Generalidades

Nombre científico: *Opuntia ficus indica*

Familia: Cactaceae

Posee diferentes denominaciones de acuerdo a geografía donde se encuentra, entre las más comunes se encuentran: Tuna en Latinoamérica, Nopal o Nopalli en Mexico, Prickly pear, Cactus pear, Cactus fruti en Estados Unidos, Figo della barbarie en Italia, Higo en España, Chumbo en Francia, Tzabar en Israel, Kaktusfeigen en Alemania, Turksupurug en Sudáfrica. (Amaya, 2009, pp. 6-8).



Figura 1-2: Tuna (*Opuntia ficus indica*).

Fuente: (Amaya, 2009, pp. 6-8)

La tuna es una planta arborescente, arbustiva o rastrera, con forma simple o de matorrales que posee, un tronco leñoso muy definido, con ramificaciones esparcidas o en forma de copa, con tallos y ramas articuladas que pueden llegar a medir hasta 5 m de alto, las partes oblongas llamadas pencas alcanzan los 30 a 50 cm de ancho y 2 cm de espesor, estas son de color verde opaco y poseen pequeñas espinas blancas o amarillas, además cuentan con flores y frutos ovalados de color rojo, naranja o amarillo. (Rivas, 1998, p. 33)

La tuna es originaria del continente americano; se le encuentra distribuido desde el Canadá hasta la Argentina y preferentemente en todas las zonas áridas y semiáridas, dadas las características morfológicas y fisiológicas que presenta esta planta las cuales le permite soportar condiciones ambientales desde escasa precipitación hasta altas y bajas temperaturas. (Tobías, 1990, p. 28). Se conoce aproximadamente 300 especies del género *Opuntia*. Sin embargo, hay solo 10 o 12 usadas por el hombre, ya sea para producción de fruta y penca para alimentación humana, forraje o cochinilla para obtención de colorante.

2.2.1.2. Taxonomía

Tabla 1-2: Clasificación taxonómica de la *Opuntia ficus indica*

Reino	Vegetal
Subreino	<i>Embryophyta</i>
División	<i>Angiospermae</i>
Clase	<i>Dicotyledoneae</i>
Subclase	<i>Dialipetalas</i>
Orden	<i>Opuntiales</i>
Familia	<i>Cactaceae</i>
Subfamilia	<i>Opuntioideae</i>
Tribu	<i>Opuntiae</i>
Género	<i>Opuntia</i>
Subgénero	<i>Plantyopuntia</i>
Especie	Tuna
N. Científico	<i>Opuntia ficus indica</i>
N. Común	Tuna

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

Fuente: (Guerrero D. y Guamialama V, 2006, pp. 21-38).

2.2.1.3. Contenido Nutricional de la Tuna

La tuna posee un valor nutritivo que la hace destacar respecto de otras frutas. Es rica en calcio, potasio y fósforo, y contiene otros minerales; aporta cantidades importantes de vitamina C y pequeñas cantidades de varias vitaminas del complejo B. Contiene aproximadamente un 15% de carbohidratos de buena calidad. Es alcalinizante. La cáscara de la tuna representa del 40 al 50% de la fruta, la pulpa del 40 al 50% y las semillas del 5 al 10%.

2.2.1.4. Tipos de Tuna

De acuerdo con diario El Comercio. (2011), existen cuatro variedades de tunas en el Ecuador:

Tuna Silvestre: Esta variedad crece libremente en el campo y normalmente se encuentra plagada de cochinillas, posee hojas y frutos pequeños que las caracterizan del resto de las variedades.

Amarilla Con Espinas: Esta resulta del cruce entre la tuna silvestre y la tuna amarilla sin espinas por acción de la polinización de los insectos. Su fruto es grande, redondo y posee una pulpa amarillenta muy apetecida.

Tuna Blanca: Se caracteriza por su fácil manejo ya que casi no posee espinas, es muy resistente a la plaga. Su fruto es alargado y de sabor más dulce que el resto de tunas.

Amarilla Sin Espina: Esta variedad tiene una gran acogida en el mercado por su color amarillo-verdoso, sin embargo, su planta requiere de cuidados. Sus hojas y frutos no poseen espinas.

2.2.1.5. Usos y aplicaciones

Según Amaya (2009, pp. 29-31), de la tuna se usa el mucílago, la cáscara, la pulpa y sus compuestos químicos para la elaboración de aceites comestibles, pectinas y colorantes.

Se emplea también en la elaboración de vinos, licores, refresco "tuna", miel de tuna tipo maple (melcocha), queso de tuna, mermeladas, jaleas, deshidratados para dulces de alto valor energético, barras de cereales, alcohol industrial, vinagres, aromatizantes, pasta y harina forrajera.

El contenido de fibras, proteínas, minerales y materias grasas de la *Opuntia ficus indica* es mayor que el encontrado en otras frutas por lo que es recomendado en cualquier dieta, sea esta baja en sodio, alta en fibra, para pérdida de peso y para tratar diabetes, también es utilizada como astringente, antiinflamatorio, antipirético, analgésico, tonificante, afrodisíaco y laxante, entre otros usos que se han encontrado a nivel experimental, tales como: fuente de energía para la producción de gas metano, producción de biomasa y enzimas, producción de pectina a partir de la penca y extracción de colorantes a partir de su infesta el insecto Carmín de la Cochinilla.

2.2.2. Coagulación y Floculación

La coagulación y la floculación son procesos fisicoquímicos de mucha importancia para la remoción de las partículas coloidales y suspendidas presentes en las aguas destinadas a la potabilización como en el tratamiento de aguas residuales de origen doméstico o industriales. Este proceso sucede al adicionar un agente coagulante inorgánico u orgánico Además de reducir la turbidez, remueve parcialmente el color, bacterias y virus. (Ojeda, 2012, pp. 26-36).

2.2.2.1. Coagulación

Se define a la coagulación como el proceso de desestabilización química en las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos o naturales y la aplicación de la energía de mezclado. El proceso de la coagulación mal realizado puede representar un gasto elevado y además de la degradación rápida de la calidad del agua (Andía, 2000, pp. 12-44).

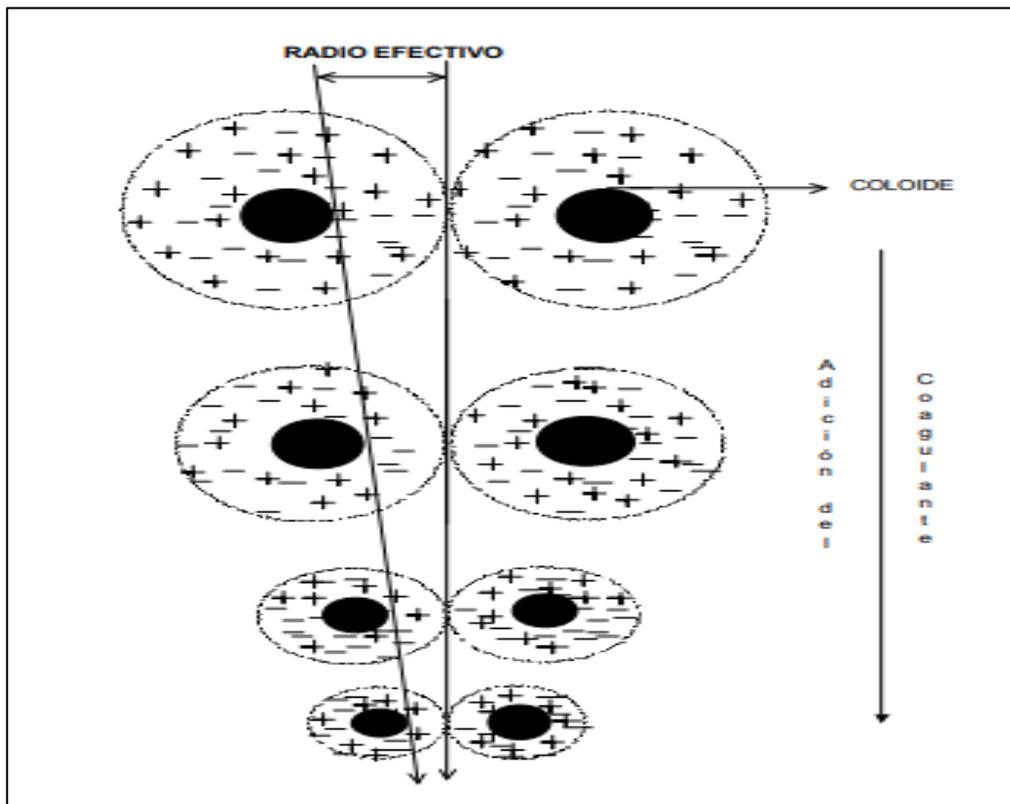


Figura 2-2: Coagulación
Fuente: (Andía, 2000, pp. 12-44)

2.2.2.1.1. Mecanismo de la coagulación

La desestabilización se puede llevar a cabo por 4 mecanismos diferentes:

- Compresión de la doble capa
- Adsorción y neutralización de cargas
- Inmersión en un precipitado
- Adsorción y enlace de puente interpartícula

2.2.2.1.1.1. Compresión de la doble capa

Se produce cuando se incrementa la concentración del electrolito, incorporando contraiones en la capa difusa o de Gouy-Chapman, ocasionando que ésta se represa y se disminuye la magnitud de las fuerzas repulsivas, permitiendo la eliminación de la barrera de energía. Mientras más fuerte es la carga eléctrica del contraión la partícula es neutralizada de forma más rápida. (Arboleda, 1992, pp. 20-30)

2.2.2.1.1.2. Adsorción y neutralización de las cargas

En la superficie las partículas coloidales poseen carga negativa, estas cargas son llamadas primarias y atraen los iones positivos que se encuentran en solución dentro del agua formando la primera capa adherida al coloide. El potencial Z o electrocinético representa el potencial en la superficie del plano de cizallamiento, este potencial es el que rige el desplazamiento de coloides y su interacción. (Andía, 2000, pp-12-44)

2.2.2.1.1.3. Inmersión en un precipitado

Las partículas coloidales desestabilizadas pueden quedar inmersa dentro de los precipitados, si se adiciona concentraciones altas de coagulante para ocasionar la precipitación rápida de un hidróxido metálico.

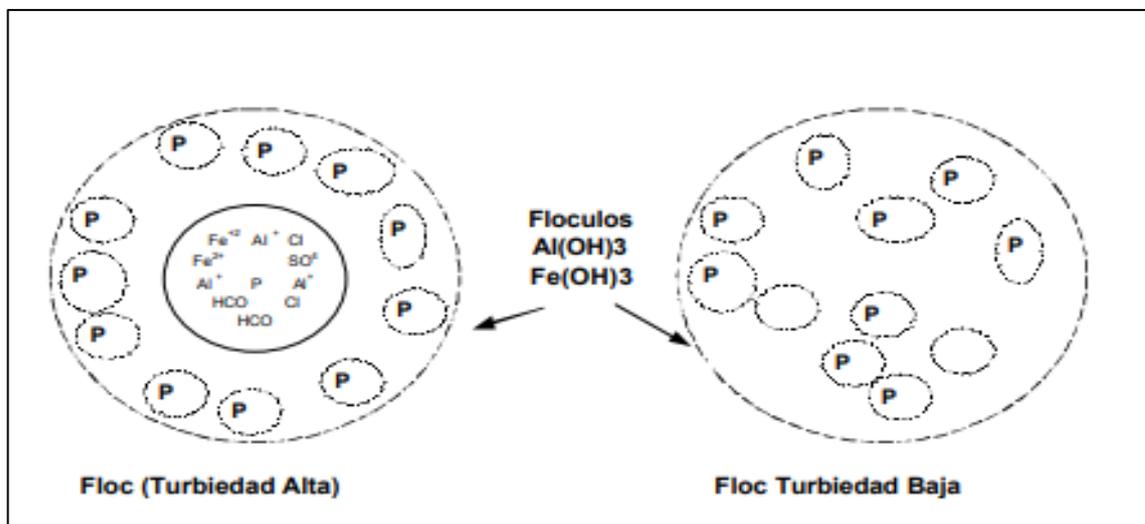


Figura 3-2: Atrapamiento de las partículas en un floc.

Fuente: (Andía, 2000, pp. 12--44)

2.2.2.1.1.4. Adsorción y enlace de puente interpartícula

En este proceso se utiliza polímeros sintéticos orgánicos como agentes desestabilizadores, es el proceso más económico. Este fenómeno ocurre debido a que las moléculas del polímero son muy largas y contienen grupos químicos que pueden absorber las partículas coloidales. La molécula del polímero puede así absorber una partícula coloidal en una de sus extremidades, mientras que los otros sitios están libres para absorber otras partículas. (Andía, 2000, pp. 12-44)

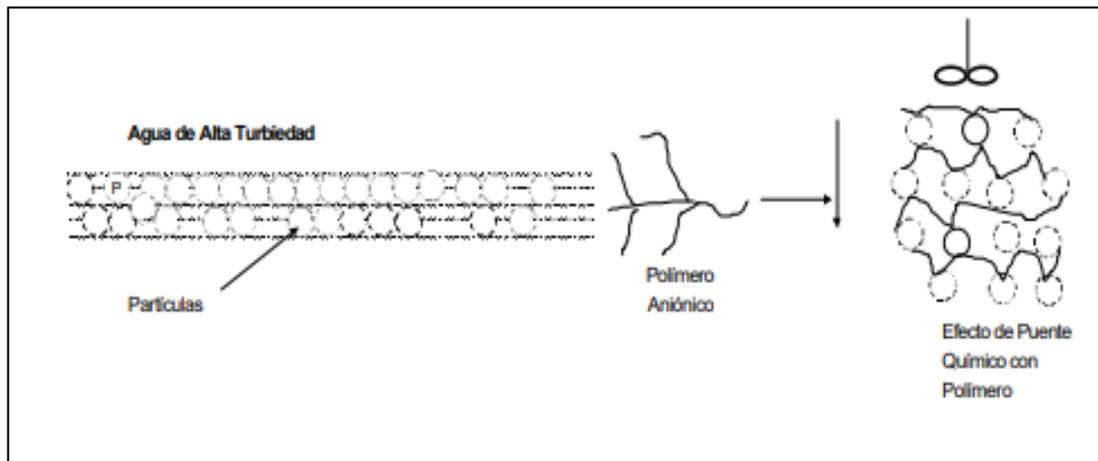


Figura 4-2: Efecto de puente de las partículas en suspensión.

Fuente: (Andía, 2000, pp. 12-44)

2.2.2.1.2. Factores que influyen en la coagulación

Para poder optimizar el proceso de coagulación hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- pH: Es una variable importante ya que cada agua a ser tratada tiene un pH óptimo para que la coagulación ocurra de forma rápida. (Andía, 2000, pp. 12-44).
- Color: La remoción del color está relacionada con el pH, a medida que el pH baje el color también disminuye su intensidad. (Domínguez, 2010, pp. 14-18).
- Sales Disueltas: Pueden causar modificaciones al pH óptimo del agua, al tiempo de coagulación, la cantidad del coagulante y a la cantidad residual de coagulante dentro del efluente. (Andía, 2000, pp. 12-44).
- Turbiedad: La turbiedad representa el contenido de partículas de arcillas y otros minerales, cuando mayor es la turbiedad en el agua a ser tratada, mayor es la cantidad de coagulante a utilizar. (Domínguez, 2010, pp. 14-18).
- Temperatura del agua: La variación de la temperatura puede afectar a la energía cinética de las partículas en suspensión, haciendo que la coagulación se vuelva más lenta. (Andía, 2000, pp. 12-44)
- Influencia de la dosis del coagulante: Para encontrar la dosis adecuada, se determina mediante los ensayos de prueba de jarras. (Andía, 2000, pp. 12-44)
- Condiciones de mezcla: Durante la adición del coagulante la velocidad de agitación que se da a la masa de agua, es un factor muy importante que determina si la coagulación es completa. (Andía, 2000, pp. 12-44)
- Sistemas de aplicación de los coagulantes: Para que se produzca una reacción adecuada del coagulante con el agua, la dosis del coagulante que se adicione debe ser de forma constante y

uniforme en la unidad de mezcla rápida, para que el coagulante sea completamente dispersado y mezclado con el agua. (Andía, 2000, pp. 12-44)

2.2.2.1.3. Principales coagulantes

2.2.2.1.3.1. Coagulantes metálicos

Son los más utilizados en el proceso de coagulación para el tratamiento de potabilización del agua y para el tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales. Dependiendo del pH del agua se puede utilizar los diferentes coagulantes metálicos, tienen una ventaja ya que pueden funcionar como coagulantes-floculantes al mismo tiempo.

Existen dos tipos principales, las sales de aluminio y las sales de hierro, estas sales al utilizarse forman un floc ligeramente pesado. Entre las sales más conocidas están:

- Sulfato de Aluminio: También se le conoce con el nombre de alumbre. El pH del agua para emplear este coagulante es de 6-8, forma floculos pequeños y no necesita ningún aditivo.
- Sulfato Ferroso: Es la más económica de las sales de hierro, se utiliza para el tratamiento en aguas con un pH mayor a 8. Se utiliza junto con cal.
- Sulfato Férrico: Es el más utilizado para el tratamiento de aguas residuales debido a que produce una alta corrosión por lo que no se emplea en el tratamiento del agua potable. Forma flóculos más grandes fáciles de remover.
- Cloruro Férrico: también conocido como tricloruro de hierro, su utilización es limitada ya que tiene un intervalo de pH reducido. (Uzcátegui, 2003, pp. 20-30)

Tabla 2-2: Rango de pH para los coagulantes metálicos

Coagulante metálico	pH
Sulfato de Aluminio	6-8
Sulfato Ferroso	>8
Sulfato Férrico	5-7
Cloruro Férrico	5.5-6.7

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

Fuente: (Romero J, 2000, pp.452-468).

1.3.1.3.2 Polielectrolitos

Los polielectrolitos son cadenas poliméricas con múltiples grupos funcionales activos, que tienen un elevado peso molecular y se utilizan en cantidades pequeñas de 0,1 mg/l a 1 mg/l, lo que compensa su alto precio. (Arboleda, 1992, pp. 20-30)

Se clasifican de acuerdo al monómero de partida y su carga en:

- Aniónicos: Polisulfónicos, poliacrilamida parcialmente hidrolizada, copolímero de acrilamida-acrilato.
- Catiónicos: Polimetacrilato, polietilamina, copolímeros de acrilamida con grupos de amonio cuaternarios.
- No iónicos: Polímeros del óxido de etileno, poliacrilamidas. (Gómez, 2005, pp. 27-30)

2.2.2.1.3.2. Coagulantes Naturales

Los coagulantes naturales se obtienen a partir de plantas o animales, y su utilización en el proceso de coagulación no representa ningún peligro para la salud de los seres vivos. Muchas de las especies que poseen esta propiedad aglomerante es debido a que en su composición tienen valores altos de proteínas y carbohidratos.

Tabla 3-2: Polímeros naturales que tienen propiedades coagulantes o floculantes.

Nombre Común	Se extrae de	Parte de donde se obtiene
Semillas de nirmali	Strychnos potatorun	Las semillas
Algarrobo	Quebracho, acacia o algarrobo Schinopsis Lorentzii	Corteza del árbol
Gelatina común	Animales	Residuos animales Huesos
Tuna	Opuntia ficus indica	Las hojas
Goma de guar	Cyanopsis psorolioides	Semillas
Alginato de sodio	Algas pardas marinas (Phoeophyceae)	Toda la planta
Almidones	Maíz	El grano o el tubérculo

	Yuca	
	Papa	
	Trigo	

Realizado por: Jorge Vargas, 2018
Fuente: (Arboleda J, 1992, pp. 20-30).

2.2.2.2. *Floculación*

La floculación es el proceso posterior luego de la coagulación, en el cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras y se forman coágulos de mayor tamaño, para facilitar la sedimentación. (Arboleda, 1992, pp. 20-30)

2.2.2.2.1. *Tipos de Floculación*

2.2.2.2.1.1. *Floculación Pericinetica*

Se le conoce como el movimiento browniano al producido por el movimiento natural de las moléculas del agua y esta inducida por la energía térmica. (Andía, 2000, pp. 12-44)

2.2.2.2.1.2. *Floculación Ortocinetica*

Mediante una energía exterior a la masa del agua que puede ser de origen mecánico o hidráulico se produce el movimiento del agua, ocasionando que las partículas colisionen. Se produce la aglomeración de los microfloculos después de la coagulación; para que esto suceda se produce primero la floculación pericinetica luego se produce la floculación ortocinetica. (Andía, 2000, pp. 12-44)

2.2.3. *Industria láctea en el Ecuador*

La industria láctea es una fuente de ingresos para miles de ecuatorianos que con el transcurso de los años se ha ido posesionado en el mercado local e internacional con diferentes productos. La materia prima para cualquier derivado lácteo es la leche, originaria de los animales vacunos. Al menos el 50% de población actual del país consume algún producto lácteo.

Los principales productos de la industria láctea son el yogurt, quesos, mantequillas, majar, crema de leche y otros derivados de la leche. En la actualidad la industria láctea en el Ecuador está influenciada por el consumo de la leche UHT en funda de polietileno multicapas de larga vida, que no necesita refrigeración.

En el Ecuador existen 6 grandes Industrias lácteas como son: Nestlé DPA que tiene una producción de 300 mil litros diarios de leche; Andina con una producción de 110 mil litros diarios de leche; Nutrileche con una producción diaria de 140 a 160 mil litros de leche; Reyleche y Pasteurizadora Quito con una producción de 160 a 180 mil litros de leche diaria; Tony Yogurt que se encuentra ubicada en la ciudad de Guayaquil especializada en la elaboración de yogurt y bebidas.

Entre las medianas Industrias lácteas se encuentran: El Ranchito con una producción diaria de 80 a 100 mil litros de leche; Lácteos Tanicuchi con una producción de 50 mil litros de leche procesados en quesos, yogurt y leche pasteurizada en funda de polietileno; Ecuallac con una producción diaria de 30 a 40 mil litros de leche; La Finca con una producción de 15 mil litros y también existen un sin número de pequeñas industrias que se encargan de producir quesos, yogurt de forma artesanal. (Valencia, 2007. pp. 1-8)

2.2.4. Aguas Residuales

Las aguas residuales son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren de un tratamiento previo antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (OEFA, 2014, pp.1-7).

Las aguas residuales se pueden clasificar por su origen:

- Aguas residuales domésticas o aguas negras

Son las aguas que provienen de las heces y orina humanas, del aseo personal y de la cocina y de la limpieza de la casa. Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, lejía y grasas.

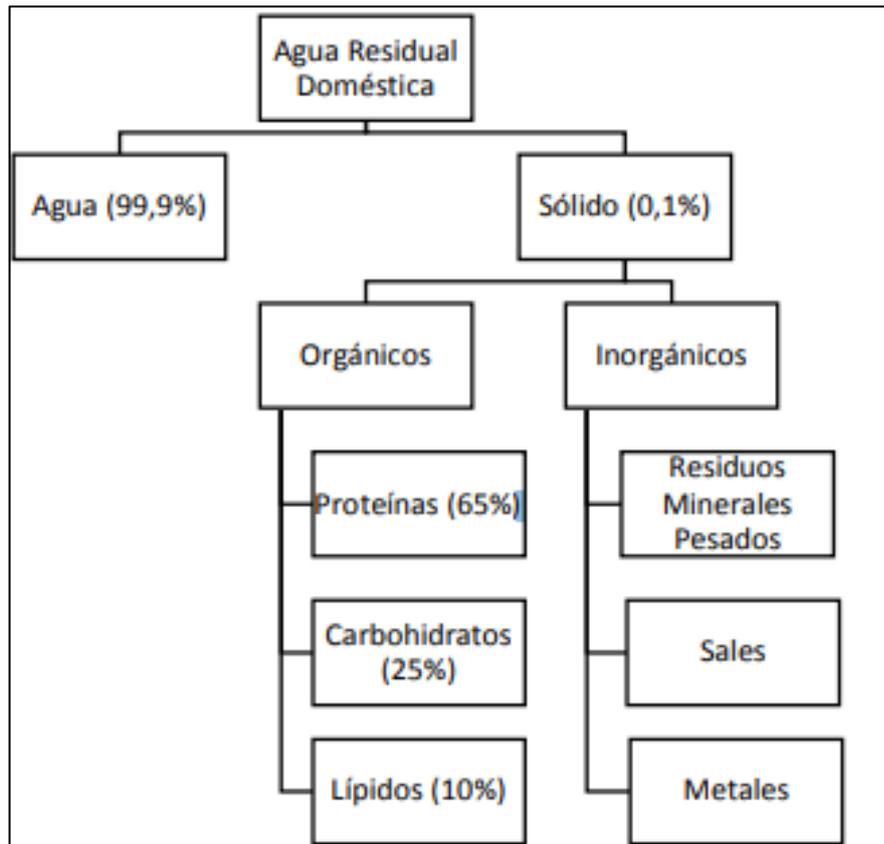


Figura 5-2: Composición típica del agua residual doméstica

Fuente: (Metcalf y Eddy, 1995, pp. 41-95).

- Aguas blancas (ALL)

Las aguas de origen atmosférico (lluvia, nieve o hielo) o del riego y limpieza de calles, parques y lugares públicos. En aquellos lugares en que las precipitaciones atmosféricas son muy abundantes, éstas pueden de evacuarse por separado para que no saturen los sistemas de depuración.

- Aguas residuales agrícolas (ARA)

Son aguas procedentes de las labores agrícolas en las zonas rurales. Estas aguas suelen participar, en cuanto a su origen, de las aguas urbanas que se utilizan, en numerosos lugares, para riego agrícola con o sin un tratamiento previo.

- Aguas residuales industriales (RLI)

Son aguas procedentes de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición es muy variable, dependiendo de las diferentes actividades industriales (Espigares et al, 2011: pp. 2-18).

2.2.4.1. Agua Residual Láctea.

Las industrias del sector alimenticio son las mayores generadoras de agua residual en sus procesos, es así que la industria láctea en la producción de sus productos como son el yogurt, quesos, majar, empaquetado de leche y otros derivados de la leche, generan aproximadamente 3 litros de agua residual por cada litro de leche utilizado, debido a los derrames y fugas de la materia prima, a la limpieza al inicio y al final de los procesos de producción.

El agua residual láctea contiene un alto grado de contaminación debido a que en su composición existe una elevada cantidad de material orgánico, alta biodegradabilidad, contiene aceites y grasas, fósforo, nitratos, sólidos en suspensión, y gran variabilidad de pH que en la mayoría de los casos es de carácter ácido. Motivo por el cual deben ser tratadas antes de su descarga al alcantarillado o a efluentes de agua dulce para reducir el impacto ambiental.

2.2.4.2. Características del Agua Residual

2.2.4.2.1. Características Físicas

2.2.4.2.1.1. Color

Este parámetro indica la condición del agua residual del drenaje: fresca o séptica. El agua residual reciente es de color gris. A medida que los niveles de oxígeno se reducen por descomposición de la materia orgánica, el agua se vuelve negra. Las aguas residuales industriales pueden transferir el color a las aguas residuales domésticas (Metcalf y Eddy, 1995, pp.41-95).

2.2.4.2.1.2. Olor

Es una propiedad física que también nos indica la condición del agua residual del drenaje. El agua residual reciente tiene un olor relativamente desagradable. A medida que los niveles de oxígeno se reducen por descomposición de la materia orgánica, el olor se vuelve intenso, generalmente a huevos podridos por el ácido sulfhídrico (H₂S) que se genera (Metcalf y Eddy, 1995, pp. 41-95).

2.2.4.2.1.3. Temperatura

La temperatura de las aguas residuales es generalmente mayor a la temperatura del agua de consumo. La temperatura es un parámetro muy importante por su efecto en las velocidades de las reacciones químicas y de la actividad bacteriana, en la concentración del oxígeno disuelto, así como en la vida acuática de las fuentes receptoras (Metcalf y Eddy, 1995, pp. 41-95).

Una variación significativa de la temperatura en el agua puede causar grandes daños a la vida acuática, así como también una temperatura muy elevada puede ocasionar la aparición de ciertos hongos. Para el tratamiento biológico, la temperatura más adecuada probablemente está dentro de un rango de 25 a 35°C (National Small Flows Clearinghouse, 2004, pp. 1-8).

2.2.4.2.1.4. Turbidez

Es uno de los parámetros que indica la calidad del agua mediante una propiedad óptica que provoca que la luz se emita y no traspase a través de una suspensión, se mide en unidades nefelométricas de turbidez (NTU). La turbidez del agua residual es ocasionada por el material en suspensión, insoluble o dispersión coloidal (Orozco et al., 2011, p.66).

2.2.4.2.1.5. Conductividad

La conductividad es la capacidad que posee un fluido para conducir la corriente eléctrica que es transportada por iones presentes en una solución, su medida es en micro-siemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Una elevada concentración de iones es decir la presencia de impurezas en el agua residual incita a un aumento en la conductividad (Delgadillo et al., 2011, pp. 5-14).

2.2.4.2.1.6. Sólidos

Los sólidos totales están conformados por las partículas disueltas, en suspensión y filtrables, son medidos en miligramos-litro (mg/L).

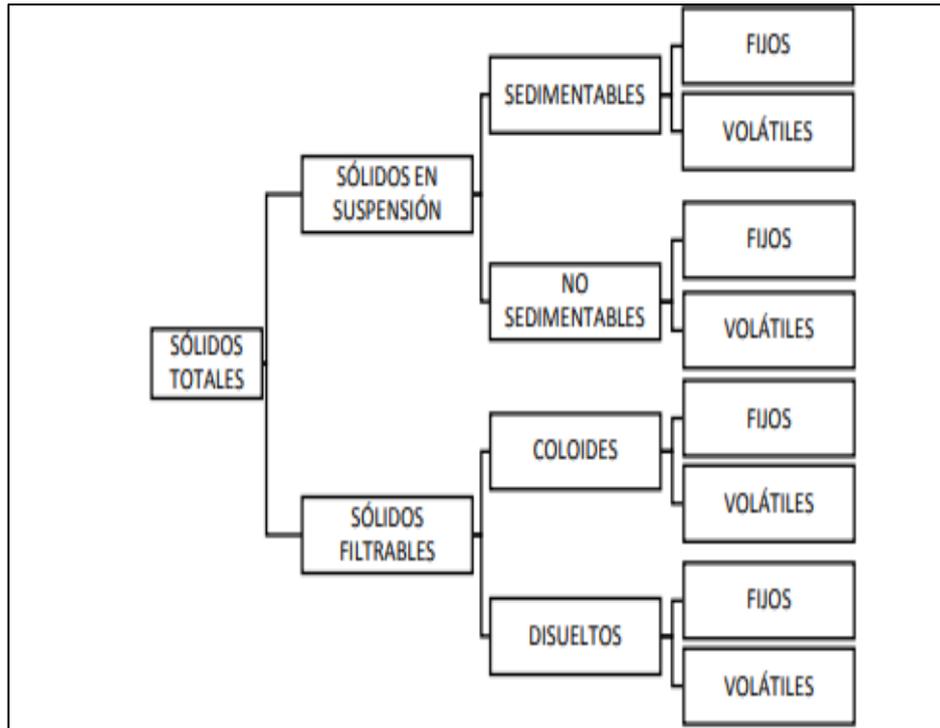


Figura 6-2: Clasificación de los sólidos totales presentes en el agua residual.

Fuente: (Sainz, 2007, p.38).

2.2.4.2.2. Características Químicas

pH (Potencial de Hidrogeno)

Es una medida de la acidez o alcalinidad por medio de la medición de los iones hidronio (H_3O^+) en el agua. Un pH que oscile entre 6,5 y 8,5 en las aguas residuales no ocasiona inconvenientes al momento de su depuración, mientras que si están fuera de este rango los procesos biológicos se ven afectados. Se puede determinar si es ácida si su $pH < 7$, básica $pH > 7$, y neutra $pH = 7$ (Trapote, 2013, pp. 15-21).

Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno disuelto es uno de los parámetros importantes en el tratamiento de las aguas residuales debido a que muchos de los organismos dependen de él para mantener los procesos metabólicos, para obtener energía y para su reproducción. El oxígeno disuelto es el principal indicador del estado de contaminación del agua, debido a que la materia orgánica contenida tiene un efecto directo en el consumo del OD (Orozco, 2005, pp. 14-26).

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es la manera de medir indirectamente la materia orgánica a través de la demanda de oxígeno de los compuestos orgánicos, es una manera más rápida y confiable. En el DQO se utiliza un fuerte agente oxidante en un medio ácido, el agente oxidante más utilizado es el dicromato de potasio en presencia de sulfato de plata a altas temperaturas (Orozco, 2005, pp-14-26).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Se define como la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para descomponer la materia orgánica presente en el agua residual en condiciones anaeróbicas. La demanda bioquímica de oxígeno es ocasionada por la respiración de las bacterias y terminara cuando el oxígeno se agote. Por lo general este procedimiento se lleva a cabo durante 5 días y a una temperatura de 20 0C (Orozco, 2005, pp-14-26).

2.2.4.2.3. Características Biológicas

Dependiendo de su composición y concentración las aguas residuales, pueden llevar una gran cantidad de organismos muchos de los cuales pueden ser perjudiciales para los seres vivos sin son consumidos. La temperatura y el influyen en su presencia, debido a que cada organismo requiere unos valores determinados de estos dos parámetros para desarrollarse. (Espigares et al, 2011, pp. 2-18)

Tabla 4-2: Principales bacterias, virus y parásitos patógenos presentes en aguas residuales.

	Agentes patógenos	Fuente (materia fecal)	Periodo de incubación	Enfermedad
Bacterias	Salmonellae	Hombre y animales	8-48 horas	Diarreas acuosas
	Escherichia Coli	Hombre	1-6 días	Diarreas, vómitos
	Vibrio Cholerae	Hombre	9 horas-5 días	Cólera
	Salmonella typh	Hombre y animales	7-28 horas	Fiebre tifoidea
	Leptospira Icterohamorhagiae	Ratas	-	Leptopirosis
Virus	Echovirus	Hombre	3-14 días	Poliomielitis, fiebres, meningitis, diarreas, enfermedades respiratorias, infección de los ojos.
	Poliovirus	Hombre	3-14 días	

	Hepatitis A	Hombre	15-30 días	Hepatitis infecciosa
	Hepatitis B	Hombre	16-65 días	
	Rotavirus A y B	Hombre	2-3 días	Gastroenteritis aguda, diarreas y vómitos.
Parásitos	Entamoeba histolytica	Hombre	2-4 semanas	Amebiasis
	Tricocéfalos	Hombre y animales	-	Infección intestinal
	gusano helminto	Hombre y animales	-	
	Acanthamoeba	Hombre	-	Abscesos subcutáneos, conjuntivitis.

Realizado por: Jorge Vargas, 2018.

Fuente: (Vega, 2016, pp.34-56).

2.2.4.3. Tratamiento de Aguas Residuales

El tratamiento de las aguas residuales consiste en un conjunto de operaciones y procesos químicos, físicos y biológicos cuyo objetivo es eliminar organismos patógenos para de esta manera mejorar la calidad del agua, para que puedan ser incorporados nuevamente a ríos, lagos, mares, etc. El residuo sólido que nos queda se le conoce como lodos que puede ser utilizado como abono en la agricultura.

2.2.4.3.1. Etapas del tratamiento del Agua Residual

Tratamiento Preliminar

En esta etapa se mide y se regula el caudal que va a ingresar a la planta. También se busca proteger las instalaciones de erosiones y taponamientos. Para lo cual se usa rejillas o cribas para separar los sólidos de gran tamaño como palos, telas, plásticos. (Ramalho, 2003, pp. 22-56)

Tratamiento Primario

En esta etapa el objetivo principal es eliminar la materia que se encuentra suspendida por medio de la precipitación o sedimentación, colocando al agua sustancias químicas o naturales que hacen más rápida y eficaz la sedimentación. (Ramalho, 2003, pp. 22-56)

Tratamiento Secundario

Se lo conoce también con el nombre de tratamiento biológico, se emplea para eliminar la materia orgánica disuelta, con la producción de fangos que serán tratados para su reducción, acondicionamiento y su disposición final. (Ramalho, 2003, pp. 22-56)

Tratamiento Terciario

Es la etapa en la cual se utilizan los tratamiento primarios y secundarios conjuntamente y sirven para mejorar la calidad del efluente con la posibilidad de obtener un agua apta para las actividades agrícolas, industriales e inclusive para la potabilización, en esta etapa se eliminan los contaminantes tóxicos o compuestos que no son biodegradables. (Romero, 2004, pp-635-657)

CAPÍTULO III

3. MARCO EXPERIMENTAL

3.1. Lugar y pruebas de estudio

La investigación se llevó a cabo en la Facultad de Ciencias en los laboratorios de Química Analítica donde se realizó la deshidratación; en el laboratorio de Operaciones Unitarias se realizaron las operaciones de molienda y tamizado; en el laboratorio de Investigación se extrajo el pigmento y en el laboratorio de Calidad del Agua se realizó su evaluación (prueba de jarras). El agua residual utilizada fue de la Industria Láctea “Virgen del Cisne” ubicada en el km 16 de la vía Puyo-Macas, Provincia de Pastaza.

3.2. Materiales y Equipos

Tabla 1-3: Obtención y caracterización del coagulante natural.

EQUIPOS	MATERIALES
Estufa	Crisoles
Balanza analítica	Espátula
Balanza técnica	Beakers de 60 ml
Desecador	Probetas graduadas 50 y 100 ml
Sistema extractor soxhlet	Vasos de precipitación de 200 y 500ml
Molino	Lana de vidrio
Tamices	Crisoles de Gooch
Aparato de destilación y digestión Macro Kjendahl	Pinza para crisoles
Digestor de fibra LABCONCO	Buretas de 50 ml
Mufla	Erlenmeyers de 500 ml y 600 ml
Ph-metro	Soporte Universal
	Balones Kjendahl de 800 y 1000 ml
	Papel filtro

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

Tabla 2-3: Muestreo y caracterización inicial del agua residual láctea

EQUIPOS	MATERIALES
Turbidímetro HACH Fotómetro Multiparámetro Digestor de DQO Digestor de DBO5 Baño María Estufa Balanza analítica	Vasos de precipitación Envases de plástico Espátula Cajas Petri Pizeta Probetas

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

Tabla 3-3: Pruebas de tratabilidad y caracterización final del agua residual láctea

EQUIPOS	MATERIALES
Turbidímetro HACH Fotómetro Multiparámetro Digestor de DQO Digestor de DBO5 Baño María Estufa Balanza analítica Test de Jarras	Vasos de precipitación Envases de plástico Espátula Cajas Petri Pizeta Probetas Balones de aforo Varilla de agitación Media nylon

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

3.3. Metodología

La presente investigación es:

- **Exploratoria:** Su carácter es exploratorio debido a que el investigador detecta variables, relaciones y condiciones en las que se da el fenómeno en el que está interesado. En el presente caso es la evaluación del volumen y concentración de un coagulante natural a base de tuna en la reducción del color y turbidez del agua residual láctea.
- **Descriptiva:** Se considera una investigación descriptiva porque trata de describir las características más importantes de un determinado objeto de estudio con respecto a su aparición y comportamiento. En el presente caso, los parámetros que mostraron una reducción más significativa en el agua residual láctea tras el tratamiento primario con coagulante natural a base de tuna.

La metodología utilizada para conseguir los objetivos de la investigación, se puede describir en 5 etapas:

- a) Caracterización de la materia prima (Tuna).
- b) Obtención y caracterización del coagulante natural a partir de la Tuna.

- c) Muestreo y caracterización de las propiedades físico-químicas y microbiológicas del agua residual láctea inicial.
- d) Pruebas de tratabilidad del agua residual láctea con el coagulante natural.
- e) Caracterización de las propiedades físico-químicas y microbiológicas del agua residual láctea tratada.

3.3.1. Caracterización de la materia prima (Tuna).

Se procedió a seleccionar una de las pencas de Tuna, para posteriormente retirarle la cutícula y realizar un análisis fitoquímico, para determinar el pH, humedad y metales (Hierro y Calcio). Se seleccionaron estas propiedades de la Tuna como punto de comparación con otras publicaciones anteriores.

3.3.2 Obtención y caracterización del coagulante natural a partir de la Tuna.

3.3.2.1. Obtención del coagulante natural a partir de la Tuna.

Para la obtención del coagulante natural se utilizaron 3 plantas de Tuna ubicadas en los terrenos de la Facultad de Ciencias Pecuarias de cada planta se tomó 6 pencas para la investigación. A cada planta se le dio el nombre de lote 1, 2 y 3 respectivamente. El procedimiento es el mismo para cada lote y se lo detalla a continuación:

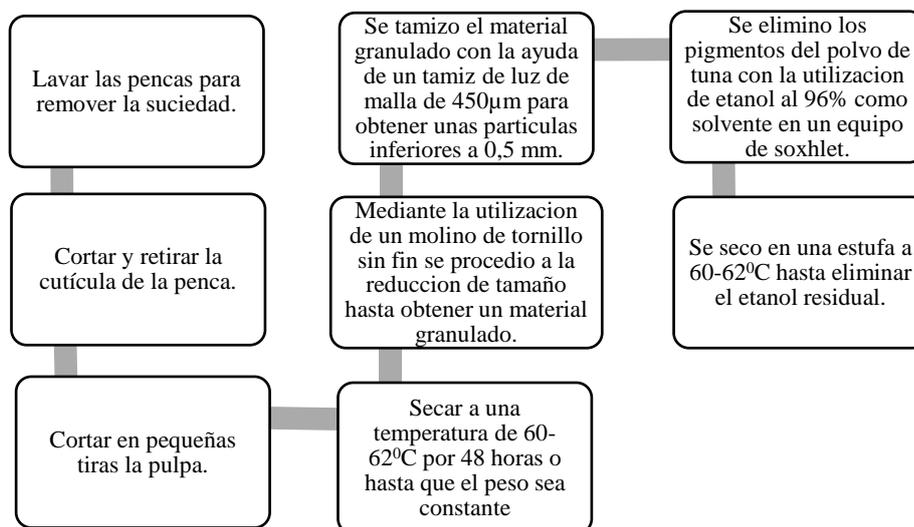


Figura 1-3: Procedimiento para la obtención del coagulante natural a partir de la Tuna
Realizado por: Jorge Vargas, 2018

3.3.2.2. Caracterización del coagulante natural a partir de la Tuna

Se seleccionó 20 g para realizar el análisis proximal del coagulante natural en el laboratorio de bromatología y nutrición animal de la Facultad de Ciencias Pecuarias. Las técnicas utilizadas se describen en el numeral.

3.3.3. Muestreo y caracterización de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual láctea inicial.

El agua residual láctea empleada en la investigación es proveniente de la quesera, ubicada en el km 16 de la vía Puyo-Macas, de la Provincia de Pastaza, dedicada a la elaboración de quesos pasteurizados y mozzarella, con un procesamiento de 500 litros diarios.

Para la recolección de la muestra de agua residual láctea se utilizó un muestreo compuesto, debido a que la elaboración de quesos desde la recepción de la materia prima (leche) hasta su parte final que es el lavado de los equipos no es continua, existen variaciones en su caudal y en la carga contaminante. Las mediciones del caudal se muestran en la Tabla 4-2. Se utilizó el método volumétrico para la medición de caudal durante toda la jornada de un día, la medición se le realizó en un intervalo de 10 minutos.

La muestra de agua residual láctea fue llevada al laboratorio de calidad del agua de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH para realizar la caracterización inicial de las propiedades físico-químicas y microbiológicas, las técnicas utilizadas se describen en el numeral 2.3.5.2.

Tabla 4-3: Toma de muestra del agua residual láctea

HORA	VOLUMEN (L)
Lavado de materiales	
8:00 am	4
8:10 am	4
8:20 am	4
8:30 am	4
Producción de Quesos	
11:00 am	4
11:10 am	4
11:20 am	4

11:30 am	4
11:40 am	4
11:50 am	4
12:00 pm	4
12:10 pm	4
12:20 pm	4
12:30 pm	4
12:40 pm	4
12:50 pm	4
13:00 pm	4
13:10 pm	4
Limpieza de los equipos e instalaciones	
13:30 pm	4
13:40 pm	4
13:50 pm	4
14:00 pm	4

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

Para la presente investigación se tomaron aproximadamente 80 litros del agua residual de la industria láctea “Virgen del Cisne” para evaluar la eficiencia del coagulante natural a partir de la Tuna, el agua fue llevada al laboratorio de calidad del agua de la Facultad de Ciencias.

3.3.4. Pruebas de tratabilidad del agua residual láctea con el coagulante natural.

3.3.4.1. Preparación de la soluciones de referencia con el coagulante natural.

Las soluciones de referencia fueron preparadas al 1%, 1,5% y 2% como lo recomienda Almendárez, 2004, con la finalidad de determinar la dosis exacta de efectividad del coagulante natural de Tuna.

El procedimiento para la preparación de las soluciones se describe a continuación:

- Pesar 1 gramo de coagulante natural.
- Disolver el 1 gramo de coagulante natural en un vaso de precipitación con agua destilada y aforar a 100 ml.
- Dejar reposar la solución por una hora.
- Filtrar con la ayuda de una tela nailon la solución.
- Se obtiene una solución al 1%.
- De la misma forma se preparan las soluciones al 1,5% y 2%.
- Usar de inmediato las soluciones.

Las soluciones eran preparadas cada día mientras se realizaron las pruebas de jarras, ya que se biodegradan fácilmente. Se utilizó una tela nylon para filtrar y poder separar la fibra contenida en el polvo.

3.3.4.2. Pruebas de jarras

Los ensayos de pruebas de jarras se realizaron en el laboratorio de calidad del agua de la Facultad de Ciencias. Se utilizó vasos de precipitación de 1000 ml y varillas de agitación. El procedimiento se describe a continuación:

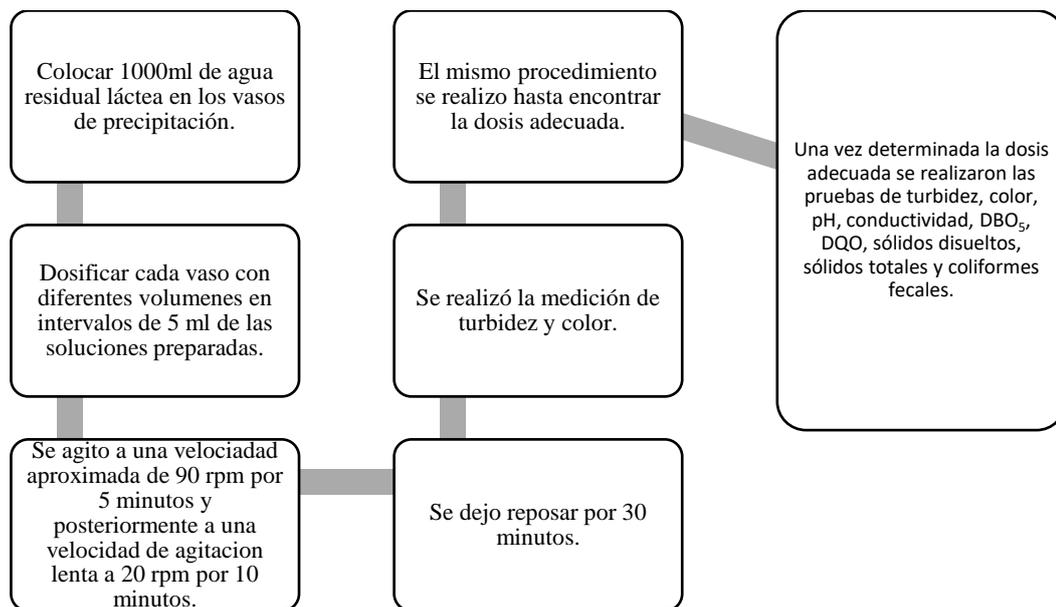


Figura 2-3: Ensayos de las Pruebas de Jarras

Realizado por: Jorge Vargas, 2018.

3.3.5. Técnicas.

3.3.5.1 Técnicas para el Análisis proximal del coagulante natural a partir de la Tuna.

Se determinaron los porcentajes de humedad, ceniza, fibra, proteína, grasa y carbohidratos totales del coagulante natural a partir de la Tuna.

Tabla 5-3: Determinación del porcentaje de humedad.

Materiales	Procedimiento	Cálculo
Cápsula de porcelana Espátula Estufa Desecador Balanza analítica	La determinación debe realizarse por duplicado. Pesar 1 gramo de la muestra a analizar. Pesar una cápsula tarada. Colocar el 1 gramo en la cápsula tarada. Pesar la cápsula con la muestra. Colocar en la estufa a 600C por 12 horas. Enfriar en los desecadores 30 minutos. Pesar en la balanza analítica.	$\%H = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} * 100$ <p>Donde:</p> <p>H= Porcentaje de humedad.</p> <p>W1= Peso del crisol solo.</p> <p>W2= Peso del crisol más muestra húmeda.</p> <p>W3= Peso del crisol más muestra seca.</p>

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

Fuente: NTE INEN 518

Tabla 6-3: Determinación del porcentaje de ceniza.

Materiales	Procedimiento	Cálculo
Cápsula de porcelana Espátula Estufa Desecador Mufla Balanza analítica	La determinación debe realizarse por duplicado. Pesar 1 gramo en un crisol tarado. Calcinar en la plancha pre calcinadora el crisol tarado + muestra. Colocar el crisol + muestra incinerada en la mufla a 5500C por 4 horas. Enfriar en el desecador 60 minutos. Pesar en la balanza analítica.	$\%C = \frac{W_3 - W_1}{W_2 - W_1} * 100$ <p>Donde:</p> <p>C= Porcentaje de ceniza.</p> <p>W1= Peso del crisol solo.</p> <p>W2= Peso del crisol más muestra húmeda.</p> <p>W3= Peso del crisol más cenizas.</p>

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

Fuente: NTE INEN 520

Tabla 7-3: Determinación del porcentaje de fibra.

Materiales	Procedimiento	Cálculo
Digestor de fibra LABCONCO Balanza analítica Beakers de 600 ml Probetas graduadas de 25 y 200 ml Equipo de bomba de vacío Crisoles de Gooch Lana de vidrio Vaso de precipitación de 500 ml Picetas Desecador Pinza para crisoles Estufa	<p>Pesar 1 gramo de muestra en un papel aluminio.</p> <p>Colocar la muestra en el vaso beaker.</p> <p>Colocar 200 ml de H₂SO₄ al 7% mas 2 ml de alcohol n-amílico.</p> <p>Dejar por el tiempo de 25 minutos regulando la perilla en 7.</p> <p>Añadir 20 ml de NaOH al 22% y dejar por unos 30 minutos.</p> <p>Una vez terminada la digestión alcalina se arma el equipo de bomba al vacío, preparando además los crisoles gooch con su respectiva lana de vidrio para proceder a la filtración.</p> <p>Lavar con 200 ml de agua.</p> <p>Pesar los crisoles y se coloca en la estufa por el lapso de 8 horas a una temperatura de 1050C.</p> <p>Enfriar en el desecador por 1 hora.</p> <p>Pesar y colocar en la mufla a una temperatura de 6000C por 4 horas.</p> <p>Dejar enfriar por 1 hora.</p> <p>Pesar en la balanza analítica.</p>	$\%F = \frac{W_3 - W_4}{W_2 - W_1} * 100$ <p>Donde:</p> <p>F= Porcentaje de fibra.</p> <p>W1= Peso del papel solo.</p> <p>W2= Peso del papel más muestra húmeda.</p> <p>W3= Peso del crisol más muestra seca.</p> <p>W4= Peso del crisol más ceniza.</p>

Realizado por: Jorge Vargas, 2018
 Fuente: NTE INEN 522

Tabla 8-3: Determinación del porcentaje de proteína.

Materiales	Procedimiento	Cálculo
Aparato de destilación y digestión Macro Kjendahl Balones Kjendahl de 1000 ml Buretas Probetas Erlenmeyer de 500 ml Soporte Universal Agitador	<p>Pesar 1 gramo de muestra.</p> <p>Adicionar 1 gramo de muestra con 9 gramos de Na₂SO₄ más 1 gramo de CuSO₄ con 25 ml de H₂SO₄ en un balon de 1000ml.</p> <p>Dejar en ebullicion por 40 minutos en el equipo.</p> <p>Enfriar y adicionar 200 ml de Agua destilada colocar de 2 a 3 lentejas de Zinc y 100 ml de NAOH.</p> <p>Destilar.</p> <p>Colectar en 100 ml de Ácido bórico al 2,5 %.</p>	$\%P = \frac{F(HCl\ 0,1N) * 0.014 * 6.35 * 100 * ml\ gastados}{(peso\ del\ papel + muestra) - (peso\ del\ papel\ solo)}$ <p>Donde:</p> <p>F= Factor del ácido clorhídrico 0,1 N estandarizado.</p>

Realizado por: Jorge Vargas, 2018
Fuente: NTE INEN 1670

Tabla 9-3: Determinación del porcentaje de grasa.

Materiales	Procedimiento	Cálculo
Aparato de Goldfish Beaker para grasa Porta dedales Vaso de recuperación del solvente Papel filtro Balanza analítica Esterilizador Estufa Desecador Espátula Pinza universal	<p>Pesar 1 gramo de muestra.</p> <p>Secar a 1050C por 12 horas.</p> <p>Enfriar en el desecador por 30 minutos.</p> <p>Pesar funda + muestra seca.</p> <p>Desengrasar a 900C por 1 hora.</p> <p>Colocar en la estufa evaporar 4 horas a 1050C.</p> <p>Enfriar en el desecador por 30 minutos.</p> <p>Pesar funda + muestra desengrasada.</p>	$\%E = \frac{W_4 - W_3}{W_2 - W_1} * 100$ <p>Donde:</p> <p>E= Porcentaje de grasa.</p> <p>W1= Peso del papel solo.</p> <p>W2= Peso del papel más muestra.</p> <p>W3= Peso del beaker solo.</p> <p>W4= Peso del beaker mas el extracto etéreo.</p>

Realizado por: Jorge Vargas, 2018
Fuente: NTE INEN 523

Tabla 10-3: Determinación del porcentaje de carbohidratos totales

Materiales	Procedimiento	Cálculo
	Se debe realizar la determinación de humedad, ceniza, proteína, fibra y grasa.	$\%Carbohidratos = 100 - (\%H + \%C + \%F + \%P + \%E)$ Donde: %H= Porcentaje de humedad. %C= Porcentaje de ceniza %F= Porcentaje de fibra %P= Porcentaje de proteína %E= Porcentaje de grasa

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

3.3.5.2 Técnicas para la caracterización del agua residual láctea inicial y tratada.

Se determinaron las características físico-químicas y microbiológicas del agua residual como son turbiedad, color, conductividad, pH, DBO5, DQO, sólidos suspendidos totales, sólidos totales y coliformes fecales.

Tabla 11-3: Determinación del pH.

Materiales	Procedimiento	Cálculo
Multiparámetro Vasos de precipitación de 100ml	Homogenizar la muestra de agua residual. Colocar 75 ml de agua residual en un vaso de precipitación. Limpiar con agua destilada los electrodos del equipo multiparámetro. Introducir los electrodos en el vaso de precipitación con agua. Seleccionar la opción medición de pH. Leer el valor en el equipo.	-

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua- Facultad de Ciencias

Tabla 12-3: Determinación de la conductividad.

Materiales	Procedimiento	Cálculo
Multiparámetro Vasos de precipitación de 100ml	Homogenizar la muestra de agua residual. Colocar 75 ml de agua residual en un vaso de precipitación. Limpiar con agua destilada los electrodos del equipo multiparámetro. Introducir los electrodos en el vaso de precipitación con agua. Seleccionar la opción medición de conductividad. Leer el valor en el equipo.	-

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua- Facultad de Ciencias

Tabla 13-3: Determinación de la turbiedad.

Materiales	Procedimiento	Cálculo
Turbidímetro HACH Piceta Celda	Encender el equipo. Lavar la celda con agua destilada. Colocar la muestra de agua residual en la celda hasta la marca señalada. Introducir la celda en el Turbidímetro HACH. Leer el valor en el equipo.	-

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua- Facultad de Ciencias

Tabla 14-3: Determinación del color.

Materiales	Procedimiento	Cálculo
Fotómetro Piceta Cubetas Agua destilada	Encender el equipo. Seleccionar la opción medición de color en el equipo. Lavar las cubetas con agua destilada. Colocar agua destilada en una cubeta y en otra el agua residual a analizar hasta la marca. Introducir la cubeta con el agua destilada y seleccionar medición de blanco. Introducir la cubeta con el agua residual y seleccionar medición de muestra. Leer el valor en el equipo.	-

Realizado por: Jorge Vargas, 2018**Fuente:** Laboratorio de Calidad del Agua- Facultad de Ciencias**Tabla 15-3:** Determinación de los sólidos suspendidos.

Materiales	Procedimiento	Cálculo
Fotómetro Piceta Cubetas Agua destilada	Encender el equipo. Seleccionar la opción medición de sólidos suspendidos totales en el equipo. Lavar las cubetas con agua destilada. Colocar agua destilada en una cubeta y en otra el agua residual a analizar hasta la marca. Introducir la cubeta con el agua destilada y seleccionar medición de blanco. Introducir la cubeta con el agua residual y seleccionar medición de muestra. Leer el valor en el equipo.	-

Realizado por: Jorge Vargas, 2018**Fuente:** Laboratorio de Calidad del Agua- Facultad de Ciencias

Tabla 16-3: Determinación de los sólidos totales

Materiales	Procedimiento	Cálculo
Cápsulas de porcelana Estufa Baño María Mufla Desecador	Colocar las cápsulas de porcelana en la mufla a una temperatura de 550±50°C por 1 hora. Enfriar en el secador y pesar. Colocar un volumen de 2,5 y 200 ml de muestra homogenizada en la cápsula tarada y evaporar utilizando un baño maría hasta su sequedad. Evitar pérdidas por ebullición. Introducir la muestra en la estufa a una temperatura de 103-105°C por 1 hora o hasta que el peso sea constante. Calcinar en la mufla la muestra a una temperatura de 550±50°C por 1 hora. Pesar	$ST = \frac{P_2 - P_1}{V} * 100$ <p>Donde:</p> <p>ST= Sólidos Totales (mg/L).</p> <p>P₁= Peso de la cápsula preparada (mg).</p> <p>P₂= Peso de la capsula preparada más el residuo seco (mg).</p> <p>V= Volumen de muestra tomado (ml).</p>

Realizado por: Jorge Vargas, 2018**Fuente:** Laboratorio de Calidad del Agua- Facultad de Ciencias**Tabla 17-3:** Determinación de la Demanda Química de Oxígeno

Materiales	Procedimiento	Cálculo
Fotómetro Digestor de DQO Pipetas Piceta Agua Destilada	Colocar 2 ml de la muestra homogenizada en un tubo de reactivo preparado. Realizar la digestión en el digestor de DQO. Seleccionar la opción medición de DQO del equipo Fotómetro e introducir la muestra digestada. Leer el valor en el equipo	-

Realizado por: Jorge Vargas, 2018**Fuente:** Laboratorio de Calidad del Agua- Facultad de Ciencias

Tabla 18-3: Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Materiales	Procedimiento	Cálculo
<p>Matraz aforado</p> <p>Agitador magnético</p> <p>Tapón del matraz</p> <p>Estufa</p>	<p>Introducir un volumen conocido de agua a analizar en un matraz aforado y completar con el agua de dilución.</p> <p>Verificar que el pH se encuentra entre 6-8. (En caso contrario, preparar una nueva dilución llevando el pH a un valor próximo a 7 y después ajustar el volumen)</p> <p>Llenar completamente un frasco con esta solución y taparlo sin que entren burbujas de aire.</p> <p>Preparar una serie de diluciones sucesivas.</p> <p>Conservar los frascos a $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ y en la oscuridad.</p> <p>Medir el oxígeno disuelto subsistente al cabo de 5 días.</p> <p>Practicar un ensayo testigo determinando el oxígeno disuelto en el agua de dilución y tratar dos matraces llenos de esta agua como se indicó anteriormente.</p> <p>Determinar el oxígeno disuelto. El curso del ensayo testigo, el consumo de oxígeno debe situarse entre 0,5 y 1,5 g/l. En el caso contrario, la inoculación con el agua destilada no es conveniente y se necesitará modificar la preparación. Para la determinación de oxígeno disuelto (OD) se puede emplear cualquiera de los dos métodos establecidos en la norma mexicana NMX-AA-012-SCFI</p>	$DBO = F(T_0 - T_5) - (F - 1)(D_0 - D_5)$ <p>Donde:</p> <p>D0 = Contenido de oxígeno (mg/l) del agua de dilución al principio del ensayo.</p> <p>D5 = Contenido medio de oxígeno (mg/l) del agua de dilución al cabo de 5 días de incubación.</p> <p>T0 = Contenido de oxígeno (mg/l) de una de las diluciones de la muestra al principio del ensayo.</p> <p>T5 = Contenido de oxígeno (mg/l) de una de las diluciones de la muestra al cabo de 5 días de incubación.</p> <p>F = Factor de dilución.</p> <p>Valores por encima de 30 mgO₂/litro pueden ser indicativos de contaminación en aguas continentales, aunque las aguas residuales pueden alcanzar una DBO de miles de mgO₂/litro</p>

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

Como se detalló en el epígrafe anterior la investigación se dividió en 5 etapas para que se lograra cumplir los objetivos de la presente investigación, por lo que se analizará los resultados etapa por etapa y se discutirán los resultados para ver si se lograron las metas planteadas en la investigación, estas etapas de la investigación serán analizadas a continuación.

4.1.1. Caracterización de la materia prima

En la caracterización de la tuna se obtuvo los resultados de pH, humedad, calcio y hierro, con el fin de comparar con los trabajos bibliográficos revisados y establecer las condiciones iniciales del producto y los procesos de transformación que se llevaran a cabo para la obtención del coagulante natural. Los dos factores que controlaron el proceso productivo fueron el pH y la humedad del sólido.

El contenido de Hierro y Calcio se encuentran en baja composición y no afectarán al proceso de producción, así como también no serán un parámetro que determine el poder coagulante del producto obtenido. El pH y el contenido de humedad deberá ser comparado con los datos obtenidos en la investigación realizada por Gonzales, L. (2012).

Tabla 1-4: Caracterización de la materia prima (Tuna).

PARÁMETRO	MÉTODO/NORMA	UNIDAD	RESULTADO
Potencial de Hidrogeno	Potenciométrico	Unidades de pH	4.53
Humedad	Gravimétrico	%	93.95
Calcio	Absorción Atómica	%	0.0092
Hierro	Absorción Atómica	%	0.00078

Fuente: CESTTA, 2018

4.1.2. Obtención y Caracterización del coagulante natural

4.1.2.1. Obtención del coagulante natural

Para obtener el coagulante natural a partir de la tuna se realizaron operaciones y procesos unitarios como se reporta en la figura 1-4. Para esto se dividió el proceso de obtención en tres lotes cada uno se realizó con 6 pencas de Tuna de diferentes pesos, para determinar la eficiencia del proceso de obtención se realizaron balances de masa por etapa, que se describen a continuación.

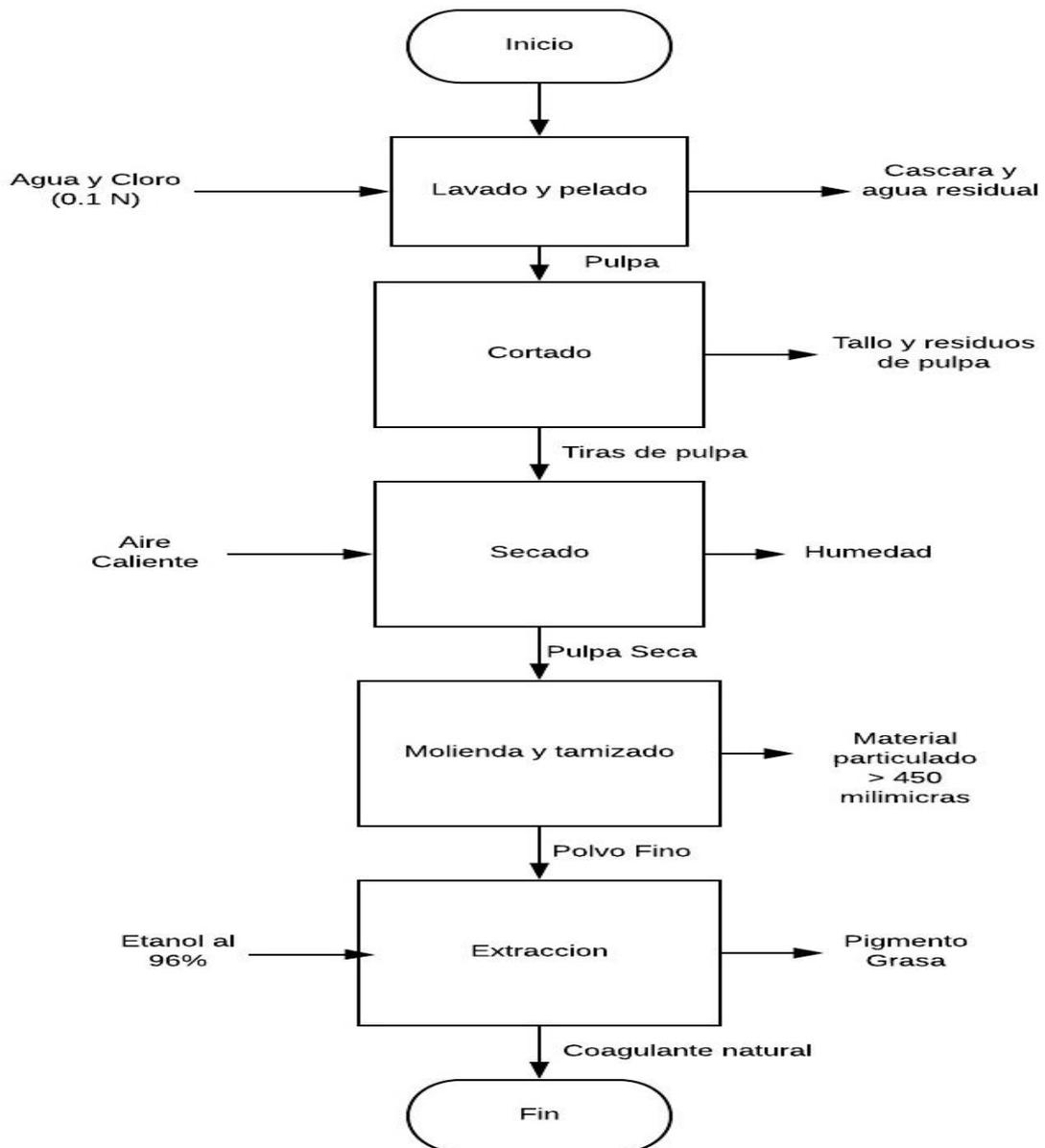


Figura 1-4: Proceso de obtención de coagulante natural a partir de la Tuna
Elaborado por: Jorge Vargas, 2018

4.1.2.1.1. Lavado y pelado

En esta etapa se utilizó agua al 200% en peso de las pencas para asegurar que quedaran cubiertas y una solución de 1% en peso de Hipoclorito de Sodio (Clorox), para eliminar las impurezas presentes en las pencas de la planta, además de que para el pelado se realizó manualmente con un cuchillo asegurándose que toda la cutícula sea retirada, para realizar el balance de materia se utilizó la ecuación de continuidad de la materia como se detalla a continuación:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Entrada de} \\ \text{productos} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Generación de} \\ \text{materia} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Salida de} \\ \text{productos} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Acumulación de} \\ \text{materia} \end{array} \right\}$$

Dado que es un proceso físico no se generó materia ya que no existió reacción química entre el flujo de alimentación al proceso y además de esto no se acumuló materia, ya que los flujos de entrada fueron obtenidos como producto lavado y residuos, de acuerdo con esto el balance de materia es igual a:

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

Lote 1:

$$E_p + E_w + E_{Cl} - S_{ww} - S_C = S_p$$

Donde:

E_p : Masa de Entrada de penca, g.

E_w : Masa de entrada de Agua, g.

E_{Cl} : Masa de entrada de solución de hipoclorito de cloro, g.

S_{ww} : Masa de salida de agua residual, g.

S_p : Masa de salida de pulpa pelada, g.

S_c : Masa de salida de cascara, g.

$$S_p = 5277.79 + (5277.79 * 2) + (5277.79 * 0.01) - 10608.36 - 3313.95$$

$$S_p = 1963.84 \text{ g}$$

De acuerdo con esto el rendimiento del proceso será igual a:

$$\text{Rendimiento del lavado y pelado} = \frac{\text{Salida de pulpa}}{\text{Entrada de pencas}} * 100$$

$$\text{Rendimiento del lavado y pelado} = \frac{1963.84}{5277.79} * 100$$

$$\text{Rendimiento del lavado y pelado} = 37.21\%$$

En la tabla 2-4, se detalla los resultados obtenidos en el proceso de lavado y pelado de los tres lotes de producción para la obtención de coagulante natural

Tabla 2-4: Resultados obtenidos en el proceso de lavado y pelado de las pencas de Tuna.

Número de lote	Entrada de penca, g.	Salida de cascara, g.	Salida de pulpa, g.	Rendimiento, %.
Lote 1	5277.79	3313.95	1963.84	37.21
Lote 2	3368.85	2285.87	1082.98	32.15
Lote 3	5255.57	3415.68	1839.89	35.01

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

4.1.2.1.2. Cortado

El cortado se lo realizo manualmente con la ayuda de un cuchillo, para esta operación se procuró que la pulpa sea cortada en tiras finas para que en el secado se pueda aumentar la transferencia de calor, el balance de masa se realizó igual que en la sección 4.1.2.1.1., y de acuerdo con ese procedimiento los resultados fueron iguales a:

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$E_p - S_r = S_{pc}$$

Donde:

E_p : Masa de entrada de pulpa, g.

S_r : Masa de salida de residuos, g.

S_{pc} : Masa de salida de pulpa cortada, g.

Lote 1:

$$S_{pc} = 1963.84 - 80.65$$

$$S_{pc} = 1883.19$$

De acuerdo con esto el rendimiento del proceso de cortado será igual a:

$$\text{Rendimiento del cortado} = \frac{\text{Salida de pulpa cortada}}{\text{Entrada de pulpa}} * 100$$

$$\text{Rendimiento del cortado} = \frac{1883.19}{1963.84} * 100$$

$$\text{Rendimiento del cortado} = 95.89\%$$

En la tabla 3-4, se detalla los resultados obtenidos en el proceso de cortado de los tres lotes de producción para la obtención de coagulante natural.

Tabla 3-4: Resultados obtenidos en el proceso de cortado de la pulpa de Tuna.

Número de lote	Entrada de pulpa, g.	Salida de residuos, g.	Salida de pulpa cortada, g.	Rendimiento, %.
Lote 1	1963.84	80.65	1883.19	95.84
Lote 2	1082.98	101.38	981.6	90.64
Lote 3	1839.89	123.2	1716.69	93.30

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

4.1.2.1.3. Secado

El secado se lo realizo en una estufa que funcionaba a 60°C por 48 horas o hasta que su peso sea constante, para esta operación se procuró que no se eleve la temperatura para no desnaturalizar al

producto obtenido, el balance de masa se realizó igual que en la sección 4.1.2.1.2., y de acuerdo con ese procedimiento los resultados fueron iguales a:

$$Entrada = Salida$$

$$E_{pc} - S_{wr} = S_{ps}$$

Donde:

E_{pc} : Masa de entrada de pulpa cortada, g.

S_{wr} : Masa de agua retirada, g.

S_{ps} : Masa de salida de pulpa seca, g.

Lote 1:

$$S_{ps} = 1883.19 - 1808.66$$

$$S_{ps} = 74.53$$

De acuerdo con esto el rendimiento del proceso de secado será igual a:

$$Rendimiento\ del\ secado = \frac{Salida\ de\ pulpa\ seca}{Entrada\ de\ pulpa\ cortada} * 100$$

$$Rendimiento\ del\ secado = \frac{74.53}{1883.19} * 100$$

$$Rendimiento\ del\ secado = 3.95\%$$

En la tabla 4-4, se detalla los resultados obtenidos en el proceso de secado de los tres lotes de producción para la obtención de coagulante natural.

Tabla 4-4: Resultados obtenidos en el proceso de secado de la pulpa de Tuna.

Número de lote	Entrada de pulpa cortada, g.	Salida de agua retirada, g.	Salida de pulpa seca, g.	Rendimiento, %.
Lote 1	1883.19	1808.66	74.53	3.95
Lote 2	981.6	913.3	68.3	6.95
Lote 3	1716.69	1644.4	72.29	4.21

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

4.1.2.1.4. Molienda y Tamizado

4.1.2.1.4.1. Molienda

Para la molienda de la pulpa seca, se utilizó un molino de tornillo sin fin en el cual se introdujo la pulpa seca y el molino trabajo por aproximadamente media hora, hasta que se redujo el tamaño, el balance de masa se realizó de acuerdo al procedimiento del epígrafe 3.2.1.3., de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$E_{ps} - S_r = S_{pm}$$

Donde:

Eps: Masa de entrada de pulpa seca, g.

Sr: Masa de residuos, g.

Spm: Masa de salida de pulpa molida, g.

Lote 1:

$$S_{pm} = 74.53 - 1.89$$

$$S_{pm} = 72.64$$

De acuerdo con esto el rendimiento del proceso de molienda será igual a:

$$\text{Rendimiento del secado} = \frac{\text{Salida de pulpa molida}}{\text{Entrada de pulpa seca}} * 100$$

$$\text{Rendimiento del secado} = \frac{72.64}{74.53} * 100$$

$$\text{Rendimiento del secado} = 97.46\%$$

En la tabla 5-4, se detalla los resultados obtenidos en el proceso de molienda de los tres lotes de producción para la obtención de coagulante natural.

Tabla 5-4: Resultados obtenidos en el proceso de molienda de la pulpa seca de Tuna.

Número de lote	Entrada de pulpa seca, g.	Salida de residuos, g.	Salida de pulpa molida, g.	Rendimiento, %.
Lote 1	74.53	1.89	72.64	97.46
Lote 2	68.3	1.43	66.87	97.90
Lote 3	72.29	7.13	65.16	90.14

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

4.1.2.1.4.2. Tamizado

Para el tamizado de la pulpa molida, se utilizó un tamiz de luz de malla igual a 450 µm con su respectiva base y tapa que asegura que el polvo obtenido sea fino para que se pueda disolver al momento del proceso de coagulación y floculación, el balance de masa se realizó de acuerdo al procedimiento del epígrafe 4.1.2.1.3., de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$E_{pm} - (S_t - P_t) = S_{pf}$$

Donde:

E_{ps} : Masa de entrada de pulpa molida, g.

S_t : Masa del tamiz más polvo grueso, g.

P_t : Masa de tamiz vacío, g.

S_{pf} : Salida de polvo fino, g.

Lote 1:

$$S_{pf} = 72.64 - (339.45 - 313.53)$$

$$S_{pf} = 46.72$$

De acuerdo con esto el rendimiento del proceso de tamizado será igual a:

$$\text{Rendimiento del secado} = \frac{\text{Salida de polvo fino}}{\text{Entrada de pulpa molida}} * 100$$

$$\text{Rendimiento del secado} = \frac{46.72}{72.64} * 100$$

$$\text{Rendimiento del secado} = 64.32\%$$

En la tabla 6-4, se detalla los resultados obtenidos en el proceso de tamizado de los tres lotes de producción para la obtención de coagulante natural.

Tabla 6-4. Resultados obtenidos en el proceso de tamizado del polvo grueso de Tuna.

Número de lote	Entrada de pulpa molida, g.	Salida de polvo grueso, g.	Salida de polvo fino, g.	Rendimiento, %.
Lote 1	72.64	25.92	46.72	64.32
Lote 2	66.87	14.63	52.24	78.12
Lote 3	65.16	16.22	48.94	75.11

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

4.1.2.1.5. Extracción

Para el proceso de extracción del pigmento se utilizó etanol al 96% por un tiempo aproximado de 7 horas en un equipo de extracción de Soxhlet, se extrajo el pigmento ya que puede transferir el color al agua a ser tratada en la presente investigación, el balance de masa se realizó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$S_{\text{coagulante}} = E_{\text{pf}} + E_s - S_{\text{sr}} - S_p$$

Lote 1:

$$S_{\text{coagulante}} = 46.72 + \left(450 \text{ ml} * \frac{0.812 \text{ g}}{1 \text{ ml}}\right) - \left(450 \text{ ml} * \frac{0.812 \text{ g}}{1 \text{ ml}}\right) - 5$$

$$S_{\text{coagulante}} = 41.72$$

De acuerdo con esto el rendimiento del proceso de extracción será igual a:

$$\text{Rendimiento del secado} = \frac{\text{Salida de coagulante}}{\text{Entrada de polvo fino}} * 100$$

$$\text{Rendimiento del secado} = \frac{41.72}{46.72} * 100$$

$$\text{Rendimiento del secado} = 89.29\%$$

En la tabla 7-4, se detalla los resultados obtenidos en el proceso de extracción de los tres lotes de producción para la obtención de coagulante natural.

Tabla 7-4: Resultados obtenidos en el proceso de extracción del pigmento de Tuna.

Número de lote	Entrada de polvo fino, g.	Salida de pigmento y grasa, g.	Salida de coagulante, g.	Rendimiento, %.
Lote 1	46.72	5	41.72	89.29
Lote 2	52.24	4.85	47.39	90.71
Lote 3	48.94	4.70	44.24	90.39

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

4.1.2.1.6. Rendimiento del proceso

Para determinar el rendimiento global del proceso de obtención de coagulante a partir de la tuna, se divide la cantidad de coagulante natural y la cantidad de Tuna utilizada, de acuerdo con estos cálculos el rendimiento del proceso se detalla en la tabla 8-4; para los tres lotes de producción.

Tabla 8-4: Resultados del rendimiento del proceso de obtención de coagulante natural por lotes.

Número de lote	Cantidad de Tuna utilizada, g.	Cantidad de coagulante obtenido, g.	Rendimiento, %.
Lote 1	5277.79	41.72	0.8
Lote 2	3368.85	47.39	1.41
Lote 3	5255.57	44.24	0.84

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

4.1.3. Caracterización del coagulante

Para determinar la eficiencia de la coagulación, como primer punto se debe determinar la composición del coagulante natural obtenido, ya que el análisis proximal determinara los porcentajes de compuestos que son necesarios para la coagulación y floculación, debido a que según la revisión bibliográfica el principal compuesto que sirve como coadyuvante en la sedimentación y coagulación para el tratamiento de aguas industriales son los polisacáridos como referente el almidón que contienen las especies vegetales.

Este compuesto permite estabilizar el pH en el agua y por su característica permite formar la aglomeración de las partículas formando flocs, necesarios para la eliminación de los sólidos

suspendidos mediante la sedimentación de los mismos, en la tabla 9-4, se reportan los datos obtenidos del análisis proximal del coagulante natural a partir de la Tuna.

Tabla 9-4: Análisis Proximal del coagulante natural obtenido a partir de la Tuna.

Parámetro	Resultados (%)
Contenido de Humedad	5.75
Contenido de Ceniza	15.36
Contenido de Proteína	11.60
Contenido de Fibra	13.86
Contenido de Grasa	1.28
Contenido de Carbohidratos	52.15

Fuente: Laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal, 2018

Elaborado por: Jorge Vargas, 2018

4.1.4. Caracterización del agua residual inicial

Para evaluar el poder coagulante del producto obtenido, se realizó la caracterización inicial del agua residual obtenida de la industria láctea “Virgen del Cisne” ubicada en el kilómetro 16 de la vía Puyo-Macas provincia de Pastaza, para posteriormente compararla con las características finales del agua después de aplicar el coagulante natural obtenido en la presente investigación.

En la tabla 10-4, se reportan los resultados obtenidos de las propiedades físico-químicas y microbiológicas del agua residual de estudio, comparándolas con la norma ambiental TULSMA Libro VI Anexo 1 Tabla 9, vigente en el Ecuador y que es cumplimiento obligatorio para el área industrial.

Tabla 10-4: Caracterización físico-química y microbiológica del agua residual láctea antes del tratamiento.

Parámetro	Unidades	*Método	Resultados	**Límite Máximo Permisible
pH	Und.	4500-B	4.18	6-9
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	1060	-
Color	Und. Co/Pt	-	3900	Inapreciable en disolución 1/20
Turbiedad	NTU	2130-B	361	-
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	4915	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	2895	100
Solidos Suspendidos	mg/L	2540-D	1525	130
Solidos Totales	mg/L	2540-A	7332	1600
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	microfiltración	2.4x10 ⁶	2000

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos, (2018)

4.1.5. Pruebas de Tratabilidad

Para evaluar la mejor concentración y el volumen de solución añadido para el tratamiento del agua, se realizó un test de jarras a una velocidad constante de agitación de 90 rpm y un tiempo constante de agitación de 30 minutos; comparando tres concentraciones de coagulante natural (1, 1.5 y 2% en peso respectivamente) y diferentes dosis (5, 10, 15, 20, 25, 30 y 35 mL), para lo cual se midió los parámetros color y turbidez, que permiten determinar la dosis óptima de coagulante para el tratamiento del agua residual.

Los datos fueron analizados con el paquete estadístico IBPM SPSS estudiantil y mediante pruebas de normalidad y ajuste de datos se determinó como afecta la dosis y la concentración de coagulante natural en el tratamiento primario del agua residual, determinando así cual es la concentración óptima que permitirá la remoción máxima de los agentes contaminantes.

Los datos que fueron analizados se reportan en la tabla 11-4, en donde se obtuvo el color y la turbidez para las concentraciones y dosificaciones anteriormente mencionadas y que sirvieron para el tratamiento estadístico.

Tabla 11-4: Resultados obtenidos en las pruebas de Tratabilidad.

Concentración de Coagulante, %	Volumen, (mL)	Turbidez, (NTU)	Color, (Co/Pt)
1	5	246	2856
	10	245	2762
	15	243	2761
	20	242	2758
	25	241	2756
	30	240	2755
	35	252	2902
1.5	5	191	2410
	10	188	2408
	15	186	2404
	20	185	2402
	25	182	2399
	30	181	2398
	35	218	2418
2	5	87	1970
	10	85	1940
	15	82	1935
	20	80	1880
	25	80	1881
	30	82	1934
	35	88	1975

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

Tabla 12-4: Porcentaje de remoción de turbidez y color del agua tratada.

Concentración de Coagulante, %	Volumen, (mL)	Porcentaje de remoción de Turbidez, (NTU)	Porcentaje de Remoción de Color, (Co/Pt)
1	5	31.86	26.77
	10	32.13	29.18
	15	32.69	29.21
	20	32.96	29.28
	25	33.24	29.33
	30	33.52	29.36
	35	30.19	25.59
1.5	5	47.09	38.21
	10	47.92	38.26
	15	48.48	38.36
	20	48.75	38.41
	25	49.58	38.49
	30	49.86	38.51
	35	39.61	38.00
2	5	75.90	49.49
	10	76.45	50.26
	15	77.29	50.38
	20	77.84	51.79
	25	77.84	51.77
	30	77.29	50.41
	35	75.62	49.36

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

4.1.5.1. Selección de la concentración adecuada de coagulante

Como primer punto de partida para determinar la eficiencia del coagulante natural, se debe determinar cuál es la concentración que mejores resultados presente en la prueba de Tratabilidad, para lo cual se realizó una comparación entre tres distintas concentraciones y se evaluó el porcentaje de remoción de turbidez y de color, ya que mediante estas pruebas se puede apreciar cual va a ser el impacto que tenga el coagulante en el tratamiento de aguas residuales.

Para el porcentaje de remoción de la turbidez, se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 13-4 y en el gráfico 1-4.

Tabla 13-4: Resultados estadísticos a la prueba porcentaje de remoción de la turbidez.

		Concentración	Estadístico	Error estándar	
TURBIDEZ	1.00%	Media	32.3700	.42538	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	31.3291	
			Límite superior	33.4109	
		Media recortada al 5%	32.4272		
		Mediana	32.6900		
		Varianza	1.267		
		Desviación estándar	1.12546		
		Mínimo	30.19		
		Máximo	33.52		
		Rango	3.33		
		Rango intercuartil	1.38		
		Asimetría	-1.324	.794	
		Curtosis	1.903	1.587	
		1.50%	Media	47.3271	1.33458
	95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	44.0615	
			Límite superior	50.5927	
	Media recortada al 5%		47.6152		
	Mediana		48.4800		
	Varianza		12.468		
	Desviación estándar		3.53097		
	Mínimo		39.61		
	Máximo		49.86		
	Rango		10.25		
	Rango intercuartil		2.49		
	Asimetría		-2.265	.794	
	Curtosis		5.467	1.587	
	2.00%		Media	76.8900	.34197
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	76.0532	
			Límite superior	77.7268	
		Media recortada al 5%	76.9078		
Mediana		77.2900			
Varianza		.819			
Desviación estándar		.90477			
Mínimo		75.62			
Máximo		77.84			
Rango		2.22			
Rango intercuartil		1.94			
Asimetría		-.397	.794		
Curtosis	-1.723	1.587			

Realizado por: Jorge Vargas, 2018.

De acuerdo con los datos obtenidos se reporta que los datos según la prueba de Shapiro-Wilk, reportaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01^{**}$) entre medias, lo cual indican la interacción que se da entre la concentración y el porcentaje de remoción, analizando los datos estadísticos se presenta que para la concentración de 1% las medias fueron iguales a 32.3700% con un error estadístico de ± 0.42 , una mediana igual a 32.69% y un valor de desviación estándar igual a 3.53.

Para la concentración de 1.5% se reportaron medias iguales a 47.3271% con un error estadístico igual a ± 0.34197 , un valor de mediana igual a 48.48% y una desviación estándar igual a 3.53; mientras que para las pruebas a la concentración de 2% se reportaron medias iguales a 76.89%, con un error estándar igual a ± 0.34197 , un valor de mediana igual a 77.29% y una desviación estándar igual a 0.9047.

De los resultados obtenidos el mayor porcentaje de remoción de la turbidez se obtiene al realizar el test de jarras con el 2% de coagulante natural, ya que se pudo apreciar una remoción de turbidez aproximada a 76.89% y con lo cual el agua quedó parcialmente clarificada apreciándose una disminución en el contenido de sólidos disueltos que no permiten el paso de la luz.

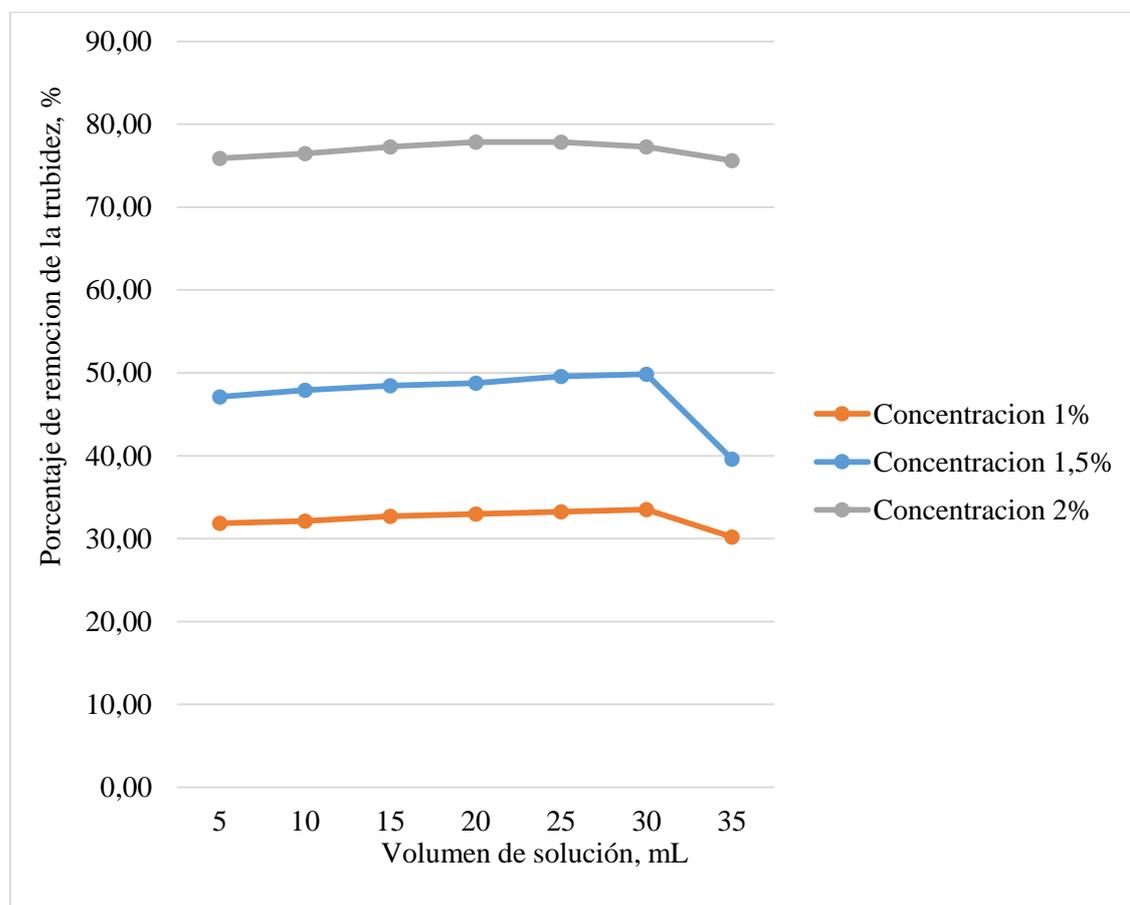


Gráfico 1-4: Porcentaje de remoción de la turbidez a diferentes concentraciones de coagulante natural.

Realizado por: Jorge Vargas, 2018.

En la tabla 14-4, se resume los datos estadísticos que se obtuvieron para la prueba porcentaje de remoción de color a diferentes concentraciones de coagulante natural y permitirán la selección de la concentración óptima a adicionar en el tratamiento de aguas residuales.

Tabla 14-4: Resultados estadísticos a la prueba porcentaje de remoción del color.

	Concentración		Estadístico	Error estándar	
Color	1.00%	Media	28.3886	.58508	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	26.9569	
			Límite superior	29.8202	
		Media recortada al 5%	28.4901		
		Mediana	29.2100		
		Varianza	2.396		
		Desviación estándar	1.54798		
		Mínimo	25.59		
		Máximo	29.36		
		Rango	3.77		
		Rango intercuartil	2.56		
		Asimetría	-1.425	.794	
		Curtosis	.399	1.587	
	1.50%	Media	38.3200	.06775	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	38.1542	
			Límite superior	38.4858	
		Media recortada al 5%	38.3272		
		Mediana	38.3600		
		Varianza	.032		
		Desviación estándar	.17926		
		Mínimo	38.00		
		Máximo	38.51		
		Rango	.51		
		Rango intercuartil	.28		
		Asimetría	-.881	.794	
		Curtosis	.408	1.587	
	2.00%	Media	50.4943	.36764	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	49.5947	
			Límite superior	51.3939	
		Media recortada al 5%	50.4853		
		Mediana	50.3800		
		Varianza	.946		
		Desviación estándar	.97267		
Mínimo		49.36			
Máximo		51.79			
Rango		2.43			
Rango intercuartil		2.28			
Asimetría		.447	.794		
Curtosis		-1.155	1.587		

Realizado por: Jorge Vargas, 2018.

De lo reportado anteriormente se discute que los datos según la prueba estadística de Shapiro-Wilk las respuestas presentaron diferencias estadísticas ($P < 0.01^*$) entre medias, para el 1% de coagulante natural se reportó medias iguales a 28.3886% con un error estadístico igual a ± 0.58508 , un valor de mediana igual a 29.21% y una desviación estándar igual a 1.54.

Para la concentración de 1.5% se reportaron medias iguales a 38.32%, con un error estadístico igual a ± 0.06775 , un valor de mediana igual a 38.36% y un valor de varianza igual a 0.032, para la concentración de 2% se reportaron medias iguales a 50.49%, con un error estadístico igual a ± 0.36 , con un valor de mediana igual a 50.38% y una desviación estándar igual a 0.97267.

De los resultados obtenidos se interpreta que para la prueba color la mejor dosificación es la de 2%, ya que se apreció una disminución de color en una tasa de 50.38%, lo cual es indicativo de la capacidad que tiene el coagulante para eliminar los sólidos disueltos y totales que se encuentran en el agua residual.

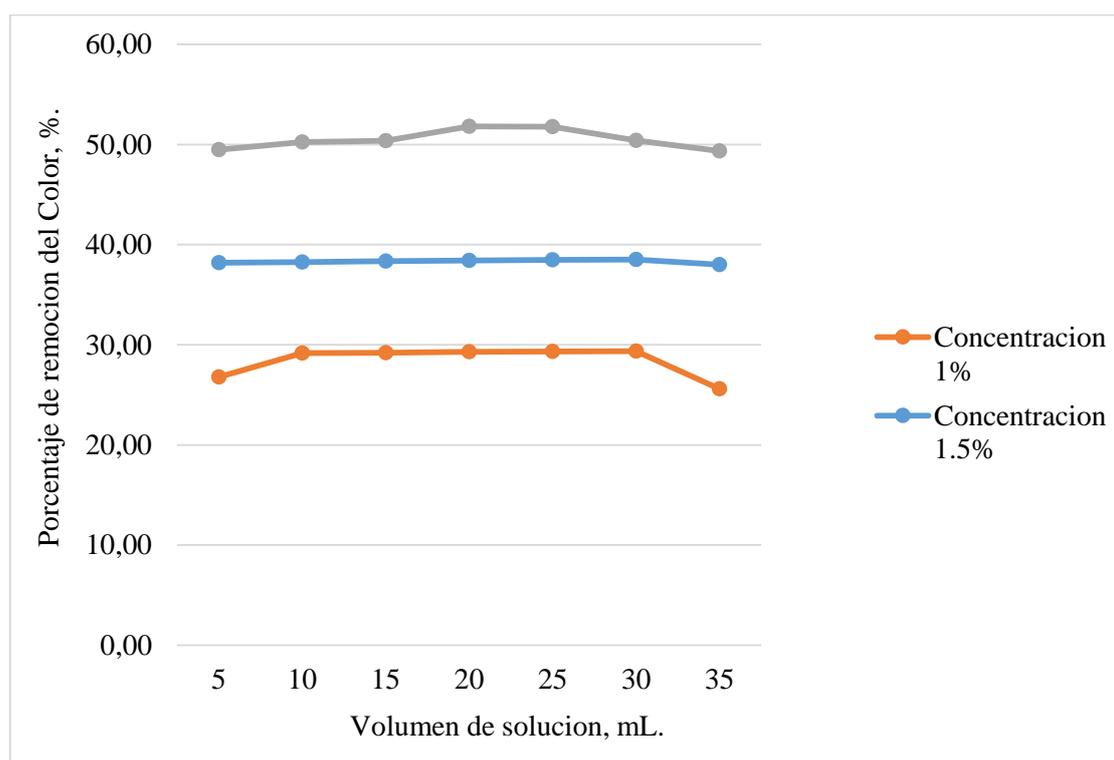


Gráfico 2-4: Porcentaje de remoción del color a diferentes concentraciones de coagulante natural.

Realizado por: Jorge Vargas, 2018.

Tabla 15-4: Prueba de normalidad de datos para la remoción de Turbidez y Color del agua tratada con el coagulante natural.

Pruebas de normalidad							
	Kolmogorov-Smirnova				Shapiro-Wilk		
	Concentración	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico
Porcentaje de remoción del Color, %.	1.00	.410	7	.001	.685	7	.003
	1.50	.160	7	.200*	.932	7	.564
	2.00	.249	7	.200*	.873	7	.197
Porcentaje de remoción de la Turbidez, %.	1.00	.183	7	.200*	.896	7	.310
	1.50	.330	7	.020	.704	7	.004
	2.00	.242	7	.200*	.889	7	.270

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Realizado por: Jorge Vargas, 2018.

4.1.5.2. Selección del volumen adecuado de coagulante

Con los resultados obtenidos en el epígrafe 4.1.5.1., se realizó la evaluación de diferentes volúmenes de coagulante natural al 2%, para determinar a qué volumen se logra la mayor remoción de color y turbidez, los resultados para el porcentaje de remoción de turbidez se reportan en la tabla 16-4 y en el gráfico 3-4.

Tabla 16-4: Resultados obtenidos del porcentaje de remoción de la turbidez aplicando diferentes volúmenes de coagulante al 2%.

Volúmen, mL.	% Remoción de Turbidez	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada
5	75,90	0,14	0,14
10	76,45	0,14	0,28
15	77,29	0,14	0,43
20	77,84	0,15	0,57
25	77,84	0,15	0,71
30	77,29	0,14	0,86
35	75,62	0,14	1,00

Realizado por: Jorge Vargas, 2018.

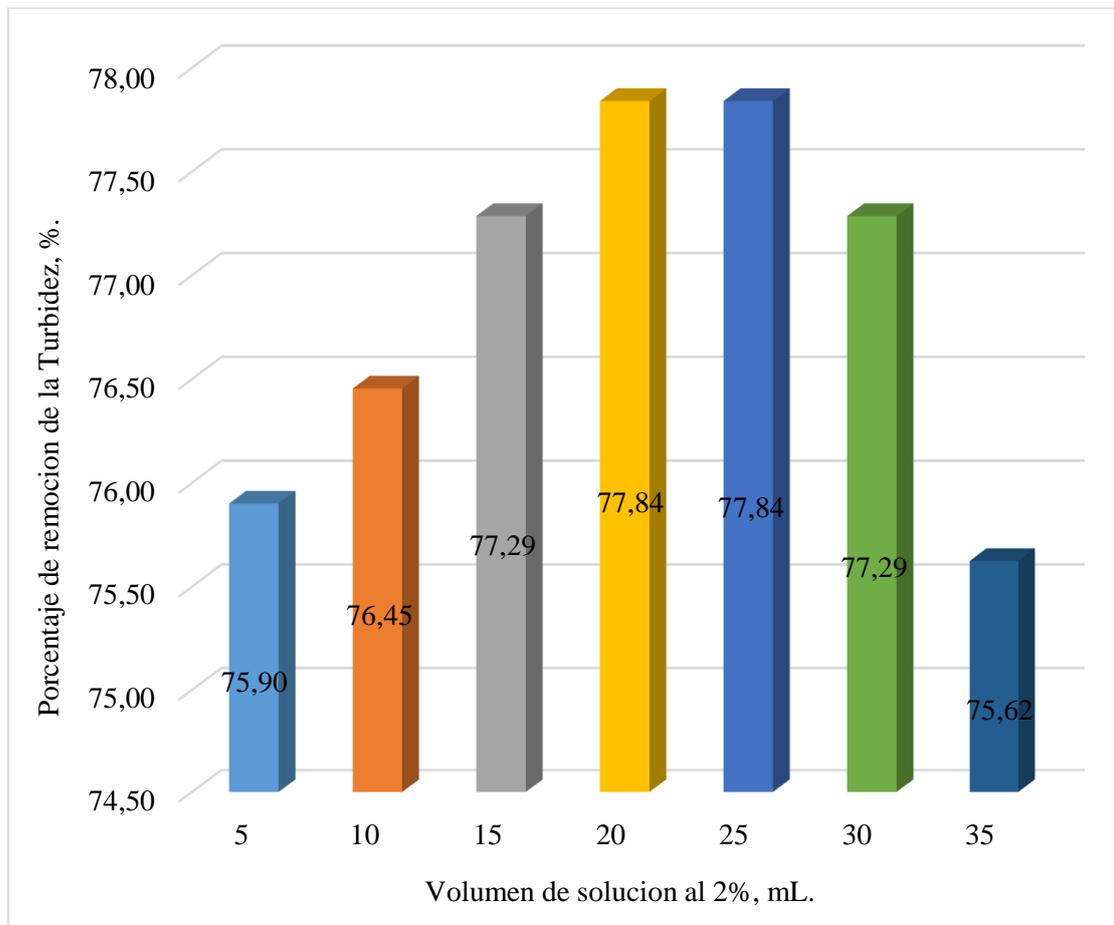


Gráfico 3-4: Porcentaje de remoción de turbidez a diferentes volúmenes de coagulante natural.

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

Analizando los resultados reportados a la presente prueba, se determinó que para un volumen de 20 mL y 25 mL de solución a una concentración de 2% de coagulante ya que reporto valores iguales a 77.84% con una frecuencia relativa igual a 0.15 que fue ligeramente superior a los otros volúmenes de solución analizados.

Se escoge para la remoción de turbidez el volumen de 20 mL, ya que en comparación a 25 mL se tendrá que adicionar menor cantidad de coagulante natural obteniendo similares resultados, lo que ocasiona un ahorro en el tratamiento primario de las aguas residuales siendo económicamente viable.

Al dosificar con menores volúmenes al establecido en el párrafo anterior, no se logra una coagulación y floculación total, generándose menor cantidad de flocs y como resultado una deficiente remoción de turbidez, mientras tanto que al adicionar un volumen mayor de coagulante

se tiene interferencias por los componentes insolubles del producto (fibra) produciendo un aumento al parámetro turbidez.

En la tabla 17-4 y en el gráfico 4-4, se reportan los resultados obtenidos para la prueba porcentaje de remoción de color a diferentes volúmenes de coagulante, este parámetro fue representativo para seleccionar la dosificación correcta de coagulante en el tratamiento primario del agua residual.

Tabla 17-4: Resultados obtenidos del porcentaje de remoción del color aplicando diferentes volúmenes de coagulante al 2%.

Volúmen, mL.	% Remoción del color	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada
5	49,49	0,14	0,14
10	50,26	0,14	0,28
15	50,38	0,14	0,42
20	51,79	0,15	0,57
25	51,77	0,15	0,72
30	50,41	0,14	0,86
35	49,36	0,14	1,00

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

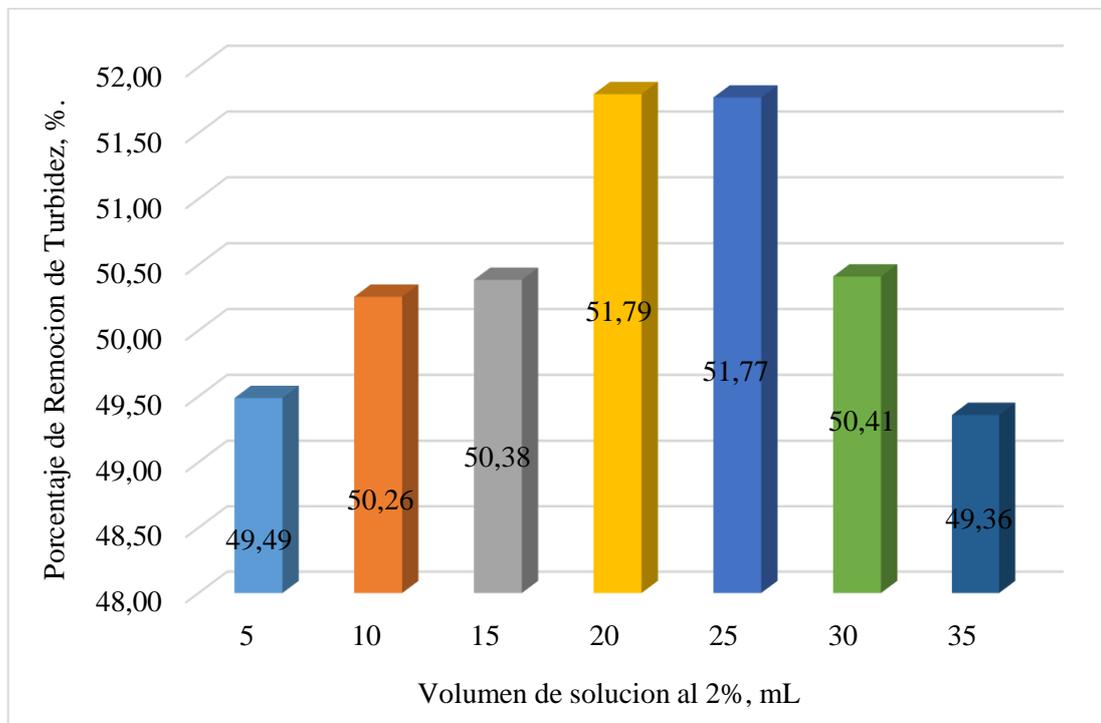


Gráfico 4-4: Porcentaje de remoción del color a diferentes volúmenes de coagulante natural.

Realizado por: Jorge Vargas, 2018.

De los resultados obtenidos a la prueba remoción del color, se interpreta que, para el volumen de 20 ml, se reporta la mejor respuesta con un valor de remoción igual al 51.79% y con una frecuencia relativa de 0.15, por lo que la dosificación adecuada para disminuir el color del agua residual, será igual a 20 mL de una solución de coagulante natural al 2%.

4.1.6. Caracterización físico-química y microbiológica del agua residual láctea tratada

En la tabla 18-4, se describe la caracterización físico-química y microbiológica del agua residual láctea después del tratamiento después de aplicar la dosis adecuada de coagulante natural encontrada, con el fin de evaluar la eficiencia del coagulante, mediante la comparación de las características iniciales y finales del agua.

Tabla 18-4: Caracterización físico-química y microbiológica del agua residual láctea tratada.

Parámetro	Unidades	*Método	Resultados	**Límite Máximo Permisible
pH	Und.	4500-B	5.32	6-9
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	980	-
Color	Und. Co/Pt	-	1880	Inapreciable en disolución 1/20
Turbiedad	NTU	2130-B	80	-
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	4230	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	2120	100
Solidos Suspendidos	mg/L	2540-D	1052	130
Solidos Totales	mg/L	2540-A	5400	1600
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	microfiltración	<1000	2000

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos, (2018)

Como se aprecia en los resultados después de la coagulación y floculación utilizando el coagulante natural obtenido a partir de la tuna, la disminución en los parámetros físico-químicos es representativa pero el agua después del tratamiento no logra cumplir con el límite máximo permisible por la norma ecuatoriana TULSMA Libro VI Anexo 1 Tabla 9 en ningún parámetro.

Para las características microbiológicas el agua después del tratamiento logra cumplir con los parámetros establecidos en la norma anteriormente mencionada, ya que el límite máximo permitido es de 2000 UFC/100 mL, siendo el valor obtenido <1000 UFC/mL; por lo que para asegurar la calidad microbiológica del agua residual únicamente se debe realizar el tratamiento con coagulante natural.

4.1.7. Evaluación de la eficacia del coagulante natural obtenido a partir de la Tuna

4.1.7.1. Eficiencia en el ajuste del parámetro pH

Tabla 19-4: Determinación de la eficiencia en el ajuste del parámetro pH del agua residual láctea.

Parámetro	Medición Antes de aplicar el tratamiento	Medición después de aplicar el tratamiento	Valor Máximo Permisible	Eficiencia, (%)
pH	4,18	5,32	6	27,27

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

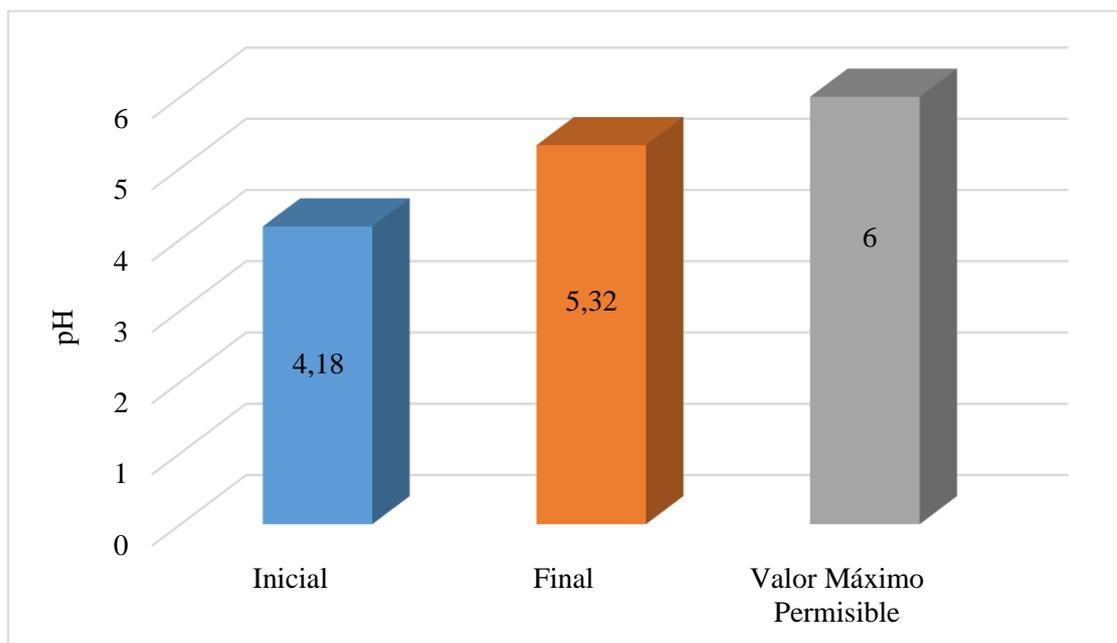


Gráfico 5-4: Determinación de la eficiencia en el ajuste del parámetro pH del agua residual láctea.

Realizado por: Jorge Vargas, 2018.

Para el parámetro pH partiendo de una medición inicial previa al tratamiento igual a 4.18 se logró ajustar el pH a 5.32 después del tratamiento con el coagulante natural reportando una eficiencia al parámetro ajuste de pH igual a 27.27% y que logro respuestas finales cercanas al valor mínimo permisible por la norma que para pH indica que el agua para descarga a un cuerpo de agua dulce debe tener un pH igual a 6.

4.1.7.2. Eficiencia en la reducción del parámetro conductividad

Tabla 20-4: Determinación de la eficiencia en la reducción del parámetro conductividad del agua residual láctea

Parámetro	Medición Antes de aplicar el tratamiento	Medición después de aplicar el tratamiento	Valor Máximo Permissible	Eficiencia, (%)
Conductividad, μ Siems/cm	1060	980	-	7.55

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

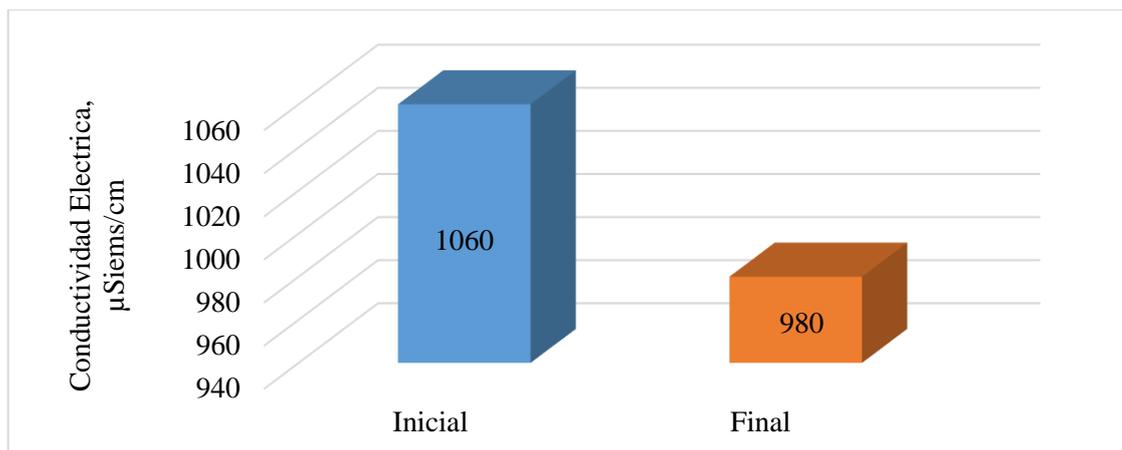


Gráfico 6-4: Determinación de la eficiencia en la reducción del parámetro conductividad del agua residual láctea.

Realizado por: Jorge Vargas, 2018.

En el análisis de los resultados obtenidos al parámetro conductividad eléctrica se reportó que partiendo de un valor inicial igual a 1060 $\mu\text{Siems/cm}$ previo al tratamiento del agua residual, después del tratamiento con el coagulante natural se reportaron medias iguales a 980 $\mu\text{Siems/cm}$, logrando una eficiencia del tratamiento igual a 7.55% por lo que para la presente prueba reporta un rendimiento bajo.

4.1.7.3. Eficiencia en la reducción de los parámetros color y turbidez

Tabla 21-4: Determinación de la eficiencia en la reducción de los parámetros color y turbidez del agua residual láctea.

Parámetro	Medición Antes de aplicar el tratamiento	Medición después de aplicar el tratamiento	Valor Máximo Permisible	Eficiencia, (%)
Color, Co/Pt.	3900	1880	Inapreciable en solución 1/20	51,79
Turbidez, NTU.	361	80	-	77,84

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

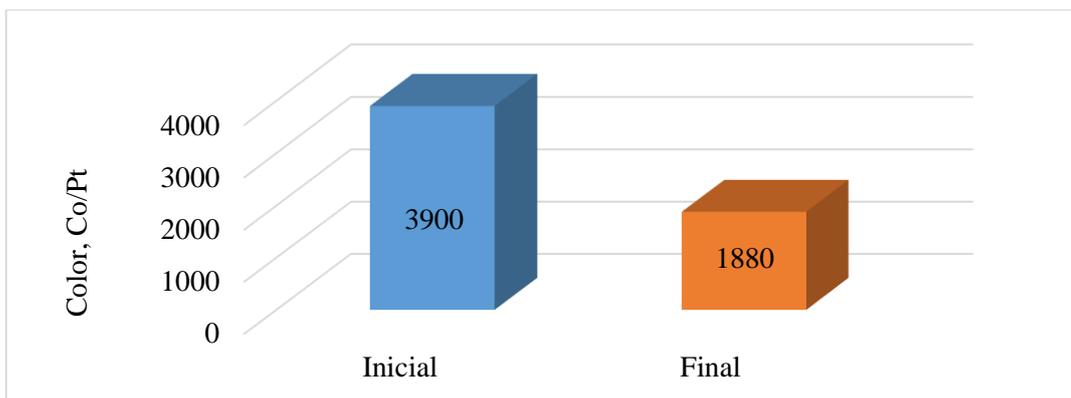


Gráfico 7-4: Determinación de la eficiencia en la reducción del parámetro color del agua residual láctea.

Realizado por: Jorge Vargas, 2018.

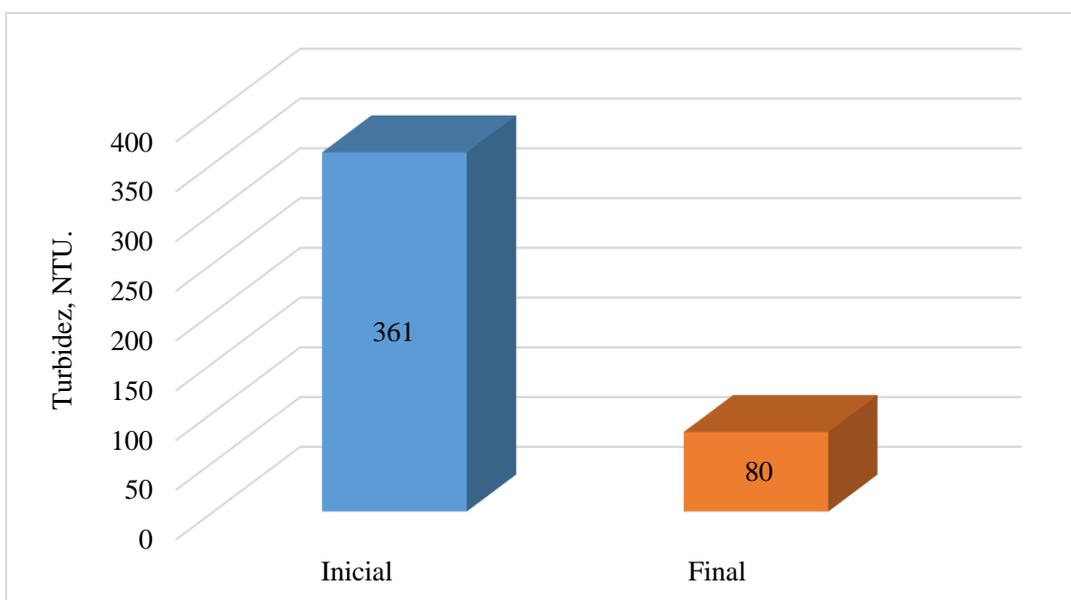


Gráfico 8-4: Determinación de la eficiencia en la reducción del parámetro turbidez del agua residual láctea.

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

En el análisis del parámetro color se partió de un valor inicial igual a 3900 Co/Pt (agua residual antes del tratamiento) y al realizar la coagulación-floculación con el coagulante obtenido en la presente investigación se obtuvo un valor igual a 1880 Co/Pt reportándose una eficiencia en el tratamiento primario en la presente prueba de 51.79%.

Para la prueba turbidez se partió de un valor inicial igual a 361 NTU (agua residual antes del tratamiento) y después de la aplicación del coagulante natural para el tratamiento del agua se obtuvo un valor final igual a 80 NTU obteniéndose una eficiencia para este parámetro igual a 77.84%.

4.1.7.4. Eficiencia en la reducción del parámetro Demanda Química de Oxígeno

Tabla 22-4: Determinación de la eficiencia en la reducción del parámetro demanda química de Oxígeno del agua residual láctea.

Parámetro	Medición Antes de aplicar el tratamiento	Medición después de aplicar el tratamiento	Valor Máximo Permisible	Eficiencia, (%)
Demanda Química de Oxígeno, mg/L	4915	4230	200	13,94

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

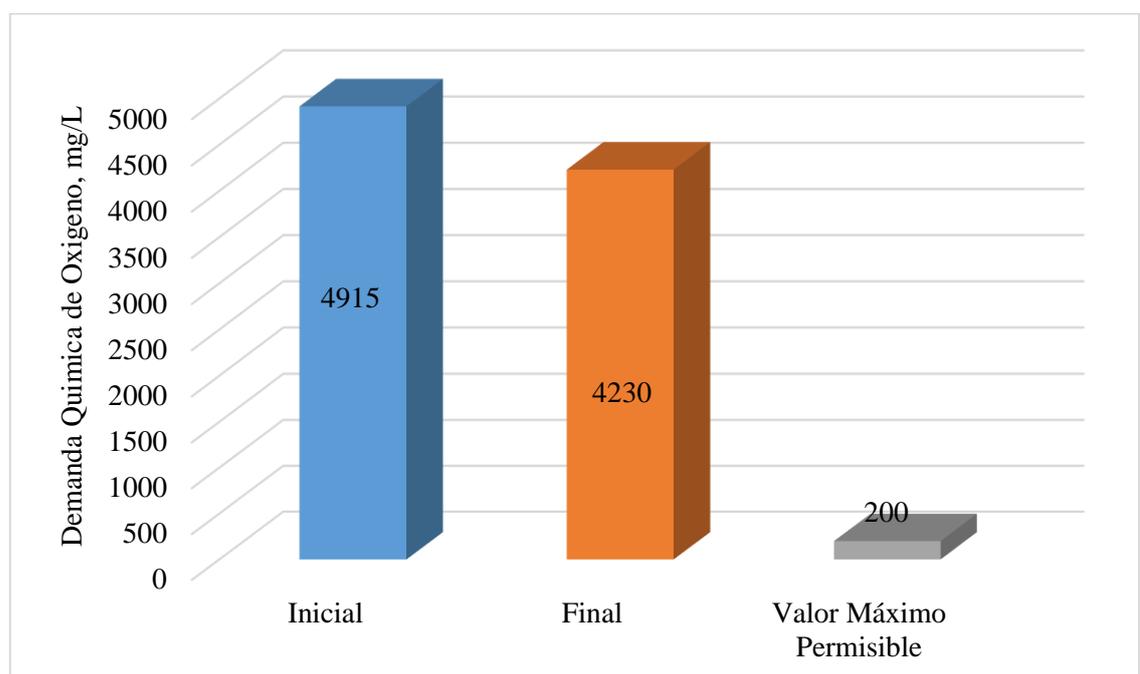


Gráfico 9-4: Determinación de la eficiencia en la reducción del parámetro demanda química de Oxígeno del agua residual láctea.

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

En el análisis de los resultados obtenidos en el tratamiento del agua residual en la industria láctea “Virgen del Cisne” para la prueba demanda química de oxígeno (DQO) antes de la aplicación del coagulante natural se reportaron valores iguales a 4915 mg/L, mientras que después de la aplicación del coagulante natural se reportaron valores iguales a 4230 mg/L obteniéndose una eficiencia igual a 13.94%.

4.1.7.5. Eficiencia en la reducción del parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno

Tabla 23-4: Determinación de la eficiencia en la reducción del parámetro demanda bioquímica de Oxígeno del agua residual láctea.

Parámetro	Medición Antes de aplicar el tratamiento	Medición después de aplicar el tratamiento	Valor Máximo Permissible	Eficiencia, (%)
Demanda Bioquímica de Oxígeno, mg/L	2895	2120	100	26,77

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

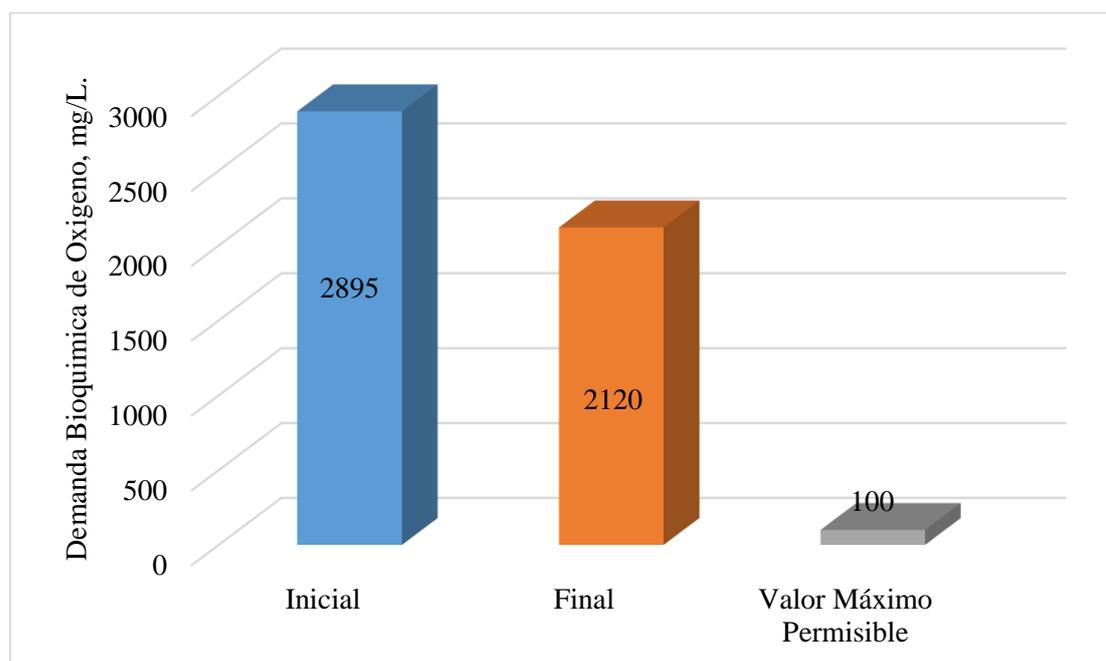


Gráfico 10-4: Determinación de la eficiencia en la reducción del parámetro demanda bioquímica de Oxígeno del agua residual láctea.

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

Para la prueba demanda bioquímica de Oxígeno (DBO₅) antes y después de aplicar un coagulante natural obtenido a partir de la tuna se reportaron valores iguales a 2895 mg/L y 2120 mg/L respectivamente obteniéndose una eficiencia igual a 26.77% que es alta para un tratamiento primario, pero el agua tratada no logra cumplir con el límite máximo permisible.

4.1.7.6. Eficiencia en la reducción de los parámetros sólidos suspendidos y sólidos totales

Tabla 24-4: Determinación de la eficiencia en la reducción de los parámetros sólidos disueltos y totales del agua residual láctea

Parámetro	Medición Antes de aplicar el tratamiento	Medición después de aplicar el tratamiento	Valor Máximo Permisible	Eficiencia, (%)
Sólidos Suspendidos, mg/L.	1525	850	130	44,26
Sólidos Totales, mg/L.	7332	3400	1600	53,63

Realizado por: Jorge Vargas, 2018

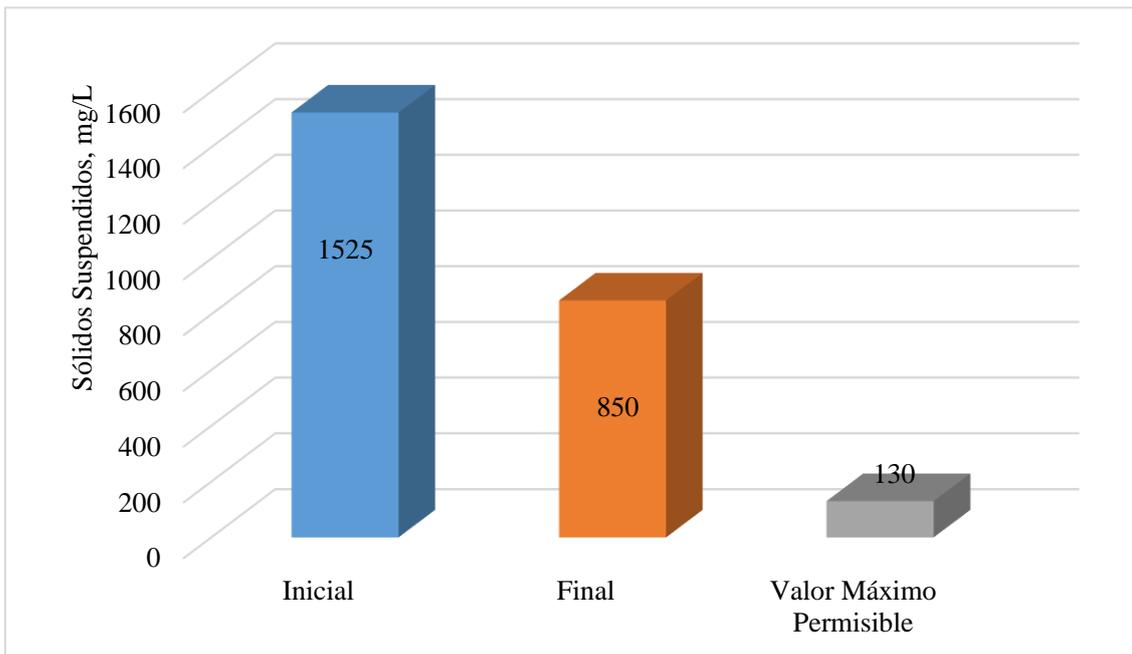


Gráfico 11-4: Determinación de la eficiencia en la reducción de los sólidos suspendidos del agua residual láctea.

Realizado por: Jorge Vargas, 2018.

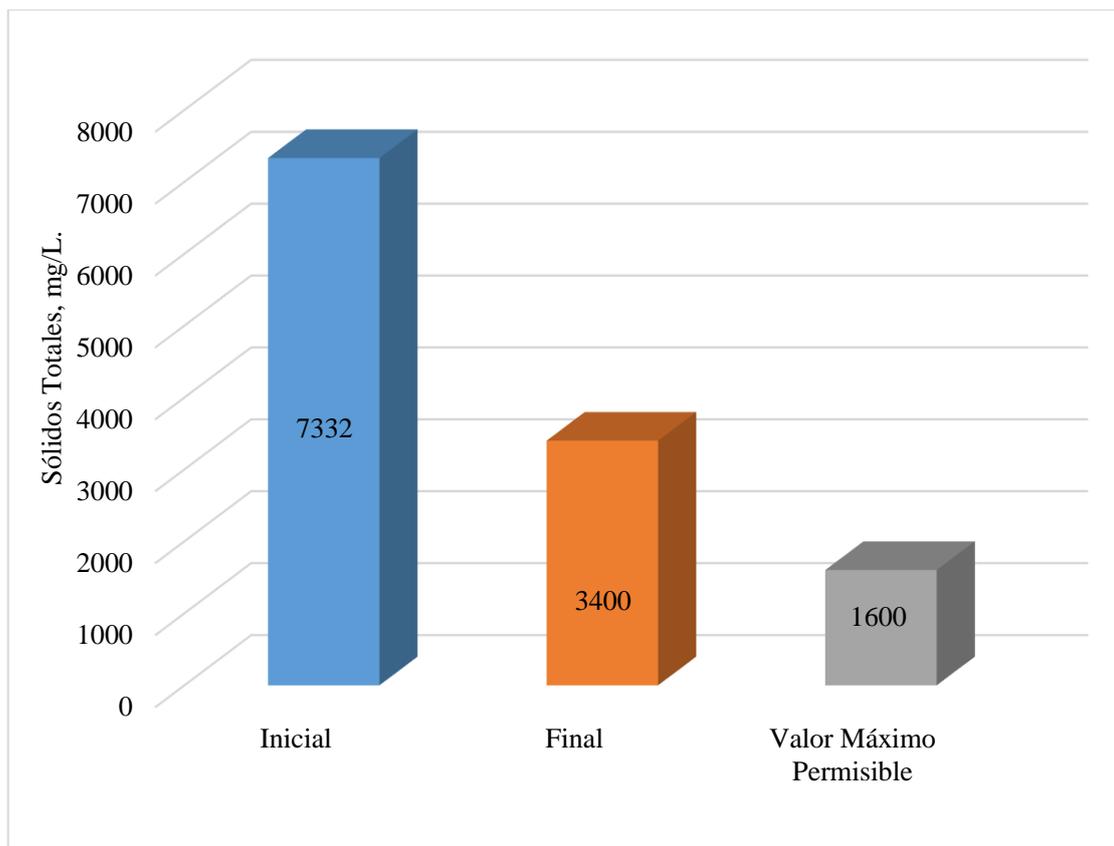


Gráfico 12-4: Determinación de la eficiencia en la reducción del parámetro sólidos totales del agua residual láctea.

Realizado por: Jorge Vargas, 2018.

En la evaluación de los resultados obtenidos a la prueba físico-química sólidos suspendidos del agua antes y después de la aplicación del coagulante natural obtenido a partir de la tuna se reportaron valores iguales a 1525 mg/L y 850 mg/L respectivamente, alcanzando una eficiencia igual a 46.26% que indica que por cada 100 partículas de solidos suspendidos se remueven aproximadamente 50 partículas.

Para la prueba solidos totales antes y después de la adición de coagulante natural se reportaron valores iguales a 7332 mg/L y 3400 mg/L respectivamente, obteniendo una eficiencia en el ajuste del parámetro igual a 53.63% indicando que por cada 100 partículas de solidos que se encuentran en el agua se reducen aproximadamente 55 partículas, dando como resultado respuestas satisfactorias al ajuste de los sólidos totales y suspendidos, sin embargo los resultados de las dos pruebas no están dentro de los límites máximos permisibles.

4.1.7.7. Eficiencia en la reducción del parámetro microbiológico Coliformes Fecales

Tabla 25-4: Determinación de la eficiencia en la reducción del parámetro microbiológico Coliformes Fecales.

Parámetro	Medición Antes de aplicar el tratamiento	Medición después de aplicar el tratamiento	Valor Máximo Permisible	Eficiencia, (%)
Coliformes Fecales, UFC/100 mL	2400000	999	2000	99,96

Realizado por: Jorge Vargas, 2018.

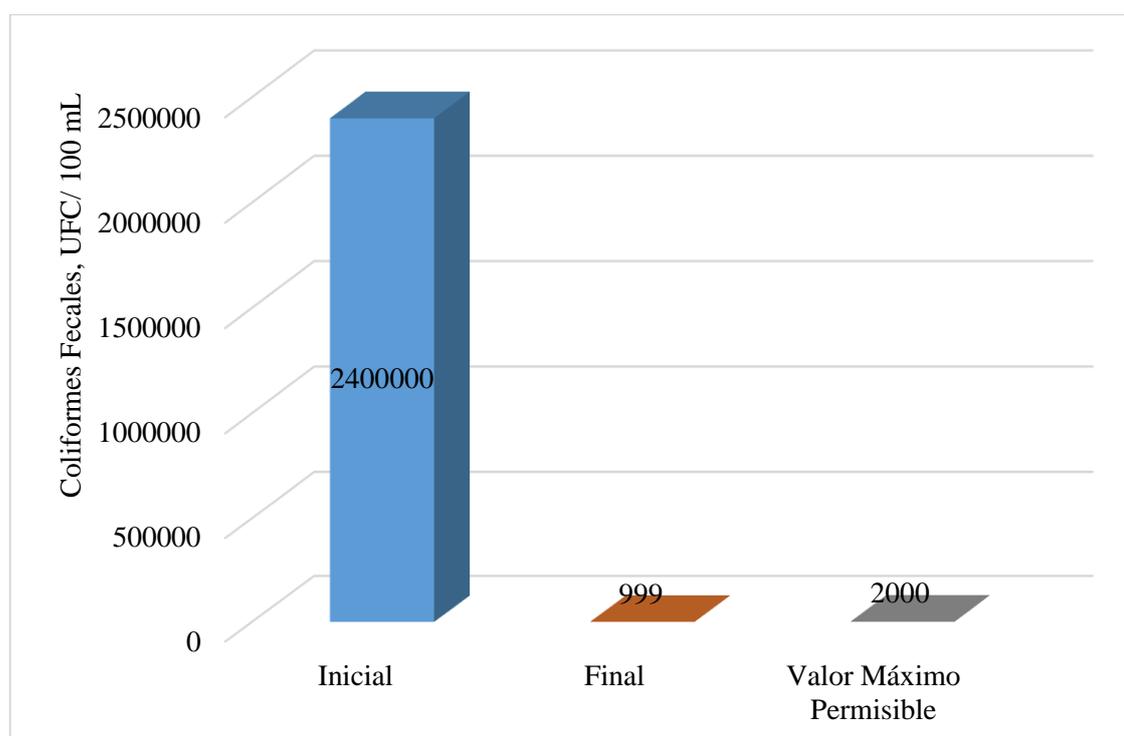


Gráfico 13-4: Determinación de la eficiencia en la reducción del parámetro microbiológico Coliformes fecales del agua residual láctea.

Realizado por: Jorge Vargas, 2018.

Para la prueba microbiológica contenido de Coliformes fecales se evaluó este parámetro antes y después de la adición de coagulante natural se reportaron valores iguales a 2400000 UFC/100 mL y 999 UFC/mL respectivamente alcanzado una eficiencia igual a 99.96% y cumpliendo con los límites máximos permisibles que para el presente caso es igual a 2000 UFC/100 mL, siendo respuestas satisfactorias para evitar un tratamiento microbiológico del agua residual.

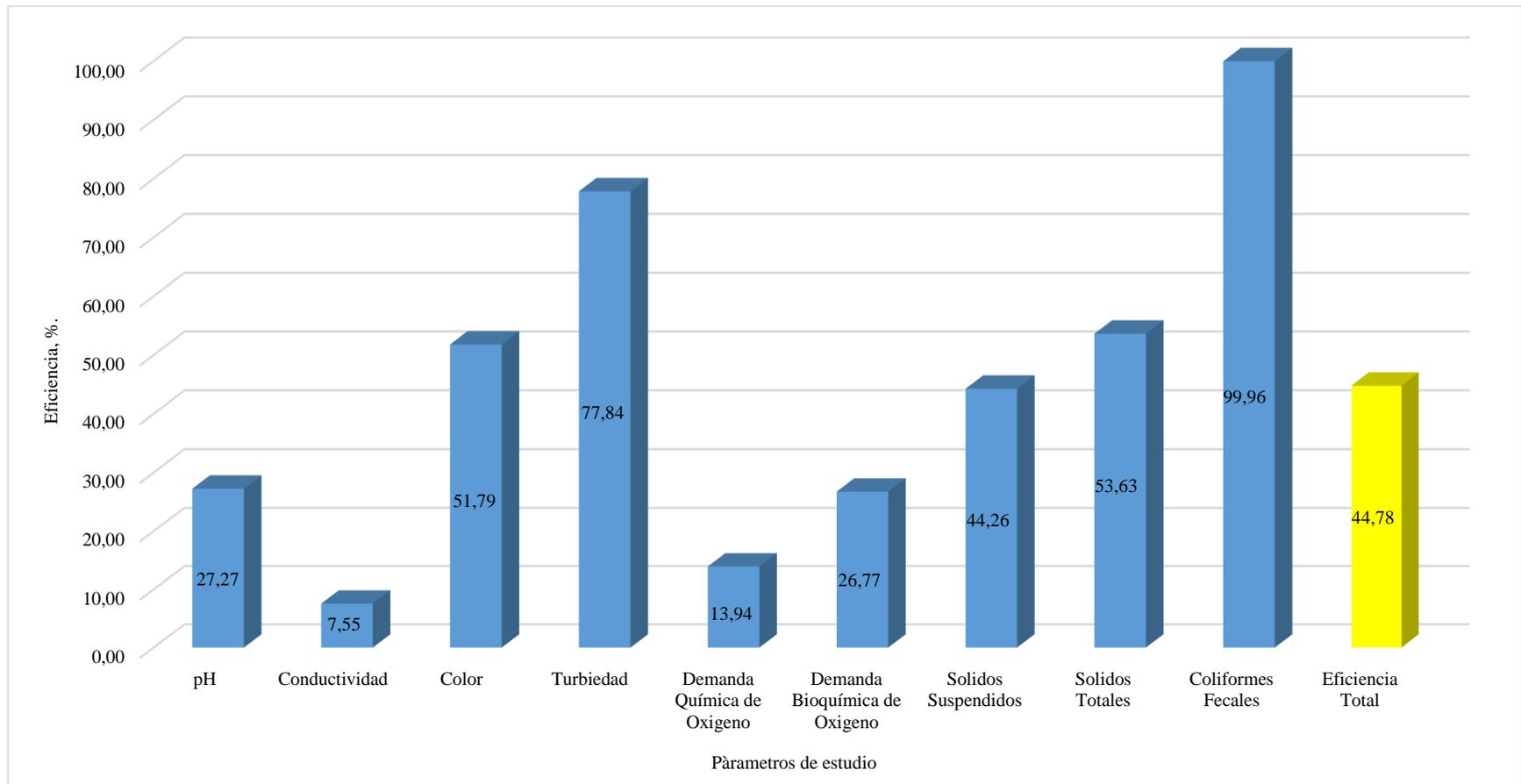


Gráfico 14-4: Determinación de la eficiencia de los parámetros físico-químicos y microbiológicos con el uso del coagulante natural en el agua residual de estudio.

Realizado por: Jorge Vargas, 2018.

4.2. Discusión de los resultados

La caracterización inicial de la materia prima en comparación con los resultados reportados por Gonzales, L. (2012), quien obtuvo valores para el pH igual a 4., así como también la humedad fue igual a 90.23%, los resultados tienen similares valores a los mencionados anteriormente con lo que se puede interpretar que la tuna es de la misma especie ya que cumple con las características iniciales reportadas en bibliografía. Adicional a esto vale destacar que el contenido de calcio y de hierro es mínimo en relación a los componentes activos de la tuna, con lo que no provocaran una interferencia considerable al momento de la aplicación del coagulante en el tratamiento de las aguas residuales de la industria láctea.

El proceso de obtención de coagulante a partir de la Tuna tuvo un rendimiento global medio de 1%, esto se da debido a la cantidad de humedad inicial de la materia prima, pero este gasto energético y las pérdidas de componentes de la penca de la tuna (cascaras, tallos, impurezas) no son considerables en relación a la funcionalidad del coagulante y el aprovechamiento de un cultivo que no es de consumo alimenticio, dando un valor agregado a la Tuna.

El costo de obtención del cultivo será relativamente bajo, el precio del coagulante será inferior al precio de los coagulantes que se encuentran en el mercado (sulfato de aluminio) con la ventaja de que al ser de origen vegetal en comparación con un coagulante de origen inorgánico no causaran un impacto en el agua tratada.

Para la caracterización del coagulante natural se tuvo valores de carbohidratos igual a 52.15% y contenido de proteínas igual a 11.60%, comparando los resultados obtenidos que reporta Villabona, A. (2013) quien obtuvo valores iguales a 58.77% para el contenido de carbohidratos (elemento activo en la coagulación y floculación) y con los resultados reportados por Gonzales, L. (2012), que obtuvo respuestas iguales a 58.77% para el contenido de carbohidratos y para el contenido de proteínas valores iguales a 7.39%.

Los datos de contenido de carbohidratos y proteínas son semejantes a los reportados en las investigaciones recopiladas, y además se puede observar que son los componentes mayoritarios en el coagulante natural obtenido, por lo que se cumple con los requisitos preestablecidos en bibliografía que dictan que los componentes que generaran la coagulación son las proteínas y los carbohidratos.

El efecto de coagulación y floculación se debe a que los polímeros que forman parte de la estructura del coagulante (almidón y celulosa) generan el efecto quelante en los sólidos que se encuentran suspendidos en el agua residual industrial láctea, atrapándolos en su composición por efecto de la diferencia de cargas electrostáticas que para el almidón son positivas (cargas de la amilasa y amilopectina) y para los sólidos son negativas.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el agua residual de la industria láctea “Virgen del Cisne” no cumplen con los requisitos establecidos en la norma técnica, ya que como se puede observar todos los valores de la caracterización físico-química y microbiológica están por encima del límite máximo permisible y no pueden ser descargadas a los cuerpos de agua dulce sin un tratamiento previo.

Esta agua requiere un tratamiento para mitigar su impacto, por lo que es factible para el presente estudio, ya que podremos realizar la coagulación y floculación del agua residual y medir la eficiencia del coagulante natural, mediante la comparación de las características antes del tratamiento y después del tratamiento.

Se afirma que la mejor concentración de coagulante natural para el tratamiento de agua es del 2% ya que obtuvo mejores respuestas para el porcentaje de remoción de color y turbidez, por lo que para la caracterización final del agua se realizó con esta concentración que apreciablemente es la que redujo más la contaminación.

Además según los resultados experimentales, una concentración mayor al 2% de coagulante natural no es viable, ya que por el contenido de fibra insoluble del producto ocasiona la adición de más partículas no sedimentables lo que como resultado reporta un aumento en las pruebas de Tratabilidad del agua, además de que al preparar las soluciones se da una sobresaturación de la solución con lo que la mezcla se vuelve insoluble.

Para los dos parámetros principales en la tratabilidad del agua, el volumen de 20 mL fue superior a los demás volúmenes analizados, ya que a esta cantidad de coagulante se logró una estabilidad de los flocs, permitiendo la mayor remoción de sólidos disueltos y suspendidos, asegurando un tratamiento primario adecuado.

Villabona, A. (2013), obtuvo un porcentaje de remoción de color igual a 50% y 70% de remoción de turbidez con una turbidez inicial de 170.96 NTU y un color inicial de 167.99 Co/Pt. Mientras que Gonzales, L. (2012), obtuvo un porcentaje de remoción de turbidez de 75.76% y de color 50.14% con una turbidez inicial de 159.55 NTU y un color inicial 147.65 Co/Pt. Estas investigaciones fueron realizadas en aguas crudas destinadas a la potabilización.

Comparando con los resultados reportados en el párrafo anterior y los valores obtenidos en la presente investigación se puede verificar que los porcentajes de remoción de color y turbidez de la presente investigación son mayores, añadiendo que en las investigaciones citadas el agua tiene menor grado de contaminación ya que son procedentes de fuentes naturales.

Al lograr una mayor remoción de turbidez y color en aguas de origen industrial (industria láctea) se verifica el poder coagulante del producto obtenido así como también se constata que la dosis adicionada en la prueba de jarras es la correcta, interpretando estos resultados es viable el uso del coagulante natural obtenido a partir de la tuna en aguas con mayor índice de turbidez y color.

Se produce un ajuste en el pH debido a que el agua residual obtenida en la industria láctea “Virgen del Cisne” tiene un pH ácido, como resultado de esto se encuentran gran cantidad de cationes disueltos en el agua, y al realizar la adición del coagulante natural en concentración y volumen adecuado, permite una interacción eléctrica entre las cargas positivas que se encuentran disueltas en el agua y la carga negativa del polímero del coagulante (carbohidratos). Al ajustar el pH se logra neutralizar en gran parte los iones disueltos en el agua, debido a esto se produce la disminución en la conductividad eléctrica presente en el agua residual.

El color y la turbidez son afectadas por la presencia de sólidos suspendidos y disueltos en el agua, dado que estos no permiten el paso de la luz, debido a la alta carga contaminante del agua residual es fundamental que el coagulante que se utilice logre una remoción elevada de los contaminantes.

Al obtenerse una eficiencia aproximada al 51.79% para la remoción del color y remoción de turbidez igual a 77.84%, se visualiza la capacidad que tiene el coagulante obtenido para formar flocs de gran tamaño y gran resistencia, logrando así incorporar la mayor cantidad de contaminantes en las estructuras de los flocs favoreciendo el proceso de sedimentación, como resultado de la remoción de los dos parámetros es natural que los demás parámetros de calidad del agua disminuyan, ya que se elimina en gran cantidad los sólidos que causan la contaminación.

El porcentaje de remoción del parámetro DQO fue bajo, el problema que se produce es que muchos de los contaminantes inorgánicos no reaccionan con los carbohidratos principales constituyentes del coagulante obtenido a partir de la tuna y no se combinan en los flocs, por esta razón para tratamiento de aguas con alto contenido inorgánico no es viable el uso del coagulante natural.

La buena eficiencia reportada para el ajuste del parámetro DBO₅ en la presente investigación, se debe a la naturaleza del coagulante y de los contaminantes, al ser de origen orgánico las moléculas de coagulante natural interacción con las moléculas de contaminantes produciendo un aglomeramiento y aumentando el tamaño de los flocs, generándose así una eliminación considerable de los contaminantes orgánicos reduciendo el DBO₅ después del tratamiento.

Según estudios bibliográficos la tuna tiene la capacidad de eliminar bacterias *E. Coli* y *Salmonella* por lo que es recomendado para el tratamiento de diarreas en humanos, interpretando las respuestas que se obtienen en la presente investigación se puede afirmar que estas propiedades antimicrobianas y antisépticas no se han modificado en los procesos de obtención del coagulante, logrando una remoción igual a 99.96% para el parámetro microbiológico Coliformes fecales.

Analizando los datos obtenidos de la evaluación físico-química y microbiológica del agua residual antes y después de la adición de 20mL de coagulante natural en una concentración del 2% se obtuvo una eficiencia promedio igual a 44.78% generándose así una reducción de los contaminantes y ajustando los parámetros de calidad del agua.

CONCLUSIONES

La eficiencia de la tuna (*Opuntia ficus indica*) como coagulante natural en el tratamiento del agua residual de la industria láctea “Virgen del Cisne” obtuvo un valor promedio igual a 44.78%, siendo los parámetros que mayormente se ajustaron el contenido de Coliformes fecales que alcanzó una remoción igual a 99.96% y el contenido de sólidos totales y suspendido con una remoción igual a 53.63% y 44.26% respectivamente.

En la obtención del extracto producido a partir de la tuna (*Opuntia ficus indica*) se realizó el secado, molienda, tamizado y extracción reportando un valor de rendimiento igual a 1%, un contenido de carbohidratos igual a 52.15%; estos biopolímeros son el componente mayoritario del producto y se les atribuye las propiedades aglutinantes y floculantes.

Los parámetros físico químicos y microbiológicos del agua recolectada en la industria láctea “Virgen del Cisne” no cumplían con los límites máximos permisibles para la descarga en un cuerpo de agua dulce establecidos por la normativa vigente en el Ecuador.

Las pruebas de tratabilidad en el agua residual reportaron que la dosis óptima de coagulante natural fue a una concentración de 2% y un volumen de 20 ml aplicando una de agitación rápida a 90 rpm por 5 minutos y posteriormente a una velocidad de agitación lenta a 20 rpm por 10 minutos con lo que se alcanzó un porcentaje de remoción de la turbidez igual a 77.84% y un porcentaje de remoción del color igual a 51.79%.

Los resultados obtenidos a los parámetros físico-químicos después del tratamiento con la dosis óptima de coagulante natural se encuentran fuera del límite máximo permisible establecido por la norma TULSMA Libro VI Anexo 1 Tabla 9 vigente en el Ecuador, mientras que para el parámetro microbiológico Coliformes Fecales los resultados se encuentran dentro del límite máximo permisible de la norma mencionada.

RECOMENDACIONES

Buscar métodos alternativos de secado de la tuna que permitan reducir el tiempo y el consumo de energía, con lo que se aumentara el rendimiento en la obtención de coagulante natural a partir de la tuna (*Opuntia ficus indica*)

Evitar el uso de pencas de tuna que presenten un grado alto de maduración ya que afectara a los procesos de obtención de coagulante; verificando que las tunas presenten un color verde.

Utilizar equipos de protección personal para la recolección y limpieza de las pencas de la tuna, evitando así accidentes por efecto de la mala manipulación de las pencas debido a la gran cantidad de espinas que contiene.

Desarrollar métodos tecnológicos para la eliminación del contenido de fibra del coagulante natural, con el objetivo de aumentar la eficiencia en la remoción de las propiedades físico-químicas y microbiológicas en aguas residuales industriales.

Probar el desempeño del coagulante natural a partir de la Tuna, en la coagulación y floculación de otros tipos de aguas residuales industriales, y en conjunto con los coagulantes químicos como el sulfato de Aluminio.

BIBLIOGRAFIA

ALCÁZAR, Daniela. Aplicación de un coagulante natural obtenido a partir de la penca de tuna (*Opuntia ficus indica*) para la mejora de la calidad en aguas de consumo en la localidad de Achocalla (Tesis). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. 2015. pp. 34-36.

ALMENDÁREZ, Nabyarina. Depuración de aguas residuales urbanas. *Revista iberoamericana de polimeros*, vol. 5, n^o1 (2004), (Nicaragua) pp. 1-9.

AMAYA, J. El cultivo de la tuna (*Opuntia ficus indica*). Trujillo-Perú: Gerencia regional agraria La Libertad, 2009, pp. 6-8.

ANDÍA, Y. Tratamiento de agua: coagulación-floculación [En línea]. Ecuador: SEDAPAL, 2000. [Consulta: 01 de abril 2018]. Disponible en: http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154.

ARBOLEDA, J. *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Colombia : ACODAL, 1992. pp. 20-30.

DELGADILLO, A; et al. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación, *Revista scielo*, vol. 44, n^o 5 (2011), (Mérida) pp. 5-14.

DÍAZ, A; et al. A preliminary evaluation of turbidity removal by natural. *Process Biochemistry*, vol. 35, n^o12 (1999), (Venezuela) pp. 391-395.

DOMINGUEZ, Maria. Optimización de coagulación-floculación en la planta de tratamiento de agua potable de la sede recreacional Campoalegre-Cajasan (Tesis). (Ingeniería). Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia. 2010. pp. 14-18.

El COMERCIO. La tuna cuatro variedades se produce en el país. [En línea]. Quito-Ecuador, 2011. [Consulta: 03 abril 2018]. Disponible en: <http://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/tuna-cuatro-variedades-se-producen.html>.

ESPIGARES, M; et al. Aguas residuales composición. *Universidad de Granada*, vol.2,n^o3 (2011), (Granada) pp. 2-18.

GUERRERO D. y GUAMIALAMA V. Efecto de los preparados enzimáticos Pectinex Ultra Sp-L y Amilase AG 300L en la obtención de pulpa de tuna de castilla (*Opuntia ficus indica*). (Tesis). (Ingeniería). UTN, Costa Rica. 2006. pp. 21-38.

JIMÉNEZ, J; et al. Evaluación de la tuna (*Opuntia cochenillifera*) para la remoción del color en agua potable. *Tecnología en marcha*, vol. 25, n^o4 (2012), (Costa Rica) pp.55-62.

METCALF Y EDDY. *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización.* Madrid-España: McGraw Hill, 1995. pp. 41-95.

NATIONAL SMALL FLOWS CLEARINGHOUSE. Small community wastewater issues. *Pipeline*, vol. 8, n^o2 (1997), (Morgantown) pp. 1-8.

NDABIGENGESERE, A; et al. “Active agents and mechanism of coagulant of turbid waters using *Moringa oleifera*”, *Water Research* vol. 29, n^o 2 (1995), (Chile). pp. 703-710.

OEFA. *Aguas residuales* [En línea]. Perú: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2014. [Consulta: 30 de marzo 2018]. Disponible en: http://www.oefa.gob.pe/2014?option=com_jevents&task=month.calendar&catid=52&month=08&Itemid=118.

OJEDA, Lizabeth. Determinación de la eficiencia de las características coagulantes y floculantes del *Tropaeolum Tuberosum*, en el tratamiento del agua cruda de la planta de Puengasí de la EPMAPS (Tesis). Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. 2012. pp. 26-36

OROZCO, Alvaro. *Bioingeniería de aguas residuales.* Colombia: ACODAL, 2005. pp.14-26.

OROZCO, Carmen; et al. *Contaminación ambiental. Una visión desde la química.* Madrid-España : Paraninfo S.A, 2011. p. 66.

RAMALHO, R. *Tratamiento de aguas residuales.* 2^a ed. Sevilla-España: Revete S.A, 2003. pp. 22-56.

RIVAS, M. Cactáceas de Costa Rica. San José-Costa Rica: EUNED, 1998, p. 33

ROMERO, J. *Calidad del Agua.* 2^a ed. Bogotá-Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000. pp. 452-468.

ROMERO, J. *Tratamiento de aguas residuales, Teoría y principios de diseño.* Bogotá-Colombia : Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004. pp. 635-657.

SAINZ, Juan. *Tecnologías para la sostenibilidad. Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales.* Madrid-España: Fundación EOI, 2007. p. 38.

TOBIAS, H. Jorge. Medida de la erosión y escorrentía con diferentes prácticas de conservación de suelo en el cultivo de tuna (*Opuntia* sp) en comunidad de Chante (cuena del río Seco-subcuena del río Rímac). (Tesis). (Ingeniería). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 1990. p.28

TRAPOTE, Arturo. *Depuración de aguas resicuales urbanas:* Alicante-España: Publicaciones de la Universidad de Alicante, 2013. pp. 15-21.

VALENCIA, M. *La industria láctea en Ecuador* [En línea]. Ecuador: Industria Alimenticia, 2007. [Consulta: 30 de marzo 2018]. Disponible en: <https://www.industriaalimenticia.com/articles/85533-la-industria-lactea-en-ecuador>.

VEGA, Tanya. Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para el cantón Archidona de la Provincia de Napo (Tesis). ESPOCH, Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 34-56.

VILLABONA, Ángel; et al. Caracterización de la opuntia ficus-indica. , *Revista Colombiana de Biotecnología*, vol. 15, nº1 (2013), (Colombia) pp. 137-144.

ANEXOS

Anexo A: Resultados de la caracterización de la materia prima (tuna).

	CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO Panamericana Sur Km. 1 %, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Teléfono: (03) 3013183																									
INFORME DE ENSAYO No:	Q-004-18																									
ST:	002- 18 ANÁLISIS DE QUÍMICOS																									
Nombre Peticionario:	NA																									
Atn:	Jorge Vargas																									
Dirección:	Ciudadela Juan Montalvo Riobamba-Chimborazo																									
FECHA:	25 de Enero del 2018																									
NUMERO DE MUESTRAS:	1																									
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2018/01/15 - 11:40																									
FECHA DE MUESTREO:	2018/01/15 - 07:30																									
FECHA DE ANÁLISIS:	2018/01/15 - 2018/01/25																									
TIPO DE MUESTRA:	Perca de la tuna																									
CÓDIGO CESTTA:	LAB-Q 004-18																									
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	NA																									
PUNTO DE MUESTREO:	Facultad de zootecnia																									
ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico-Químico																									
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	NA																									
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:	T máx.:25,0 °C. T mín.: 15,0 °C																									
RESULTADOS ANALÍTICOS:																										
<table border="1"><thead><tr><th>PARÁMETROS</th><th>MÉTODO/NORMA</th><th>UNIDAD</th><th>RESULTADO</th><th>VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Potencial de Hidrógeno</td><td>Potenciométrico</td><td>Unidades de pH</td><td>4,51</td><td>-</td></tr><tr><td>Humedad</td><td>Gravimétrico</td><td>%</td><td>93,95</td><td>-</td></tr><tr><td>Calcio</td><td>Absorción Atómica</td><td>%</td><td>0,0092</td><td>-</td></tr><tr><td>Hierro</td><td>Absorción Atómica</td><td>%</td><td>0,00078</td><td>-</td></tr></tbody></table>	PARÁMETROS	MÉTODO/NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)	Potencial de Hidrógeno	Potenciométrico	Unidades de pH	4,51	-	Humedad	Gravimétrico	%	93,95	-	Calcio	Absorción Atómica	%	0,0092	-	Hierro	Absorción Atómica	%	0,00078	-	
PARÁMETROS	MÉTODO/NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)																						
Potencial de Hidrógeno	Potenciométrico	Unidades de pH	4,51	-																						
Humedad	Gravimétrico	%	93,95	-																						
Calcio	Absorción Atómica	%	0,0092	-																						
Hierro	Absorción Atómica	%	0,00078	-																						
OBSERVACIONES:																										
<ul style="list-style-type: none">Muestra, receptada en el laboratorio.Tuna (Coagulante)																										
RESPONSABLE DEL INFORME:	 Dr. Mauricio Alvarez RESPONSABLE TÉCNICO																									
																										
Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio. Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados.																										
MC01-16	Página 1 de 1 Edición 0																									

Anexo B: Resultados de la caracterización del coagulante natural obtenido a partir de la Tuna.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
 FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
 LABORATORIO DE BROMATOLOGIA Y NUTRICION ANIMAL



HOJA DE REPORTE DE RESULTADOS

1.- DESCRIPCION DE LA MUESTRA

PARAMETROS	P.T
CODIGO	
MUESTRA	POLVO DE TUNA (<i>Opuntia ficus-indica</i>), USADO COMO COAGULANTE NATURAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.
ESTADO DE LA MUESTRA	SOLIDO
NOMBRE DE LA MUESTRA	POLVO DE TUNA
FECHA DE INICIO DE LOS ANÁLISIS EN EL LABORATORIO	09-04-2018
LUGAR DE MUESTREO	ESPOCH – LAB. DE BROMATOLOGIA Y NUTRICION ANIMAL.
FECHA DE MUESTREO	09-04-2017
ANALISIS SOLICITADO	% HUMEDAD % CENIZAS % PROTEINA % FIBRA % GRASA % CARBOHIDRATOS

2.- RESULTADOS

- ANALISIS PROXIMAL

Tabla. Nº1.- ANALISIS PROXIMAL DEL POLVO DE TUNA.

PARAMETROS	RESULTADOS (%)
HUMEDAD	5,75
CENIZA	15,36
PROTEINA	11,60
FIBRA	13,86
GRASA	1,28
CARBOHIDRATOS	52,15

*Nota. Los resultados están expresados en base seca.

REALIZADO POR: Tesista Jorge Antonio Vargas.

FUENTE. LABORATORIO DE BROMATOLOGIA Y NUTRICION ANIMAL

DIRIGIDO POR: B.Q.F. ALICIA ZAVALA

ATENTAMENTE.

B.Q.F. ALICIA Z.



TECNICO RESPONSABLE DEL LAB. DE BROMATOLOGIA Y NUTRICION ANIMAL-ESPOCH

FECHA DE ENTREGA: 2018-04-23

Anexo C: Resultados de la caracterización físico-química y microbiológica del agua residual láctea antes del tratamiento.

ESPOCH

LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba-Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES

Análisis solicitado por: Jorge Antonio Vargas Escobar

Fecha de Análisis: 02-04-2018

Tipo de muestras: Agua Residual Láctea Inicial

Localidad: Industria láctea "Virgen del Cisne", km 16 vía Puyo-Macas, Provincia de Pastaza

TRABAJO DE TITULACIÓN

MUESTRA 1

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
pH	Und.	4500-B	4.18
Conductividad	μ Siems/cm	2510-B	1060
Color	Und. Co/Pt		3900
Turbiedad	NTU	2130-B	361
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	4915
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	2895
Sólidos Suspendidos	mg/L	2540-D	1525
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	7332
Coliformes Fecales	UFC/100mL	microfiltración	2.4×10^6

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Anexo D: Resultados de la caracterización físico-química y microbiológica del agua residual láctea después del tratamiento.

ESPOCH

LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba-Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES

Análisis solicitado por: Jorge Antonio Vargas Escobar

Fecha de Análisis: 02-04-2018

Tipo de muestras: Agua Residual Láctea tratada con Coagulante de Tuna

Localidad: Industria láctea "Virgen del Cisne", km 16 vía Puyo-Macas, Provincia de Pastaza

TRABAJO DE TITULACIÓN

MUESTRA 1

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
pH	Und.	4500-B	5.32
Conductividad	μ Siems/cm	2510-B	980
Color	Und. Co/Pt		1880
Turbiedad	NTU	2130-B	80
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	4230
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	2120
Sólidos Suspendidos	mg/L	2540-D	850
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	3400
Coliformes Fecales	UFC/100mL	microfiltración	<1000

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



Anexo E: TULSMA Libro VI Anexo 1 Tabla 9.

TABLA 9. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color real ¹	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendedos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1.600
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	1000
Sulfuros	S ⁻²	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

¹ La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida

Anexo F: Obtención del extracto a partir de la Tuna

a)



b)



c)



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA Elaborado por: Jorge Antonio Vargas Escobar	Proceso de obtención del extracto a partir de la Tuna.		
a. Retirado de la cutícula. b. Pulpa de la Tuna. c. Cortado de la pulpa.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		LÁM:	ESC:	FECHA:
			01	A4	04-05-2018

Anexo G: Obtención del extracto a partir de la Tuna.

d)



e)



f)



g)



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA Elaborado por: Jorge Antonio Vargas Escobar	Proceso de obtención del extracto a partir de la Tuna.		
d. Secado. e. Pulpa seca. f. Molienda de la pulpa seca. g. Tamizado.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		LÁM:	ESC:	FECHA:
			02	A4	04-05-2018

Anexo H: Obtención del extracto a partir de la Tuna

h)



i)



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA Elaborado por: Jorge Antonio Vargas Escobar	Proceso de obtención del extracto a partir de la Tuna.		
h. Extracción del pigmento y grasa.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		LÁM:	ESC:	FECHA:
i. Coagulante natural.			03	A4	04-05-2018

Anexo I: Recolección del agua residual.

j)



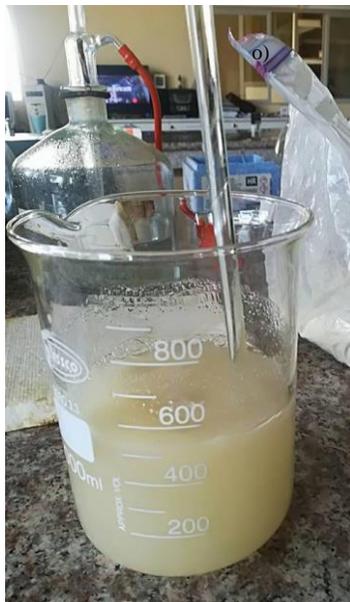
k)



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA Elaborado por: Jorge Antonio Vargas Escobar	Recolección del agua residual de la industria láctea “Virgen del Cisne”		
j. Agua residual de la Industria láctea “Virgen del Cisne”. k. Recolección del agua residual láctea.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		LÁM:	ESC:	FECHA:
			04	A4	04-05-2018

AnexoJ: Proceso de coagulación y floculación.

d)



m)



n)



NOTAS:

- l. Preparación de las soluciones a diferentes concentraciones.
- m. Filtración de las soluciones.
- n. Agua residual láctea inicial.

CATEGORIA DEL DIAGRAMA:

- Aprobado
- Certificado
- Información
- Preliminar
- Por aprobar
- Por calificar

**ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DE
CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA
QUIMICA**

Elaborado por:
Jorge Antonio Vargas Escobar

Proceso de coagulación y floculación.

LÁM:	ESC:	FECHA:
05	A4	04-05-2018

Anexo K: Proceso de coagulación y floculación.

o)



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	<p align="center"> ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA Elaborado por: Jorge Antonio Vargas Escobar </p>	Proceso de coagulación y floculación.		
o. Agua residual láctea tratada con el coagulante de tuna al 2%. . .	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		LÁM:	ESC:	FECHA:
			06	A4	04-05-2018