



UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ

DIRECCIÓN DE POSTGRADO, COOPERACIÓN Y RELACIONES

INTERNACIONALES

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE:

MAGISTER

EN GESTIÓN AMBIENTAL

TEMA:

EFECTO DE UN COAGULANTE NATURAL PARA LA REMOCIÓN DE LA
TURBIDEZ DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CANTÓN CHONE,
TERCER TRIMESTRE DEL AÑO 2018

AUTOR:

ING. VIVIANA ALEXANDRA DELGADO MENDOZA

TUTOR:

ING. CARLOS MOREIRA MENDOZA, Mg.

CHONE – MANABÍ - ECUADOR

2018

UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ
DIRECCIÓN DE POSTGRADO, COOPERACIÓN Y RELACIONES
INTERNACIONALES

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Informe de Investigación, sobre el tema: **“EFECTO DE UN COAGULANTE NATURAL PARA LA REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CANTÓN CHONE, TERCER TRIMESTRE DEL AÑO 2018”**, de la Ing. Viviana Alexandra Delgado Mendoza, maestrante del programa de maestría en Gestión Ambiental.

.....
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

.....
TUTOR

.....
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación certifico que:

He dirigido y revisado el trabajo de investigación del tema: “EFECTO DE UN COAGULANTE NATURAL PARA LA REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CANTÓN CHONE, TERCER TRIMESTRE DEL AÑO 2018”, presentado por la Ing. Viviana Alexandra Delgado Mendoza, previo a la obtención del grado de Magister en Gestión Ambiental, mismo que fue elaborado bajo mi dirección, orientación y supervisión, sin embargo el proceso investigativo, los conceptos y resultados son de exclusiva responsabilidad del autor.

Me permito dar a conocer la culminación de este trabajo investigativo, bajo mi aprobación y responsabilidad correspondiente. Considero que el mencionado trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del jurado examinador que la UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ Y LA DIRECCIÓN DE POSTGRADO, COOPERACIÓN Y RELACIONES INTERNACIONALES designen.

ING. CARLOS MOREIRA MENDOZA, Mg.

TUTOR DE TESIS

AUTORÍA DE LA TESIS

La originalidad, conceptualización del trabajo, interpretación de datos, criterios, resultados y conclusiones expuestos en el presente trabajo de investigación, son de absoluta responsabilidad del autor y están sustentados en los autores reconocidos en las citas bibliográficas y web-grafías respectivas.

Ing. Viviana Delgado Mendoza.

MAESTRANTE

Agradecimiento

A la dirección de postgrado, cooperación y relaciones internacionales por la formación académica brindada, por su ímpetu en formar profesionales con mayor preparación para el servicio de la sociedad.

A la carrera de ingeniería química de la Universidad Técnica de Manabí por facilitarme el laboratorio y equipos para la realización de análisis.

A mi director de Tesis Ing. Carlos Moreira Mendoza por su ayuda, orientación y dirección en la realización de esta investigación.

Al Ing. Roberto Salazar, Ing. Kevin Pico y a mi entrañable amiga Ing. Laiza Mieles Cevallos por direccionarme y proporcionarme las herramientas necesarias para la culminación de este trabajo.

Y a cada una de las personas que de manera directa o indirecta formaron parte del camino recorrido para alcanzar esta meta.

Mi infinita gratitud con Uds.

Viviana Delgado Mendoza

Dedicatoria

Con infinito amor dedico este trabajo a los seres más importantes de mi vida:

A esa fuerza intangible pero tan presente, que llena mi vida de fortaleza: Dios.

A mis más grandes ejemplos de integridad, honestidad y trabajo. A los eternos alicientes de mi vida: Mis amados padres Isabel y Evanán.

A esos seres mágicos, manantiales de sabiduría; por tantas enseñanzas y profundas huellas en el alma: Mis abuelos.

A mis memorias de infancia, a los lazos de raíces inquebrantables, a mis mejores cómplices: Leonardo, César y Andrés.

A la ingenuidad de sus ojos inquietos, a la calidez de sus sonrisas, a la alegría desbordante de tenerlos en mi vida: A mis ángeles Aylin, Maximiliano y Heydi.

A la ilusión que alimenta mi espíritu, a ese ser que con amor y paciencia me motiva a reinventarme y prepararme: Mi novio Luis.

A esos seres llenos de amor que también me han acompañado en este lindo transitar de la vida, por creer en mí, por cada palabra de aliento, por el inmenso cariño y respeto. A mi regalo máspreciado: Mi familia.

Viviana Delgado Mendoza

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	EL PROBLEMA.....	18
1.1	Planteamiento del problema	18
1.1.1	Contextualización.....	18
1.1.2	Contexto macro	18
1.1.3	Contexto meso.....	19
1.1.4	Contexto micro.....	21
1.2	Análisis crítico.....	22
1.3	Prognosis	24
1.4	Formulación del problema.....	24
1.5	Delimitación del problema	24
1.5.1	Delimitación de campo	24
1.5.2	Delimitación temporal.....	24
1.5.3	Delimitación espacial	24
1.6	Justificación.....	25
1.7	Objetivos:	26
1.7.1	Objetivo general	26
1.7.2	Objetivos específicos	26
2	MARCO TEÓRICO	27
2.1	Antecedentes.....	27
2.1.1	Estudios del tema que sirven de base para la investigación.....	28
2.2	Fundamento filosófico.....	31
2.3	Fundamento teórico	32
2.3.1	Aguas residuales.....	32
2.3.1.2	Aguas domésticas o urbanas.....	33

2.3.1.3	Aguas industriales	34
2.3.1.4	Aguas residuales mixtas	34
2.3.1.5	Aguas pluviales	34
2.3.1.6	Escorrentías de usos agrícolas y pecuarios.....	35
2.3.2	Parámetros indicadores de contaminación en aguas residuales	35
2.3.2.1	Indicadores químicos.....	35
2.3.2.2	Demanda química de oxígeno (DQO).....	35
2.3.2.3	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	36
2.3.2.4	Materias inhibidoras	36
2.3.2.5	Turbidez y sólidos suspendidos (SS).....	36
2.3.2.6	Nutrientes	37
2.3.2.7	Compuestos nitrogenados.....	37
2.3.2.8	Compuestos de fósforo	37
2.3.2.9	Indicadores físico-químicos.....	37
2.3.2.10	pH.....	37
2.3.2.11	Aceites y grasas	38
2.3.2.12	Conductividad.....	38
2.3.2.13	Indicadores microbiológicos.....	38
2.3.3	Efectos y problemas ocasionados por los vertidos de aguas residuales	39
2.3.3.1	Efectos negativos sobre cauces o medios receptores	39
2.3.3.2	Problemas relacionados con los procesos de tratamiento de los vertidos	39
2.3.4	Tratamiento de aguas residuales	40
2.3.4.1	Recogida y conducción.....	41

2.3.4.2	Pretratamiento de aguas residuales.....	42
2.3.4.3	Tratamiento primario de aguas residuales.....	43
2.3.4.4	Tratamiento secundario de aguas residuales	45
2.3.4.5	Tratamiento terciario de aguas residuales	46
2.3.5	Proceso de coagulación y floculación en las aguas residuales.....	46
2.3.5.1	Importancia de la coagulación y floculación.....	46
2.3.5.2	¿Qué es la coagulación?	50
2.3.5.3	Mecanismos de la coagulación.....	50
2.3.6	Factores que afectan la coagulación.....	54
2.3.6.1	Influencia del pH.....	54
2.3.6.2	Influencia de la temperatura del agua.....	54
2.3.6.3	Influencia de la concentración del coagulante.....	54
2.3.6.4	Influencia de la mezcla.....	55
2.3.6.5	Influencia de la turbiedad	55
2.3.7	Coagulantes convencionales	56
2.3.8	Coagulantes naturales.....	57
2.3.8.1	Descripción del tamarindo (tamarindus indica)	57
2.3.8.2	Características del fruto del tamarindo.....	58
2.3.8.3	Características de la semilla del tamarindo	59
2.4	Fundamento legal	61
2.4.1	Marco legal e institucional.....	61
2.4.2	Constitución de la República del Ecuador	61
2.4.3	Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes	64
2.4.3.1	Recurso agua	64
2.4.3.2	Aguas residuales.....	64

2.4.3.3	Tratamiento convencional para efluentes, previa a la descarga a un cuerpo receptor o al sistema de alcantarillado	65
2.4.3.4	Tratamiento avanzado para efluentes, previo descarga a un cuerpo receptor o al sistema de alcantarillado	65
2.4.3.5	Criterios generales de descarga de efluentes	65
2.4.4	Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua 66	
2.5	Hipótesis	70
3	METODOLOGÍA	71
3.1	Tipo de investigación	71
3.1.1	Método experimental	71
3.2	Población y muestra.	71
3.3	Técnicas de investigación.....	72
3.3.1	Técnica de muestreo simple	72
	Se realizó un muestreo simple o casual. Para el muestreo simple se utilizó:	72
3.3.2	Preparación de test de jarras.....	72
3.4	Operacionalización de las variables	74
3.4.1	Definición de variables	74
3.4.2	Variable dependiente: Remoción de la turbidez del agua residual.	75
3.4.3	Definición variable independiente: Dosis óptima de coagulantes naturales para la reducción de la turbidez en aguas residuales.....	75
3.5	Recolección y tabulación de la información	76
3.5.1	Descripción del área de estudio.....	77
3.5.2	Descripción de la zona de muestreo.....	78
4	DESCRIPCION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS	80
4.1	Descripción de los resultados	80

4.1.1	Proceso de obtención de la harina de tamarindo para preparar el coagulante natural	80
4.1.2	Elección de la harina óptima para la preparación del coagulante natural	82
4.1.3	Efecto de la temperatura en el proceso de obtención del coagulante natural de tamarindo	85
4.1.4	Efecto de salinidad en el proceso de obtención del coagulante natural de tamarindo	87
4.2	Análisis de los resultados	89
4.3	Comprobación de la hipótesis	99
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	100
5.1	Conclusiones.....	100
5.2	Recomendaciones	100
6	PROPUESTA.....	102
6.1	Justificación.....	102
6.2	Fundamentación	103
6.3	Objetivos.....	104
6.3.1	Objetivo general.....	104
6.3.2	Objetivos específicos.	105
6.4	Importancia.....	105
6.5	Ubicación sectorial	106
6.6	Factibilidad.....	106
6.7	Descripción de la propuesta.....	107
6.7.1	Recogida y conducción	108
6.7.2	Pretratamiento de aguas residuales	109
6.7.3	Tratamiento primario de aguas residuales.....	109

6.7.4	Tratamiento secundario de aguas residuales	109
6.7.5	Tratamiento terciario de aguas residuales	110
6.8	Descripción de los beneficiarios.....	110
6.9	Plan de acción.....	110
6.10	Administración	113
6.11	Financiamiento	113
6.12	Presupuesto.....	113
6.13	Evaluación anual	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Tamaño de partículas y proceso de eliminación	47
Tabla 2.	Tipos y características de los coloides	49
Tabla 3.	Composición química de la semilla de tamarindo (en base seca).....	60
Tabla 4.	Definición de variables	74
Tabla 5.	Variable dependiente.....	75
Tabla 6.	Variable independiente	75
Tabla 7.	Análisis de la varianza para la elección de la harina de semillas de tamarindo H1 – H2 – H3 – H4 (SC tipo I).....	76
Tabla 8.	Análisis de la varianza para la elección de la temperatura óptima del agua para preparar el coagulante natural (SC tipo I)	77
Tabla 9.	Análisis de la varianza para la elección de la salinidad para preparar el coagulante natural (SC tipo I)	77

Tabla 10. Tabla de parámetros de las condiciones iniciales del agua residual utilizada para probar el efecto coagulante de las harinas de tamarindo	81
Tabla 11. Dosis de harina de tamarindo H1, H2, H3 Y H4 para la preparación de coagulantes.....	84
Tabla 12. Efecto de la temperatura en la preparación del coagulante de tamarindo	86
Tabla 13. Efecto de la salinidad en la preparación del coagulante de tamarindo .	88
Tabla 14. Test: Tukey para elección de la harina de semillas de tamarindo.....	89
Tabla 15. Pruebas de efectos inter-sujetos para temperatura	91
Tabla 16. Pruebas de efectos inter-sujetos para salinidad.....	93
Tabla 17. Efecto 1 de la concentración de harina de tamarindo en la preparación del coagulante natural	95
Tabla 18. Efecto 2 de la concentración de harina de tamarindo en la preparación del coagulante natural	96
Tabla 19. Análisis físico-químico del agua antes y después del tratamiento.....	98
Tabla 20. Presupuesto para la implementación de la propuesta.....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Escala de potencial de hidrógeno (pH)	38
Fig. 2 Fuerza de atracción y repulsión	51
Fig. 3 Representación esquemática del fenómeno de neutralización de la carga (a) y reestabilización de acompañada de inversión de la carga (b).	52
Fig. 4 Partículas atrapadas en un flóculo.	53

Fig. 5 Partículas atrapadas en un flóculo	53
Fig. 6 Árbol de tamarindus indica.....	58
Fig. 7 Fruto de tamarindus indica	59
Fig. 8 Semillas de tamarindus indica	60
Fig. 9 Equipo de test de jarra PHIPPS & BIRD.....	72
Fig. 10 Turbidímetro HACH 2700N.....	73
Fig. 11 Ubicación de la laguna de oxidación del Cantón Chone	78
Fig. 12 Zona de muestreo.....	79
Fig. 13 Tipo de harina en la preparación del coagulante	90
Fig. 14 Efecto de la temperatura en la preparación del coagulante	92
Fig. 15 Efecto de la salinidad en la preparación del coagulante	94
Fig. 16 Ubicación del sector donde se implementará el sistema de tratamiento de aguas residuales del Cantón Chone.....	106
Fig. 16 Diagrama del sistema de tratamiento de aguas residuales de Chone según la propuesta planteada.....	108

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Potenciómetro OAKTON 700.....	119
Anexo B. Balanza digital	119
Anexo C. Desestabilización de la materia orgánica.....	120
Anexo D. Sedimentación de los coágulos formados.....	120

Anexo E. Coloración de coagulantes a diferentes temperaturas	121
Anexo F. Certificado de calibración del turbidímetro HACH 2100 N	122

Resumen

La presente investigación tiene como propósito evaluar la eficiencia de remoción de la turbiedad en aguas residuales utilizando un coagulante natural elaborado a base de semilla de tamarindus indica que pueda sustituir el uso de los coagulantes tradicionales como sales de hierro y aluminio en los procesos de coagulación-floculación y de esta manera promover una alternativa eficiente, económica, altamente amigable con el medio ambiente y la salud de las personas. Las muestras para realizar el presente estudio se obtuvieron del punto de ingreso de aguas residuales a la laguna de oxidación, procedentes de las 4 estaciones de bombeo con las que cuenta actualmente la ciudad: estación jardines del inca, estación santa marta, estación el vergel, estación amazonas durante el tercer trimestre del año 2018. Inicialmente se analizaron los factores temperatura, salinidad y dosis de harina de semillas de tamarindo para preparar el coagulante óptimo y determinar el mejor tratamiento de las aguas residuales de la laguna de oxidación mediante análisis de test de jarra y turbiedad en el laboratorio de la Carrera de Ingeniería Química de la Universidad Técnica de Manabí y los análisis finales se realizaron en el laboratorio de aguas de la Fabril S.A. Como resultado del estudio, se pudo comprobar que después de la aplicación del coagulante natural la turbiedad se redujo hasta el 77%. Así mismo se logran reducir además de la turbidez valores de demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (BDO), sólidos suspendidos (SS), hierro y sílice.

PALABRAS CLAVES: Coagulación, Turbidez, Coagulante, Tamarindus indica.

Summary

The purpose of this research is to evaluate the efficiency of removal of turbidity in wastewater using a natural coagulant made from tamarindus seed that can substitute the use of traditional coagulants such as iron and aluminum salts in coagulation processes. flocculation and in this way promote an efficient, economic, highly friendly alternative to the environment and the health of people. The samples to carry out the present study were obtained from the point of entry of wastewater to the oxidation lagoon, from the 4 pumping stations that the city currently has: the gardens of the Inca station, santa marta station, el vergel station, amazon season during the third quarter of 2018. Initially the factors temperature, salinity and dose of tamarind seed flour were analyzed to prepare the optimal coagulant and determine the best treatment of the residual waters of the oxidation lagoon by means of test analysis of pitcher and turbidity in the laboratory of the Chemical Engineering Career of the Technical University of Manabí and the final analyzes were carried out in the laboratory of aguas de la Fabril SA As a result of the study, it was found that after the application of the natural coagulant turbidity was reduced to 77%, values of chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BDO), suspended solids (SS), iron and silica are achieved in addition to turbidity.

KEY WORDS: Coagulation, Turbidity, Coagulant, Tamarindus indica.

CAPITULO I

1 EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

1.1.1 Contextualización

La contextualización del problema tiene por objeto encontrar los principales beneficios que tiene un coagulante natural a base de semillas de tamarindo frente a los coagulantes convencionales. El tratamiento de aguas residuales data desde hace varios siglos, lo principal es comprender el origen de la problemática ya que el crecimiento urbanístico e industrial de las ciudades hace que cada vez sea mayor la cantidad de agua que se requiere para suplir las necesidades de los habitantes, por ende se requiere de tratamientos más eficientes y responsables.

1.1.2 Contexto macro

El agua es una fuente inagotable de vida, es utilizada por el hombre desde sus inicios en la tierra para la mayoría de sus actividades. “De acuerdo con los estudios sobre los balances hídricos del planeta solamente el 0,007% de las aguas se encuentran disponibles a todos los usos humanos directos. De esta pequeñísima porción dependen procesos sociales vitales” (Toledo, 2002, pág. 9). A estos procesos se les atribuye el desarrollo y crecimiento estatal, así como también mejoras en la calidad de vida de los habitantes.

Hoy en día mejorar la calidad del agua usada para satisfacer las grandes necesidades del hombre, es imperativo. Se conoce que “más de 6.000 millones de seres humanos, se enfrenta en este comienzo del siglo veintiuno con una grave crisis del agua según el Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo” (Naciones Unidas, 2003, pág. 5). Con el crecimiento de las ciudades a nivel mundial se incrementa el uso del agua, y por ende la contaminación de la misma, la mayoría de las actividades humanas que utilizan agua generan efluentes residuales con un sinnúmero de sustancias

contaminantes como productos de las actividades diarias a nivel industrial y doméstico. Todas las señales parecen indicar que la crisis está empeorando y que continuará haciéndolo, a no ser que se emprenda una acción correctiva.

En América Latina y el Caribe se extraen para usos domésticos y productivos unos 290 mil millones de metros cúbicos de agua al año, lo que equivale al 2,2% de los recursos disponibles (FAO, 2015). El principal uso corresponde a la agricultura de riego, con extracciones que equivalen a un 70% del caudal total extraído. El segundo tipo de aprovechamiento en importancia es el que se realiza para fines domésticos, y que alcanza al 19% del total. Por su parte, los usos mineros e industriales representan el 11% del total (CEPAL & BID, 2018). Es decir que de toda el agua disponible una totalidad de esta, sufre alteraciones de sus parámetros físicos, químicos y biológicos.

Actualmente la región enfrenta un serio problema por la disposición de sus efluentes. A pesar del interés de los países en poner en práctica estos sistemas, la adopción de modelos de gestión ha tenido y tiene una serie de dificultades. Muchas de las entidades creadas han desaparecido o no han logrado avances en términos de gestión integrada del agua por rivalidades interinstitucionales; por conflictos con las autoridades regionales; por haber carecido de recursos financieros, coordinación y base legal adecuados (Jouravlev, 2001).

1.1.3 Contexto meso

Según (Cepal, 2000) hasta 1998 en Ecuador el 36.8% y 41.8% de los hogares tenían cobertura en servicios de agua potable y alcantarillado respectivamente, lo que colocó al País en un nivel intermedio de prestación de este servicio, con relación al resto de países de América Latina. Con el paso de los años, las ciudades incrementaron su población y por ende la cobertura del agua potable creció hasta el 74.3% en el sector urbano, no obstante; este acontecimiento en el consumo de agua potable también ocasiono el incremento de la generación de aguas residuales de diferentes procedencias, lo cual conlleva a la alteración de la

calidad el agua de los cuerpos ocasionando serios problemas en la calidad de los cuerpos naturales receptores de aguas servidas.

Las áreas con más alta contaminación de sus recursos hídricos en el país son: el Golfo de Guayaquil, que incluye los ríos Daule y Babahoyo; cuenca del río Portoviejo y la parte baja de los ríos Chone, Esmeraldas, Cayapas y Santiago; cuenca de los ríos Pindo, Chico y Puyango; en la vertiente Amazónica, las cuencas de los ríos Napo, Pastaza y Zamora; en la región interandina, las áreas de influencia de las ciudades de Quito, Cuenca, Ambato, Loja e Ibarra (Cepal, 2000).

El manejo de la calidad del agua se realiza a través de numerosas instituciones gubernamentales con funciones superpuestas, en medio de un marco legal abundante, pero que no ha proporcionado un sistema efectivo de gestión (Cepal, 2000). Pese a que en Ecuador se han logrado sentar acuerdos y normas que controlen los parámetros correspondientes a cada uso del agua de acuerdo con la Senagua (Secretaría Nacional del Agua), solo el 12% de estas, que se emplean en el consumo humano recibe un tratamiento adecuado previo a su descarga en ríos y quebradas (OMS/UNICEF, 2015). Esto ocurre en gran medida por la falta de conocimiento de los habitantes y autoridades sobre los efectos negativos provocados al medio ambiente. Hay que tomar en cuenta que los cauces naturales tienen la capacidad de depurar de manera natural cierta cantidad de contaminantes presentes, pero el problema surge cuando las cargas son mayores a lo que pudieran soportar los medios receptores.

Las ciudades más pobladas de la provincia de Manabí cuentan con plantas de aguas residuales municipales para el tratamiento de sus efluentes, sin embargo; muchas de estas plantas están fuera de funcionamiento, su capacidad operacional está por debajo de los volúmenes máximos o simplemente presentan sistemas de tratamiento no apropiados, lo que ocasiona verdaderos focos de contaminación a los cauces naturales cuando las aguas residuales son devueltas a ellos.

1.1.4 Contexto micro

El Cantón Chone de la Provincia de Manabí cuenta con un sistema de alcantarillado, cuatro estaciones de bombeo desde donde las aguas residuales generadas en el sector urbano son enviadas a la laguna de oxidación de la Ciudad, Para la aireación cuenta con 4 aireadores de 3 caballos de fuerza (hp), dos reactores con sistema de electrocoagulación, y rejillas de desbaste para la retención de sólidos gruesos.

De acuerdo a datos proporcionados por el Municipio de Chone, llegan hasta la laguna de oxidación procedente de las diferentes estaciones de bombeo 9504 m³/día de aguas residuales. Los tanques reactores tienen la capacidad de tratar 100.000 lt/día equivalentes a 100 m³/día, el agua tratada es devuelta a la laguna de oxidación, durante el día se mantiene el mismo sistema de ingreso y salida, es decir se realiza una dilución de los contaminantes antes de que el producto final sea devuelto al Río Chone. En el centro de la laguna de oxidación se dosifican cantidades diarias de sulfato de aluminio y cal para neutralizar los olores y reducir sólidos suspendidos en las aguas que no ingresan a los reactores.

El cauce receptor es la fuente hídrica más importante del Cantón, desemboca en el océano Pacífico, en un amplio estuario dominado por la península de Bahía de Caráquez. Además provee a la planta potabilizadora de la ciudad, abastece de agua para riego y algunas necesidades domésticas a los sectores aguas arriba (San Antonio, La Segua, etc.). La contaminación causada en el río por la descarga de estos efluentes está reduciendo notablemente la disponibilidad de agua utilizable.

En relación a los datos antes mencionados, el sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Chone presenta un sinnúmero de inconvenientes lo que genera una alta preocupación entre la ciudadanía. Solo un mínimo volumen de agua residual es tratado por electrocoagulación, al contar con una sola laguna de oxidación no se puede garantizar la eficiencia del proceso de coagulación y aun cuando se dosifique sulfato de aluminio en el centro de la laguna, el agua no tiene un tiempo de reposo apropiado; por lo que, se logra disminuir mínimamente el

contenido de sólidos suspendidos y turbiedad pero se atribuye un alto contenido de hierro y aluminio al producto final que es devuelto al cauce natural. Los residuales de hierro y aluminio son procedentes del anión de hierro del proceso de electrocoagulación y del coagulante convencional (sulfato de aluminio) respectivamente.

Tanto la electrocoagulación como el tratamiento de coagulación y floculación convencional tienen como denominador común, un residual de metales presentes que genera serios inconvenientes a la salud humana y especies acuáticas, por lo tanto; se plantea la evaluación de un sistema de coagulación natural que permita reducir los contaminantes de las aguas residuales del Cantón Chone de manera amigable con las personas y la naturaleza.

1.2 Análisis crítico

Ecuador es un país que sufre un serio atraso en cuanto a la disposición de sus aguas residuales, en la mayoría de ciudades se observa un tratamiento primario de los efluentes antes de regresar a los ríos o mares, esto provoca una seria contaminación de los recursos hídricos lo que pone en riesgo la sostenibilidad ambiental.

De acuerdo a datos publicados por La Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL, de los 214 cantones del país, apenas 19 tienen algún tipo de tratamiento (mayoritariamente lagunas de oxidación), (Cepal, 2000). A excepción de las ciudades de Quito y Cuenca, en las demás poblaciones del Ecuador, existe una escasa atención a actividades permanentes de hidrometría e hidrología urbana, las empresas encargadas del manejo del agua potable y el alcantarillado no cuentan con un plan de mantenimiento eficiente, como consecuencia de la falta de atención a los sistemas sanitarios muchas de las plantas de tratamiento de aguas servidas actualmente se encuentran inoperantes o con una disminución en su eficiencia, las principales razones han sido: diseños inadecuados, altos costos de operación y mantenimiento, descuido, desinterés, y

falta de capacitación a los operadores encargados del funcionamiento de equipos y procesos.

Sin embargo, pese a lo antes expuesto y en la búsqueda de técnicas y estrategias que permitan minimizar los problemas existentes, las plantas de tratamiento de aguas residuales optan por utilizar procesos de separación mediante coagulación y floculación ya que estos presentan un alto índice en la reducción de los contaminantes y además un bajo costo. Para este proceso habitualmente se emplean productos químicos como sales de hierro y magnesio u óxidos e hidróxidos de calcio.

Igual que la mayoría de sustancias químicas los coagulantes y floculantes convencionales presentan efectos, entre ellos:

Generación de residuos sólidos contaminantes durante el proceso de tratamiento de las aguas residuales (lodos).

Incremento de desechos no biodegradables.

Aumento en el presupuesto de tratamiento de aguas residuales.

Incumplimiento de las normas de calidad de agua residual antes de ser devuelta a un cauce natural, lo que implica descarga de sustancias contaminantes al cuerpo de agua dulce.; provocando un serio problema de contaminación, generando enfermedades en las personas y muerte de especies.

La electrocoagulación es una tecnología de tratamiento sofisticada basada en electroquímica, la cual ofrece ventajas frente a los tratamientos que utilizan sustancias químicas convencionales, sin embargo; los subproductos de desechos generados en este proceso son altamente contaminantes al medio ambiente, los lodos producidos contienen elevadas concentraciones de hierro y aluminio (dependiendo del material del electrodo de sacrificio utilizado), como otra de las desventajas de la electrocoagulación puede citarse a la reducción de la eficiencia,

ya que al sufrir incrustaciones en el ánodo se obstruye totalmente el paso de la corriente eléctrica, por lo tanto; el tratamiento disminuye su efectividad.

1.3 Prognosis

De no desarrollarse la investigación, se perdería la oportunidad de utilizar sustancias que pueden reemplazar el uso de coagulantes químicos tradicionales por sustancias coagulantes de origen natural mínimamente contaminantes. El problema a investigar es de gran importancia ya que éste estudio permitirá encontrar una alternativa sustentable para la remoción de sólidos suspendidos y turbidez en las aguas residuales del Cantón Chone, además esto aseguraría la reducción de materia orgánica contaminante antes de que el efluente sea descargado al río.

1.4 Formulación del problema

¿El uso de un coagulante natural a base de semillas de tamarindo (*tamarindus indica*) produce una disminución en los niveles de turbidez de las aguas residuales de la laguna de oxidación del Cantón Chone?

1.5 Delimitación del problema

1.5.1 Delimitación de campo

Factores ambientales

1.5.2 Delimitación temporal

El estudio se realizará durante el tercer trimestre del año 2018

1.5.3 Delimitación espacial

Esta investigación se realizará en el cantón Chone-Manabí, se tomará como muestra el agua residual de la laguna de oxidación del cantón Chone.

1.6 Justificación

Las aguas residuales son un problema latente en las ciudades del mundo. El crecimiento urbanístico, industrial y comercial genera una mayor demanda de agua para abastecer los requerimientos de sus procesos, por lo tanto; la cantidad de aguas residuales que deben tratar las ciudades también van en aumento constante.

Al ser el agua un factor importante en el desarrollo humano es necesario trabajar en el cuidado de este recurso, sobre todo en el saneamiento de los efluentes antes de ser devueltos a un cauce natural. “Las aguas residuales típicas contienen materia orgánica que demanda oxígeno para su biodegradación. El trabajo de una planta de tratamiento de efluentes residuales consiste en eliminar estos materiales tanto como sea posible” (Manahan, 2007, págs. 208-209). Es decir, es indispensable que todas las ciudades con un gran número de habitantes, donde el crecimiento sea un factor indicador de desarrollo ya sea comercial, urbanístico o industrial, instalen plantas depuradoras de aguas residuales que garanticen la eficiencia de sus tratamientos para obtener un agua tratada que cumpla con los estándares de calidad nacional.

Para tratar aguas residuales tanto domésticas como industriales una buena alternativa es la coagulación, esta actúa desestabilizando los coloides con ayuda de coagulantes orgánicos e inorgánicos, “siendo los que se usan con mayor frecuencia en el tratamiento químico los de origen inorgánico, concretamente las sales de hierro y aluminio” (Aguilar, Sáez, Lloréns, Soler, & Ortuño, 2002). Sin embargo, frente a la cantidad de beneficios que estas sales ofrecen en el tratamiento de aguas residuales, también presenta desventajas, una de ellas es el residual de elementos metálicos que pueden generar y que se convierte en un problema para las especies acuáticas y el ser humano.

Hoy en día nos vemos en la tarea de desarrollar nuevas técnicas de tratamiento que sean eficaces y amigables con la naturaleza y que también cumplan con un sinnúmero de condiciones favorables entre ellas: bajos costos de producción, uso

de materiales de fácil y rápido acceso, por ello se plantea el uso de coagulantes naturales obtenidos de especies vegetales y animales en sustitución de las sustancias químicas tradicionales.

1.7 Objetivos:

1.7.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de un coagulante natural para la remoción de la turbidez de las aguas residuales del cantón Chone.

1.7.2 Objetivos específicos

- ✓ Obtener un coagulante natural a partir de la semilla de tamarindo “Tamarindus Indica”.
- ✓ Evaluar los factores que influyen en el proceso de coagulación utilizando el coagulante natural de semillas de tamarindo.
- ✓ Determinar la dosis óptima de coagulante natural aplicado en aguas residuales.
- ✓ Realizar una propuesta técnica y económica para la aplicación del coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales.

CAPITULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Hay que tener en cuenta que al arrojar por vías naturales o humanas un desperdicio al agua, se crea un foco de contaminación. Sin embargo; los sistemas acuáticos tienen medios efectivos de hacerle frente a estos agravios. La contaminación en cualquiera de sus formas es cuestión de concentración (Orozco Jaramillo, 2005, pág. 32).

Desde sus primeros asentamientos en la tierra, el hombre ha tenido que hacer frente a los problemas de contaminación del agua. Para ello ha sido necesaria la utilización de técnicas que ayuden en la reducción de los contaminantes. El desarrollo de sistemas de tratamiento de aguas residuales se hizo más evidente en el siglo XX (Henze, Van-Loosdrecht, Ekama, & Damir, 2008). De acuerdo con (Orozco Jaramillo, 2005) la tecnología que se desarrolló en el siglo XX es la conocida como tecnología convencional o aerobia y se consolidó como una tecnología madura en las últimas décadas. En los últimos tiempos se empezó con las mejoras y adaptaciones de sistemas de tratamiento de aguas de acuerdo a las necesidades, al origen y al uso que se le vaya a dar. En la actualidad, conocemos tanto tratamientos anaerobios, como tratamientos aerobios.

Los avances son notorios y hoy en día se conoce que casi un tercio de la población mundial actual –2.100 millones de personas– ha accedido a instalaciones de saneamiento mejoradas desde 1990 (OMS/UNICEF, 2015, pág. 12). Sin embargo; pese a que los índices van en aumento, aún queda mucho por desarrollar en cuanto a técnicas más limpias y amigables con el medio ambiente.

En un mundo lleno de sustancias químicas que ofrecen un sinnúmero de beneficios, la producción de coagulantes inorgánicos resulta un poco costosa, debido a los gastos de energía y materias primas que se traducen como costos de producción; se presentan estudios viables que permiten conocer las importantes

propiedades de plantas que se encuentran en el medio y al alcance de todos, con un fin netamente sustentable.

Muchas plantas son utilizadas para la elaboración de coagulantes naturales que se aplican en la potabilización o saneamiento de las aguas. El uso de estas sustancias resulta ser beneficioso ya que no causa daños a las especies acuáticas y salud humana. Además su producción es de bajo costo.

2.1.1 Estudios del tema que sirven de base para la investigación

Aun el tema sobre el uso de coagulantes naturales se traduce a usos de tipo científico y a baja escala. Sin embargo; este estudio pretende sustentar su desarrollo tomando como punto de partida estudios ya realizados sobre el tema, en los que se han obtenido resultados altos de reducción de contaminantes.

En primer lugar se tiene el trabajo de tesis publicado en 2018 por María Alejandra Salgado Lozano previo a la obtención del título de ingeniero agroindustrial de la universidad de Sucre, facultad de ingenierías de Sincelejo. Este trabajo fue publicado bajo el nombre evaluación de las semillas de tamarindo (*tamarindus indica*) en la remoción de turbidez de aguas superficiales.

Esta investigación se desarrolló bajo una metodología de tipo experimental en varias fases, muestreo y análisis de muestras, extracción y caracterización del coagulante, aplicación de coagulantes a las respectivas muestras (pruebas de test de jarra) y análisis de resultados.

El trabajo consistió en probar si era factible desarrollar una investigación que permita probar las propiedades coagulantes del *tamarindus indica* en la clarificación de las aguas superficiales. Se tomaron 42 muestras de aguas superficiales con 3 repeticiones en diferentes puntos. Utilizaron la técnica de test de jarra para determinar la efectividad de los coagulantes naturales frente a los coagulantes químicos.

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación luego de realizar pruebas comparativas, con el uso de un coagulante preparado a base de polvo de la semilla de tamarindus Indica, se logró obtener una considerable reducción de turbidez. Es decir, en valores porcentuales se estableció una reducción en este parámetro del 99,18%. Demostrándose así, que el uso de un coagulante natural es una alternativa viable ya que podrían fácilmente sustituir a los coagulantes tradicionales (Salgado, 2018).

Este trabajo se relaciona con la investigación en curso, ya que propone el uso de coagulantes extraídos de plantas como sustituyentes de las tradicionales sales de hierro y aluminio en los tratamientos convencionales de coagulación. Además detalla los procedimientos empleados para la obtención de coagulantes naturales y proporciona información de utilidad para hacer comparaciones con otras sustancias del mismo origen.

Un segundo trabajo denominado semillas de tamarindo (*tamarindus indica*) como coagulante en aguas con alta turbiedad, presentado por la Universidad del Zulia y realizado por Briyitt Hernández, Iván Mendoza, Mayerling Salamanca, Lorena Fuentes y Yaxcelys Caldera, cuyo objetivo fue evaluar la efectividad de las semillas de tamarindo (*tamarindus indica*) en aguas con alta turbidez.

La metodología utilizada para este trabajo fue de tipo experimental, partiendo de la elaboración del coagulante a base de semillas de tamarindo, análisis de laboratorio, ensayos de laboratorio, medición de parámetros físico-químicos, análisis y discusión de resultados.

Los resultados obtenidos en esta investigación demostraron que con el uso de la semilla de tamarindus indica en la preparación y aplicación de un coagulante natural se obtuvieron porcentajes de remoción para la turbidez después del tratamiento entre el 72,45% y 89,09%. Para las dosis óptimas, antes de filtrar 98,78% y después del proceso de filtración 99,71%. También es importante destacar la reducción en cuanto a valores relacionados con el color de las muestras. El color se ubicó antes de filtrar entre 120 y 266 UC y después de filtrar

entre 30 y 40 UC. Parámetros como el pH y la alcalinidad presentaron variaciones no considerables. Por lo que estos resultados confirman el uso del tamarindus indica como coagulante viable en la remoción de turbidez (Hernández, Mendoza, Salamanca, Fuentes, & Caldera, 2013, pág. 96).

Este trabajo se relaciona con la investigación en curso, ya que propone el uso de un coagulante a base de tamarindo para la remoción de turbidez en aguas, muestra los procedimientos de obtención de la sustancia a utilizar, la preparación de muestras, pruebas de laboratorio, resultados obtenidos en los parámetros analizados. Esta información ayuda a orientar de manera adecuada la investigación.

Y finalmente un tercer trabajo realizado en el año 2015, por Carlos Fernando Mera- Alegría, Madeleine Lieset Gutiérrez- Salamanca, Consuelo Montes- Rojas y Juan Pablo Paz- Concha presentado por la universidad del Cauca, facultad de ciencias agrarias y denominado efecto de la moringa oleífera en el tratamiento de aguas residuales en el Cauca-Colombia para evaluar el efecto del polvo de semilla de moringa como coagulante y floculante natural en el tratamiento de aguas residuales.

Este trabajo fue desarrollado bajo la metodología de investigación experimental, utilizándose como muestras aguas de dos orígenes, aguas residuales con restos de café; y aguas residuales de plantas piloto agroindustriales. La investigación se dividió en dos partes, ensayo preliminar y ensayo definitivo.

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que la moringa oleífera es efectiva como floculante y coagulante natural para el tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de beneficio de café y del proceso de pelado químico de vegetales. La dosis apropiada de polvo de semilla de moringa (moringa oleífera) para aguas residuales del proceso de beneficio de café es de 4 g/600 ml y para aguas resultantes del pelado químico de vegetales es de 0,15 g/600 ml.

En el tratamiento de aguas residuales el polvo de semilla de moringa (moringa oleífera) y el sulfato de aluminio son eficientes en el mejoramiento de la calidad del agua, la diferencia radica en que la moringa oleífera no perjudica al ecosistema, y es más eficiente para algunos parámetros de calidad. El polvo de semilla de moringa (moringa oleífera) es eficaz en el tratamiento de aguas residuales del beneficio del café, mejorando parámetros físicos, químicos y microbiológicos en un 80,9%, igualmente el sulfato de aluminio pero solo en un 73,56%. El polvo de semilla de moringa (moringa oleífera) es eficaz en el tratamiento de aguas residuales del pelado químico de vegetales, mejorando parámetros físicos, químicos y microbiológicos en un 66,75%, mientras el sulfato de aluminio lo hace en un 63,5%. (Mera Alegría, Gutiérrez Salamanca, Montes Rojas, & Paz Concha, 2016, pág. 108).

Este trabajo se relaciona con la investigación en curso, ya que propone el uso de un coagulante a base de otra especie vegetal como es la moringa oleífera para la remoción de contaminantes en aguas residuales procedentes de la industria cafetera, muestra los procedimientos de obtención de la sustancia a utilizar, la preparación de muestras, pruebas de laboratorio, resultados obtenidos en los parámetros analizados. Esta información ayuda a orientar de manera adecuada la investigación en curso ya que contiene datos confiables.

2.2 Fundamento filosófico

En los últimos años el medio ambiente ha sufrido serias alteraciones debido a la presencia de agentes físicos, químicos, biológicos y antropogénicos que alteran su equilibrio y por ende afectan a los seres vivos que habitan el planeta.

En 1972 en la cumbre de Estocolmo el mundo inicio su proceso de concientización con la primera conferencia internacional sobre el medio ambiente a la que asistieron líderes de todo el mundo. A raíz de esto los organismos nacionales e internacionales empezaron a elaborar programas y normas de protección para los recursos naturales.

Años más tarde en 2009 se declaró el 22 de abril como el día internacional de la madre tierra. Con esta declaración se hace énfasis en la correlación existente entre el medio ambiente y los seres vivos, además de promover iniciativas para un desarrollo sostenible.

Con el crecimiento de la industria y la alta demanda de productos de uso doméstico aparecen también nuevos contaminantes que forman parte de la carga orgánica de las aguas residuales, la presencia de estas sustancias complica el tratamiento ya que antes de poner en marcha algún proceso de descontaminación es necesario hacer una caracterización y estandarización de las mismas.

Los tratamientos en los que se utilizan sustancias químicas presentan como desventaja un alto contenido residual de los químicos utilizados, situación que afecta a las especies vivas cuando estos desechos son devueltos a los recursos naturales, ya sean aguas o suelo. Con la finalidad de desarrollar estrategias sostenibles, en la actualidad se promueve el uso de sustancias de origen natural que son menos contaminantes.

El presente trabajo de investigación está apoyado en la fundamentación axiológica, praxiológica, epistemológica y metodológica ya que muestra la historia, origen, identificación, comprensión y planteamientos de mejoras de un sistema de aguas residuales para reducir la turbidez, mediante análisis que permitan conocer valores cuantitativos y cualitativos.

2.3 Fundamento teórico

2.3.1 Aguas residuales

Se define como aguas residuales, según la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes de la República del Ecuador a las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, que hayan sufrido

degradación en su calidad original (INEN, 2013). Es decir, todas aquellas aguas que hayan sido utilizadas en algún proceso y que como resultado de estos hayan adquirido alguna sustancia ajena a su naturaleza.

Las aguas residuales según (López del Pino & Martín Claderón, 2015) son aquellos líquidos procedentes de las actividades desarrolladas por el ser humano, caracterizadas por presentar una fracción de agua y un elevado porcentaje de residuos contaminantes. Las fuentes fundamentales de aguas residuales son aguas domésticas o urbanas, aguas residuales industriales, aguas residuales mixtas, escorrentías de usos agrícolas-pecuarios y pluviales.

2.3.1.2 Aguas domésticas o urbanas

Las aguas residuales urbanas se caracterizan por su contaminación orgánica, disuelta o suspendida, cuyo contenido se mide por su demanda química y bioquímica de oxígeno (DQO y DBO respectivamente), y constituyen un importante foco de contaminación al verterse a los sistemas acuáticos (Cabildo Miranda, 2008).

Las aguas residuales urbanas, para su tratamiento, se recogen habitualmente en un sistema colector y son enviadas mediante un emisario terrestre a una estación de aguas residuales (EDAR) (Cabildo Miranda, 2008).

Se generan en el ámbito doméstico por el desarrollo de las actividades humanas. Se distinguen dos fuentes principales:

- ✓ Excreciones o cloacas y
- ✓ Residuos domésticos.

De acuerdo a su naturaleza orgánica, los residuos de origen doméstico son de fácil degradación; su descomposición puede resultar ser un factor positivo para la vida acuática, “pues dicho proceso aun acompañado por un alto consumo de oxígeno implica un aumento significativo de proteínas y otras sustancias en los tejidos de los diferentes microorganismos existentes”. (Da Ros, 1995, pág. 26). El exceso de los contaminantes de origen orgánico puede ocasionar una sobre concentración de

sustancias, agotando así; el oxígeno disuelto y ocasionando daños significativos en el medio acuático.

Sin embargo, estas aguas residuales al depositarse en alcantarillas y espacios reducidos donde hay escasas de oxígeno empiezan un proceso de descomposición que se vuelve un peligro latente para la salud humana. Este proceso de descomposición genera gases de olor desagradable y se lo conoce como fermentación anaerobia.

2.3.1.3 Aguas industriales

Las aguas residuales industriales son las que se generan por el desarrollo de actividades en la industria. Suelen tener un alto y variado contenido de materia orgánica contaminante.

Según datos proporcionados por Fundación Natura, en 1991, el deterioro de la calidad de los recursos hídricos en las principales ciudades del país (Quito, Guayaquil, Ambato y Esmeraldas) “es alarmante, sobre todo por la presencia de altas concentraciones de contaminantes industriales como metales pesados y sustancias fenólicas” (Da Ros, 1995).

2.3.1.4 Aguas residuales mixtas

Se conocen como aguas residuales mixtas a aquellas que resultan de la mezcla de las aguas residuales domésticas y las aguas residuales industriales. Esta mezcla altera de manera significativa la composición de las aguas urbanas, por lo que el tratamiento de las mismas se vuelve más complejo.

2.3.1.5 Aguas pluviales

Son aquellas aguas generadas por cualquier tipo precipitaciones y que al entrar en contacto con objetos y superficies arrastran una serie de contaminantes.

2.3.1.6 Escorrentías de usos agrícolas y pecuarios

Son todas aquellas aguas que se generan como producto de la mecanización y uso de sustancias químicas en los procedimientos agrícolas y pecuarios.

2.3.2 Parámetros indicadores de contaminación en aguas residuales

La carga contaminante o grado de contaminación de las aguas residuales se mide de acuerdo a una serie de parámetros o indicadores que pueden ser: químicos, físico químicos y microbiológicos. Los valores de estos indicadores se rigen de acuerdo a las normas de calidad Ambiental.

2.3.2.1 Indicadores químicos

Los principales indicadores químicos son:

- ✓ DQO (demanda química de oxígeno)
- ✓ DBO (demanda bioquímica de oxígeno)
- ✓ Materias Inhibidoras
- ✓ Turbidez y SS (sólidos en suspensión)
- ✓ Nutrientes
- ✓ Compuestos nitrogenados
- ✓ Compuestos de fosforo

2.3.2.2 Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno representa la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica e inorgánica presente en el agua. En aguas residuales predomina la presencia de sustancias de origen orgánico. Se expresa en unidades de mg O₂/L (miligramos de oxígeno/litro).

2.3.2.3 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno representa la cantidad de oxígeno que consume la materia orgánica de una muestra líquida para poder degradarse. Se expresa en unidades de mg O₂/l (miligramos/litro).

Esta medida, que se viene utilizando desde hace unos cincuenta años, es prácticamente la única conocida para determinar la contaminación del carbono biodegradable. Aun así, su cálculo presenta algunos problemas, por lo que la interpretación de los resultados debe utilizarse con mucho cuidado. Para evitar equivocaciones, conviene realizarla en paralelo con otras, tales como: DQO, TOC, DOT (Ronzano, Eduardo; Dapena, 2002).

2.3.2.4 Materias inhibidoras

Las materias inhibidoras son aquellas que presentan cierta toxicidad o pueden inhibir los procesos biológicos. Los tipos de materia inhibidora son: orgánicas (aromáticos, fenoles, aldehídos, organohalogenados, productos fitosanitarios) e inorgánicas (metales pesados, aniones) (López del Pino & Martín Claderón, 2015, pág. 34). Estas sustancias resultan tóxicas para los microorganismos responsables de los procesos de tratamiento biológico aerobio o anaerobio. Por ello los vertidos que vayan a ser sometidos a dichos procesos deben ser tratados de forma previa, para la eliminación de estos contaminantes (Orozco Barrenetxea, 2003).

2.3.2.5 Turbidez y sólidos suspendidos (SS)

Los sólidos suspendidos son partículas que se encuentran flotando en el agua, tales: como restos de animales y vegetales, basuras, arenas, etc. Algunas pueden ser perceptibles a simple vista. Respecto a su composición ronda entre: sólidos orgánicos 68%, sólidos inorgánicos 32% (López del Pino & Martín Calderón, 2015).

La turbidez de un agua es provocada por la materia insoluble, en suspensión o dispersión coloidal es un fenómeno óptico que consiste, esencialmente, en una

absorción de la luz combinada con un proceso de difusión. Las partículas insolubles responsables de esa turbidez pueden ser aportadas tanto por procesos de arrastre como de remoción de tierras y también por vertidos urbanos e industriales (Orozco Barrenetxea, 2003).

Generalmente, las materias en suspensión representan del 100 al 120 % de la DBO, con una proporción de volátiles del orden del 70 %. Si las materias en suspensión están en mayor concentración y al mismo tiempo la proporción de volátiles es inferior a la normal, es que hay una fuente de materias minerales que llegan a los emisarios (Ronzano, Eduardo; Dapena, 2002).

2.3.2.6 Nutrientes

En las aguas residuales principalmente se encuentran nutrientes como: sodio, potasio, calcio, magnesio, nitrógeno, fósforo, procedentes de sustancias usadas en los procesos industriales.

2.3.2.7 Compuestos nitrogenados

Los compuestos nitrogenados de mayor interés para medir el grado de contaminación en aguas residuales son: los nitritos, nitratos y el amoníaco.

2.3.2.8 Compuestos de fósforo

Los compuestos fosforados que se encuentran en las aguas residuales se originan principalmente por: detergentes, abonos y excretas.

2.3.2.9 Indicadores físico-químicos

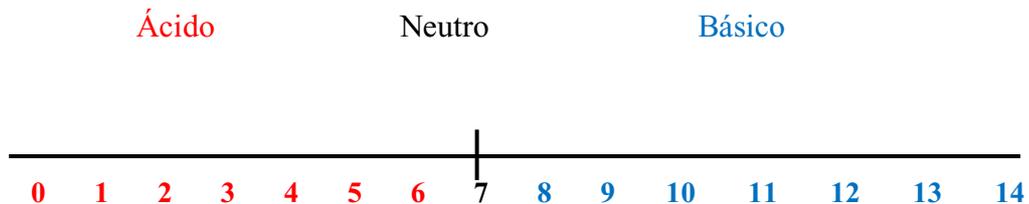
El pH, la conductividad y el contenido de aceites y grasas representan los indicadores físico-químicos de mayor importancia.

2.3.2.10 pH

El pH o potencial de hidrogeno representa el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógenos o hidroxilos presentes en una muestra líquida.

Es un indicador que se utiliza para medir la acides o basicidad de las sustancias en las escalas de 0 a 14. Siendo:

Fig. 1 Escala de potencial de hidrógeno (pH)



Fuente: Autor

2.3.2.11 Aceites y grasas

El análisis de aceites y grasas se realiza en muestras de agua residual, para determinar el contenido de sustancias lipídicas procedentes de ácidos grasos (de origen animal y vegetal) o derivados del petróleo (ceras, aceites y grasas para vehículos etc).

2.3.2.12 Conductividad

Representa la cantidad de sales disueltas en el agua. En términos generales es la capacidad de conducir la electricidad que hay en una muestra. “La conductividad del agua da una buena apreciación de la concentración de los iones en disolución y una conductividad elevada se traduce en una salinidad elevada o en valores anómalos de pH” (Orozco Barrenetxea, 2003).

2.3.2.13 Indicadores microbiológicos

Los indicadores microbiológicos nos indican la calidad de las aguas, mediante niveles de concentración de los microorganismos. En aguas residuales se encuentran principalmente: bacterias (coliformes fecales, coliformes totales, estreptococos fecales), protozoos, metazoos, virus y hasta algunos tipos de algas. “La contaminación de tipo bacteriológico es debida fundamentalmente a los desechos humanos y animales, ya que los agentes patógenos –bacterias y virus- se

encuentran en las heces, orina, sangre, y son origen de muchas enfermedades y epidemias” (Orozco Barrenetxea, 2003).

2.3.3 Efectos y problemas ocasionados por los vertidos de aguas residuales

Las aguas residuales producen problemas para su recepción y tratamiento, así como también serios problemas a los cauces naturales a los que son devueltos.

2.3.3.1 Efectos negativos sobre cauces o medios receptores

Los efectos negativos de las aguas residuales devueltas a los cauces naturales, suponen una serie de inconvenientes al medio ambiente, entre ellos:

Alto índice de enfermedades debido a la presencia de microorganismos patógenos.

Presencia de sustancias tóxicas de origen orgánico o inorgánico, excluidos los biológicamente inofensivos o que dentro del agua se transformen rápidamente en sustancias inofensivas.

Presencia de sustancias derivadas del petróleo, cianuros, fluoruros.

Sustancias que influyan desfavorablemente en el balance de oxígeno, especialmente amoníaco y nitritos (Orozco Barrenetxea, 2003, págs. 200-202).

2.3.3.2 Problemas relacionados con los procesos de tratamiento de los vertidos

Los problemas operacionales del tratamiento de aguas residuales radica básicamente en:

1. Ataque a las conducciones de agua.
2. Obstrucciones en conducciones e instalaciones.
3. Emisión de compuestos tóxicos a la atmósfera de las instalaciones.
4. Presencia de compuestos inhibidores de los tratamientos biológicos (Orozco Barrenetxea, 2003, págs. 202-203).

2.3.4 Tratamiento de aguas residuales

Los vertidos de aguas residuales son la fuente de la mayor contaminación antropogénica que puede hallarse en las aguas naturales. Por ello, el control de esta contaminación mediante la depuración o tratamiento de dichas aguas constituye un aspecto fundamental desde el punto de vista ecológico y de obligado cumplimiento desde el punto de vista legal (Orozco Barrenetxea, 2003, pág. 193).

La depuración es relativamente reciente, pese a ello; las mejoras en los tratamientos, ya sea por la implementación de equipos, variaciones en las operaciones o procesos no se hacen esperar. “Cuando se inició el tratamiento de las aguas residuales, se consideraba que éste era necesario únicamente si la capacidad de autopurificación del cuerpo de agua receptor era excedida y las condiciones del cuerpo de agua eran intolerables” (Campos Gómez & Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica, 2000).

Actualmente se conoce que el mal manejo de las aguas residuales desata como principal consecuencia, la afectación en la salud pública sobre todo por la presencia de enfermedades infecciosas transmitidas por microorganismos patógenos. Por lo tanto; el manejo adecuado de las aguas residuales en la sociedad moderna es una importante e imprescindible necesidad.

La depuración o tratamiento de aguas residuales tiene por objeto eliminar las sustancias contaminantes, producir agua que cumpla con los parámetros que establecen las normas de calidad ambiental estatal (efluente tratado) para posteriormente devolverlas a los cauces naturales o en su efecto para su reutilización y un producto residual conocido como residuo sólido, lodo o fango. Estos lodos pueden ser introducidos en tratamientos biológicos (lodos biológicos) debido a su alto contenido de microorganismos o sometidos a tratamientos para su debida desactivación.

El cumplimiento de la ley de la conservación de la materia, hace que; en un sistema de tratamiento de aguas residuales al retirar el material contaminante del

agua residual, éste solo se transforme o transfiera. Por esta simple razón, en una planta depuradora además de agua tratada también se generan residuos sólidos como lodos, acompañados por la generación de emisiones gaseosas. “Las cantidades y calidad de estos residuos dependerán de las características del agua residual a tratar y evidentemente de la configuración del sistema de tratamiento” (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013, pág. 7). Los residuos sólidos y lodos generados en una EDAR (estación depuradora de aguas residuales) están sujetos a un proceso independiente antes de su disposición final.

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos que pueden ser: físicos, químicos y biológicos. Entre ellos encontramos: operaciones unitarias y procesos unitarios. Siendo, las operaciones unitarias los métodos de tratamiento en los que predominan los fenómenos físicos y los procesos unitarios los métodos donde intervienen sustancias químicas y microorganismos para la eliminación de los contaminantes. En la actualidad, las depuradoras de aguas residuales agrupan estas operaciones y procesos de la siguiente manera: Pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario.

Estos procedimientos empiezan en la EDAR (estación depuradora de aguas residuales) después de la recolección y conducción de las aguas residuales.

2.3.4.1 Recogida y conducción

Para empezar con el tratamiento en una estación depuradora de aguas residuales (EDAR) o planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) el primer paso a seguir es la recolección y conducción de las aguas residuales. Se requiere de una compleja red de tuberías (alcantarillado, colectores) para efectuar la recolección y conducción de aguas residuales desde su lugar de origen hasta la planta depuradora. “Normalmente, los sistemas de recogida son unitarios. Es decir, la red de saneamiento recoge tanto las aguas residuales, como las de lluvia” (CENTA, 2008). Siendo lo ideal que cada planta depuradora cuente con un sistema separativo donde las aguas residuales no se mezclen con las aguas blancas procedentes de las lluvias.

2.3.4.2 Pretratamiento de aguas residuales

El pretratamiento de las aguas residuales “se refiere a la eliminación de aquellos componentes que puedan provocar problemas operacionales y de mantenimiento en el proceso de tratamiento o en los sistemas auxiliares” (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013). Consiste en eliminar los objetos de mayor tamaño, arenas y grasas presentes en las aguas residuales. En este proceso también se pueden utilizar trituradores para la reducción de los desechos de mayor tamaño.

Las operaciones básicas utilizadas en este pretratamiento son:

- ✓ Desbaste o cribado
- ✓ Desarenado
- ✓ Flotación o desengrasado

2.3.4.2.1 Desbaste o cribado

El objetivo del desbaste es la eliminación de los sólidos de pequeño y mediano tamaño (objetos, trapos, raíces, etc.) que de otro modo podrían deteriorar o bloquear los equipos mecánicos y obstruir el paso de la corriente de agua (CENTA, 2008, pág. 28). La distancia o las aberturas de las rejillas dependen del objeto de las mismas. Los productos recogidos se destruyen por incineración, se tratan por procesos de digestión anaerobia o se dirigen directamente al vertedero. Las materias solidas recogidas se clasifican en finos y gruesos (Ramalho, Jiménez Beltrán, & De Lora, 1996, pág. 92).

Desbaste de gruesos: el paso libre entre los barrotes es de 50 a 100 mm. Desbaste de finos: el paso libre entre los barrotes es de 10 a 25 mm (CENTA, 2008, pág. 28).

2.3.4.2.2 Desarenado

Con la implementación de esta operación se evitan sobrecargas para las fases posteriores del tratamiento, además; el principal objetivo que tiene “es la eliminación de materias pesadas de tamaño superior a 0,2 mm, para evitar que

sedimenten en canales y conducciones y para proteger a las bombas y otros elementos de la abrasión (OPS/CEPIS, 2005).

Los desarenadores son dispositivos hidráulicos que reducen la velocidad del agua, de manera que permiten sedimentar las arenas u otros sólidos inorgánicos presentes en el agua (Campos Gómez & Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica, 2000).

2.3.4.2.3 Flotación o desengrasado

En esta etapa del pretratamiento se eliminan todos aquellos componentes más ligeros que el agua, tales como: materias o sustancias flotantes, aceites, grasas y espumas presentes en las aguas residuales. Para este efecto se pueden utilizar desengrasadores estáticos y aireados.

Según (CENTA, 2008) en “los desengrasadores estáticos se pasan las aguas a través de un depósito dotado de un tabique, que obliga a las aguas a salir por la parte inferior, así; los componentes de menor densidad, quedan retenidos en la superficie” (pág. 31). El retiro de las grasas y otros flotantes se puede realizar de manera manual o mecánica dependiendo del diseño de la planta. Además, esta operación se incluye en el tratamiento dependiendo del origen de las aguas residuales. Se recomienda sobre todo para efluentes industriales de manufactura de grasas.

Los desengrasadores aireados funcionan mediante la inyección de aire. La finalidad de la dosificación de aire radica en tratar de desemulsionar la mayor cantidad de grasas para que estas floten y puedan ser removidas.

2.3.4.3 Tratamiento primario de aguas residuales

El principal objetivo de los tratamientos primarios es la eliminación de sólidos en suspensión en cualquiera de sus formas: sedimentables, flotantes y coloidales. Consiguiéndose además una cierta reducción de la contaminación biodegradable, dado que una parte de los sólidos que se eliminan está constituida por, materia orgánica (CENTA, 2008). Las cifras de remoción comúnmente alcanzadas en

aguas residuales municipales son del 60% en sólidos suspendidos y de 30% en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013, pág. 12).

Este tratamiento es económico y de fácil operación, pero su eficiencia es reducida; lo cual significa que en algunos casos no se alcancen los parámetros establecidos para efluentes de agua residual. Además, debería remover aproximadamente la mitad de los sólidos suspendidos (SS) (Campos Gómez & Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica, 2000).

Las Operaciones básicas utilizadas en el tratamiento de aguas residuales son:

- ✓ Decantación primaria o sedimentación
- ✓ Tratamientos físico-químicos (coagulación y floculación).

2.3.4.3.1 Decantación primaria o sedimentación

La decantación primaria también conocida como sedimentación es el proceso de separación de sólidos suspendidos de las aguas residuales luego de cierto tiempo de reposo. “La eliminación de las materias por sedimentación se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran, que acaba en el depósito de las materias en suspensión” (Ramalho, R; Jiménez Beltrán, D; Lora, 1996). Cabe recalcar que es esta operación solamente se eliminan sólidos sedimentables y materias flotantes.

Un sedimentador es un objeto parecido al desarenador pero correspondiente a la remoción de partículas inferiores a 0,2 mm y superiores a 0,05 mm (OPS/CEPIS, 2005). Existen varios tipos de sedimentación, sin embargo; en el pretratamiento no se adicionan sustancias químicas para inducir este proceso.

2.3.4.3.2 Tratamientos físico-químicos (coagulación y floculación)

En el proceso de sedimentación logran eliminarse una gran cantidad de impurezas presentes en el agua. Sin embargo, debido a que muchas de estas son muy

pequeñas no logran eliminarse en esta operación. Para unir estas partículas, se realiza un proceso al que se denomina coagulación, y consiste en la agregación de un sustancia que se encargue de formar agregados de mayor tamaño, que sean más fácilmente decantables y así obtener una separación satisfactoria por sedimentación (Aguilar, Sáez, Lloréns, Soler, & Ortuño, 2002).

Las impurezas del agua varían de tamaño y, por lo tanto; también es diversa la forma en que estas son eliminadas de las aguas residuales. En el tratamiento de aguas residuales una gran proporción de estas impurezas son eliminadas debido a la gravedad, por sedimentación, otra gran cantidad de impurezas resultan ser demasiado pequeñas, por lo tanto; es necesario agregar una sustancia que desestabilice la materia orgánica y permita la decantación de estas con el fin de obtener una separación satisfactoria por sedimentación. Este proceso de agregación se llama coagulación (Weber & Borchardt, 1979a).

La coagulación es un tratamiento físico-químico donde se agrega una sustancia química (orgánica o inorgánica) para desestabilizar y neutralizar las cargas electrostáticas de los coloides, esto con el objetivo de que las partículas se unan.

Después de la coagulación es necesaria la adición de un floculante, cuya función es aglomerar las partículas desestabilizadas en unidades llamadas flóculos. Después de cierto tiempo las partículas se van aglomerando en mayor medida lo que incrementa el peso del floculo, por diferencia de peso se logra que estos se precipiten. Es así, como se separan del agua las sustancias coloidales. Tanto la coagulación como la floculación son procesos que van de la mano.

2.3.4.4 Tratamiento secundario de aguas residuales

El tratamiento secundario se realiza luego de haber concluido todas las operaciones correspondientes al pretratamiento de las aguas residuales. “En esta etapa de tratamiento se elimina la materia orgánica biodegradable (principalmente soluble) por medios preferentemente biológicos debido a su bajo costo y alta eficacia de remoción” (Noyola et al., 2013) (pág. 12). Es decir, se emplean

microorganismos que se adaptan a las características del agua a tratar, y que se encargan de transformar los contaminantes en materia celular, producir energía para realizar su metabolismo y formar compuestos orgánicos o inorgánicos de acuerdo al medio en el que ocurran (aerobios o anaerobios).

Los procesos biológicos pueden ser de dos tipos: anaerobios (ocurren en ausencia de oxígeno) y los aerobios (ocurren en presencia de oxígeno). “El proceso anaerobio se caracteriza por tener una baja producción de lodos de desecho. Por lo contrario, en el tratamiento aerobio, hay una mayor generación de biomasa, cuyo tratamiento y disposición incrementa la dificultad técnica y el costo del tratamiento (Noyola et al., 2013).

En el tratamiento secundario se utilizan los procesos básicos, degradación bacteriana y decantación secundaria.

2.3.4.5 Tratamiento terciario de aguas residuales

El tratamiento terciario es el procedimiento final en la depuración de aguas residuales, consiste en “eliminar compuestos tales como sólidos suspendidos, nutrientes y materia orgánica remanente no biodegradable. Por lo general, es necesario cuando deben cumplirse condiciones de descarga estrictas o cuando el agua tratada está destinada a un uso en específico (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013, págs. 12-13). Para alcanzar una calidad específica en el agua tratada es necesario la aplicación de operaciones y procesos unitarios tales como: Floculación, filtración, eliminación de nitrógeno (N) y fósforo (P) y desinfección.

2.3.5 Proceso de coagulación y floculación en las aguas residuales

2.3.5.1 Importancia de la coagulación y floculación

Las aguas residuales son consideradas dispersiones debido a la gran cantidad de impurezas que contienen en su seno (Aguilar, Sáez, Lloréns, Soler, & Ortuño, 2002, pág. 19). La materia orgánica presente le proporciona al agua residual un color aparente debido a la turbiedad y a la presencia de sólidos suspendidos.

La turbiedad y el color del agua son principalmente causados por los coloides (partículas muy pequeñas), mismos que permanecen en suspensión por tiempo prolongado y pueden atravesar un medio filtrante muy fino. Además, pese a que su concentración es estable, no tienen la tendencia a aproximarse entre sí. Para eliminar estas partículas se recurre a los procesos de coagulación y floculación, la coagulación tiene por objeto desestabilizar las partículas en suspensión es decir facilitar su aglomeración (Cárdenas, 2000). La aglomeración se vuelve más eficiente con el uso de un floculante.

Las aguas residuales dependiendo de su origen y transporte pueden contener una cantidad de materiales de diversa naturaleza y tamaño, es así que se puede eliminar mediante diversos procesos como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Tamaño de partículas y proceso de eliminación

Tamaño de las partículas	Proceso de eliminación
10 a 100 mm	Sistemas de rejillas
0.2 a 10 mm	Desarenación, sedimentación, decantación y flotación
0.01 a 0.2 mm	Filtración (macro y microtamizado)

Fuente: Andía Cárdenas, Yolanda. Tratamiento de agua coagulación y floculación

Debido a la alta contaminación de los recursos naturales se plantea el uso de alternativas más limpias para la reducción de la turbidez en aguas residuales. Siendo la más estudiada la utilización de extractos naturales obtenidos de semillas de plantas.

Los coagulantes naturales son en su mayoría polisacáridos o proteínas solubles en agua; se producen de manera espontánea, resultado de reacciones bioquímicas que ocurren en animales y en plantas. Presentan una mínima o nula toxicidad (Ramírez & Jaramillo, 2014).

2.3.5.1.1 Coloides

En física y química un coloide puede definirse como una partícula mantenida en suspensión a causa de su tamaño extremadamente pequeño (1 a 200 milímetros), o en su efecto, como; un sistema conformado por dos o más fases, normalmente una fluida (líquido) y otra dispersa en forma de partículas generalmente sólidas muy finas. La fase dispersa se encuentra en menor proporción, pese a ello hace que se comporte como una verdadera solución y que atraviese el papel filtro (Rigola Lapeña, 1989).

2.3.5.1.2 Características de los coloides

Con frecuencia los coloides son los responsables del color, turbiedad y DBO. Por ello es de gran importancia que sean eliminados antes de que las aguas residuales lleguen a los cursos de agua.

Los coloides presentan un movimiento browniano, bombardeo de las partículas de la fase dispersa por las moléculas del medio dispersante (Nemerow & Dasgupta, 2000). No se precipitan debido a su carga, reducido tamaño y bajo peso.

2.3.5.1.3 Clasificación de los coloides

Los coloides se clasifican según la afinidad al medio dispersante en: liofóbicos y liofílicos pero en sistemas acuosos los términos empleados son hidrofóbicos (sin afinidad al agua) e hidrofílicos (con afinidad al agua) (Aguilar, 2002). Es importante conocer que los responsables del color en el agua son los coloides hidrofílicos.

Las partículas hidrófobas son en general partículas de materias inorgánicas mientras que las hidrofílicas son materias orgánicas; en realidad son pocas las partículas que son exclusivamente hidrofílicas o hidrofóbicas; se obtienen más bien partículas hidratadas a los diferentes grados (Cardenas, 2000).

A continuación se detalla las características de los coloides de acuerdo a su clasificación:

Tabla 2. Tipos y características de los coloides

Características	Hidrofóbico (Liofóbico)	Hidrofilico (Liofilico)
Tensión superficial	Similar al medio	Menor que el medio
Viscosidad	Es muy similar a la de la fase dispersa sola	Mayor que la de fase dispersa sola
Reacción a los electrolitos	Adición de pequeñas cantidades de electrolito pueden producir la agregación	Se requiere mayor cantidad de electrolito para producir la agregación
Aplicación de un campo eléctrico	Las partículas migran en una dirección bajo la acción de un campo eléctrico	Pueden migrar en ambas direcciones o no bajo la acción de un campo eléctrico
Ejemplos	Óxidos, metálicos, sulfuros, plata, metales	Proteínas, almidones, gomas, virus, bacterias.

Fuente: Aguilar, M. I. Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación.

2.3.5.1.4 Estabilidad coloidal

Al hablar de estabilidad se hace referencia a la tendencia de las partículas coloidales a mantenerse en suspensión. Se puede deducir que los términos estabilidad y coagulación son opuestos pues conforme mayor es la estabilidad, más difícil es la unión en núcleos de mayor tamaño que favorezca la eliminación de los coloides (Aguilar, Sáez, Lloréns, Soler, & Ortuño, 2002). Los sistemas coloidales pueden dividirse en dos grupos: reversibles e irreversibles.

De acuerdo a (Aguilar, 2002) se definen como:

Coloides reversibles: a aquellos coloides que son estables termodinámicamente, como por ejemplo; micelas de jabón y detergentes, proteínas y almidones.

Mientras que se consideran coloides irreversibles: a aquellos coloides inestables termodinámicamente. Como por ejemplo arcillas y óxidos metálicos (pág. 21).

2.3.5.2 ¿Qué es la coagulación?

Es un proceso de desestabilización química de 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 (Cardenas, 2000).

En el proceso de coagulación se elimina una gran cantidad de materia orgánica contaminante. Sin embargo, pese a su eficacia si las dosis de coagulante no son las correctas se podrían generar gastos de operación no justificados. Por lo tanto, se considera que la dosis del coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de decantación y que es imposible de realizar una clarificación, si la cantidad de coagulante está mal ajustada (Cardenas, 2000).

2.3.5.3 Mecanismos de la coagulación

La desestabilización de la materia coloidal se puede obtener por los siguientes mecanismos fisicoquímicos:

- ✓ Compresión de la doble capa.
- ✓ Adsorción y neutralización de cargas.
- ✓ Atrapamiento de partículas en un precipitado.
- ✓ Adsorción y puente.

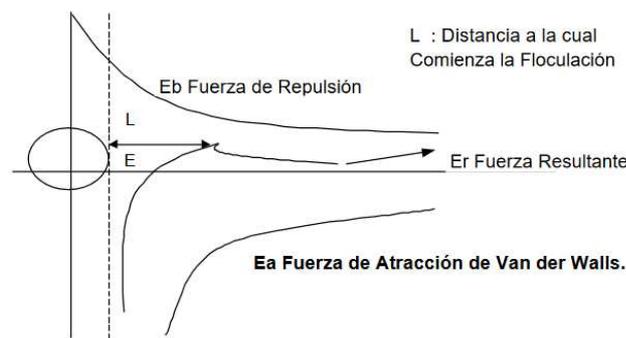
2.3.5.3.1 Compresión de la doble capa

El fenómeno ocurrido en la compresión de doble capa (Aguilar, 2002) lo explica de la siguiente manera “las interacciones de algunas especies de coagulantes con

una partícula coloidal son puramente electrostáticas; los iones de carga similar a la carga primaria del coloide son repelidos y los contra iones son atraídos” (pág. 36).

Mientras que (Cardenas, 2000) lo plantea de la siguiente manera “cuando se aproximan dos partículas semejantes, sus capas difusas interactúan y generan una fuerza de repulsión, cuyo potencial de repulsión está en función de la distancia que los separa y cae rápidamente con el incremento de iones de carga opuesta al de las partículas, esto se consigue sólo con los iones del coagulante” (pág. 11). La fig. 1 muestra el fenómeno de atracción y repulsión que sufren las partículas coloidales en esta fase

Fig. 2 Fuerza de atracción y repulsión



Fuente: Andía Cárdenas, Yolanda. Tratamiento de agua: coagulación floculación

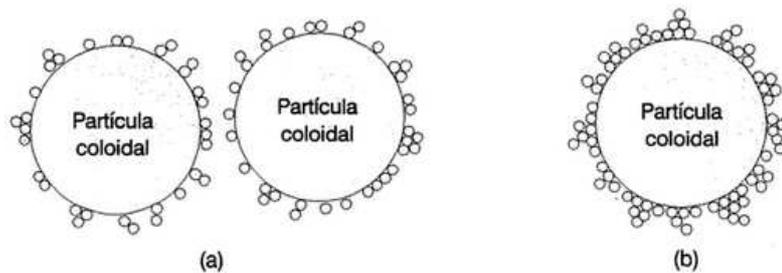
2.3.5.3.2 Adsorción y neutralización de cargas

La capacidad de una especie coagulante para desestabilizar una dispersión coloidal es realmente una mezcla de interacciones coagulante-coloide, coagulante-disolvente y colide-disolvente (Aguilar, 2002). Lo que ocurre en esta fase de acuerdo a (Cardenas, 2000) es que “las partículas coloidales poseen carga negativa en sus superficies, estas cargas llamadas primarias atraen los iones positivos que se encuentran en solución dentro del agua y forman la primera capa adherida al coloide” (pág. 12) .

También es posible una reestabilización, misma que viene acompañada según (Aguilar, 2002) “por una inversión de la carga; esto es, la carga neta de la partícula coloidal se invierte de negativa a positiva por la adsorción de un exceso

de contra iones” (pág 38). En la figura dos se explican gráficamente estos procesos de estabilización y reestabilización de los coloides.

Fig. 3 Representación esquemática del fenómeno de neutralización de la carga (a) y reestabilización de acompañada de inversión de la carga (b).



Fuente: Aguilar, M. I. Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación.

Después de la primera teoría, ésta es considerada como la anulación del potencial obtenido por adición de productos de coagulación –floculación, en donde la fuerza natural de mezcla no es suficiente requiriéndose una energía adicional como: agitación mecánica o hidráulica (Cardenas, 2000).

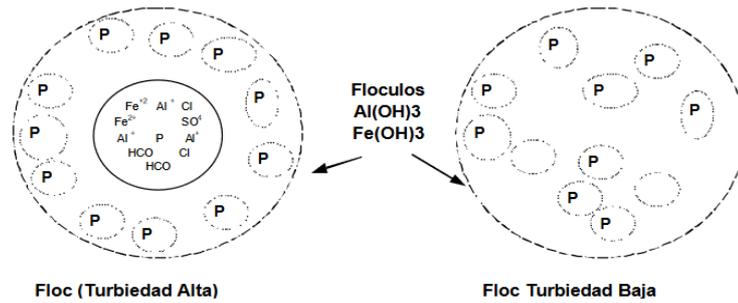
2.3.5.3.3 Atrapamiento de partículas en un precipitado

Cuando se adiciona una cantidad suficiente de coagulante, normalmente sales metálicas como: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3 , u óxidos metálicos o hidróxidos como la cal, CaO o $\text{Ca}(\text{OH})_2$, en concentraciones altas se produce una precipitación rápida de un hidróxido metálico como: $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ o carbonato metálico CaCO_3 (composición de los flóculos) las partículas coloidales desestabilizadas pueden quedar inmersas dentro de los precipitados a medida que estos forman los flóculos (Aguilar, 2002). La presencia de ciertos aniones y de las partículas coloidales acelera la formación del precipitado.

Las partículas coloidales se comportan como anillo durante la formación del floculo; este fenómeno puede tener una relación inversa entre la turbiedad y la

cantidad de coagulante requerida. Dicho de otra forma, una concentración importante de partículas en suspensión puede requerir menor cantidad de coagulante (Cardenas, 2000).

Fig. 4 Partículas atrapadas en un flóculo.

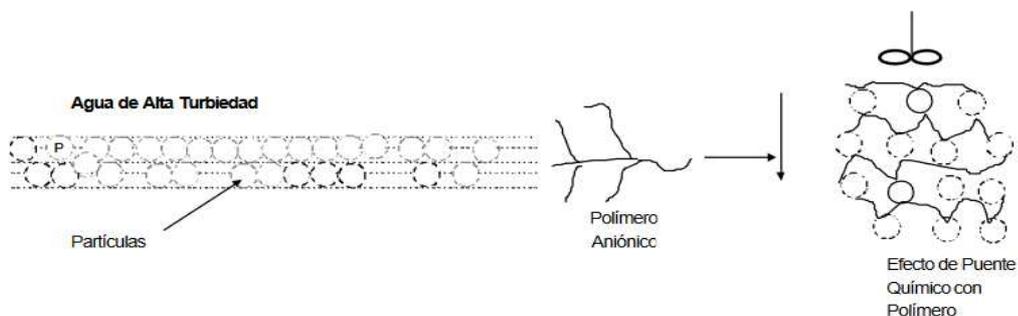


Fuente: Andía Cárdenas, Yolanda. Tratamiento de agua: coagulación floculación

2.3.5.3.4 Adsorción y puente

La teoría del puente consiste en el uso de un polímero aniónico, cuando las partículas están cargadas negativamente, de esta manera también se obtiene un tratamiento más favorable económicamente. El polímero presenta cadenas muy largas que tienen la capacidad de adsorber las partículas coloidales desde los extremos, mientras que los otros sitios son libres para absorber otras partículas. Por esta razón se dice que las moléculas de los polímeros forman el “puente” entre las partículas coloidales, esto puede tener una reestabilización de la suspensión, por una excesiva carga de polímeros (Cardenas, 2000).

Fig. 5 Partículas atrapadas en un flóculo



Fuente: Andía Cárdenas, Yolanda. Tratamiento de agua: coagulación floculación

2.3.6 Factores que afectan la coagulación

Es necesario tener en cuenta los siguientes factores, con la finalidad de optimizar el proceso de coagulación que se va a desarrollar utilizando coagulante naturales en aguas residuales.

2.3.6.1 Influencia del pH

El pH es la variable más importante al momento de la coagulación. Para cada agua existe un rango de pH óptimo, para la cual la coagulación tiene lugar de manera rápida. Ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua. El rango de pH es función del tipo de coagulante que se utilice y de la naturaleza del agua por tratar. Si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto, la dosis requerida es alta (Moscozo, 2015).

2.3.6.2 Influencia de la temperatura del agua

La variación de 1°C en la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua) de diferentes grados que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace más lenta. Temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación. Una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un aumento de su viscosidad. Esto explica las dificultades de la sedimentación de un floculo (Cardenas, 2000).

2.3.6.3 Influencia de la concentración del coagulante

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

Poca cantidad del coagulante no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microfloculos es muy escasa y por lo tanto la turbiedad residual es elevada.

Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula y conduce a la formación de gran cantidad de microflóculos muy pequeños, cuyas velocidades de sedimentación es muy baja; por lo tanto, la turbiedad residual es igualmente elevada.

La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación se determina mediante los ensayos de pruebas de jarra (Moscozo, 2015).

2.3.6.4 Influencia de la mezcla

El grado de agitación que se da a la masa de agua durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra parte, poco o casi nada. La agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar que la mezcla entre el agua y el coagulante haya sido adecuada y se haya producido la reacción química de neutralización de cargas correspondiente.

En el transcurso de la coagulación y floculación se procede a la mezcla de productos químicos en dos etapas. En la primera, la mezcla es enérgica y de corta duración (60 s, máx.), llamado mezcla rápida. Esta mezcla tiene por objeto dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua por tratar. En la segunda etapa, la mezcla es lenta y tiene por objetivo desarrollar los microflóculos. La mezcla rápida se efectúa para la inyección de productos químicos en la zona de fuerte turbulencia, una inadecuada mezcla rápida conlleva a un incremento de productos químicos (Cardenas, 2000).

2.3.6.5 Influencia de la turbiedad

Turbiedad es una forma indirecta de medir la concentración de las partículas suspendidas en un líquido; mide el efecto de la dispersión que estas partículas presentan al paso de la luz y es función del número, tamaño y forma de partículas.

La turbiedad del agua superficial se debe, en gran parte, a partículas de lodos de sílice de diámetros que varían entre 0.2 a 5 μm . La coagulación de estas partículas es muy fácil cuando el pH se mantiene dentro del rango óptimo. La variación de la concentración de las partículas permite hacer las siguientes predicciones:

Para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante con el que se obtiene la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima. Cuando la turbiedad aumenta, no es mucha la cantidad de coagulante que se debe adicionar, debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es muy elevada, por lo que la coagulación se lleva a cabo con facilidad; por el contrario, cuando la turbiedad es baja, la coagulación es difícil y la cantidad del coagulante es igual o mayor a la que se adiciona si la turbiedad es alta. Cuando la turbiedad es muy alta conviene hacer una presedimentación natural o forzada. Es siempre más fácil coagular las aguas de baja turbiedad y las contaminadas por desagües domésticos industriales porque requieren más coagulante que los no contaminados (Cárdenas 2000).

2.3.7 Coagulantes convencionales

Los principales coagulantes utilizados en los sistemas convencionales de tratamientos de agua potable y residual para desestabilizar las partículas y producir flóculos son:

Sulfato de Aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, Cloruro de Aluminio AlCl_3 , Cloruro Férrico FeCl_3 , Sulfato Férrico $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, Sulfato Ferroso FeSO_4 , Polielectrolitos como ayudantes para la floculación.

Siendo los más utilizados las sales de Aluminio y de Hierro; cuando se adiciona estas sales al agua se producen reacciones complejas; mismas que en pH alcalinos producen los hidróxidos de aluminio o hierro que son insolubles y forman los precipitados (Weber & Borchardt, 1979b).

2.3.8 Coagulantes naturales

El alto índice de contaminación debido al uso descontrolado de sustancias químicas en los tratamientos de aguas residuales obliga al desarrollo de técnicas que sean más amigables con el medio ambiente, de acuerdo a estudios realizados en nuestro medio se encuentran un sinnúmero de materiales de origen vegetal que contienen sustancias que pueden fácilmente reemplazar a las sustancias químicas convencionales.

Los coagulantes naturales son en su mayoría carbohidratos (polisacáridos) y proteínas, son compuestos poliméricos que pueden tener carácter iónico (catiónicos, aniónicos) o no iónico, donde los iónicos se denominan comúnmente como polielectrolitos (Salgado, 2018).

Entre las ventajas más destacadas del uso de coagulantes naturales obtenidos de especies vegetales se encuentran: remoción de turbiedad orgánica e inorgánica, remoción de color verdadero y aparente, baja toxicidad del efluente y de los lodos generados, alta biodegradabilidad de los lodos y de las sustancias naturales que permanecen en el efluente, bajos costos de producción sobre todo si la especie utilizada es autóctona (López & Campos, 2011).

2.3.8.1 Descripción del tamarindo (*tamarindus indica*)

El *Tamarindus indica* es originario del continente Africano y fue introducido al Continente Americano por los españoles. Pertenece a la familia de las leguminosas (Fabaceae). Es un frutal altamente rústico, ya que puede prosperar en suelos pobres o marginados, con poco o nada de riego y cuidados mínimos con relación a otros frutales tropicales (Acevedo, Tirado, & Guzmán, 2013).

La especie tiene una amplia distribución geográfica en las zonas subtropicales y tropicales, se cultiva en numerosas regiones. Es de uso múltiple, se lo utiliza principalmente por sus frutos, que se consumen frescos, procesados, como condimento o pulpa requerida por el sector industrial, donde la semilla se elimina como deshecho sin ninguna aplicación (El-Siddig, 2006) por ello la importancia

de caracterizar la semilla de tamarindo para utilizarla como fuente de polímeros en la elaboración de coagulantes naturales biodegradables.

Fig. 6 **Árbol de tamarindus indica**



Fuente: Autor

2.3.8.2 Características del fruto del tamarindo

El fruto del Tamarindo es una vaina indehiscente, oblonga o linear, algo comprimida lateralmente y comúnmente curvada, con una capa externa (epicarpio) pardo delgada, crustácea seca y escamosa (se quiebra irregularmente al secarse), una capa mediana (mesocarpio) pulposa combinada con fibras y una capa coriácea interna (endocarpio) septada entre las semillas, de 1.7 a 15 cm de

largo por 2 a 3.5 cm de ancho y 1.5 cm de espesor; conteniendo 1 a 12 semillas. Los frutos persisten en el árbol por varios meses (El-Siddig, 2006).

Fig. 7 Fruto de tamarindus indica



Fuente: Autor

2.3.8.3 Características de la semilla del tamarindo

El árbol de tamarindo presenta semillas indehiscentes, ovaladas, comprimidas lateralmente, lisas, de color café rojizo brillante, con la testa café - lustrosa, tienen aproximadamente 1.25 cm de largo y 0.4 cm de espesor. Carecen de endospermo como reserva nutritiva, presentan un par de cotiledones gruesos y la radícula es pequeña y recta (El-Siddig, 2006).

Las semillas constituyen el 33% del fruto entero: el 30% de la semilla corresponde a la testa y el 70% al endospermo. La testa contiene 40% de sólidos solubles, correspondientes en un 80% a una mezcla de taninos y materiales colorantes (El-Siddig, 2006). La semilla de tamarindo está compuesta en su mayoría por carbohidratos (57,1%), proteína (13,3%) y agua (11,3%) (López & Campos, 2011).

Fig. 8 Semillas de tamarindus indica



Fuente: Autor

Las proteínas, a su vez, se componen sobre todo de ácido glutámico y aspártico, glicina y leucina, siendo los dos primeros los responsables de la coagulación (López & Campos, 2011).

Tabla 3. Composición química de la semilla de tamarindo (en base seca)

Componente		Promedio
Agua		11,3
Grasa		5,4
Carbohidratos		57,1
Ceniza		4,1
Fibra cruda		8,8
Proteína		13,3
Aminoácidos contenidos en el 13,3% de proteína	Ácido glutámico	18
	Ácido aspártico	11,6
	Glicina	9,1
	Leucina	8,2
	Metionina, treonina, valina, cisteína, entre otros.	53,1

Fuente: Vázquez Yanes et al., 1999.

2.4 Fundamento legal

2.4.1 Marco legal e institucional

El marco legal aplicable a este trabajo de investigación sobre la reducción de turbidez en las aguas residuales del Cantón Chone hace referencia a la legislación y reglamentación que en materia ambiental rige en el territorio ecuatoriano. Ya sean estos la Constitución de la República del Ecuador, tratados y convenios internacionales, leyes orgánicas, leyes ordinarias, reglamentos, decretos y acuerdos, ordenanzas que respaldan la realización del estudio.

2.4.2 Constitución de la República del Ecuador

Publicada en el Registro Oficial No. 449 del 20 de octubre del 2008, es la norma jurídica de mayor jerarquía vigente en el Ecuador, contiene los principios, derechos y libertades de quienes conforman la sociedad ecuatoriana, y considera el cuidado del medio ambiente como uno de los deberes primordiales del Estado. En lo concerniente al tema de investigación, la constitución contiene los siguientes artículos de interés ambiental:

Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda.

El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

Art. 73.- El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales.

Art. 83.- Son deberes y responsabilidades de las ecuatorianas y los ecuatorianos, sin perjuicio de otros previstos en la Constitución y la ley:

1. Defender la integridad territorial del Ecuador y sus recursos naturales.

Art. 314.- El Estado será responsable de la provisión de los servicios públicos de agua potable y de riego, saneamiento, energía eléctrica, telecomunicaciones, vialidad, infraestructuras portuarias y aeroportuarias, y los demás que determine la ley.

Art. 315.- El Estado constituirá empresas públicas para la gestión de sectores estratégicos, la prestación de servicios públicos, el aprovechamiento sustentable

de recursos naturales o de bienes públicos y el desarrollo de otras actividades económicas.

Art. 391.- El Estado generará y aplicará políticas demográficas que contribuyan a un desarrollo territorial e intergeneracional equilibrado y garanticen la protección del ambiente y la seguridad de la población, en el marco del respeto a la autodeterminación de las personas y a la diversidad.

Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.
2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional.
3. El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales.
4. En caso de duda sobre el alcance de las disposiciones legales en materia ambiental, éstas se aplicarán en el sentido más favorable a la protección de la naturaleza.

Art. 396.- El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas.

La responsabilidad por daños ambientales es objetiva. Todo daño al ambiente, además de las sanciones correspondientes, implicará también la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas.

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua.

La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

Art. 412.- La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico.

2.4.3 Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes

2.4.3.1 Recurso agua

La presente norma tiene como objetivo la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, en lo que se refiere al agua, para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general.

2.4.3.2 Aguas residuales

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, que hayan sufrido degradación en su calidad original (TULSMA, 2016, pág. 288).

2.4.3.3 Tratamiento convencional para efluentes, previa a la descarga a un cuerpo receptor o al sistema de alcantarillado

Es aquel que está conformado por tratamiento primario y secundario, incluye desinfección.

Tratamiento primario.- Contempla el uso de operaciones físicas tales como: Desarenado, mezclado, floculación, flotación, sedimentación, filtración y el desbaste (principalmente rejillas, mallas, o cribas) para la eliminación de sólidos sedimentables y flotantes presentes en el agua residual.

Tratamiento secundario.- Contempla el empleo de procesos biológicos y químicos para remoción principalmente de compuestos orgánicos biodegradables y sólidos suspendidos.

El tratamiento secundario generalmente está precedido por procesos de depuración unitarios de tratamiento primario (TULSMA, 2016, pág. 292).

2.4.3.4 Tratamiento avanzado para efluentes, previo descarga a un cuerpo receptor o al sistema de alcantarillado

Es el tratamiento adicional necesario para remover sustancias suspendidas y disueltas que permanecen después del tratamiento convencional para efluentes (TULSMA, 2016, pág. 292).

2.4.3.5 Criterios generales de descarga de efluentes

1. Normas generales para descarga de efluentes, tanto al sistema de alcantarillado como a los cuerpos de agua.
2. Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado.
3. Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor.

a) Descarga a un cuerpo de agua dulce.

b) Descarga a un cuerpo de agua marina (TULSMA, 2016, pág. 294).

2.4.4 Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua

De acuerdo al artículo 3 el objeto de la presente Ley es garantizar el derecho humano al agua así como regular y controlar la autorización, gestión, preservación, conservación, restauración, de los recursos hídricos, uso y aprovechamiento del agua, la gestión integral y su recuperación, en sus distintas fases, formas y estados físicos, a fin de garantizar el *sumak kawsay* o buen vivir y los derechos de la naturaleza establecidos en la Constitución.

Artículo 37.- Servicios públicos básicos. Para efectos de esta Ley, se considerarán servicios públicos básicos, los de agua potable y saneamiento ambiental relacionados con el agua. La provisión de estos servicios presupone el otorgamiento de una autorización de uso.

La provisión de agua potable comprende los procesos de captación y tratamiento de agua cruda, almacenaje y transporte, conducción, impulsión, distribución, consumo, recaudación de costos, operación y mantenimiento.

La certificación de calidad del agua potable para consumo humano deberá ser emitida por la autoridad nacional de salud.

El saneamiento ambiental en relación con el agua comprende las siguientes actividades:

1. Alcantarillado sanitario: recolección y conducción, tratamiento y disposición final de aguas residuales y derivados del proceso de depuración; y, 2. Alcantarillado pluvial: recolección, conducción y disposición final de aguas lluvia.

El alcantarillado pluvial y el sanitario constituyen sistemas independientes sin interconexión posible, los gobiernos autónomos descentralizados municipales exigirán la implementación de estos sistemas en la infraestructura urbanística.

Artículo 38.- Prohibición de autorización del uso o aprovechamiento de aguas residuales. La Autoridad Única del Agua no expedirá autorización de uso y aprovechamiento de aguas residuales en los casos que obstruyan, limiten o afecten la ejecución de proyectos de saneamiento público o cuando incumplan con los parámetros en la normativa para cada uso.

Artículo 64.- Conservación del agua. La naturaleza o Pacha Mama tiene derecho a la conservación de las aguas con sus propiedades como soporte esencial para todas las formas de vida.

En la conservación del agua, la naturaleza tiene derecho a:

- a) La protección de sus fuentes, zonas de captación, regulación, recarga, afloramiento y cauces naturales de agua, en particular, nevados, glaciares, páramos, humedales y manglares;
- b) El mantenimiento del caudal ecológico como garantía de preservación de los ecosistemas y la biodiversidad;
- c) La preservación de la dinámica natural del ciclo integral del agua o ciclo hidrológico;
- d) La protección de las cuencas hidrográficas y los ecosistemas de toda contaminación; y,
- e) La restauración y recuperación de los ecosistemas por efecto de los desequilibrios producidos por la contaminación de las aguas y la erosión de los suelos.

Artículo. 65.- Gestión integrada del agua. Los recursos hídricos serán gestionados de forma integrada e integral, con enfoque ecosistémico que garantice la

biodiversidad, la sustentabilidad y su preservación conforme con lo que establezca el Reglamento de esta Ley.

Artículo 66.- Restauración y recuperación del agua.

La restauración del agua será independiente de la obligación del Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos afectados por la contaminación de las aguas o que dependan de los ecosistemas alterados.

La indemnización económica deberá ser invertida en la recuperación de la naturaleza y del daño ecológico causado; sin perjuicio de la sanción y la acción de repetición que corresponde.

Si el daño es causado por alguna institución del Estado, la indemnización se concretará en obras.

Artículo 79.- Objetivos de prevención y conservación del agua.- La Autoridad Única del Agua, la Autoridad Ambiental Nacional y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, trabajarán en coordinación para cumplir los siguientes objetivos:

- a) Garantizar el derecho humano al agua para el buen vivir o sumak kawsay, los derechos reconocidos a la naturaleza y la preservación de todas las formas de vida, en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación;
- b) Preservar la cantidad del agua y mejorar su calidad;
- c) Controlar y prevenir la acumulación en suelo y subsuelo de sustancias tóxicas, desechos, vertidos y otros elementos capaces de contaminar las aguas superficiales o subterráneas;
- d) Controlar las actividades que puedan causar la degradación del agua y de los ecosistemas acuáticos y terrestres con ella relacionados y cuando estén degradados disponer su restauración;

e) Prohibir, prevenir, controlar y sancionar la contaminación de las aguas mediante vertidos o depósito de desechos sólidos, líquidos y gaseosos; compuestos orgánicos, inorgánicos o cualquier otra sustancia tóxica que alteren la calidad del agua o afecten la salud humana, la fauna, flora y el equilibrio de la vida;

f) Garantizar la conservación integral y cuidado de las fuentes de agua delimitadas y el equilibrio del ciclo hidrológico; y,

g) Evitar la degradación de los ecosistemas relacionados al ciclo hidrológico.

Artículo 80.- Vertidos: prohibiciones y control. Se consideran como vertidos las descargas de aguas residuales que se realicen directa o indirectamente en el dominio hídrico público. Queda prohibido el vertido directo o indirecto de aguas o productos residuales, aguas servidas, sin tratamiento y lixiviados susceptibles de contaminar las aguas del dominio hídrico público.

La Autoridad Ambiental Nacional ejercerá el control de vertidos en coordinación con la Autoridad Única del Agua y los Gobiernos Autónomos Descentralizados acreditados en el sistema único de manejo ambiental.

Es responsabilidad de los gobiernos autónomos municipales el tratamiento de las aguas servidas y desechos sólidos, para evitar la contaminación de las aguas de conformidad con la ley.

Artículo 81.- Autorización administrativa de vertidos.

La autorización para realizar descargas estará incluida en los permisos ambientales que se emitan para el efecto. Los parámetros de la calidad del agua por ser vertida y el procedimiento para el otorgamiento, suspensión y revisión de la autorización, serán regulados por la Autoridad Ambiental Nacional o acreditada, en coordinación con la Autoridad Única del Agua.

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados en el ámbito de su competencia y dentro de su jurisdicción emitirán la autorización administrativa de descarga prevista en esta Ley con sujeción a las políticas públicas dictadas por la Autoridad Ambiental Nacional.

Artículo 82.- Participación y veeduría ciudadana. Las personas, pueblos y nacionalidades y colectivos sociales, podrán realizar procesos de veedurías, observatorios y otros mecanismos de control social sobre la calidad del agua y de los planes y programas de prevención y control de la contaminación, de conformidad con la Ley.

2.5 Hipótesis

¿Disminuirán los niveles de turbidez en el agua residual procedente de la laguna de oxidación del Cantón Chone al utilizar un coagulante natural a base de semillas de tamarindo?

CAPITULO III

3 METODOLOGÍA

3.1 Tipo de investigación

En el presente trabajo se utilizarán métodos y técnicas que permitan de manera clara y precisa recopilar la información cualitativa y cuantitativa para dar solución a la problemática detectada. A continuación se describen los métodos empleados.

3.1.1 Método experimental

En el método experimental el investigador controla deliberadamente las variables para delimitar relaciones entre ellas. En este método se recopilan datos para comparar las mediciones de comportamiento de un grupo control, con las mediciones de un grupo experimental. Las variables que se utilizan pueden ser variables dependientes (las que queremos medir o el objeto de estudio del investigador) y las variables independientes (las que el investigador manipula para ver la relación con la dependiente).

Los análisis de la investigación se realizaron en el laboratorio de aguas de la Universidad Técnica de Manabí.

3.2 Población y muestra.

Población: Aguas residuales de la laguna de oxidación del cantón Chone.

Muestra: Se tomaron 66 muestras de agua residual de la laguna de oxidación del Cantón Chone, de las cuales: 16 muestras para los análisis de experimentación del estudio de salinidad más efectivo en la solución coagulante de tamarindo, 5 muestras para los análisis de temperatura óptima del agua empleada en la preparación del coagulante, 20 muestras se utilizaron en los experimentos realizados para obtener la dosis óptima de harina de tamarindo para preparar el coagulante y 25 muestras empleadas en las repeticiones de análisis de coagulación para sustentar la efectividad de la sustancia.

3.3 Técnicas de investigación

El presente trabajo de investigación se realizará bajo las siguientes modalidades de investigación:

3.3.1 Técnica de muestreo simple

Se realizó un muestreo simple o casual. Para el muestreo simple se utilizó:

Un recipiente de recolección hecho para dicho efecto con material reciclable totalmente limpio.

Recipientes plásticos limpios de 20 litros para la recolección de las respectivas.

Se procedió a tomar las muestras en el punto de ingreso de las aguas residuales a la laguna de oxidación.

3.3.2 Preparación de test de jarras

El test de jarras es el método experimental que se utiliza con mayor frecuencia para simular a pequeña escala el proceso de coagulación-floculación. La técnica de test de jarras empleada en esta investigación corresponde a lo establecido en la Norma ASTM D 2035-08 Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water. Se utilizó un equipo PHIPPS & BIRD como se muestra en la figura 9, propiedad del laboratorio de aguas de la UTM (Universidad Técnica de Manabí).

Fig. 9 Equipo de test de jarra PHIPPS & BIRD



Fuente: Autor

Las unidades de turbiedad han sido expresadas en unidades nefelométricas (NTU).

3.4 Operacionalización de las variables

3.4.1 Definición de variables

Tabla 4. Definición de variables

Variables.	Dimensión	Indicadores
Causa: Dosis óptima de coagulante natural.	Semillas de planta	Cantidad de Tamarindus Indica (g) necesaria para remover la turbidez.
	Concentración del coagulante	Salinidad del coagulante
		Temperatura
Efectos: Reducción de turbidez en las aguas residuales del Cantón Chone	Agua Residual pre tratamiento	Análisis de laboratorio (turbidez en NTU)
	Agua residual post tratamiento	

Fuente: Autor

3.4.2 Variable dependiente: Remoción de la turbidez del agua residual.

Tabla 5. Variable dependiente

Lo Abstracto		Lo operativo		
Conceptualización	Categorías	Indicadores	Ítem básicos	Técnicas e Instrumentos
La reducción de la turbidez del agua residual con coagulante natural será evaluada para determinar su calidad antes de ser devuelta al Rio.	Parámetros Físico químicos	Turbidez	¿El agua tratada cumplirá con los parámetros para ser devuelta al cauce natural.	Análisis de laboratorio.

Fuente: Autor

3.4.3 Definición variable independiente: Dosis óptima de coagulantes naturales para la reducción de la turbidez en aguas residuales.

Tabla 6. Variable independiente

Lo Abstracto		Lo operativo		
Conceptualización	Categorías	Indicadores	Ítem básicos	Técnicas e Instrumentos
Un coagulante natural es una alternativa viable como sustituyente de los coagulantes químicos en la reducción de la turbidez de las aguas residuales.	Semillas de tamarindus indica	Concentración y dosis de solución coagulante.	¿Los análisis realizados serán suficientes para medir la efectividad del coagulante?	Medición de turbidez con turbidímetro.

Fuente: Autor

3.5 Recolección y tabulación de la información

La información que permitió comprobar la efectividad del coagulante natural preparado a base de semillas de tamarindo se obtuvo de las muestras tomadas en la laguna de oxidación, mediante análisis de test de jarras aplicando diferentes cantidades de la sustancia natural como coagulante para observar la reducción de la turbidez. Finalmente se realizó la tabulación de los datos en el programa Excel, los diseños experimentales con ayuda del programa estadístico infostat en el que se trabajó con una análisis de varianza tipo I. Los datos obtenidos fueron manejados estadísticamente a un nivel de significancia del 0.05%.

Las tablas 7, 8 y 9 muestran el modelo empleado en los diseños experimentales.

F.V = Fuentes de variación

SC = Suma de cuadrados

GI= Grados de incertidumbre

CM = Cuadrados medios

F = Razón F

Tabla 7. Análisis de la varianza para la elección de la harina de semillas de tamarindo H1 – H2 – H3 – H4 (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F
Modelo	3465,94	11	315,09	96,54
Harinas	1288,73	3	429,58	131,62
Gramos	1802,14	2	901,07	276,08
Harinas*Gramos	375,07	6	62,51	19,15
Error	221,94	68	3,26	
Total	3687,88	79		

Fuente: Autor. Cálculo de estudios

Tabla 8. Análisis de la varianza para la elección de la temperatura óptima del agua para preparar el coagulante natural (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F
Modelo	16864,71	5	3372,94	2984,90
Tratamiento	16864,71	5	3372,94	2984,90
Temperatura	0,00	0	0,00	sd
Tratamiento*Temperatura	0,00	0	0,00	sd
Tratamiento*Temperatura	0,00	0	0,00	sd
Error	13,56	12	1,13	
Total	16878,27	17		

Fuente: Autor. Cálculo de estudios

Tabla 9. Análisis de la varianza para la elección de la salinidad para preparar el coagulante natural (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F
Modelo	88,10	4	22,02	184,56
Tratamiento	88,10	4	22,02	184,56
Salinidad	0,00	0	0,00	sd
Tratamiento*Salinidad	0,00	0	0,00	sd
Error	1,19	10	0,12	
Total	89,29	14		

Fuente: Autor. Cálculo de estudios

3.5.1 Descripción del área de estudio

La Provincia de Manabí está situada al occidente del Ecuador, en la zona geográfica conocida como región Litoral o Costa.

El cantón Chone se encuentra ubicado en sector Nor – oeste del Ecuador continental, al norte de la provincia de Manabí, a una altitud de 13.4 msnm, cuya laguna de oxidación se sitúa a 500 m del casco urbano de la ciudad de Chone vía a la parroquia de Canuto.

La laguna de oxidación de la ciudad de Chone, posee una extensión de 4.7 hectáreas donde recibe diariamente las aguas residuales a través de las estaciones

de bombeo, amazonas, jardines del inca, el vergel y santa Martha. El caudal diario de aguas residuales es de 9504 m³/d.

El principal sistema de tratamiento de las aguas residuales que se generan en la ciudad de Chone, corresponde a una laguna de oxidación ubicada a 1 km de la ciudad de Chone, en la vía a la parroquia Canuto como se muestra en la figura 11. Tiene 232 metros de largo, 184 metros de ancho y profundidad de 2 metros. Ocupa un área total de 47.336 m².

Fig. 11 Ubicación de la laguna de oxidación del Cantón Chone



Fuente: Municipio del Cantón Chone

3.5.2 Descripción de la zona de muestreo

Las muestras empleadas para los test de jarra se recolectaron en la línea de impulsión de aguas residuales a la laguna de oxidación del Cantón Chone, procedentes de las cuatro estaciones de bombeo existentes en la ciudad: Estación Jardines del Inca, Estación Santa Martha, Estación el Vergel, Estación Amazonas. Los ensayos fueron realizados dos horas después de haber recogido las muestras, mismas que durante ese tiempo permanecieron a temperatura ambiente. Al momento de realizar las pruebas de jarras, se realizó agitación para homogenizar las muestras.

Fig. 12 Zona de muestreo



Fuente: Municipio del Cantón Chone

CAPITULO IV

4 DESCRIPCION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 Descripción de los resultados

4.1.1 Proceso de obtención de la harina de tamarindo para preparar el coagulante natural

Las semillas fueron adquiridas en el mercado local, se emplearon en diferentes condiciones con la finalidad de probar la efectividad de las harinas y decidir cuál es la más recomendable para preparar la solución coagulante que se empleará para reducir la turbidez de las aguas residuales del Cantón Chone.

4.1.1.1 Semillas de tamarindo con cáscara deshidratada (H1).- En este primer procedimiento se eliminó completamente la pulpa del tamarindo, se colocaron las semillas durante 10 días al sol (temperaturas aproximadamente de 30°C). Luego las semillas con testa fueron sometidas a molienda, para dicho efecto se utilizó un molino artesanal, obteniéndose de este modo un polvo grueso de color café-rojizo.

4.1.1.2 Semillas de tamarindo sin cáscara y deshidratadas (H2).- Una vez eliminada la pulpa del tamarindo, se colocaron las semillas durante 5 días al sol (temperaturas aproximadamente de 30°C), con ayuda de un esmeril se eliminó el recubrimiento de las semillas y se colocaron al sol por 5 días más para deshidratar. Posteriormente las semillas deshidratadas fueron sometidas a un proceso de molienda, para dicho efecto se utilizó un molino artesanal, obteniéndose de este modo un polvo de color blanquecino.

4.1.1.3 Semillas de tamarindo con cáscara e hidratadas (H3).- Se introdujeron las semillas de tamarindo en un recipiente hermético y se le agregó agua a 80°C, se dejaron en reposo durante 12. Posteriormente se procedió a moler las semillas de tamarindo con testa e hidratadas en un molino artesanal, obteniéndose producto húmedo de color pardo.

4.1.1.4 Semillas de tamarindo sin cáscara e hidratadas (H4).- Para hidratar las semillas de tamarindo se utilizó agua a 80°C, se introdujeron las semillas en un recipiente hermético y se le agregó el agua caliente, se dejaron en reposo durante 12 horas para eliminar la testa de la semilla. Posteriormente se procedió a moler las semillas de tamarindo en un molino artesanal, obteniéndose producto harinoso con mayor humedad de color blanquecino.

Para realizar las primeras pruebas se tomaron 5 muestras de agua residual en días diferentes como se muestra en la tabla 10, a estas muestras se le realizaron mediciones de turbiedad y pH (anexo A), luego se mezclaron y homogenizaron para obtener una muestra compuesta con la que se probó el efecto coagulante de las semillas de tamarindo.

Tabla 10. Tabla de parámetros de las condiciones iniciales del agua residual utilizada para probar el efecto coagulante de las harinas de tamarindo

Parámetros	20/7/18	22/7/18	24/7/18	26/7/18	28/7/18	Promedio	Margen de error
Turbiedad	102	98	87,6	114	99,3	99	± 15
pH	7,12	7,26	7,15	7,28	7,25	7,23	± 0,16

Fuente: Autor

Las muestras de harina de tamarindo obtenidas en el proceso antes descrito, se utilizaron en la elaboración de soluciones coagulantes para medir el porcentaje de reducción de turbidez en la muestra compuesta.

Se prepararon soluciones de cada harina con 100 mililitros de agua a 35°C, la mezcla se sometió a agitación durante cinco minutos. Se dejó en reposo durante 10 minutos y luego se procedió a filtrar con ayuda de papel filtro. Con la solución resultante se realizaron dosificaciones de 2,5 ml, para dicho efecto se emplearon 500 ml de muestra por cada prueba realizada.

En las soluciones preparadas con un gramo de las diferentes harinas de semillas de tamarindo no se logró observar coagulación en la muestra, por lo que no hubo reducción en la turbidez.

Los resultados obtenidos a partir de las soluciones preparadas con 2 y 3 gramos de cada harina respectivamente tampoco presentaron remoción de la turbidez, por lo que fue necesario incrementar la dosis de harinas de semillas de tamarindo.

Con dosis de 4, 8 y 10 gramos de las harinas de semillas de tamarindo se observaron valores de reducción de la turbidez.

4.1.2 Elección de la harina óptima para la preparación del coagulante natural

Con ayuda de una balanza (anexo B) se pesaron las harinas, inicialmente 4 gramos de las harinas como se muestra en la tabla 8 para la preparación de coagulantes. Por cada muestra se utilizaron 500 ml de muestra y se adicionaron 2,5 ml de solución coagulante. Se realizaron 5 réplicas por cada solución coagulante.

De acuerdo a la tabla 8 al incrementar hasta 8 gramos la cantidad de harinas utilizadas en la preparación de las soluciones coagulantes se lograron obtener porcentajes de reducción de turbidez más altos. Por cada muestra se utilizaron 500 ml de muestra y se adicionaron 2,5 ml de solución coagulante. Se realizaron 5 réplicas por cada solución coagulante.

Finalmente se prepararon soluciones con 10 gramos de harina, donde se lograron obtener los porcentajes de reducción de turbidez más altos. Como se muestran en la tabla 11 a mayor concentración de la sustancia coagulante natural hubo mayor remoción de la turbidez. Los porcentajes de remoción que se muestran en la tabla están basados en 10 repeticiones, agregando 2,5 ml de la solución coagulante a cada 500 ml de la muestra.

A continuación se indica la nomenclatura correspondiente a la tabla 8:

H1= Semillas de tamarindo con cáscara deshidratadas

H2= Semillas de tamarindo sin cáscara deshidratadas

H3= Semillas de tamarindo con cáscaras e hidratadas

H4= Semillas de tamarindo sin cáscara e hidratadas

R1= replica 1

R2= replica 2

R3= replica 3

R4= replica 4

R5= replica 5

R6= replica 6

R7= replica 7

R8= replica 8

R9= replica 9

R10= replica 10

Tabla 11. Dosis de harina de tamarindo H1, H2, H3 Y H4 para la preparación de coagulantes

Muestras de harina de semillas de tamarindo	Dosis de Harina de semillas de tamarindo (g)	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	Remoción de turbidez del coagulante (%)
H1	4	97,7	97,1	96,5	96,7	96	-	-	-	-	-	2,21%
H2	4	93,5	93,2	93,7	93,9	93,5	-	-	-	-	-	5,49%
H3	4	94,9	94,6	94,8	94,7	95,1	-	-	-	-	-	4,23%
H4	4	96,8	96,4	96,9	97,3	96,5	-	-	-	-	-	2,25%
H1	8	89,1	87,3	87,7	89,5	89	-	-	-	-	-	10,59%
H2	8	85,4	85,1	83,3	84,8	85,4	-	-	-	-	-	14,34%
H3	8	88,9	90,8	91,2	89,4	89,2	-	-	-	-	-	9,19%
H4	8	92,9	93,1	92,8	91,5	93,5	-	-	-	-	-	6,30%
H1	10	85,4	84,6	84,5	81,8	81,7	83	84,3	88,4	86,4	89,1	14,22%
H2	10	75,4	77,5	77,6	76,7	80	73,5	78	72,4	71,7	71,4	23,82%
H3	10	80,5	87,9	80,4	82,4	84,2	82,1	83,3	83,2	80,7	85,2	16,17%
H4	10	91,1	93,1	92,8	92,5	95,2	93,3	91,4	90,8	93,3	90,6	6,66%

Fuente: Autor

4.1.3 Efecto de la temperatura en el proceso de obtención del coagulante natural de tamarindo

La temperatura del agua en la preparación de los coagulantes juega un papel importante, ya que al aumentarla se observa mayor viscosidad de la sustancia, así como presencia de color (anexo E) aportado por los restos de cascara de las semillas de tamarindo como se muestra en la figura 12. En base al estudio realizado se determinó que la temperatura óptima para el agua empelada en la preparación de los coagulantes es de 40 °C.

La tabla 12 muestra los análisis que se realizaron para poder determinar la temperatura adecuada para el agua que se emplearía en la preparación de la solución coagulante.

Se varió la temperatura, y se mantuvieron fijos los valores de cloruro de sodio (1 gramo) y de harina de semillas de tamarindo H2 (10 gramos), se tomaron 3 testigos (Testigo 1= 90,8 NTU – Testigo 2= 90,5 NTU – Testigo 3= 91,2 NTU) a los que se le dosificó 1 ml de la solución preparada por cada 500 ml de muestra de agua residual con la finalidad de probar el efecto de reducción de la turbidez, se realizaron tres replicas por cada temperatura con la que se trabajó.

Tabla 12. Efecto de la temperatura en la preparación del coagulante de tamarindo

Tratamiento	Preparación de solución coagulante en 250 ml de agua	Turbidez (NTU)
	Temperatura (°C)	
T11	35	37,5
T12	35	37,8
T13	35	38,1
T21	40	30,8
T22	40	31,1
T23	40	30,5
T31	45	44,7
T32	45	44,1
T33	45	44,2
T41	50	85,7
T42	50	85,4
T43	50	86,1
T51	55	93,5
T52	55	93,7
T53	55	92,1
T61	60	112
T62	60	108
T63	60	112,2

Fuente: Autor

4.1.4 Efecto de salinidad en el proceso de obtención del coagulante natural de tamarindo

Para mejorar el coagulante natural se consideró agregar cloruro de sodio a la preparación ya que este es un componente que ayuda a la mejor extracción de los taninos que son sustancias coagulantes presentes en las semillas de tamarindo.

Los taninos son polifenoles solubles en agua, son ésteres del ácido gálico y sus derivados. Altas concentraciones de taninos se encuentran en casi cada parte de la planta, tales como hojas, fruto, raíces, semillas y corteza. Los taninos precipitan alcaloides, gelatinas y otras proteínas, tienen propiedades microbianas y son capaces de formar enlaces con iones metálicos y pigmentos (Banchón Bajaña, n.d.).

La tabla 13 muestra los análisis realizados para establecer la cantidad de cloruro de sodio (NaCl) que se empleó en la preparación de la solución coagulante de tamarindo.

Se utilizaron dosis fijas de harina de semillas de tamarindo H2 (10 gramos) y agua pura a 40°C de temperatura. Se tomaron 3 testigos (Testigo 1= 88,7 NTU – Testigo 2= 88,5 NTU – Testigo 3= 88,2 NTU) para probar el efecto de reducción de la turbidez. Se dosificó 1 ml de la solución preparada por cada 500 ml de muestra de agua residual con la finalidad de medir la turbidez final, se realizaron tres replicas por cada temperatura con la que se trabajó.

Tabla 13. Efecto de la salinidad en la preparación del coagulante de tamarindo

Tratamiento	Preparación de solución coagulante en 250 ml de agua	Turbidez (NTU)
	NaCl (g)	
S11	0,25	44,7
S12	0,25	45,8
S13	0,25	44,6
S21	0,5	43,6
S22	0,5	43,8
S23	0,5	43,5
S31	0,75	41,4
S32	0,75	40,9
S33	0,75	40,8
S41	1	38,3
S42	1	38,4
S43	1	38,4
S51	1,25	44,1
S52	1,25	43,9
S53	1,25	44,2

Fuente: Autor

4.2 Análisis de los resultados

Para esta investigación cada factor que intervino se estudió por separado. La tabla 14 muestra las medias de la turbidez luego del uso de los coagulantes preparados con las cuatro diferentes harinas de semillas de tamarindo.

Tabla 14. Test: Tukey para elección de la harina de semillas de tamarindo

Error: 3,2638 gl: 68

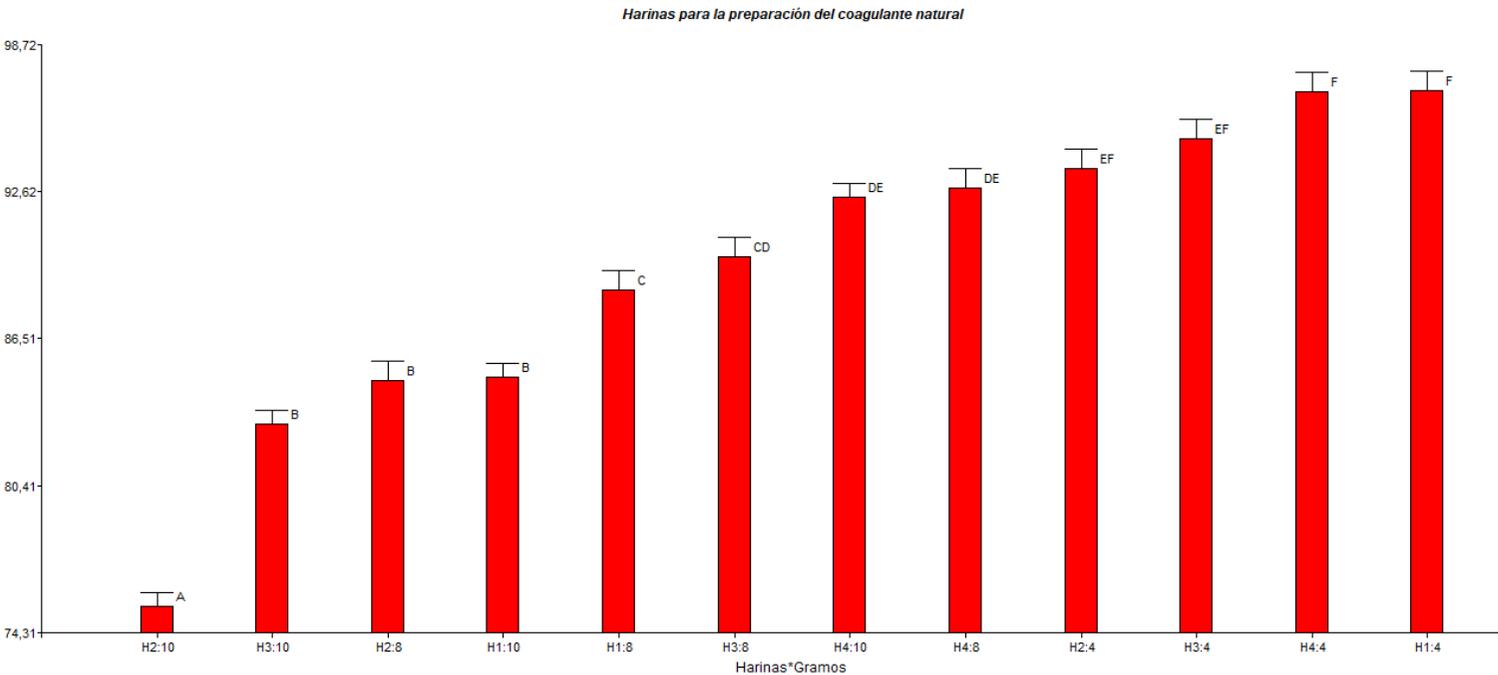
<i>Harinas</i>	<i>Gramos</i>	<i>Medias</i>	<i>n</i>	<i>E.E.</i>				
H2	10	75,42	10	0,57	A			
H3	10	82,99	10	0,57	B			
H2	8	84,80	5	0,81	B			
H1	10	84,92	10	0,57	B			
H1	8	88,52	5	0,81		C		
H3	8	89,90	5	0,81		C	D	
H4	10	92,41	10	0,57			D	E
H4	8	92,76	5	0,81			D	E
H2	4	93,56	5	0,81				E F
H3	4	94,82	5	0,81				E F
H4	4	96,78	5	0,81				F
H1	4	96,80	5	0,81				F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Fuente: Autor. Cálculo de estudios

El grafico 13 nos muestra que con la harina H2 se obtuvieron los valores más bajos de turbidez en relación a las muestras iniciales del agua residual.

Fig. 13 Tipo de harina en la preparación del coagulante



Fuente: Autor. Cálculo de estudios

Se estimaron seis análisis con tres replicas cada uno a distintos grados centígrados (°C) para determinar la temperatura óptima del agua con la que se preparó el coagulante.

La tabla 15 muestra los valores de las medias resultantes para determinar la mejor temperatura en la preparación del coagulante natural.

Tabla 15. Pruebas de efectos inter-sujetos para temperatura

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,91537
 Error: 1,1300 gl: 12

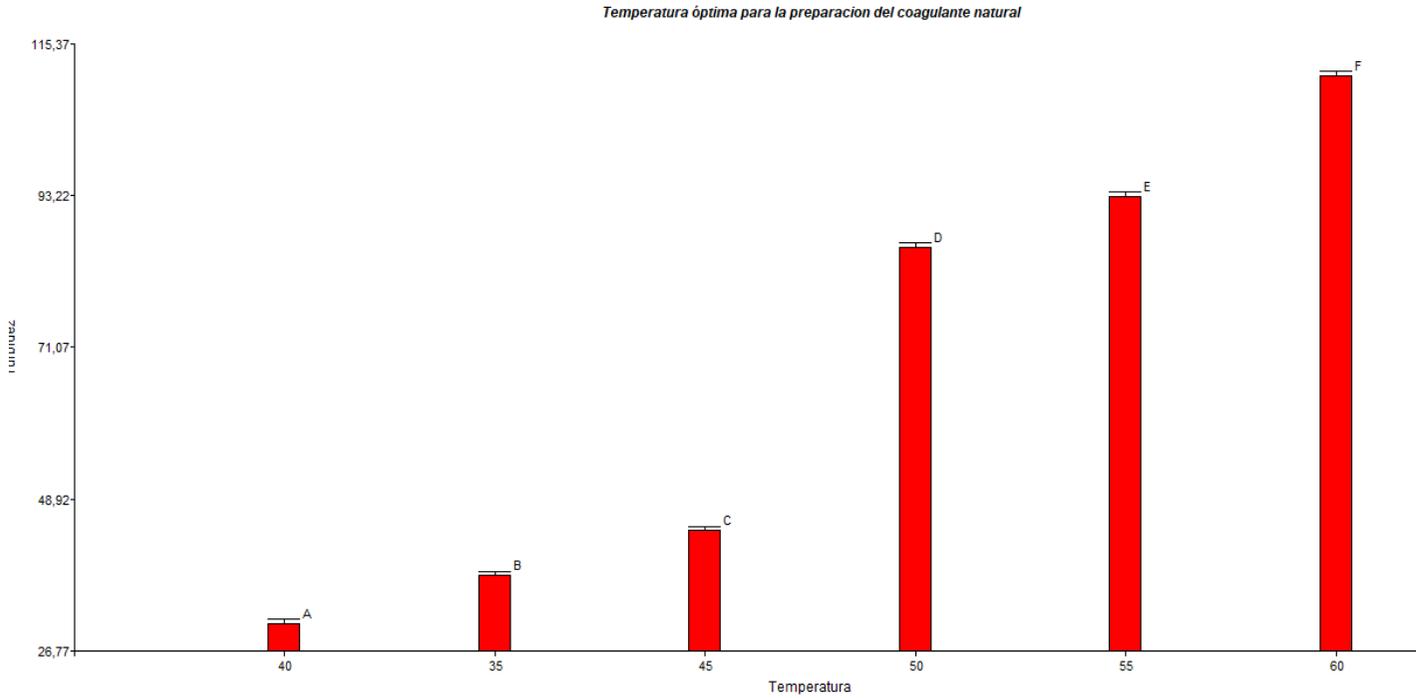
Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T12	30,80	3	0,61	A
T11	37,80	3	0,61	B
T13	44,33	3	0,61	C
T14	85,73	3	0,61	D
T15	93,10	3	0,61	E
T16	110,73	3	0,61	F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fuente: Autor. Cálculo de estudios

De acuerdo a la figura 14 la temperatura más adecuada para la preparación del coagulante es de 40 °C, se logra reducir el porcentaje de turbidez y al mismo tiempo la solución coagulante no se vuelve excesivamente viscosa cuando la solución se enfría, tampoco ocasiona aporte de color proporcionado por los restos de la testa de la semilla de tamarindo.

Fig. 14 Efecto de la temperatura en la preparación del coagulante



Fuente: Autor. Cálculo de estudios

Para encontrar la concentración de cloruro de sodio adecuada para la preparación del coagulante natural se realizaron 5 análisis con 3 réplicas cada uno.

La tabla 16 muestra los valores de las medias empeladas para determinar la mejor concentración de cloruro de sodio en la preparación del coagulante natural.

Tabla 16. Pruebas de efectos inter-sujetos para salinidad

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,92827

Error: 0,1193 gl: 10

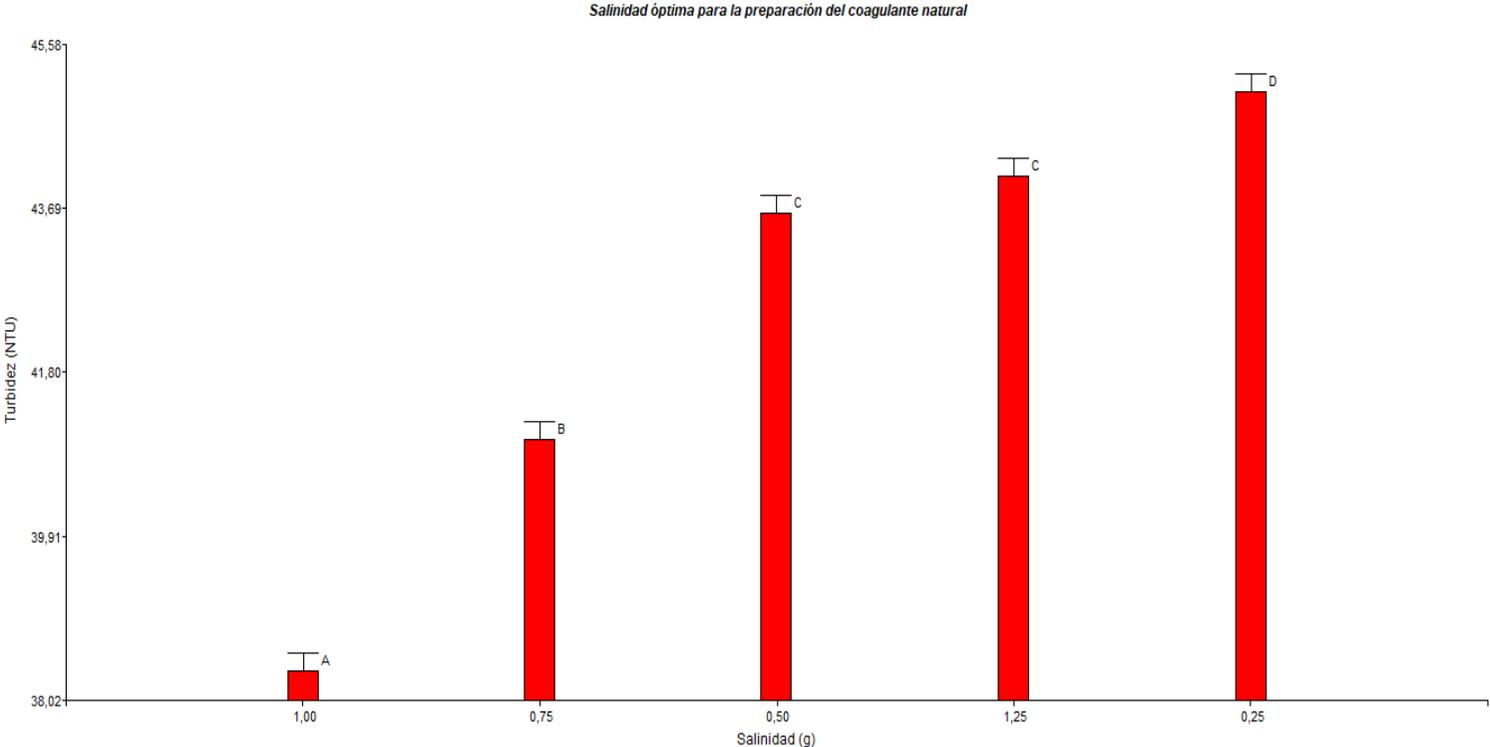
Tratamiento	Medias	n	E.E.	
S14	38,37	3	0,20	A
S13	41,03	3	0,20	B
S12	43,63	3	0,20	C
S15	44,07	3	0,20	C
S11	45,03	3	0,20	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fuente: Autor. Cálculo de estudios

De acuerdo a la figura 15 el punto de menor turbidez se encontró cuando se empleó 1 gramo de cloruro de sodio ya que mayor concentración de sal se nota el incremento de la turbidez.

Fig. 15 Efecto de la salinidad en la preparación del coagulante



Fuente: Autor. Cálculo de estudios

Finalmente se realizó la determinación de la concentración de harina de semillas de tamarindo empleada en la preparación del coagulante natural bajo las condiciones de temperatura y salinidad antes establecidas. Para ello se utilizaron 20 muestras con 5 réplicas cada una donde se varió la cantidad en ml del coagulante preparado empezando desde 0,5 ml hasta 2,5 ml. En la tabla 11 se muestran coagulantes elaborados con 250 ml de agua pura a 40°C, 1,0 gramo de cloruro de sodio y distintas concentraciones de harina de semillas de tamarindo.

Tabla 17. Efecto 1 de la concentración de harina de tamarindo en la preparación del coagulante natural

Coagulantes	Dosis de harina de semillas de tamarindo (g)	Dosis de solución coagulante en ml					Remoción de turbidez del coagulante (%)
		0,5	1	1,5	2	2,5	
A	0,5	82,9	81,7	78,5	74	70,1	12,4
B	1	90,8	86,3	79,1	73,3	66	15,6
C	1,5	80,9	75,4	70,3	68,7	62,5	16
D	2	74,9	72,7	66,1	64,4	60,9	15,7
E	2,5	72,2	68,1	62,8	59,3	52,1	25,4
F	3	64,1	60,5	56,9	54,8	50,7	27,8
G	3,5	67,1	62,3	59,4	57,1	50,4	35
H	4	65,4	60,5	58,7	53,8	51,7	36
I	4,5	60,2	55,3	50,9	46,4	44,1	41,2
J	5	44,2	38,2	29,7	25,6	19,8	63,5
		11	12	13	14	15	

Fuente: Autor

Se prepararon soluciones coagulantes con dosis superiores a 5 gramos de harina de semillas de tamarindo como se muestra en la tabla 12. Se realizaron 5 réplicas por muestra.

Tabla 18. Efecto 2 de la concentración de harina de tamarindo en la preparación del coagulante natural

Coagulantes	Dosis de harina de semillas de tamarindo (g)	Dosis de solución coagulante en ml					Remoción de turbidez del coagulante (%)
		0,5	1	1,5	2	2,5	
K	5,5	47,7	44,8	36,8	31,3	27,2	55,4
L	6	51,2	48,7	38,5	33,6	30,4	53
M	6,5	52,3	51,9	38,9	35,5	30,3	49
N	7	58,2	47,3	41,4	39,7	39,5	46
O	7,5	64,4	59,9	57,2	54,9	51,1	36,4
P	8	43,2	42,3	32,1	38,5	37,1	54,5
Q	8,5	49,4	48,1	50,4	49,3	48,7	38,3
R	9	72,3	71,2	70,1	67,3	68,3	22,5
S	9,5	58,1	58,3	58,5	58,8	58,2	31
T	10	41,7	41,1	41,7	40,9	39,9	52,2
		11	12	13	14	15	

Fuente: Autor

De acuerdo a la figura 17 con 5 gramos de harina de tamarindo se preparó el coagulante natural más efectivo, ya que es aquel con el que se logró una mejor remoción de la turbidez de las aguas residuales del cantón Chone.

En función de cada uno de los gráficos se estableció que la concentración de harina de semillas de tamarindo para la preparación del coagulante natural es de 5 gramos, la cantidad de cloruro de sodio es de 1 gramo y la temperatura 40°C por cada 250 ml de agua pura (de acuerdo a la figura 18). Además se obtuvo la reducción de turbidez más significativa empleando por cada 500 ml de agua residual 2,5 ml del coagulante natural, siendo este el tratamiento más efectivo detectado en este estudio.

El valor más bajo de turbidez obtenido fue de 19,8 NTU logrando con esto una reducción de la turbidez frente a la muestra inicial del 77% de reducción en el nivel de turbidez de las aguas residuales de la laguna de oxidación del Cantón Chone.

A continuación se muestra en la tabla 19 los análisis físicos químicos del agua residual de ingreso a la laguna de oxidación (agua cruda), después de la aplicación del mejor tratamiento (agua después del uso del coagulante de tamarindo), y los valores que establece la norma ambiental para descarga de aguas residuales a un cauce natural de agua dulce.

Los resultados de los análisis detallados en la tabla anexa (23) se realizaron para identificar si existe relación entre la aplicación del coagulante natural y otros parámetros físico-químicos que causan contaminación en las aguas residuales.

Tabla 19. Análisis físico-químico del agua antes y después del tratamiento

Parámetros	Agua Residual	Agua después del uso del coagulante de tamarindo	Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes
DQO	271	257	250
DBO	109	98	100
Sólidos disueltos, mg/L	431	513	-
Ph	6,9	7,2	
Turbidez, NTU	97,2	14,4	-
Sólidos suspendidos, mg/L	82	32	100
Dureza, mg/L	115,2	144,2	-
Hierro, mg/L	0,5	0,3	10
Sílice, mg/L	22,6	18,1	-

Fuente: Laboratorio Aguas y crudos La Fabril S.A

4.3 Comprobación de la hipótesis

Hipótesis: ¿Disminuirán los niveles de turbidez en el agua residual procedente de la laguna de oxidación del Cantón Chone al utilizar un coagulante natural a base de semillas de tamarindo?

Para la comprobación de la hipótesis se debe considerar los análisis realizados para la determinación de un coagulante óptimo para ser empleado en el proceso de coagulación y reducir la turbidez de las aguas residuales del Cantón, así como los análisis que determinan las variaciones en los parámetros considerados dentro de las variables.

En base a los resultados obtenidos en la presente investigación sobre el uso de un coagulante natural en reducción de la turbidez de las aguas residuales de Chone, se puede determinar que la semilla del tamarindo presenta un alto efecto coagulante que puede ser empleado en la elaboración de un coagulante natural al ser, y que al ser un componente vegetal es altamente degradable y menos contaminante.

En la tabla 19 se puede observar claramente que existen diferencias significativas en la reducción de los parámetros del agua cruda y tratada.

De esta forma **se comprueba la hipótesis planteada** en la investigación, es decir el uso de un coagulante natural logra reducir la turbidez de las aguas residuales del Cantón Chone.

CAPITULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se logró obtener un coagulante orgánico natural a base de polvo de semillas de tamarindo peladas y deshidratadas, ya que este presentó un mejor efecto coagulante frente a las semillas de tamarindo sin pelar deshidratadas, peladas hidratadas y sin pelar hidratadas.

Se evaluaron los factores temperatura y salinidad que incidían directamente en la preparación del coagulante natural, encontrándose valores óptimos para cada uno de ellos.

Se determinó como dosis óptima para la reducción de turbidez en las aguas residuales del Cantón Chone el valor de 2,5 ml de la solución coagulante J por cada 500 ml de agua residual.

Se logró establecer una propuesta de mejoras en el tratamiento que se efectúa en la laguna de oxidación del Cantón Chone, además de establecer como base de datos para futuros estudios la tesis desarrollada. En Chone es factible tanto técnica como económicamente el uso de semillas de tamarindo para el tratamiento de aguas residuales a nivel de sistemas centralizados rurales, ya que la elaboración del coagulante es sencilla y accesible, y se requieren unas pocas semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) para tratar un litro de agua.

5.2 Recomendaciones

Implementar una planta de aguas residuales que permita depurar las aguas residuales del Cantón Chone.

Promover la producción del polvo a base de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) para la elaboración del coagulante orgánico natural a una mayor escala para su uso en tratamiento de aguas residuales.

Incentivar el uso del coagulante orgánico natural a base de semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la remoción de turbidez, ya que de acuerdo con los valores obtenidos en esta investigación, este proporciona altos porcentajes de remoción de turbidez, y las semillas son de fácil obtención ya que el árbol de tamarindo crece con frecuencia en nuestro medio.

En la actualidad no se obtiene de manera comercial harina de semillas de tamarindo por lo que se recomienda desarrollar estudios en los que se aplique la metodología descrita en esta investigación, principalmente en las zonas rurales, donde no existen lagunas de oxidación, con el fin de concientizar a las comunidades sobre la importancia de descontaminar las aguas antes de que estas sean descargadas a las fuentes naturales.

Se recomienda luego del proceso de coagulación el uso de un filtro que permita eliminar los sólidos suspendidos en el agua ya que de esta forma se obtendrán mayor reducción en los parámetros considerados según la norma para descarga de aguas residuales a un cauce natural.

CAPITULO VI

6 PROPUESTA

6.1 Justificación

El agua es un recurso muy importante que forma parte del estilo de vida del ser humano; se le da diversos usos: alimentación, higiene personal, recreación, turismo, entre otras.

El agua de suministro doméstico e industrial, una vez utilizada contiene una gran cantidad de materia orgánica, microorganismos patógenos, metales pesados, sólidos en suspensión, compuestos volátiles y otros elementos que al ser liberados sin un previo tratamiento conducen a un deterioro ambiental. Generalmente estas aguas residuales son descargadas directamente en las corrientes y cuerpos superficiales de agua alterando su calidad y generando problemas ambientales a tal grado que el agua queda inutilizable.

Una manera efectiva de evitar y solucionar la mayor parte de problemas generados por la mala disposición de las aguas residuales es mediante la aplicación de un tratamiento a la misma. La ejecución de un proceso de tratamiento del agua residual permite disminuir la contaminación al ecosistema y la mejora de la salud de los habitantes del sector.

Por otro lado y considerando la Constitución del Ecuador 2008, en el Título II, Capítulo Segundo, Sección Segunda, Artículo 14, se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, declarando de interés público la preservación del ambiente, la recuperación de espacios naturales degradados, y la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad.

Con estos argumentos se demuestra la importancia que existe en realizar un proyecto ambiental que permita mejorar la calidad de vida de los habitantes del Cantón Chone. El presente estudio pretende dar una propuesta de solución

mediante el diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales provenientes la laguna de oxidación.

6.2 Fundamentación

A partir de la primera mitad del siglo XX la introducción del alcantarillado en las ciudades en vías de desarrollo dio paso a la generación de cantidades considerables de aguas residuales que incrementaban su volumen a medida que crecía la demanda de agua urbana. Muchos de los sistemas de alcantarillado se descargaban a los cursos de agua sin tratamiento alguno. A comienzos del siglo XX varias ciudades e industrias empezaron a reconocer que el vertido directo de desechos en los ríos provocaba problemas sanitarios (CENTA, 2008). Esto llevó a la construcción de instalaciones de depuración. Aproximadamente en aquellos mismos años se introdujo la fosa séptica como mecanismo para el tratamiento de las aguas residuales domésticas tanto en las áreas suburbanas como en las rurales.

Mejorar la calidad del agua a nivel mundial genera restablecimiento en la salud pública y además ayuda a la preservación y conservación de los recursos naturales, especialmente el recurso hídrico considerado uno de los más importantes para la vida.

El proceso de coagulación-floculación es de los más utilizados en los procesos de clarificación del agua residual, para este efecto se emplean normalmente sustancias de origen inorgánico, tal como las sales de hierro y aluminio. Los coagulantes inorgánicos acarrear diferentes desventajas tanto ambientales como económicas; los lodos generados en el proceso de sedimentación están constituidos en parte por los restos del coagulante que no reaccionaron durante el proceso, alterando las características naturales de las fuentes hídricas a las cuales son vertidos posteriormente y a su vez poniendo a la población en riesgo de posibles enfermedades como el Alzheimer. Específicamente el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ es altamente dependiente del pH ya que requiere de agentes estabilizadores para así aumentar su efectividad de coagulación lo que genera mayores costos económicos.

La evaluación de coagulantes naturales para el tratamiento de aguas es de gran importancia en el campo ambiental y sanitario. Encontrar sustancias en la naturaleza que provean remociones similares a las sales metálicas tradicionalmente usadas, que además sean de fácil adquisición, bajo costo y amigable con el medio ambiente motiva la investigación en el área del tratamiento de aguas residuales.

El uso de coagulantes naturales ha tenido un gran desarrollo en los últimos años, varias plantas y semillas han sido objetos de estudio, entre ellas las semillas de tamarindus indica (tamarindo) que se utilizó para la elaboración del coagulante natural evaluado en este estudio.

El tratamiento de las aguas residuales en el cantón Chone está a cargo del municipio del mismo nombre. El afluente es receptado en la laguna de oxidación desde las estaciones de bombeo, cuenta con un solo estanque por lo que el sistema de almacenamiento es ineficiente, por otra parte el sistema actual de tratamiento permite descontaminar 100 de los 9500 m³ de aguas residuales que diariamente son generados en el casco urbano del cantón antes de ser devueltos al cauce natural.

Las normas técnicas establecen límites de descarga a un cuerpo de agua dulce; de no cumplirse con los parámetros se originan problemas ambientales que afectan la salud y la calidad de vida de la población, se vulneran derechos constitucionales, tales como la vida, el derecho a un ambiente sano entre, por lo tanto es prioritario que se tomen medidas urgentes de remediación de la planta de tratamiento de las aguas residuales existentes actualmente en la laguna de oxidación de Chone.

6.3 Objetivos

6.3.1 Objetivo general.

Implementar una planta de tratamiento de aguas residuales en el Cantón Chone.

6.3.2 Objetivos específicos.

- ✓ Definir de acuerdo a las características del agua residual cual sería el mejor sistema de tratamiento.
- ✓ Implementar el uso de coagulante de semillas de tamarindo.

6.4 Importancia

El principio básico de la política de protección del medio ambiente es el de prevención. Este principio consiste en salvaguardar la calidad de los recursos naturales, en minimizar las sustancias contaminantes.

También se considera una estrategia de reducción en la fuente. Se trata de abandonar la actitud tradicional de reaccionar ante los problemas de la contaminación después de que hayan ocurrido y sustituirla por la de prevenirlos y evitar que se produzcan.

Existen dos causas fundamentales por las que las aguas residuales deben ser pulidas antes de que se viertan a un cauce natural como ríos, lagos o mares. En primera instancia, precautelar la salud pública y el medio ambiente, ya que es probable que al introducir sustancias contaminantes se produzcan significativos daños ecológicos y enfermedades producidas por virus y bacterias.

Finalmente el aprovechamiento del efluente tratado para otros fines, se conoce de actividades humanas que no requieren necesariamente agua potable para su desarrollo, por ejemplo el riego de zonas verdes, uso industrial entre otros.

Es indispensable que la planta de tratamiento de aguas residuales del Cantón Chone sufra considerables modificaciones en su funcionamiento operacional, así como la implementación de espacios físicos que permitan tratar el caudal diario de aguas residuales de manera efectiva.

6.5 Ubicación sectorial

Se plantea utilizar el terreno adjunto a la laguna ya existente como se muestra en la figura 16.

Fig. 16 Ubicación del sector donde se implementará el sistema de tratamiento de aguas residuales del Cantón Chone



Fuente: Municipio de Chone

6.6 Factibilidad

➤ Factibilidad técnica.

Isa S.A (Ingeniería y Servicios Ambientales con sede Santa Lucía, Cumbaya, Quito – Ecuador) es la compañía que estará a cargo de los estudios técnicos y construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales en el cantón Chone.

Con el estudio técnico se pretende:

Determinar la localización más adecuada de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Enunciar las características con que cuenta la zona de influencia.

Definir el tamaño y capacidad.

Mostrar la distribución y diseño de las instalaciones.

Especificar el presupuesto de inversión.

Incluir un cronograma de inversión de las actividades que se contemplan en el proyecto hasta su puesta en marcha.

➤ Factibilidad económica

Se presentarán los análisis detallados de la evaluación económica y las diferentes alternativas para abordar y dar solución a la problemática planteada. Adicional, se realiza el análisis y cuantificación de los costos de operación y beneficios económicos esperados:

Determinar el monto de inversión total requerida y el tiempo en que será realizada.

Analizar costos y gastos requeridos en el proyecto.

➤ Factibilidad operativa.

En lo que respecta a la parte operativa, se deberá contratar personal capacitado y especializado en diseño y tratamiento de sistemas de aguas residuales.

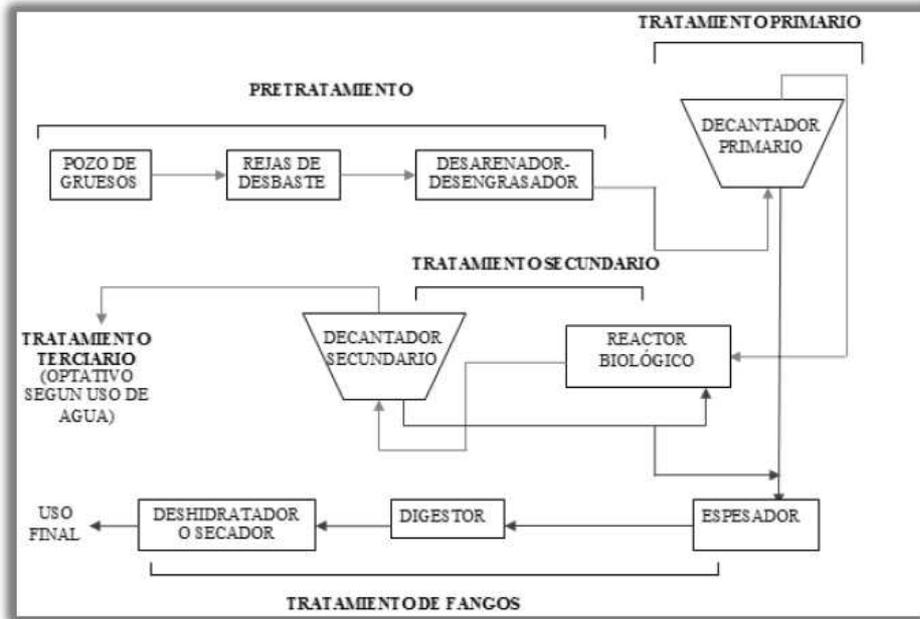
Se deberá capacitar al personal sobre el manejo de todos los equipos y operaciones unitarias con las que contará la planta de tratamiento de aguas residuales.

6.7 Descripción de la propuesta

La propuesta planteada constara de las siguientes fases: pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario.

Estos procedimientos empiezan en la EDAR (estación depuradora de aguas residuales) después de la recolección y conducción de las aguas residuales.

Fig. 17 Diagrama del sistema de tratamiento de aguas residuales de Chone según la propuesta planteada



Fuente: (CENTA, 2008)

6.7.1 Recogida y conducción

Para empezar con el tratamiento en una estación depuradora de aguas residuales (EDAR) o planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) el primer paso a seguir es la recolección y conducción de las aguas residuales. Se requiere de una compleja red de tuberías (alcantarillado, colectores) para efectuar la recolección y conducción de aguas residuales desde su lugar de origen hasta la planta depuradora. “Normalmente, los sistemas de recogida son unitarios. Es decir, la red de saneamiento recoge tanto las aguas residuales, como las de lluvia” (CENTA, 2008). Siendo lo ideal que cada planta depuradora cuente con un sistema separativo donde las aguas residuales no se mezclen con las aguas blancas procedentes de las lluvias.

6.7.2 Pretratamiento de aguas residuales

El pretratamiento de las aguas residuales “se refiere a la eliminación de aquellos componentes que puedan provocar problemas operacionales y de mantenimiento en el proceso de tratamiento o en los sistemas auxiliares” (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013). Consiste en eliminar los objetos de mayor tamaño, arenas y grasas presentes en las aguas residuales. En este proceso también se pueden utilizar trituradores para la reducción de los desechos de mayor tamaño.

6.7.3 Tratamiento primario de aguas residuales

El principal objetivo de los tratamientos primarios es la eliminación de sólidos en suspensión en cualquiera de sus formas: sedimentables, flotantes y coloidales. Consiguiéndose además una cierta reducción de la contaminación biodegradable, dado que una parte de los sólidos que se eliminan está constituida por, materia orgánica (CENTA, 2008). Las cifras de remoción comúnmente alcanzadas en aguas residuales municipales son del 60% en sólidos suspendidos y de 30% en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013, pág. 12).

Este tratamiento es económico y de fácil operación, pero su eficiencia es reducida; lo cual significa que en algunos casos no se alcancen los parámetros establecidos para efluentes de agua residual. Además, debería remover aproximadamente la mitad de los sólidos suspendidos (SS) (Campos Gómez & Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica, 2000).

6.7.4 Tratamiento secundario de aguas residuales

El tratamiento secundario se realiza luego de haber concluido todas las operaciones correspondientes al pretratamiento de las aguas residuales. “En esta etapa de tratamiento se elimina la materia orgánica biodegradable (principalmente soluble) por medios preferentemente biológicos debido a su bajo costo y alta eficacia de remoción” (Noyola et al., 2013) (pág. 12). Es decir, se emplean

microorganismos que se adaptan a las características del agua a tratar, y que se encargan de transformar los contaminantes en materia celular, producir energía para realizar su metabolismo y formar compuestos orgánicos o inorgánicos de acuerdo al medio en el que ocurran (aerobios o anaerobios).

Los procesos biológicos pueden ser de dos tipos: anaerobios (ocurren en ausencia de oxígeno) y los aerobios (ocurren en presencia de oxígeno). “El proceso anaerobio se caracteriza por tener una baja producción de lodos de desecho. Por lo contrario, en el tratamiento aerobio, hay una mayor generación de biomasa, cuyo tratamiento y disposición incrementa la dificultad técnica y el costo del tratamiento (Noyola et al., 2013).

6.7.5 Tratamiento terciario de aguas residuales

El tratamiento terciario es el procedimiento final en la depuración de aguas residuales, consiste en “eliminar compuestos tales como sólidos suspendidos, nutrientes y materia orgánica remanente no biodegradable. Por lo general, es necesario cuando deben cumplirse condiciones de descarga estrictas o cuando el agua tratada está destinada a un uso en específico (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013, págs. 12-13). Para alcanzar una calidad específica en el agua tratada es necesario la aplicación de operaciones y procesos unitarios tales como: Floculación, filtración, eliminación de nitrógeno (N) y fósforo (P) y desinfección.

6.8 Descripción de los beneficiarios

Los 126,491 habitantes del Cantón Chone

6.9 Plan de acción.

Para la implementación del **pretratamiento** se utilizarán las siguientes operaciones básicas:

- ✓ Desbaste o cribado

Se instalarán rejillas o barroses de 50 a 100 mm al ingreso de las aguas residuales para eliminar sólidos de pequeño y mediano tamaño (objetos, trapos, raíces, etc.) que de otro modo podrían deteriorar o bloquear los equipos mecánicos y obstruir el paso de la corriente de agua (CENTA, 2008, pág. 28). La distancia o las aberturas de las rejillas dependen del objeto de las mismas. Los productos recogidos se destruyen por incineración, se tratan por procesos de digestión anaerobia o se dirigen directamente al vertedero. Las materias sólidas recogidas se clasifican en finos y gruesos (Ramalho, Jiménez Beltrán, & De Lora, 1996, pág. 92).

✓ Desarenado

Se instalará un desarenador hidráulico para reducir la velocidad del agua, de manera que permiten sedimentar las arenas u otros sólidos inorgánicos presentes en el agua (Campos Gómez & Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica, 2000) con la finalidad de evitar sobrecargas para las fases posteriores del tratamiento, además; el principal objetivo que tiene “es la eliminación de materias pesadas de tamaño superior a 0,2 mm, para evitar que sedimenten en canales y conducciones y para proteger a las bombas y otros elementos de la abrasión (OPS/CEPIS, 2005).

✓ Flotación o desengrasado

En esta etapa del pretratamiento se eliminan todos aquellos componentes más ligeros que el agua, tales como: materias o sustancias flotantes, aceites, grasas y espumas presentes en las aguas residuales. Para este efecto se instalará un desengrasador aireado que funcionará mediante la inyección de aire. La finalidad de la dosificación de aire radica en tratar de desmenuar la mayor cantidad de grasas para que estas floten y puedan ser removidas.

Las Operaciones básicas que se utilizarán en el **tratamiento primario** de las aguas residuales son:

✓ Tratamientos físico-químicos (coagulación y floculación)

La coagulación es un tratamiento físico-químico donde se agrega una sustancia química (orgánica o inorgánica) para desestabilizar y neutralizar las cargas electrostáticas de los coloides, esto con el objetivo de que las partículas se unan. Para realizar este proceso se deberá implementar un tanque de mezcla en el que se empleará un coagulante natural a base de semillas de tamarindo.

Después de la coagulación es necesaria la adición de un floculante, cuya función es aglomerar las partículas desestabilizadas en unidades llamadas flóculos. Después de cierto tiempo las partículas se van aglomerando en mayor medida lo que incrementa el peso del floculo, por diferencia de peso se logra que estos se precipiten. Es así, como se separan del agua las sustancias coloidales. Tanto la coagulación como la floculación son procesos que van de la mano.

✓ Decantación primaria o sedimentación

Se instalará un sedimentador para la remoción de partículas inferiores a 0,2 mm y superiores a 0,05 mm. La eliminación de las materias por sedimentación se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran, que acaba en el depósito de las materias en suspensión. Cabe recalcar que es esta operación solamente se eliminan sólidos sedimentables y materias flotantes.

En **el tratamiento secundario** se utilizarán los procesos básicos, degradación bacteriana y decantación secundaria.

Para este efecto se construirán una laguna donde se efectuara la degradación bacteriana y un decantador para eliminar los lodos procedentes del proceso.

En **el tratamiento terciario** se construirá un filtro tradicional con piedra, arena, grava, para el pulimiento final del agua.

Los lodos generados en el proceso serán tratados en la planta.

6.10 Administración

La administración estará a cargo del Municipio del Cantón Chone así como también del personal técnico del departamento de medio ambiental del municipio de Chone.

6.11 Financiamiento

El municipio de Chone comprometido con el bienestar de la ciudadanía y la implementación de proyectos que permitan el crecimiento de la ciudad será el encargado del financiamiento de este proyecto.

6.12 Presupuesto

El presupuesto se lo realizará en base una proyección estimada de gastos de diseño e implementación.

Tabla 20. Presupuesto para la implementación de la propuesta

Materiales	Cantidad requerida	Valor aproximado
Sistema de Cribas	1	50,000
Desarenador	1	50,000
Desengrasador	1	50,000
Proceso físico – químico (coagulación y floculación)	1	100,000
Decantador primario	1	97,000
Reactor Biológico	1	336,000
Decantador secundario	1	135,000
Filtro	1	50,000
Tratamiento de lodos (arqueta, estabilizador, espesador y desodorizador de fangos)	1	395,000
Presupuesto de obra civil	1	2,250,000
Total	10	3,513,000

Fuente: Autor

6.13 Evaluación anual

Se realizara una vez implementados los equipos necesarios para el tratamiento de aguas residuales.

Se realizaran mantenimientos anuales a los equipos para garantizar la eficiencia del sistema.

Mantener actualizados los permisos ambientales.

Organizar de manera adecuada todos los informes de funcionamiento y eficiencia de la planta para las auditorias.

BIBLIOGRAFIA

- Acevedo, D., Tirado, D., & Guzmán, L. (2013). Deshidratación osmótica de la pulpa de tamarindo (*Tamarindus indica* L.): Influencia de la temperatura y concentración. *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 17(1), 123130.
- Aguilar, M. I. (2002). Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación. Universidad de Murcia.
- Cabildo Miranda, M. del P. (2008). Reciclado y tratamiento de residuos.
- Campos Gómez, I., & Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica. (2000). Saneamiento ambiental. EUNED.
- Cardenas, A. Y. (2000). Tratamiento de agua coagulación y floculación. Sedapal, 144. Retrieved from http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154
- CENTA. (2008). Manual de depuración de aguas residuales urbanas. Centa, Secretariado de Alianza Por El Agua, Ecología y Desarrollo., 264. <https://doi.org/Z-2802/08>
- El-Siddig, K. (2006). Tamarind: *Tamarindus indica* L. Internat. Centre for Underutilised Crops, Univ. of Southampton.
- Folkard, G. y S. J. (1996). Moringa oleifera un árbol con enormes potencialidades. *Journal of the American Medical Association*, 96(3), 211. <https://doi.org/10.1001/jama.1931.02720290055027>
- IDB, & ECLAC. (2018). Proceso Regional de las Américas. Foro Mundial del Agua 2018. Resumen ejecutivo, 19. Retrieved from <https://publications.iadb.org/handle/11319/8814>
- López del Pino, S. J., & Martín Calderón, S. (2015). UF1666 - Depuración de

aguas residuales - Sergio Jesús López del Pino, Sonia Martín Calderón - Google Libros. Retrieved September 21, 2018, from https://books.google.com.ec/books?id=9cJWDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

López, R., & Campos, J. (2011). Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la coagulación-floculación de aguas residuales. *Tecnología En Marcha*, 24(2), 18–26. Retrieved from http://www.tecdigital.itcr.ac.cr/servicios/ojs/index.php/tec_marcha/article/view/138

Mendoza Ortiz, J. A. (2013). Características agronómicas de la moringa (*Moringa oleifera* Lam.) y su posible adaptación a las condiciones de Chile. Retrieved from <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/114958>

Moscozo, L. R. (2015). USO DE ALMIDÓN DE YUCA COMO SUSTITUTO DEL SULFATO DE ALUMINIO EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA POTABILIZACIÓN. *Journal of Applied Microbiology*, 119(3), 859–867.

Nemerow, N. L., & Dasgupta, A. (2000). *Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos*. Ediciones Díaz de Santos.

Noyola, A., Morgan, J., & Guereca, L. (2013). Selección De Tecnologías Para El Tratamiento De Aguas Residuales Municipales. *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015 (Vol. 1)*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

OPS/CEPIS. (2005). GUÍA PARA EL DISEÑO DE DESARENADORES Y SEDIMENTADORES. Lima. Retrieved from <http://www.bvsde.opsoms.org/tecapro/documentos/agua/158esp-diseno-desare.pdf>

Orozco Barrenetxea, C. (2003). *Contaminación ambiental: una visión desde la química*. Thomson.

- Ramalho, R; Jiménez Beltrán, D; Lora, F. (1996). Tratamiento de Aguas Residuales. España: Reverté. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=30etGjzPXyWC&printsec=frontcover&dq=tratamiento+de+aguas+residuales&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwjFyH0kM3dAhUBzIMKHbzYCmsQ6wEIJzAA#v=onepage&q=tratamiento de aguas residuales&f=false>
- Ramírez, H., & Jaramillo, J. (2014). Uso potencial de agentes clarificantes y desinfectantes de origen natural para el tratamiento integral del agua caracterizado por pisos térmicos. *Ingeniería Ambiental*, 10, 13. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.813>.
- Rigola Lapeña, M. (1989). Tratamiento de aguas industriales : aguas de proceso y residuales. Marcombo.
- Ronzano, Eduardo; Dapena, J. L. (2002). Tratamiento Biológico de las Aguas Residuales. España: Pridesa. Retrieved from <https://ebookcentral.proquest.com/lib/uleamecsp/reader.action?docID=3175140&ppg=1&query=tratamiento de aguas residuales#>
- Salgado, M. A. (2018). Evaluación de las semillas de tamarindo (*tamarindus indica*) en la remoción de turbidez de aguas superficiales.
- Tumbaco, M., & Acebo, K. (2018). EFICIENCIA DE BIOCOAGULANTE A BASE DE SEMILLA DE MORINGA OLEÍFERA PARA APLICACIÓN DE TRATAMIENTO DE AGUA USANDO COMO FUENTE DE CAPTACIÓN EL RIO GUAYAS.
- Velázquez-Zavala, M., Peón-Escalante, I. E., Zepeda-Bautista, R., & Jiménez-Arellanes, M. A. (2016). Moringa (*Moringa oleifera* Lam.): usos potenciales en la agricultura, industria y medicina. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, XXII(2), 95–116. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2015.07.018>
- Weber, W. J., & Borchardt, Ja. A. (1979a). Control de la calidad del agua :

procesos fisicoquímicos. Reverté.

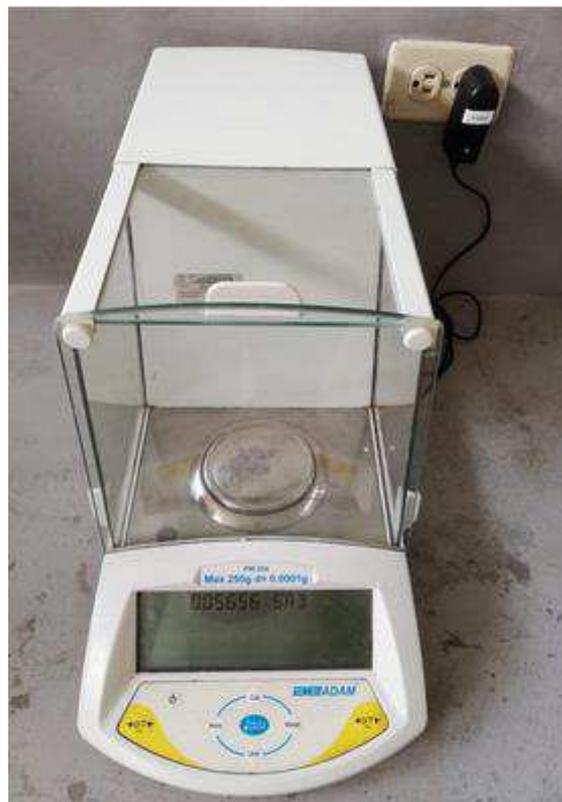
Weber, W. J., & Borchardt, Ja. A. (1979b). Control de la calidad del agua :
procesos fisicoquímicos. Reverté.

ANEXOS

Anexo A. Potenciómetro OAKTON 700



Anexo B. Balanza digital



Anexo C. Desestabilización de la materia orgánica



Anexo D. Sedimentación de los coágulos formados



Anexo E. Coloración de coagulantes a diferentes temperaturas



Anexo F. Certificado de calibración del turbidímetro HACH 2100 N

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN No: CC-3925-001-18



IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

EMPRESA: SANDY MARELA ALVARADO ZAMBRANO
 DIRECCIÓN: ESPEJO ENTRE CORDOVA Y 10 DE AGOSTO
 TELEFONO: 98279200

IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO

EQUIPO: TURBIDÍMETRO CÓDIGO ASIGNADO: NO APLICA
 MARCA: HACH UNIDAD DE MEDIDA: NTU
 MODELO/TIPO: 2100 N RESOLUCIÓN: 0,001 0,1 , 1
 SERIE: 10270C026046 CAMPO DE MEDIDA: (0 a 4000) NTU
 CÓDIGO: NO ESPECÍFICA UBICACIÓN DEL EQUIPO: LAB. DE QUÍMICA

MATERIALES DE REFERENCIA UTILIZADOS

CÓDIGO	NOMBRE	MARCA	N° CAT.	LOTE	FECHA CERT.	FECHA EXP.
EL MR 259	TURBIDITY 0.5 NTU CALIBRATION STANDARD	SIGMA-ALDRICH	TURB05-1L	LRAB7203	2017-12-18	2019-12-31
EL MR 262	TURBIDITY 100 NTU CALIBRATION STANDARD	SIGMA-ALDRICH	TURB100-100ML	LRAB7065	2017-12-18	2019-12-31
EL MR 284	TURBIDITY 1000 NTU CALIBRATION STANDARD	SIGMA-ALDRICH	TURB1000-1L	LRAB7425	2018-02-19	2020-01-31
EL MR 260	TURBIDITY 4000 NTU CALIBRATION STANDARD	SIGMA-ALDRICH	TURB4000-1L	LRAB8112	2018-03-05	2020-03-31

EQUIPOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS

CÓDIGO	NOMBRE	MARCA	MODELO	SERIE	FECHA CAL.	VENCE CAL.
EL RT 365	TERMOMÉTRICO	CENTER	342	140103955	2018-04-02	2019-04-03

AJUSTES

Punto de Ajuste	Punto de Ajuste	Punto de Ajuste	Punto de Ajuste
20	200	1000	4000
Lectura Inicial: 19,2	Lectura Inicial: 198	Lectura Inicial: 1038	Lectura Inicial: 4002
Lectura Final: 20,1	Lectura Final: 200	Lectura Final: 1008	Lectura Final: 4005

CALIBRACIÓN

MÉTODO: COMPARACIÓN DIRECTA MEDIANTE MATERIALES DE REFERENCIA CERTIFICADOS.
 PROCEDIMIENTO: FEC.EL.13
 LUGAR DE CALIBRACIÓN: LAB. ELECTROQUÍMICA (ELICROM)
 CONDICIONES AMBIENTALES: 22,6 °C 65,1 %HR

Unidad	Nominal	Equipo (y)	Valor MRC (x)	Error	Incertidumbre
NTU	0,5	0,616	0,501	0,015	0,015
NTU	100	102	105	3	2,2
NTU	1000	1014	1010	4	16
NTU	4000	4014	4000	14	71

Recta de Regresión: $y = 1,0033x + 0,7857$; Coeficiente de Correlación: $r^2 = 1$

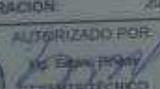
MRC: Material de Referencia Certificado NOTA: Promedio de 3 mediciones por cada punto

OBSERVACIONES

La estimación de la incertidumbre expandida se realizó con base en el documento JCGM 100:2008 (GUM 1995 with minor corrections) "Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement", multiplicando la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura $k=2,00$, que para una distribución t (de Student) corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente al 95,45%. Este certificado no podrá reproducirse excepto en su totalidad sin la aprobación escrita del laboratorio Elicrom Calibración. El presente certificado se refiere solamente al equipo arriba descrito al momento de la calibración.

REALIZADO POR: Alex Bayán

FECHA CALIBRACIÓN: 2018-10-24

AUTORIZADO POR:  RESPONSABLE CLIENTE

RECEBIDO POR:

RESPONSABLE CLIENTE

Este informe contiene 1 página(s). Página 1 de 1
 Ciudadela Guayaquil, calle 1era int 21 solar 16, Pbx: 042282007

EQ-FEC-13-02 Rev 03