



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero Ambiental”**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CLARIFICADOR CIRCULAR DE COLCHÓN DE LODOS PARA EL ESTUDIO DE EFICIENCIA DE LOS COAGULANTES OBTENIDOS DEL EXOESQUELETO DEL CAMARÓN Y EL DESECHO DEL PLÁTANO EN FUNCIÓN DEL SULFATO DE ALUMINIO.**

**Autores: MARIELA CATHERINE DAMIÁN LEMACHE  
CLARA GABRIELA SILVA OQUENDO**

**Director (a): Dra. ANA MEJÍA LÓPEZ**

**Riobamba – Ecuador**

**AÑO 2016**

## CERTIFICACIÓN

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CLARIFICADOR CIRCULAR DE COLCHÓN DE LODOS PARA EL ESTUDIO DE EFICIENCIA DE LOS COAGULANTES OBTENIDOS DEL EXOESQUELETO DEL CAMARÓN Y EL DESECHO DEL PLÁTANO EN FUNCIÓN DEL SULFATO DE ALUMINIO**” presentado por: Catherine Damián Lemache y Clara Gabriela Silva Oquendo y dirigida por la Dra. Ana Mejía López.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

**Ing. Iván Ríos, PHD**  
**Presidente del Tribunal**



Firma

**Dra. Ana Mejía López**  
**Directora del proyecto**



Firma

**Ing. Marco Pino Vallejo**  
**Miembro del Tribunal**



Firma

## **AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, nos corresponde exclusivamente a: **MARIELA CATHERINE DAMIÁN LEMACHE, CLARA GABRIELA SILVA OQUENDO** y a la **DOCTORA ANA MEJÍA LÓPEZ**; y el patrimonio intelectual de la misma a la **UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**.



-----  
**Mariela Damián Lemache**

**C.I. 060418252 - 7**



-----  
**Gabriela Silva Oquendo**

**C.I. 060427772 - 3**

## AGRADECIMIENTO

**En primer lugar queremos agradecer a Dios por habernos regalado la salud y la vida, por ser quien nos ha dado la oportunidad de alcanzar nuestras metas.**

**A nuestros padres, hermanos e hijo, quienes han sido nuestro mayor soporte y fortaleza, por todo su amor y apoyo incondicional, por sus esfuerzos y motivación, porque con su sacrificio nos dieron la posibilidad de llegar a esta instancia.**

**Agradecemos a nuestra directora de tesis la Doctora Anita Mejía López por confiar en nosotras, por su esfuerzo, paciencia y tiempo dedicado desde el inicio de la investigación, especialmente por su motivación que ha sido fundamental brindándonos su experiencia y guía en el desarrollo de este trabajo.**

**A los miembros del tribunal de tesis por sus valorables sugerencias a la versión original del manuscrito que contribuyeron al mejoramiento del presente trabajo.**

**A los Técnicos de los Laboratorios de Ciencias Químicas, Agroindustrias e Industrial de la Facultad de Ingeniería quienes estuvieron siempre con una actitud de colaboración y disposición en la planeación y ejecución de nuestra investigación.**

***A nuestros amigos por permitirnos conocerlos y recorrer juntos este camino, por las experiencias vividas y momentos compartidos a nivel personal y académico. Gracias por su amistad: Cristian, Diego, Lili, Pame, Silvy, Vivi y Alex.***

***A la Universidad Nacional de Chimborazo a la Carrera de Ingeniería Ambiental y sus docentes por su dedicación, compromiso y por compartir los conocimientos para formarnos de manera íntegra.***

***A todos muchas gracias!***

***Mariela y Gabriela***

## DEDICATORIA

**Dedico el presente trabajo de investigación que ha servido para cumplir un paso más en mi vida, a mi hijo *Dylan Matias*, quien ha sido la razón para luchar, esforzarme y superarme día con día en busca de su felicidad y bienestar.**

***Gabriela Silva Oquendo.***

**El presente trabajo de investigación está dedicado con mucho amor a las personas que han sido mi fortaleza en mi vida personal y universitaria como son mis padres *Gloria, Alcides* a mi hermana *Vanessa* y por ser el apoyo fundamental en el transcurso de mi carrera. *A* mis abuelitos, por sus consejos impartidos buscando mi bienestar.**

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS .....	11
ÍNDICE DE FIGURAS .....	14
RESUMEN.....	18
ABSTRACT .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
INTRODUCCIÓN .....	22
CAPÍTULO I.....	24
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	24
1.1. Contaminantes del agua .....	24
1.2. Fundamentos para el tratamiento de los contaminantes.....	25
1.2.1. Características del agua .....	26
1.2.2. Tamaño de partículas .....	27
1.3. Coagulación -Floculación .....	29
1.3.1. Mecanismos de coagulación .....	32
1.3.4. Factores de influencia en el proceso de coagulación. ....	35
1.3.5. Fases o etapas de la coagulación.....	37
1.5. Coagulantes .....	38
1.5.1. Coagulantes químicos .....	38
1.5.2. Sulfato de Aluminio .....	38
1.5.3. Sales de Hierro .....	41
1.5.4. Sulfato Férrico.....	41
1.5.5. Cloruro Férrico.....	42

1.5.6. Policloruro de Aluminio.....	43
1.5.7. Polímeros o poli electrolitos.....	44
1.6. Coagulantes Naturales.....	45
1.7. Quitosano .....	46
1.7.1. Reseña histórica sobre el quitosano .....	46
1.7.2. Composición química de la materia prima.....	49
1.7.3. Fuentes de quitina y quitosano.....	49
1.7.4. Características y propiedades del quitosano. ....	51
1.7.5. Obtención de la quitina y quitosano.....	54
1.7.6. Aplicaciones del quitosano .....	55
1.7.7. Producción de camarón en el Ecuador .....	57
1.8. El plátano .....	59
1.8.1. Proceso de la post cosecha del banano.....	61
1.8.2. Almidón de plátano como coagulante.....	65
1.8.3. Látex como coagulante .....	69
1.9. Prueba de jarras .....	70
1.10. Clarificación.....	75
1.10.1. Componentes de un clarificador.....	75
1.10.2. Clarificadores de Manto de Lodos .....	75
1.12.3. Clasificación de Clarificadores .....	77
CAPÍTULO II .....	80
METODOLOGÍA .....	80
2.1. Tipo de estudio.....	80
2.2. Población y muestra .....	80



2.3.	Operacionalización de las variables .....	79
2.4.	Procedimientos .....	84
2.5.	Procesamiento y análisis .....	85
2.5.1.	Actividad 1. Obtención de los coagulantes .....	85
1.5.4.	Procedimiento de la puesta en marcha del clarificador circular de colchón de lodos (prototipo) .....	109
CAPÍTULO III .....		111
RESULTADOS.....		111
3.1.	Obtención de los coagulantes naturales .....	111
3.2.	Prueba de jarras .....	113
3.3.	Comparación de los coagulantes naturales con respecto al sulfato de aluminio .....	120
3.4.	Dimensionamiento del clarificador .....	123
CAPÍTULO IV .....		131
DISCUSIÓN .....		131
4.1.	RENDIMIENTO DE LOS COAGULANTES.....	131
4.2.	PRUEBAS DE JARRAS.....	132
4.3.	Comparación entre los diferentes coagulantes .....	136
CAPÍTULO V .....		142
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		142
5.1.	Conclusiones .....	142
5.2.	Recomendaciones.....	143
CAPÍTULO VI.....		144
PROPUESTA.....		144

6.1.	Título de la propuesta.....	144
6.2.	Introducción .....	144
6.3.	Objetivos .....	144
6.3.1.	Objetivo General .....	144
6.3.2.	Objetivos Específicos.....	144
6.4.	Fundamentación científico – técnica.....	145
6.4.1.	Manual .....	145
6.4.2.	Estructura del manual.....	145
6.4.3.	Práctica de laboratorio.....	146
6.5.	Descripción de la propuesta .....	146
6.6.	Diseño organizacional de la propuesta.....	174
6.7.	Monitoreo y Evaluación de la propuesta.....	174
6.7.1.	Monitoreo.....	174
6.7.2.	Evaluación.....	174
	CAPÍTULO VII.....	176
	BIBLIOGRAFÍA .....	176
	CAPÍTULO VIII .....	180
	APÉNDICES Y ANEXOS .....	180
	ANEXO 1. LÍMITES PERMISIBLES .....	180
	ANEXO 2. PLANO DEL SISTEMA DE CLARIFICACIÓN DE COLCHÓN DE LODOS .....	181
	ANEXO 3. ESQUEMAS DE OBTENCIÓN DE COAGULANTES .....	178
	ANEXO 4. REGISTRO FOTOGRÁFICO QUITOSANO.....	181
	ANEXO 5. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE ALMIDÓN DE PLÁTANO .....	185

ANEXO 6. LÁTEX DE PLÁTANO.....	187
ANEXO 7. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PRUEBAS DE JARRAS.....	190
ANEXO 8. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE ANALISIS DE PARÁMETROS .....	194
ANEXO 9. REGISTRÓ FOTOGRAFICÁ DE TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS .....	197

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tiempo requerido para sedimentar una distancia de 30 cm -----	29
Tabla 2. Dosis con diferentes coagulantes -----	36
Tabla 3. Composición química de los caparazones de camarón -----	49
Tabla 4. Contenido de quitina en diferentes organismos -----	50
Tabla 5. Características del quitosano -----	52
Tabla 6. Aplicaciones del quitosano -----	55
Tabla 7. Disponibilidad de cáscaras de camarón en el Ecuador año 2014 -----	59
Tabla 8. Composición química del plátano -----	60
Tabla 9. Índice de Willcomb para caracterización de flóculos -----	74
Tabla 10. Variable Dependiente -----	82
Tabla 11. Variable Independiente -----	83
Tabla 12. Índice de Willcomb para la caracterización de los flóculos -----	102
Tabla 13. Cargas de superficie para diversas suspensiones químicas -----	104
Tabla 14. Precios de los reactivos por kilo de materia prima -----	111
Tabla 15. Costos de producción del coagulante quitosano -----	112
Tabla 16. Precios de los Reactivos por kilo -----	112
Tabla 17. Costos de producción por kilo de coagulante almidón de plátano -----	112
Tabla 18. Costos de producción por kilo de diferentes coagulantes coagulante -----	113
Tabla 19. Agua cruda del río Chibunga -----	113
Tabla 20. Agua cruda de la Laguna San Antonio de Padua -----	115
Tabla 21. Agua cruda con contenido de petróleo -----	115

Tabla 22. Agua del río Chibunga usando quitosano -----	116
Tabla 23. Agua de la laguna de San Antonio usando quitosano -----	117
Tabla 24. Muestras con contenido de petróleo usando quitosano-----	117
Tabla 25. Agua del río Chibunga empleando látex de plátano -----	118
Tabla 26. Agua del río Chibunga empleando almidón de plátano -----	119
Tabla 27. Agua del río Chibunga, utilizando sulfato de aluminio -----	119
Tabla 28. Comparación de los coagulantes naturales vs. Sulfato de aluminio usando agua del río Chibunga-----	120
Tabla 29. Comparación de los coagulantes naturales vs. Sulfato de aluminio usando agua de la laguna de San Antonio-----	121
Tabla 30. Comparación de los coagulantes naturales vs. Sulfato de aluminio a 40 ppm usando agua del río Chibunga-----	121
Tabla 31. Comparación de coagulantes naturales vs. Sulfato de aluminio a 40 ppm en empleando agua de la laguna de San Antonio -----	122
Tabla 32. Comparación de los coagulantes naturales vs. Sulfato de aluminio a 150 ppm utilizando agua del río Chinunga-----	122
Tabla 33. Comparación de los coagulantes naturales vs. Sulfato de aluminio a 150 ppm utilizando agua de la laguna de San Antonio-----	123
Tabla 34. Parámetros del ensayo de jarras a diferentes dosis -----	127
Tabla 35. Parámetros de agua cruda y tratada del día 1 en 8 horas de trabajo -	129
Tabla 36. Parámetros de agua cruda y tratada del día 2 en 8 horas de trabajo -	130
Tabla 37. Materiales, equipos y sustancias empleados en la práctica -----	162
Tabla 38. Parámetros analizar de aguas naturales con contenido de color -----	163
Tabla 39. Materiales, equipos y sustancias a utilizar en la práctica -----	168

Tabla 40. Parámetros analizar en la práctica-----	169
Tabla 41. Materiales, equipos y sustancias a utilizar en el desarrollo de la práctica de lodos -----	172

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tamaño de las partículas. ....	27
Figura 2. Adición de agentes químicos aplicando energía en la mezcla.....	30
Figura 3. Flocculación. ....	31
Figura 4. Reestabilización de partículas.....	33
Figura 5. Atrapamiento de las Partículas en un Floc. ....	33
Figura 6. Efecto de Puente de las Partículas en Suspensión. ....	34
Figura 7. Fases de la coagulación. ....	37
Figura 8. Estructura de la quitina. ....	46
Figura 9. Esquema de producción de los derivados de la quitina. ....	47
Figura 10. Estructura del quitosano. ....	48
Figura 11. Esquema general de aplicaciones del quitosano.....	57
Figura 12. Exportaciones de camarón en toneladas métrica y dólares. ....	58
Figura 13. Corte. ....	62
Figura 14. Desmame. ....	62
Figura 15. Lavado y Saneamiento.....	63
Figura 16. Desleche y Sellado.....	64
Figura 17. Pesaje. ....	64
Figura 18. Diagrama de obtención del almidón. ....	68
Figura 19. Diagrama almidón modificado. ....	69
Figura 20. Equipo de jarras. ....	72
Figura 21. Metodología empleada por Eckenfelder para la selección de coagulante. ....	72

Figura 22. Clarificador mecánico de manto de lodos. ....	76
Figura 23. Tipos de clarificadores.....	78
Figura 24. Esquema de Procedimientos.....	84
Figura 25. Componentes el exoesqueleto del camarón.....	85
Figura 26. Proceso de eliminación de minerales.....	86
Figura 27. Eliminación de proteínas. ....	86
Figura 28. Transformación de quitina en quitosano.....	87
Figura 29. Látex puro de plátano. ....	92
Figura 30. Diseño del clarificador circular de colchón de lodos.....	126
Figura 31. Curva de turbiedad vs. dosis de coagulante quitosano usando agua del río Chibunga .....	133
Figura 32. Característica del coagulante. ....	133
Figura 33. Curva de color vs. dosis de coagulante quitosano usando agua de la Laguna de San Antonio.....	134
Figura 34. Curva de Sólidos suspendidos vs. dosis de coagulante quitosano usando agua con contenido de petróleo. ....	134
Figura 35. Curva de turbiedad vs. dosis de coagulante látex usando agua del río Chibunga.....	135
Figura 36. Curva de turbiedad vs. dosis de coagulante (almidón de plátano), con agua del río Chibunga. ....	135
Figura 37. Curva de turbiedad vs. dosis de coagulante (sulfato de aluminio), con agua del río Chibunga. ....	136
Figura 38. Comparación de coagulantes a 40 ppm usando agua del río Chibunga. ....	137



Figura 39. Comparación de coagulantes a 40 ppm usando agua de la laguna de San Antonio.....	137
Figura 40. Comparación de coagulantes a 150 ppm usando agua del río Chibunga. ....	138
Figura 41. Comparación de coagulantes a 150 ppm usando agua de la laguna de San Antonio.....	138
Figura 42. Turbiedad del agua cruda y tratada en 8 horas de trabajo del día 1. .	139
Figura 43. Color del agua cruda y tratada en 8 horas de trabajo del día 1. ....	139
Figura 44. Turbiedad del agua cruda y tratada en 8 horas de trabajo del día 2...	140
Figura 45. Formación del colchón de lodos del clarificador.....	140
Figura 46. Color del agua cruda y tratada en 8 horas de trabajo del día 2. ....	141
Figura 47. Colchón de lodos en el clarificador. ....	141
Figura 48.Sistema de clarificación de colchón de lodos. ....	150
Figura 49.Sistema de agitación rápida .....	151
Figura 50.Clarificador. ....	151
Figura 51. Campana circular .....	152
Figura 52. Mantenimiento del sistema de agitación.....	153
Figura 53.Tanque de almacenamiento agua cruda.....	153
Figura 54. Ensayo de jarras.....	154
Figura 55. Control de caudal.....	154
Figura 56. Agua coagulada. ....	155
Figura 57. Agua trata vs análisis. ....	155
Figura 58. Colchón de lodos. ....	156
Figura 59. Purga de lodos. ....	157

Figura 60. Análisis físico- químicos .....	157
Figura 61. Análisis físico- químicos .....	157
Figura 62. Turbiedad vs dosis coagulante.....	165
Figura 63. Equipo de jarras. ....	169
Figura 64. Recolección de lodos. ....	173
Figura 65. Esquema de obtención de quitosano.....	179
Figura 66. Esquemas de obtención del almidón de plátano.....	180

## RESUMEN

El agua puede contener una variedad de impurezas, solubles e insolubles; entre estas últimas destacan las partículas coloidales que proporcionan la turbiedad y el color a las aguas naturales, tales impurezas coloidales presentan una carga superficial negativa, que impide que las partículas se aproximen unas a otras y que las lleva a permanecer en un medio que favorece su estabilidad. Para que estas impurezas puedan ser removidas, es preciso alterar algunas características del agua, a través de los procesos de coagulación, floculación, sedimentación conocidos como procesos de clarificación.

El interés en esta investigación se centró en evaluar la eficiencia de la clarificación obtenida con productos naturales comparada con productos comerciales de probada efectividad como el sulfato de aluminio.

Los productos naturales fueron obtenidos del exoesqueleto de camarón y del desecho de plátano. Las cáscaras de camarón se sometieron a varios procesos como la desmineralización, desproteinización, desacetilación hasta obtener el quitosano, el plátano se sometió a secado, trituración y estabilización de pH, el látex puro se obtuvo por sangrado de los pseudotallos; una vez obtenidos los coagulantes se realizaron ensayos de jarras con diferentes dosificaciones en aguas superficiales con contenido de turbiedad y color, siendo las dosis ideales 20 ppm para el Sulfato de Aluminio, 60 ppm para el almidón, 80 ppm para el Quitosano y 100 ppm para el látex.

Los resultados con los nuevos productos de coagulación-floculación son comparables a los obtenidos con el Sulfato de Aluminio, en general, todos los productos utilizados produjeron aguas con una calidad aceptable, desde el punto de vista fisicoquímico permitiendo una reducción de 99% de turbiedad y 96% de color, 68% de turbiedad y 62% de color, 85% de turbiedad y 75% de color, 68 de turbiedad y 61 de color respectivamente, pese a que el sulfato de aluminio presentó mayor eficiencia y eficacia hay que considerar que en el Ecuador se

desechan anualmente alrededor de 11 millones de toneladas de cáscaras de camarón lo que significa aproximadamente un millón de toneladas de coagulantes, cantidad suficiente como para realizar un estudio de factibilidad para la industrialización de esta materia como coagulante natural.

### **Palabras clave**

Quitosano, almidón de plátano, látex de plátano, sulfato de aluminio, coloides, turbiedad, color, sólidos suspendidos, coagulación, aguas superficiales, floc, clarificador circular de colchón de lodos.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CENTRO DE IDIOMAS**



**Dip.S\_Doris Valle**

**06 de septiembre del 2016**

**ABSTRACT**

Water may contain a variety of impurities, soluble and insoluble; the latter emphasize the colloidal particles that provide turbidity and color to the natural water, impurities stories colloidal have a surface negative charge, which prevents particles approaching a from one another and that carries a stay in a medium favors its stability. For those impurities can be removed, it is necessary to alter some features water, one through the processes of coagulation, flocculation, sedimentation known as s clarification processes.

Interest in this research focused on assessing v clarification efficiency obtained with natural products compared with commercial products proven effectiveness as aluminum sulfate.

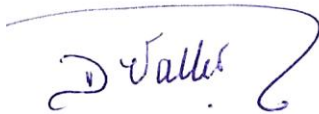
Natural products obtained were the exoskeleton of shrimp and banana waste. Shrimp shells a various processes such as demineralization, lack of proteins, underwent deacetylation chitosan, banana subjected to drying, crushing and stabilization of ph, pure latex itself by bleeding pseudostem; after obtaining the coagulant tests jars were made with different dosages in surface waters containing turbidity and color, being the ideal dose 20 ppm for aluminum sulfate, 60 ppm for starch, 80 ppm for chitosan and 100 ppm paragraph latex.

Results with new products are comparable for those obtained with aluminum sulfate in general coagulation-flocculation, the all products used produced water

with a direction acceptable quality, from the point physiochemical vista allowing a reduction of 99% turbidity and 96% of color, 68% turbidity and 62% of color, 85% turbidity and 75% of color, 68 turbidity and 61 colors respectively, despite that an aluminum sulfate present high efficiency and effectiveness consider that in Ecuador is thrown away annually about 11 million tons of shrimp shells which means approximately one million tons of coagulants, quantity sufficient to perform an feasibility study for the industrialization of matter a natural coagulant.

### **Key words**

Chitosan, starch banana, banana latex, aluminum sulfate, turbidity, color, suspended solids, coagulation, surface water, floc, circular clarifier sludge mattress.



## INTRODUCCIÓN

El agua que se encuentra en la naturaleza proveniente de ríos, lagos, océanos está expuesta a contaminación por las actividades humanas, requiriendo tratamiento para que puedan ser consumidas por los seres humanos y sirva de uso para otros fines.

Para lograr la clarificación del agua, es necesaria la utilización de agentes coagulantes así como agentes floculantes, que permiten eliminar un porcentaje significativo de las partículas en suspensión y de las partículas coloidales, este proceso es conocido como coagulación-floculación.

En el mercado se encuentra productos químicos con propiedades coagulantes tales como sulfato de aluminio, sulfato férrico, sulfato ferroso, cloruro férrico, poli cloruro de aluminio y coagulantes naturales de origen animal o vegetal que al agregarse al agua se logra que las partículas suspendidas se precipiten al fondo del recipiente dejando una capa de agua más clara arriba y una capa de sedimentos (lodo) en el fondo, entre los coagulantes vegetales se encuentran las macromoléculas de alto peso molecular como los almidones, desecho del plátano y productos de origen animal como el quitosano procedente del exoesqueleto de crustáceos.

Por lo expuesto y siendo el Ecuador un país camaronero y bananero podrían constituirse en una vía ecológica y alternativa para la producción de coagulantes naturales sustituyendo a los agentes coagulantes químicos utilizados hasta ahora en el tratamiento de aguas, es por eso que se dio un impulso para evaluar la posibilidad de realizar la investigación con la finalidad de buscar alternativas que aún no se han explotado, de esta manera se pretende brindar una solución para el aprovechamiento de estos desechos generados por las industrias camaroneras y bananeras que son altamente perecederos y que tienen un riesgo ambiental alto, permitiendo contribuir a esta investigación que está en el campo de tratamiento

de aguas, de esa manera se contribuirá en la disminución de problemas ambientales producidos por los desechos en la emanación de olores y a la contaminación visual.

Los objetivos que permitieron cumplir con la investigación fueron la obtención de los coagulantes naturales a partir del exoesqueleto del camarón y del desecho del plátano, posteriormente se realizó pruebas de coagulación mediante pruebas de jarras de muestras turbias y de color considerando como parámetros de control la determinación de color, turbiedad, pH, sólidos suspendidos, para comprobar la eficiencia de los coagulantes obtenidos se relacionaron con el coagulante tradicional sulfato de aluminio. Como último objetivo se diseñó y construyó un clarificador circular de colchón de lodos a escala de laboratorio con la finalidad de observar en un prototipo el funcionamiento de los coagulantes y como material didáctico para la Carrera de Ingeniería Ambiental.

El presente documento tiene ocho capítulos, en el primer capítulo se encuentra la fase del marco teórico con información documental basada en libros, artículos científicos, páginas web, material bibliográfico que enriquecen nuestros conocimientos, permitiendo entender el desarrollo de la investigación. En el capítulo dos se detalla la metodología utilizada durante la investigación así como las técnicas e instrumentos empleados, especificando el tipo de estudio, la operacionalización de variables y las actividades principales para el desarrollo del proceso de investigación. Los resultados correspondientes se redactan en el capítulo tres y su discusión e interpretación se encuentra en el capítulo cuatro. En el capítulo cinco se indican las conclusiones y recomendaciones pertinentes proyecto de investigación.

En el capítulo seis se presenta la propuesta de un Manual de prácticas para el clarificador circular de colchón de lodos (prototipo) en el tratamiento de aguas naturales y residuales. En el capítulo siete muestra la bibliografía utilizada en la presente investigación. Finalmente en el capítulo ocho se visualiza los anexos y apéndices realizados en trabajo de investigación.



## CAPÍTULO I

### FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 1.1. Contaminantes del agua

El agua es uno de los recursos naturales fundamentales y el más abundante del planeta, indispensable para el desarrollo de la vida.

Una de las propiedades importantes del agua es su poder de disolver toda sustancia, por lo que se le conoce como el disolvente universal, prácticamente todo lo que no es hidrógeno y oxígeno se considera como sustancias contaminantes o impurezas del agua, por lo que se puede definir como contaminación del agua a la acción y el efecto de introducir materias, o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica (Von, 2007).

Así el término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria (Von, 2007).

Por otra parte existen dos formas de las cuales se puede contaminar el agua. Una de ellas es por medio de contaminantes naturales, es decir el ciclo natural del agua puede entrar en contacto con ciertos constituyentes contaminantes que se vierten en las aguas, atmósfera y corteza terrestre como son: sustancias minerales y orgánicas disueltas o en suspensión, tales como arsénico, cadmio, bacterias, arcillas, materia orgánica (Ramalho, 2003).

Otra forma es a través de los contaminantes generados por el hombre o de origen humano y son producto de los desechos líquidos y sólidos que se vierten directa o indirectamente en el agua. Por ejemplo, las sustancias de sumideros sanitarios, sustancias provenientes de desechos industriales y las sustancias empleadas en el combate de plagas agrícolas y/o vectores de enfermedades.

Los contaminantes pueden ser:

- **Contaminantes inorgánicos.** Los contaminantes inorgánicos son diversos productos disueltos o dispersos en el agua que provienen de la erosión del suelo, descargas domésticas, agrícolas e industriales etc. Los principales son cloruros, sulfatos, nitratos y carbonatos (Von, 2007).
- **Contaminantes orgánicos.** También son compuestos disueltos o dispersos en el agua que provienen de desechos domésticos, agrícolas, industriales y de la erosión del suelo. Son desechos humanos y animales, de rastros o mataderos, de procesamiento de alimentos para humanos y animales, diversos productos químicos industriales de origen natural como aceites, grasas, breas y tinturas, y diversos productos químicos sintéticos como pinturas, herbicidas, insecticidas. (Metcalf & Eddy, 2003).

Los contaminantes orgánicos consumen el oxígeno disuelto en el agua y afectan a la vida acuática eutrofización.

- **Contaminantes microbiológicos.** Se produce principalmente por bacterias, virus, protozoos, algas, unicelulares (Von, 2007).

## **1.2. Fundamentos para el tratamiento de los contaminantes.**

Para tener criterios de decisión sobre el tipo de uso o de tratamiento que se le dará a un agua, es necesario conocer sus características físicas, químicas, y microbiológicas, así como el tamaño de las partículas de estas sustancias contaminantes:

### **1.2.1. Características del agua**

#### **a. Características físicas**

Las características físicas del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, etcétera), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua. (Gerard, 2007).

Se consideran importantes las siguientes:

- Turbiedad
- Sólidos solubles e insolubles
- Color
- Olor y sabor
- Temperatura

#### **b. Características químicas**

El agua, como solvente universal, puede contener cualquier elemento de la tabla periódica. Sin embargo, pocos son los elementos significativos para el tratamiento (Gerard, 2007).

Dentro de las características químicas más empleadas podemos resumir las siguientes:

##### **Inorgánicas**

- Acidez
- Alcalinidad
- Dureza
- pH
- Conductividad
- Aceites y Grasas
- Compuestos orgánicos e inorgánicos
- Fosfatos
- Nitritos y nitratos

## Orgánicas

- **Materia orgánica:** demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, carbono orgánico total.
- Oxígeno disuelto.

## Características microbiológicas

- Algas.
- Protozoos
- Bacterias
- Hongos

### 1.2.2. Tamaño de partículas

Las impurezas inorgánicas, orgánicas y microbiológicas que se encuentran en el agua pueden estar como partículas suspendidas, coloides y/o disueltas que se diferencian por su tamaño (Ver Figura 1).

*Figura 1.* Tamaño de las partículas.

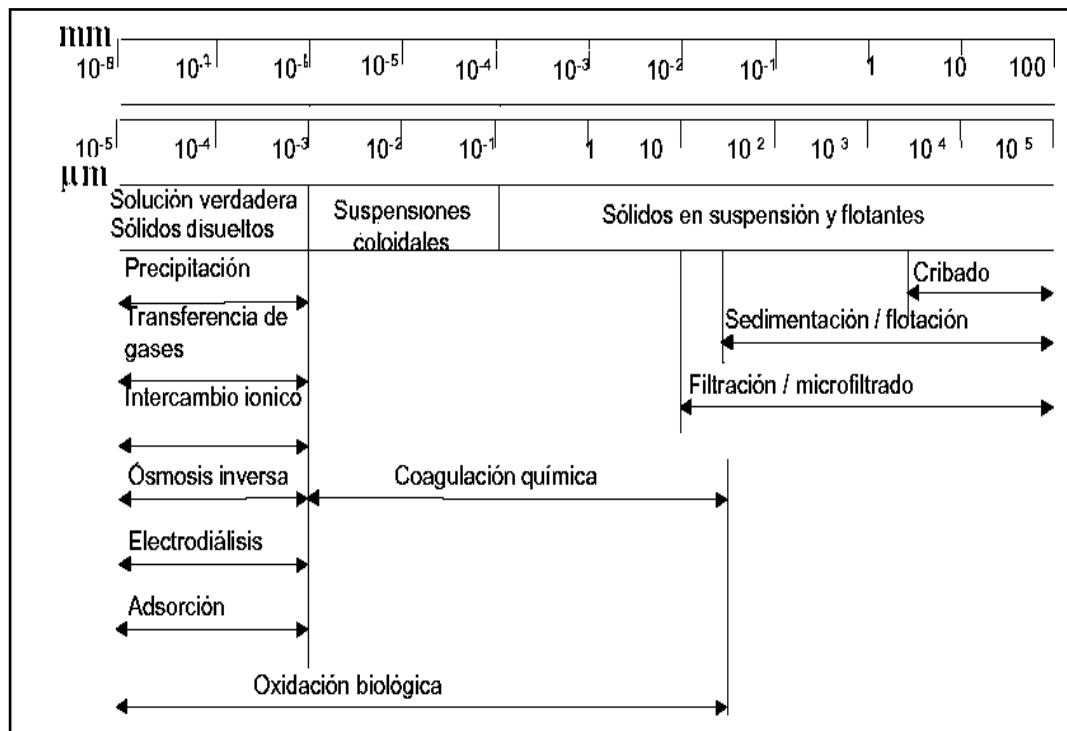


Imagen tomada de: <http://www.aquatracta.com>

### **a) Partículas suspendidas**

Se entiende por partículas en suspensión o flotantes a aquellas partículas de tamaño grande mayores a 1 micra que pueden ser separados con mayor o menor grado de dificultad por procesos mecánicos como el cribado, la sedimentación y la filtración. Algunas veces se asocian a la turbidez del agua (Andia, 2000).

### **b) Partículas coloidales**

La turbiedad y el color del agua son principalmente causados por partículas muy pequeñas, de tamaño comprendido entre 0,1 y 0,001 micrones, llamadas partículas coloidales. Estas partículas permanecen en suspensión en el agua por tiempo prolongado y pueden atravesar un medio filtrante muy fino. Por otro lado aunque su concentración es muy estable, no presentan la tendencia de aproximarse unas a otras. Como se indica en la figura 1 solo se pueden eliminar mediante procesos de coagulación y por oxidación biológica (Arboleda, 2000).

La presencia de partículas coloidales en el agua es uno de los problemas más difíciles de resolver en el campo del tratamiento de aguas. La naturaleza de las partículas coloidales puede simplificar o complicar aún más el problema. Por ejemplo, las partículas coloidales de origen arcilloso pudieran presentar un problema más fácil de resolver que la presencia de colorantes o partículas coloidales orgánicas. (Arboleda, 2000).

En cualquier caso, las partículas coloidales generalmente interfieren con el uso al que se desea destinar el agua o interfieren los procesos naturales de aguas superficiales tales como fotosíntesis y bioabsorción (Arboleda, 2000).

El problema de remoción de coloides del agua es complicado debido principalmente a dos razones:

- Tamaño de las partículas coloidales (menores de 1 micra).

- Presencia de cargas eléctricas en su superficie.

La Tabla 1 muestra el tiempo que tardarían en sedimentar una distancia aproximada de 30 cm, partículas esféricas de diferente tamaño. Este tiempo se calculó empleando la ecuación que rige la Ley de Stokes, es decir suponiendo partículas discretas y a baja concentración.

**Tabla 1**

*Tiempo requerido para sedimentar una distancia de 30 cm.*

<b>Diámetro de partícula (mm)</b>	<b>Orden de tamaño</b>	<b>Tiempo</b>
<b>10</b>	Grava	0.3 seg
<b>1</b>	Arena gruesa	3 seg
<b>0.1</b>	Arena fina	38 seg
<b>0.01</b>	Sal	33 min
<b>0.001</b>	Bacteria	55 hr
<b>0.0001</b>	Partículas coloidales	230 días

**Fuente:** [www.unilibresoc.edu.com](http://www.unilibresoc.edu.com).

### c) **Partículas disueltas**

Los sólidos disueltos son soluciones verdaderas son claras y transparentes y no es posible distinguir ni macroscópica ni microscópicamente sus partículas, por lo que se puede tener un agua completamente cristalina con un alto contenido de sólidos disueltos (Arboleda, 2000).

El tamaño de estas partículas es menor que 0,001 micrones. Los procesos de reducción o eliminación principales son: precipitación química, adsorción, osmosis inversa y oxidación biológica.

### **1.3. Coagulación - Floculación**

Las aguas potables o residuales contienen en distintas cantidades material suspendido, o sólidos dispersados que no sedimentan con

facilidad. Una parte considerable de estos sólidos que no sedimentan pueden ser coloides.

En los coloides, cada partícula se encuentra estabilizada por una serie de cargas de igual signo sobre su superficie, haciendo que se repelan dos partículas vecinas. Las operaciones de coagulación y floculación desestabilizan los coloides y consiguen su sedimentación (Arboleda, 2000).

Esto se logra por lo general con la adición de agentes químicos y aplicando energía de mezcla (Ver Figura 2).

**Figura 2.** Adición de agentes químicos aplicando energía en la mezcla.

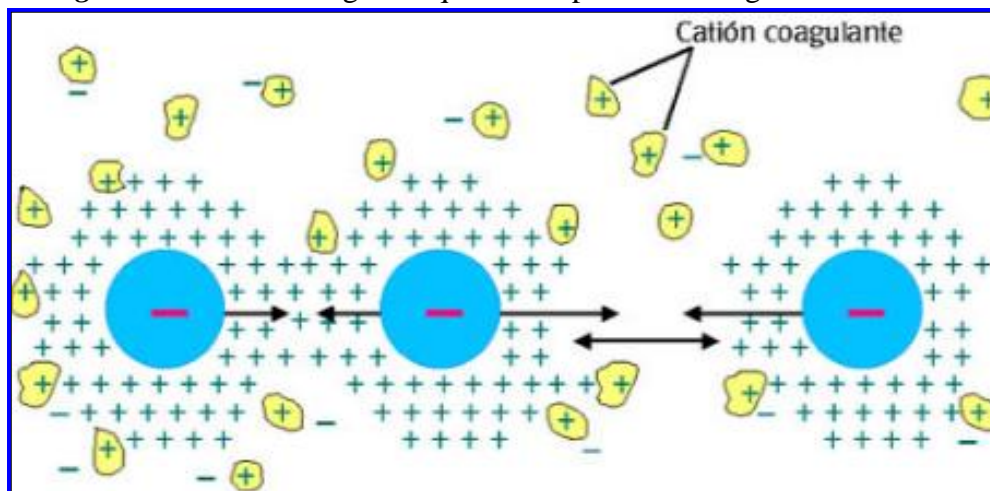


Imagen tomada de: <http://www.elaguapotable.com/coagulacion-floculacion.htm>

Los términos Coagulación y Floculación se utilizan ambos indistintamente, la confusión proviene del hecho de que ambas operaciones se producen de manera simultánea. Para aclarar ideas definiremos Coagulación como la desestabilización de la suspensión coloidal, mientras que la Floculación se limita a los fenómenos de transporte de las partículas coaguladas para provocar colisiones entre ellas promoviendo su aglomeración (Asano, 2004).

Por tanto la **coagulación** es un proceso desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen

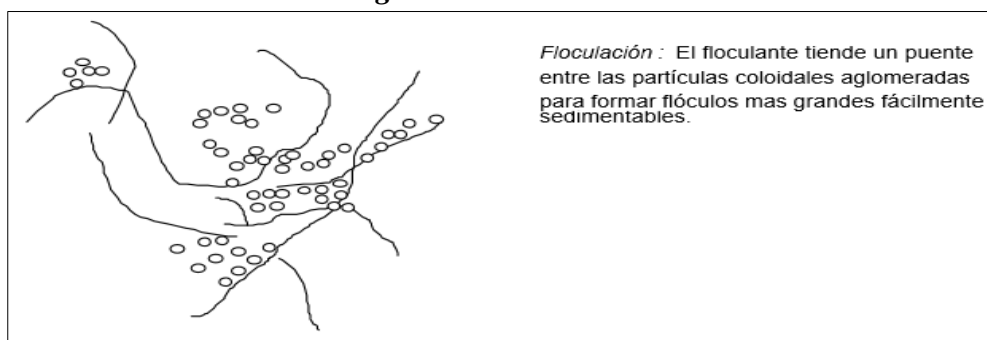
separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado. La coagulación es el tratamiento más eficaz pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado.

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. La coagulación de las partículas coloidales se consigue añadiéndole al agua un producto químico (electrolito) llamado coagulante, normalmente se utilizan las sales de hierro y aluminio (Arboleda, 2000).

Coagulación es un proceso químico eficiente en el tratamiento de aguas, la desestabilización eléctrica de los coloides que se produce al mantener equilibradas las fuerzas aisladas. Para la evaluación de este proceso es necesario tener en cuenta las características físicas y químicas del agua la operación se efectúa en tanques de mezcla rápida, en el que el agua se somete a agitación muy intensa formando una solución homogénea de los coagulantes con el agua en el menor tiempo posible.

La **floculación** es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. Estos flóculos inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar como se indica en la *Figura 3* (Asano, 2004).

**Figura 3.** Floculación.





**Fuente:** (Andia, 2010). Tratamiento de agua coagulación y floculación.

La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos (Asano, 2004).

La floculación no solo incrementa el tamaño de las partículas del flóculo, sino que también aumenta su peso. La floculación puede ser mejorando por la adición de un reactivo de floculación o ayudante de floculación.

### **1.3.1. Mecanismos de coagulación**

La desestabilización se puede obtener por los mecanismos fisicoquímicos siguientes:

#### **a) Compresión de la doble capa**

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 (Gerard, 2007).

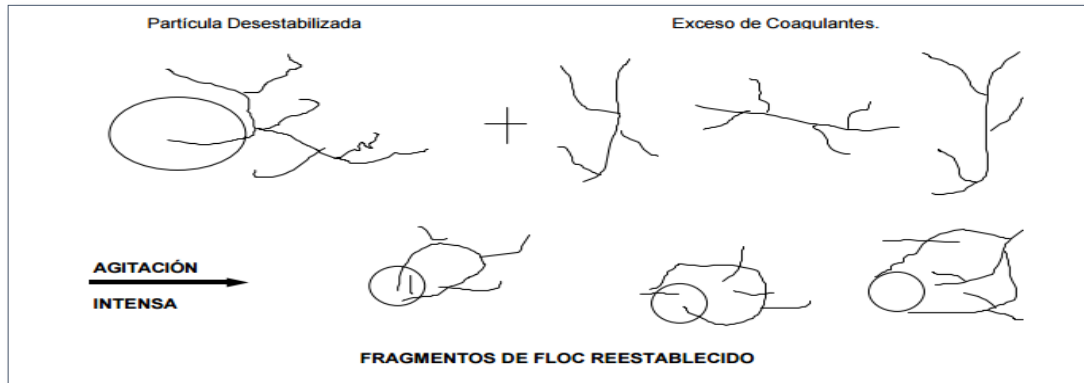
#### **b) Absorción y neutralización de cargas**

Las partículas coloidales poseen carga negativa en su superficie, estas cargas llamadas primarias atraen los iones positivos que se encuentran en solución dentro del agua y forman la primera capa adherida al coloide (Andia, 2000).

Cuando se adiciona un exceso de coagulante al agua a tratar, se produce a la reestabilización de la carga de la partícula; esto se puede explicar debido a que el

exceso de coagulante son absorbidos en la superficie de la partícula, produciendo una carga invertida a la carga original como se indica en la *Figura 3*.

**Figura 4.** Reestabilización de partículas.



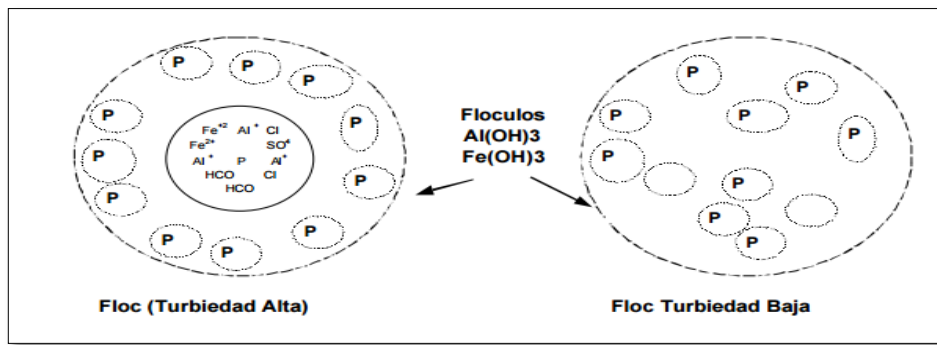
**Fuente:** (Andia, 2010). Tratamiento de agua coagulación y floculación.

### c) Atrapamiento de partículas dentro de un precipitado

Las partículas coloidales desestabilizadas, se pueden atrapar dentro de un floc, cuando se adiciona una cantidad suficiente de coagulantes, habitualmente sales de metales trivalente como el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ , o Cloruro Férrico  $FeCl_3$ , el floc está formado de moléculas de  $Al(OH)_3$  o de  $Fe(OH)_3$ . La presencia de ciertos aniones y de las partículas coloidales aceleran la formación del precipitado (Campos, 2000).

Las partículas coloidales juegan el rol de anillo durante la formación del floc; este fenómeno puede tener una relación inversa entre la turbiedad y la cantidad de coagulante requerida como se puede observar en la *Figura 5*.

**Figura 5.** Atrapamiento de las Partículas en un Floc.



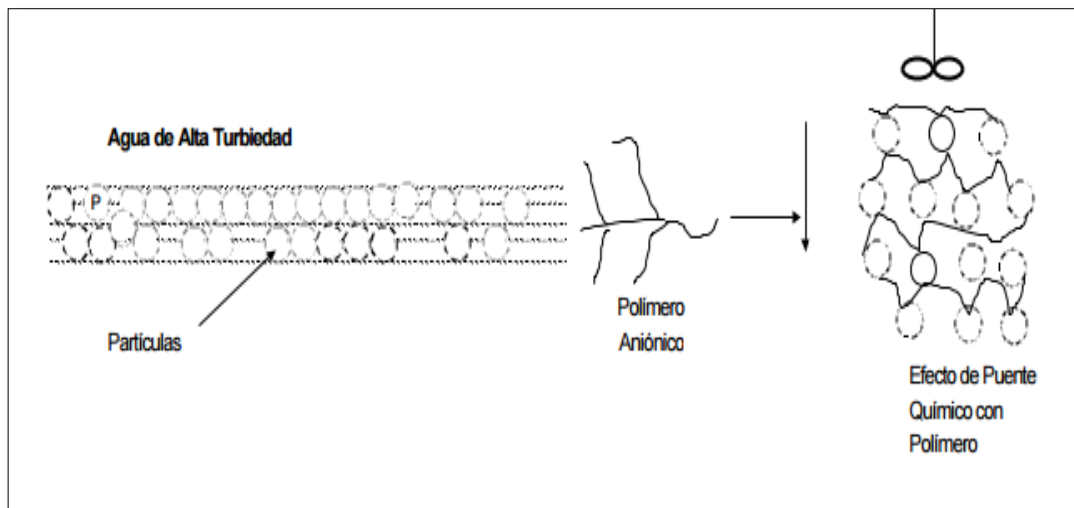
Fuente:(Campos, 2000). Saneamiento Ambiental.

#### d) Adsorción y Puente

Las moléculas del polímero muy largas contienen grupos químicos que pueden absorber las partículas coloidales. La molécula de polímero puede así absorber una partícula coloidal en una de sus extremidades, mientras que los otros sitios son libres para absorber otras partículas (Campos, 2000).

En la *Figura 6* se muestran las moléculas de los polímeros formando el “puente” entre las partículas coloidales. Esto puede tener una restabilización de la suspensión, por una excesiva carga de polímeros.

**Figura 6.** Efecto de Puente de las Partículas en Suspensión.



Fuente:(Campos, 2000). Saneamiento Ambiental.

#### **1.3.4. Factores de influencia en el proceso de coagulación.**

Los factores que influyen en el proceso de coagulación son:

**pH:** Es un factor crítico en el proceso de coagulación. Siempre hay un intervalo de pH en el que un coagulante específico trabaja mejor, que coincide con el mínimo de solubilidad de los iones metálicos del coagulante utilizado. Siempre que sea posible, la coagulación se debe efectuar dentro de esta zona óptima de pH, ya que de lo contrario se podría dar un desperdicio de productos químicos y un descenso del rendimiento de la planta de tratamiento (Larez, 2003).

Si el pH del agua no fuera el adecuado, se puede modificar mediante el uso de coadyuvantes o ayudantes de la coagulación, entre los que se encuentran: cal viva. Cal apagada. Carbonato sódico. Sosa Cáustica. Ácidos minerales.

**Agitación rápida de la mezcla:** Para que la coagulación sea óptima, es necesario que la neutralización de los coloides sea total antes de que comience a formarse el floculo o precipitado (Romero, 2002).

En el transcurso de la coagulación y floculación, se procede a la mezcla de productos químicos en dos etapas. En la primera etapa, la mezcla es enérgica y de corta duración (60 seg, máx.) llamado mezcla rápida; esta mezcla tiene por objeto dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua a tratar, y en la segunda etapa la mezcla es lenta y tiene por objeto desarrollar los micro flóculos. (Romero, 2002).

**Temperatura:** La temperatura cambia el tiempo de formación del floc, entre más fría el agua, la reacción es más lenta y el tiempo de formación del floc es mayor. La temperatura influye en el tiempo requerido para una buena formación de coágulos, más fría, más tiempo (Romero, 2002).

**Influencia de la dosis de 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 micros flóculos es muy escaso, por lo tanto la turbiedad residual es elevada.
- Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de micro flóculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación muy bajas, por lo tanto la turbiedad residual es igualmente elevada.
- La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación; se determina mediante los ensayos de pruebas de jarra.

La selección del coagulante y la dosis juegan un rol muy importante sobre:

- La buena o mala calidad del agua clarificada.
- El buen o mal funcionamiento de los decantadores.

Por ejemplo: en la siguiente tabla se observa para Turbiedad inicial de  $T_0 = 20$  NTU, los valores de dosis de coagulantes son diferentes para los diferentes valores de pH y alcalinidad (Andia, 2000).

La Tabla 2 muestra el pH y alcalinidad de algunos coagulantes como son: el cloruro férrico y el sulfato de aluminio.

**Tabla 2**  
*Dosis con diferentes coagulantes.*

pH	Alcalinidad	Dosis $\text{FeCl}_3$	Dosis $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
7.46	91 ppm $\text{CaCO}_3$	14 ppm	26 ppm
7.29	85 ppm $\text{CaCO}_3$	16 ppm	30 ppm

**Fuente:** (Andia, 2000).

**Relación cantidad-tiempo:** La cantidad de coagulante es inversamente proporcional al tiempo de formación del floc. (Romero, 2002).

**Alcalinidad:** La alcalinidad estabiliza el agua en los niveles del pH alrededor de 7, sin embargo cuando la acidez es alta en el agua la alcalinidad disminuye, la alcalinidad o basicidad del agua se puede definir como una medida de su capacidad para neutralizar ácidos (Romero, 2002).

En las aguas naturales, esta propiedad se debe principalmente a la presencia de ciertas sales de ácidos débiles, aunque también puede contribuir la presencia de bases débiles y fuertes.

### 1.3.5. Fases o etapas de la coagulación

“El proceso de coagulación se desarrolla en un tiempo muy corto (casi instantáneo), en el que se presenta las siguientes etapas, se puede visualizar en la *Figura 7*.

- Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión.
- Formación de Compuestos químicos poliméricos.
- Adsorción de cadenas poliméricas por los coloides.
- Adsorción mutua de coloides.
- Acción de barrido” (Lárez, 2007).

**Figura 7.** Fases de la coagulación.

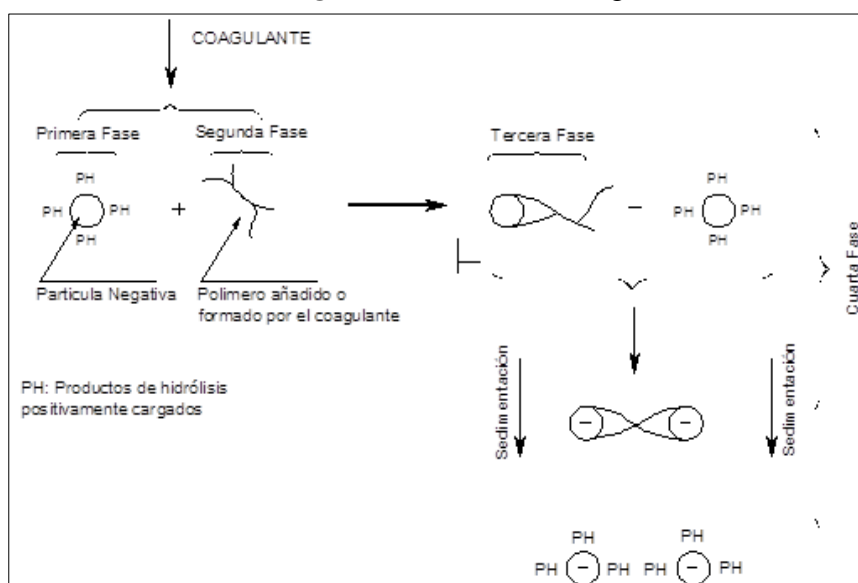


Imagen tomada de: <http://datateca.unad.edu.com>

## **1.5. Coagulantes**

Los coagulantes son productos químicos que al adicionar al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos del agua, especialmente con la alcalinidad del agua para formar un precipitado voluminoso, muy absorbente, constituido generalmente por el hidróxido metálico del coagulante que se está utilizando. (Arboleda, 2000).

### **1.5.1. Coagulantes químicos**

Los principales coagulantes utilizados para desestabilizar las partículas y producir el floc son: sulfato de aluminio, aluminato de sodio, cloruro de aluminio, poli cloruro de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico, sulfato ferroso, polielectrolitos. (Cordero, 2014).

### **1.5.2. Sulfato de Aluminio**

Forman un floc ligeramente pesado. Las más conocidas son: El Sulfato de Aluminio,  $\text{Al}_2(\text{SO}_3) \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ , que en la práctica se le denomina como Alumbre; el Sulfato de Aluminio Amoniacal y el Aluminato Sódico. El primero es el que se usa con mayor frecuencia dado su bajo costo y manejo relativamente sencillo (Cordero, 2014).

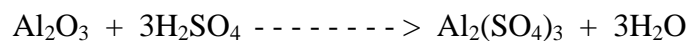
El sulfato de aluminio es un compuesto químico inorgánico; una sal de fórmula

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , es sólido o líquido, dependiendo de la materia prima puede tener color café o blanco. Es ampliamente usada en la industria, comúnmente como floculante en la purificación de agua potable y en la industria del papel (Cordero, 2014).

El Sulfato de Aluminio se obtiene de reaccionar un mineral alumínico (Caolín, Bauxita, Hidrato de Aluminio) con Ácido Sulfúrico a temperaturas elevadas; la reacción que se lleva a cabo es la siguiente:

$\text{Al}_2\text{O}_3$  = Óxido de Aluminio (Alúmina).

$\text{H}_2\text{SO}_4$  = Ácido Sulfúrico.



Una vez que se obtiene el Sulfato de Aluminio, se puede terminar en dos presentaciones, líquido y sólido (Cordero, 2014).

Cuando el pH del agua es alto (mayor de 7), el aluminio precipita arrastrando las partículas en suspensión, dejando el agua transparente. Esta propiedad es comúnmente usada en piscinas y para tratamiento de aguas industriales para evitar formación de gérmenes y algas.

#### a) **Aplicaciones del sulfato de aluminio**

El sulfato de aluminio se utiliza en las siguientes industrias:

- **Pulpa y Papel.-** Ajuste de pH, encolado (brea o cera) y ajuste de retención (fino, carga, pigmentos, etc.) además de servir en el tratamiento de sus efluentes.
- **Tratamiento de aguas residuales.-** El sulfato de aluminio es un producto económico y efectivo en la eliminación del fósforo en las plantas de tratamiento de agua residual, tanto municipal e industrial y clarifica el agua al precipitar los sólidos suspendidos.



- **Tratamiento de agua potable.-** El sulfato de aluminio permite clarificar el agua potable ya que es un coagulante y por ello sedimenta los sólidos en suspensión, los cuales por su tamaño requerirán un tiempo muy largo para sedimentar.
- **Manufactura química.-** Se emplea en producción de otras sales de aluminio Jabones y grasas.- Se emplea en la producción de jabones de aluminio y grasas para usos industriales.
- **Petróleo.-** Manufactura de catalizadores sintéticos. (Ortega, 2009).
- **Farmacéutica.-** Como astringente en la preparación de drogas y cosméticos (Ortega, 2009).

#### **b) Características el sulfato de aluminio**

- Apariencia líquido cristalino o ligeramente turbio densidad 1.28 - 1.32 g/ml.
- Solubilidad muy soluble fácil de aplicar, baja dosificación.
- Ahorro en aplicación, efectivo sobre un amplio rango de ph, efectivo en aguas cloradas, produce pocos lodos, alta densidad para su fácil disposición.
- Buena formación de floc en tamaño y densidad específica.
- Clarifica el efluente a través de reducción de los sólidos suspendidos y turbidez por flotación de aire.
- Genera buenos resultados dando mayor claridad en underflows (bajo el rango), en filtración imparte mayor calidad al filtrado (Cordero, 2014).

#### **c) Dosis del sulfato de aluminio**

Para uso en agua potable 30 mg/l máximo para uso en aguas residuales puede ser de 50-500 mg/l, en aguas aceitosas 500-2000 mg/l aplicación el sulfato de aluminio líquido puede ser aplicado directamente o bien bombeando el producto

diluido con agua limpia en una proporción de 10:1 usando una bomba de material anticorrosivo de desplazamiento positivo. Mejores resultados se obtienen provocando alta turbulencia para rápido mezclado por un corto tiempo después del punto de adición, riesgo y toxicidad el contacto directo con este producto no causa irritación en la piel (Romero, 2009).

### **1.5.3. Sales de Hierro**

Se utiliza el Cloruro Férrico,  $\text{FeCl}_3$ , y los Sulfatos de Hierro Férrico y Ferroso,  $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$  y  $\text{FeSO}_4$ . Forman un floc más pesado y de mayor velocidad de asentamiento que las sales de aluminio (Cordero, 2014).

El Sulfato Férrico Pantera es un coagulante empleado en el tratamiento de agua para consumo humano, aguas residuales y agua para riego tecnificado en la agroindustria.

### **1.5.4. Sulfato Férrico**

Es un coagulante empleado en el tratamiento de agua para consumo humano, aguas residuales y agua para riego tecnificado en la agroindustria (Cordero, 2014).

En la industria minera se emplea para remover metales pesados del agua del proceso de extracción de material.

#### **a) Características del producto**

- **Nombre comercial:** sulfato férrico en solución.
- **Peso molecular:** 399.88 g/mol.
- **Formula química:**  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ .
- **Apariencia:** líquido color café oscuro (Ortega, 2009).

#### **b) Aplicaciones del sulfato férrico**

En la industria minera se emplea para remover metales pesados del agua del proceso de extracción de material. En el tratamiento de agua para consumo humano se emplea para remover limos además de metales, arsénico y otros contaminantes no metálicos (Ortega, 2009).

En el tratamiento de aguas residuales de procesos industriales para remoción de partículas suspendidas del tipo coloidal y metales pesados de origen industrial. En la industria pesquera se emplea para recuperar sólidos, aceites y grasa del agua de bombeo.

### **1.5.5. Cloruro Férrico**

Se utiliza para depurar las aguas residuales y para tratamiento de aguas de consumo.  $\text{FeCl}_3$  en medio acuoso ligeramente básico reacciona con el ión hidróxido para formar flóculos de  $\text{FeO}(\text{OH})$ , que puede eliminar los materiales en suspensión. (Cordero, 2014).

Cuando se disuelve en agua, el cloruro de hierro (III) sufre hidrólisis y libera calor en una reacción exotérmica, de ello resulta una solución ácida y corrosiva que se utiliza como coagulante en el tratamiento de aguas residuales y la potabilización del agua (Cordero, 2014).

También se utiliza en el acondicionamiento de lodos orgánicos antes de su deshidratación, principalmente en filtros prensa. Se utiliza también en la eliminación del fósforo de las aguas residuales (tratamiento terciario).

#### **a) Características del cloruro férrico**

- Muchas veces el coagulante de bajo costo.
- Alta velocidad de reacción.
- El rango bajo de pH 3.5 – 7.0 es superior en la remoción de sustancias orgánicas, bacteria y plantón.

- El rango alto de pH 8.0-9.5 es usado para la remoción de hierro y manganeso.
- No hay problemas con el aluminio residual.
- Muchas veces eficiente sin ayudante de floculación (polímero).
- La dosis de hierro es mayor a la dosis de aluminio (el peso molecular de hierro es mayor).
- Muy corrosivo para manejar y almacenar.
- Comercialmente disponible solo en presentación líquida. (Cordero, 2014).

### **1.5.6. Policloruro de Aluminio**

El pH óptimo de la coagulación puede ser más alto que cuando se usa el Alum. El pH de la coagulación puede ser el mismo de la distribución en aguas con alcalinidad alta. Muchas veces es posible usar el PAC sin alcalinización en el proceso de coagulación. (Cordero, 2014).

La remoción de las sustancias orgánicas es mejor con el PAC en comparación con el Alum. Problemas con agua fría y con un proceso demasiado lento de la formación de flóculos pueden muchas veces ser resueltos con el PAC porque reacciona más rápido que el Alum. (Ortega, 2009).

Varios diferentes grados de coagulantes de PAC han sido desarrollados durante las últimas décadas. Los productos pueden tener una basicidad diferente, pueden tener presentación líquida o sólida o parte del grupo de cloruros puede ser sustituido por sulfatos. Si se adiciona un floculante con el coagulante polimerizado una floculación muy rápida es posible con una muy baja dosis de químicos.

#### **a) Características del Policloruro de Aluminio**

Normalmente no requiere un ajuste del pH.

#### **En comparación con el Aluminio:**

- Un rango de trabajo de pH más amplio.
- Aluminio residual más bajo.

#### **Mejor comportamiento que el Aluminio:**

- En aguas frías.
- En la remoción de sustancias orgánicas.
- En la remoción de turbiedad y color.
- Produce menos lodo.
- Manejo más fácil de producto líquido y sólido.
- Menor consumo de polímero.
- Menor dosis de aluminio que con el Alum.
- Velocidad de reacción muy alta.
- El producto sólido se disuelve fácil, sin insolubles.
- Precio más alto por kg que con el Alum (compensado con una menor dosis).
- Un pH demasiado alto para la coagulación puede bajar la remoción de sustancia orgánica (Ortega, 2009).

#### **1.5.7. Polímeros o poli electrolitos**

Son compuestos complejos de alto peso molecular que se utilizan no propiamente como coagulantes sino como ayudantes de coagulación. La dosificación de estas sustancias se lleva a cabo en concentraciones muy bajas, lo cual es una gran ventaja y compensa el costo del polímero. Están siendo ampliamente empleados en el tratamiento de aguas potables ya que se produce una menor cantidad de lodos, adicionalmente el lodo producido es más fácilmente tratable. (Arboleda, 2000).

Los más utilizados las sales de aluminio y de hierro; cuando se adiciona estas sales al agua se producen una serie de reacciones muy complejas donde los productos de hidrólisis son más eficaces que los iones mismos; estas

sales reaccionan con la alcalinidad del agua y producen los hidróxidos de aluminio o hierro que son insolubles y forman los precipitados.

### **1.6. Coagulantes Naturales**

Los coagulantes naturales son sustancias solubles en agua, procedentes de materiales de origen vegetal o animal que actúan de modo similar a los coagulantes sintéticos, aglomerando las partículas en suspensión que contiene el agua cruda, facilitando su sedimentación y reduciendo la turbidez inicial de ésta. Algunos de estos coagulantes poseen además propiedades antimicrobianas, por lo que reducen o eliminan el contenido de microorganismos patógenos susceptibles de producir enfermedades. (Arboleda, 2000).

Algunos de ellos tienen propiedades coagulantes o floculantes que actúan de modo similar a los coagulantes sintéticos, aglomerando las partículas en suspensión que contiene el agua cruda, facilitando su sedimentación y reduciendo la turbidez inicial; en muchos lugares son utilizados en forma empírica por nativos para aclarar el agua turbia, con muy buenos resultados (Romero, 2002).

Su origen natural, garantiza la inocuidad para el ser humano, y la biodegradabilidad de los lodos producidos permite además su utilización en la agricultura.

Dentro de los coagulantes naturales de origen animal, el más estudiado es el quitosano. Este coagulante es un derivado de la quitina que se encuentra en el caparazón de moluscos, el exoesqueleto de artrópodos y la pared celular de hongos, setas y levaduras. Es un buen coagulante capaz de eliminar hasta el 99 % de la turbidez del agua cruda si se combina con filtración en lecho de arena y reduce también el contenido en metales pesados, fósforo y grasas del agua (Kawuamura, 1991).

A continuación se detallarán de mejor manera los coagulantes naturales

procedentes del exoesqueleto de camarón y el desecho de plátano por ser parte de la investigación.

## **1.7. Quitosano**

El quitosano se ha descrito como un polímero catiónico lineal, biodegradable, no tóxico, de alto peso molecular, de fácil aplicación y ambientalmente amigable.

Se ha demostrado que la presencia de los grupos amino en la estructura del quitosano confieren la capacidad para coagular sustancias coloidales, además su uso permite aumentar la acción de coagulantes inorgánicos convencionales. (Gacén & Gacén, 1996).

Por esta razón es muy atractivo su uso como coagulante en el tratamiento de aguas industriales.

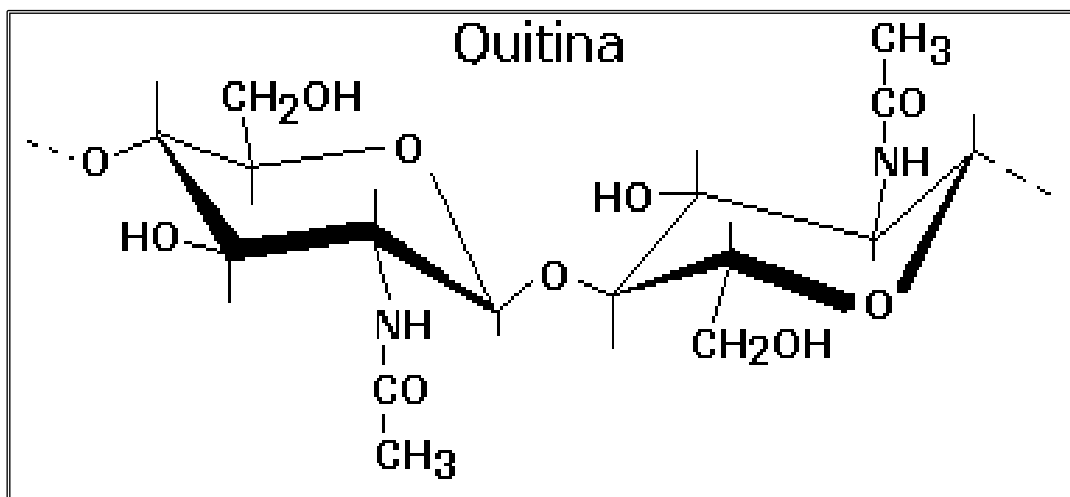
### **1.7.1. Reseña histórica sobre el quitosano**

Por su amplia distribución en la naturaleza la quitina es el segundo polisacárido en abundancia, después de la celulosa. Fue descubierta por Braconnot en 1811 cuando estudiaba las sustancias derivadas del *Agaricus volvaceus* y otros hongos.

El nombre sistemático de la quitina es  $\beta$  (1-4)-2-acetamido-2-desoxi-D-glucosa. Se encuentra principalmente en las conchas de crustáceos y formando parte del exoesqueleto de los insectos, así como también en las paredes celulares de muchos hongos, levaduras y algas (Lárez, 2003).

La quitina es completamente insoluble en agua o en medio ácido. Su estructura química se puede apreciar en la *Figura 8*.

***Figura 8.*** Estructura de la quitina.



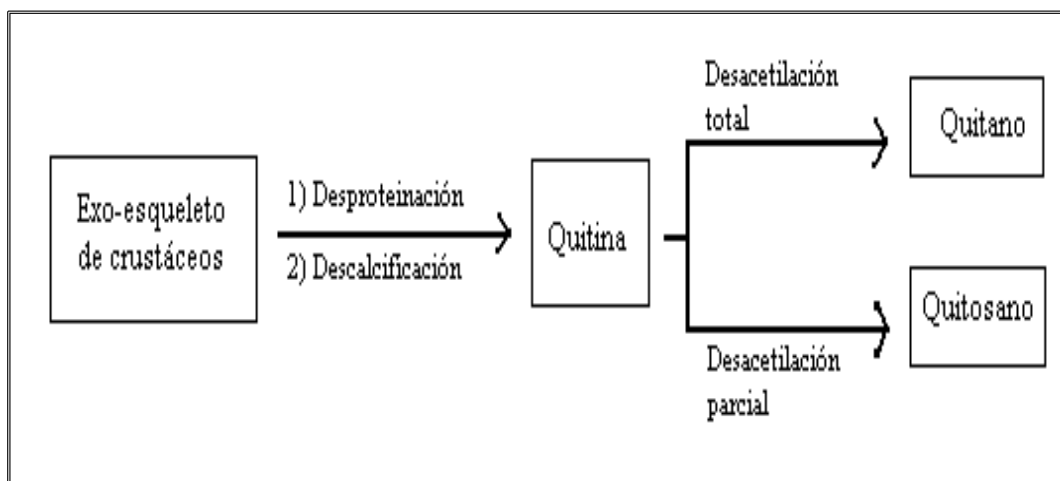
**Fuente:** (Lárez 2003). Revista Iberoamericana de Polímeros.

Por su parte, el quitosano es también un polisacárido que se encuentra en estado natural en las paredes celulares de algunos hongos; sin embargo, su principal fuente de producción es la hidrólisis de la quitina en medio alcalino, usualmente hidróxido de sodio o de potasio, a altas temperaturas. El quitosano fue descubierto por Rouget en 1859, quien encontró que al tratar quitina con una solución caliente de hidróxido de potasio se obtiene un producto soluble en ácidos orgánicos. Esta “quitina modificada”, como él la llamó, se tornaba de color violeta en soluciones diluidas de yoduro y ácido, mientras la quitina era verde (Gacén & Gacén 1996).

En la *Figura 9* se aprecia los pasos elementales en la obtención del quitosano:

**Figura 9.** Esquema de producción de los derivados de la quitina.





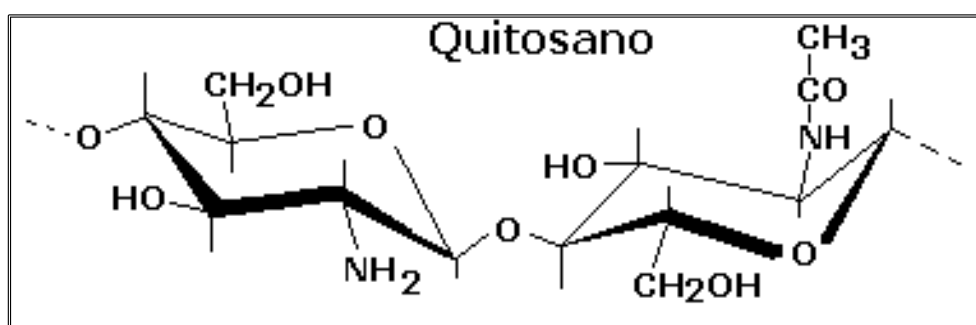
**Fuente:** (Lárez 2003). Revista Iberoamericana de Polímeros.

La desacetilación completa de la quitina produce un material totalmente soluble en medio ácido conocido como quitano; sin embargo, cuando la deacetilación del material de partida es incompleta se crea una mezcla de cadenas que tienen distintas proporciones de unidades  $\beta(1-4)$ -2-acetamido-2-desoxi-D-glucosa y  $\beta(1-4)$ -2-amino-2-desoxi-D-glucosa, cuya relación depende de las condiciones de reacción y que, obviamente, genera materiales con distintas propiedades denominados quitosanos (Lárez, 2003).

La diferencia en las propiedades de estos materiales puede llegar a ser notable, como por ejemplo la distinta solubilidad en medio acuoso que pueden llegar a tener.

Las estructuras químicas del quitano y el quitosano se muestran a continuación en la *Figura 10*.

**Figura 10.** Estructura del quitosano.



**Fuente:** (Lárez 2003). Revista Iberoamericana de Polímeros.

### 1.7.2. Composición química de la materia prima

El caparazón o materia prima está constituido por: quitina, proteína, pigmentos y cenizas con un alto porcentaje de calcio, seguido de magnesio y fósforo.

En la Tabla 3 se muestra el porcentaje de los componentes básicos del caparazón.

**Tabla 3**

*Composición química de los caparazones de camarón.*

<b>Parámetro</b>	<b>% Peso base seca</b>
Quitina	17 – 32%
Proteína	17 – 42%
Cenizas	31-46%
Pigmentos	1 – 14%

**Fuente:**( Murillo, 2005).

### 1.7.3. Fuentes de quitina y quitosano.

El quitosano existe de forma natural en algunos hongos pero en menor proporción que la quitina, por lo que es necesario someterla a un proceso de desacetilación para obtener el quitosano (Pastor e Higuera, 2004).

A pesar de la amplia distribución de la quitina en la naturaleza, la principal fuente comercial la constituyen los desechos de camarón y cangrejo provenientes mayormente de las industrias de enlatado de estos alimentos (Rinaudo, 2006).

En la Tabla 4, se muestra el porcentaje de quitina que tienen diferentes crustáceos, moluscos, hongos, insectos.

**Tabla 4**

*Contenido de quitina en diferentes organismos.*

FUENTE	CONTENIDO DE QUITINA (%)	REFERENCIA
<b><u>Crustáceos</u></b>		
Cangrejo ( <i>Cancer</i> )	72,1 <sup>c</sup>	Tharanathan y Kittur, 2003.
Cangrejo ( <i>Carcinus</i> )	64,2 <sup>b</sup>	Tharanathan y Kittur, 2003.
Cangrejo rey ( <i>Paralithodes</i> )	35,0 <sup>b</sup>	Tharanathan y Kittur, 2003.
Cangrejo azul ( <i>Callinectes</i> )	14,0 <sup>a</sup>	Tharanathan y Kittur, 2003.
Cangrejo ( <i>Sylla cerrata</i> )	23,0 <sup>b</sup>	Oudor – Odote y col., 2005.
Camarón ( <i>Crangon</i> )	69,1 <sup>c</sup>	Tharanathan y Kittur, 2003.
Camarón de Alaska	28,0 <sup>d</sup>	Tharanathan y Kittur, 2003.
Camarón ( <i>Penaeus spp.</i> )	13,1 – 23,2 <sup>b</sup>	Cira y col., 2002.
Langosta ( <i>Nephrops</i> )	69,8 <sup>c</sup>	Tharanathan y Kittur, 2003.
Langosta ( <i>Homarus</i> )	60 – 75 <sup>c</sup>	Tharanathan y Kittur, 2003.
Langosta ( <i>Panilirus ornatus</i> )	15,71 <sup>b</sup>	Oudor – Odote y col., 2005.
Gamba	67,9 – 97,0 <sup>c</sup>	Beaney u col., 2005.
Gamba ( <i>Penaeus monodon</i> )	22,18 <sup>b</sup>	Chandumpai y col., 2004
Gamba ( <i>Penaeus indicus</i> )	28,0 <sup>b</sup>	Oudor – Odote y col., 2005.
<b><u>Moluscos</u></b>		
Concha desproteinizada de Krill	40,2	Tharanathan y Kittur, 2003.
Concha de ostra ( <i>Ostrea edulis</i> )	3,6	Tharanathan y Kittur, 2003.
Concha de almeja	6,1	Tharanathan y Kittur, 2003.
Pluma de calamar	41,0	Tharanathan y Kittur, 2003.
Pluma de calamar ( <i>L. lessoniana</i> )	36,06 <sup>b</sup>	Chandumpai y col., 2004
Pluma de calamar ( <i>L. formosana</i> )	36,55 <sup>b</sup>	Chandumpai y col., 2004
<b><u>Hongos</u></b>		
<i>Aspergillus niger</i>	42,0 <sup>e</sup>	Tharanathan y Kittur, 2003.
	24,01 <sup>f</sup>	Wu y col., 2005.
<i>Penicillium notatum</i>	18,5 <sup>e</sup>	Tharanathan y Kittur, 2003.
<i>P. chrysogenum</i>	20,1 <sup>e</sup>	Tharanathan y Kittur, 2003.
<i>Agaricus bisporus</i> (champiñón blanco común)	27 <sup>b</sup>	Wu y col., 2004.
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	2,9 <sup>e</sup> y 44,5	Tharanathan y Kittur, 2003.
<i>Mucor rouxii</i>	13,25 <sup>f</sup>	Wu y col., 2005.
<b><u>Insectos</u></b>		
<b>“Continuación Tabla 4.”</b>		
Cucaracha ( <i>Periplaneta americana</i> )	2,0 <sup>d</sup>	Tharanathan y Kittur, 2003.
Cucaracha ( <i>Blatella sp.</i> )	18,4 <sup>c</sup>	Tharanathan y Kittur, 2003.
Escarabajo ( <i>Coleoptera</i> )	27 – 35 <sup>c</sup>	Tharanathan y Kittur, 2003.
Mosca ( <i>Díptera</i> )	54,8 <sup>c</sup>	Tharanathan y Kittur, 2003.
Mariposa sulfurada común	64,0 <sup>c</sup>	Tharanathan y Kittur,

<i>(Colias philodice)</i>		2003.
Mosca azul larva ( <i>calliphora erythrocephala</i> )	12,0 <sup>b</sup>	Oudor – Odote y col., 2005.
Gusano de cera ( <i>Gallería melonella</i> )	33,7 <sup>c</sup>	Tharanathan y Kittur, 2003.

*Nota:* a) Peso cuerpo húmedo; b. peso cuerpo seco; c. peso cutícula orgánica; d. peso total cutícula húmeda; e. peso seco de pared celular; f. peso micelio seco.

#### 1.7.4. Características y propiedades del quitosano.

- El quitosano es un sólido blanco amorfo, cuya estructura cristalina es sustancialmente la de la quitina purificada original.  
Por las condiciones extremas de desacetilación, el quitosano tiene una cadena más corta que la de la quitina original en alrededor de 25 – 30 unidades menos de glucosamina (Kirk & Othmer 1970).
- La transformación de la quitina en quitosano modifica sustancialmente sus propiedades, de modo que éste es fácilmente soluble en soluciones acuosas de la mayor parte de los ácidos orgánicos e inorgánicos (pH < 6,5) y es insoluble en agua, en ácidos concentrados, bases y los solventes orgánicos comunes. (Gacén & Gacén 1996).
- El quitosano es también mucho más reactivo que la quitina, ya que sus grupos aminos pueden ser acilados, alcoholados y reaccionar con las bases de Schiff. El quitosano puede ser definido como una poliamina lineal de alto peso molecular con grupos amino e hidroxilo reactivos (Gacén & Gacén 1996).
- Se comporta como un poli electrolito catiónico y por debajo de pH 6,5 presenta una alta densidad de carga, se adhiere fácilmente a las superficies negativamente cargadas y puede formar quelatos con iones metálicos. (Gacén & Gacén 1996).

El quitosano se caracteriza biológicamente por su biocompatibilidad (polímero natural no tóxico, biodegradable a los componentes normales del cuerpo) y por su

bio actividad (aceleración de curado de la de las heridas, disminución del colesterol, estimulante del sistema inmune).

En la Tabla 5 se puede visualizar las características que tiene el quitosano.

**Tabla 5**  
*Características del quitosano.*

<b>Parámetro</b>	<b>Quitosano</b>
<b>Peso molecular</b>	
Producto Natural	1,5x10 <sup>5</sup> - 2,5x10 <sup>6</sup> g/mol
Producto Comercial	1-3x10 <sup>5</sup> g/mol
Grado de Desacetilación	65 – 90 %
Contenido de Nitrógeno	7- 8,5 %
Contenido de Humedad	2-10 %
Contenido de Cenizas	< 2%

**Fuente:** GACEN & GACEN, J. 1996. Quitina y quitosano nuevos materiales textiles.

El grupo amino en el quitosano posee una ligera carga positiva, lo que le permite ser soluble en medios ácidos o en soluciones neutras; es un bio-adhesivo que puede ligarse a las superficies cargadas negativamente tales como las membranas mucosas; debido a esta propiedad física el quitosano permite el transporte de principios activos polares a través de las superficies epiteliales, siendo además bio - compatible y biodegradable (Covas, 2006).

Debido al proceso de desacetilación de la quitina pierde parte de los grupos acetilo, alrededor del 50%, para convertirse en quitosano, lo cual le permite ser soluble, más fácilmente, en ciertas sustancias: “La capacidad del quitosano de disolverse en soluciones acuosas diluidas de ácidos es el criterio comúnmente aceptado para diferenciarla de la quitina.

#### **a) Grado de acetilación**

El grado de acetilación es muy importante para obtener un producto soluble, pero también hay que tomar en cuenta la distribución de los grupos acetilo dentro de la molécula. “Los factores que afectan el grado de desacetilación incluyen: tratamiento previo, tamaño de partícula, y la densidad de la quitina, el nivel máximo de desacetilación que se puede alcanzar en un solo tratamiento alcalino es cerca de 75 - 85%.”(Hernández, 2004).

#### **b) Peso Molecular y Viscosidad**

El quitosano exhibe una amplia gama de viscosidades en los medios ácidos diluidos que dependen principalmente de su peso molecular, el cual es más reducido en comparación a la quitina. Además, debido a su alta viscosidad, que se asemeja a la de las gomas naturales, el quitosano puede emplearse como espesante, estabilizante o agente de dispersión. (Hernández, 2004).

#### **c) Solubilidad**

La solubilidad y la viscosidad del quitosano dependen del grado de desacetilación y degradación del polímero, factores que determinan con qué tipo de sustancias o soluciones, se podrá asociar, “el quitosano no es soluble a  $\text{pH} > 6.0$  y funciona solamente en sistemas ácidos, siendo una propiedad relevante para su aplicación en alimentos. Debido a la alta densidad de cargas positivas el quitosano se comporta en soluciones ácidas acuosas como una molécula policatiónica (Hernández, 2004).

#### **d) Bio - degradabilidad**

Al igual que muchos otros compuestos orgánicos el quitosano también es bio - absorbible y biodegradable, debido a la acción de enzimas propias del polímero u otras similares (Hernández, 2004).

Debido a ésta propiedad es que su utilización se ha ampliado y ha adaptado a muchos usos, tal como lo menciona Yaima Hernández en su investigación sobre los usos del quitosano: entre las enzimas que han sido reportados para ejercer actividad hidrolítica en el quitosano se encuentran: quitosanasa, lisozima, pectinasa, lipasa, dextranasa, pancreatina, pepsina y papaína (Hernández, 2004).

Se ha demostrado que es lentamente degradada principalmente por las enzimas quitosinasas y lisozimas; con las primeras, la biodegradación sucede hasta en un 75%, y hasta en un 35% con lisozimas. Cabe mencionar que a su biodegradabilidad se adiciona la no toxicidad que se produce durante el proceso de degradación del quitosano a cargo de las enzimas antes mencionadas lo que potencializa aún más el interés de su uso en varios campos.

#### **1.7.5. Obtención de la quitina y quitosano.**

El quitosano es obtenido comercialmente de los desechos quitinosos, es decir del cefalotórax de crustáceos, principalmente de camarón, cangrejo y langostino. También se ha demostrado que es posible extraerlo de jaiba y de la pluma del calamar, así como de ciertos hongos e insectos (Beaney, 2005).

El proceso de obtención del quitosano comprende dos etapas importantes, la primera es la extracción de la quitina de los desechos de crustáceos y la segunda la transformación de ésta en quitosano (Goycoolea, 2004),

La primera etapa suele realizarse mediante un proceso químico que emplea soluciones de HCl y NaOH ,sin embargo también es posible obtener quitina mediante un proceso biológico empleando bacterias ácido – lácticas que provocan la fermentación y conduce a la hidrólisis de proteínas, o bien bacterias proteolíticas con actividad quitinolítica (Goycoolea, 2004).

Los procesos biológicos para la obtención de quitina permiten minimizar la degradación química de la misma, disminuir el uso de sustancias químicas nocivas

y además generan menores cantidades de residuos contaminantes, por lo que son más seguras para el medio ambiente.

#### **1.7.6. Aplicaciones del quitosano**

Debido a las peculiares propiedades fisicoquímicas del quitosano, que a su vez influyen en sus características funcionales y biológicas como su acción antimicrobiana, este polímero tiene múltiples aplicaciones en muy diversos campos. Además es posible usarlo en diferentes formas como polvos, soluciones, geles, películas o membranas (Pastor &Higuera, 2004).

En la Tabla 6 y en la *Figura 11* se resumen varias de las aplicaciones del quitosano en industrias tan diversas como la cosmética, la farmacéutica y la alimenticia entre otras.

El quitosano ha encontrado una importante aplicación en el tratamiento de aguas residuales al remover los sólidos suspendidos, ya sea desechos del procesamiento de vegetales o iones metálicos provenientes de industrias químicas como el plomo, cadmio, mercurio y cobre. (Pastor &Higuera, 2004).

Los mecanismos propuestos para la capacidad quelante del quitosano son la floculación y la coagulación, que ocurren debido a las cargas positivas presentes en el polímero que pueden combinarse con las cargas negativas de dichos compuestos (Pastor &Higuera, 2004).

La eficiencia del proceso, por lo tanto dependerá mayormente del pH en el que se encuentre el quitosano, aunque también pueden intervenir factores como la cantidad y calidad del mismo, así como la concentración y tamaño de la partícula a separar.

**Tabla 6**  
*Aplicaciones del quitosano.*



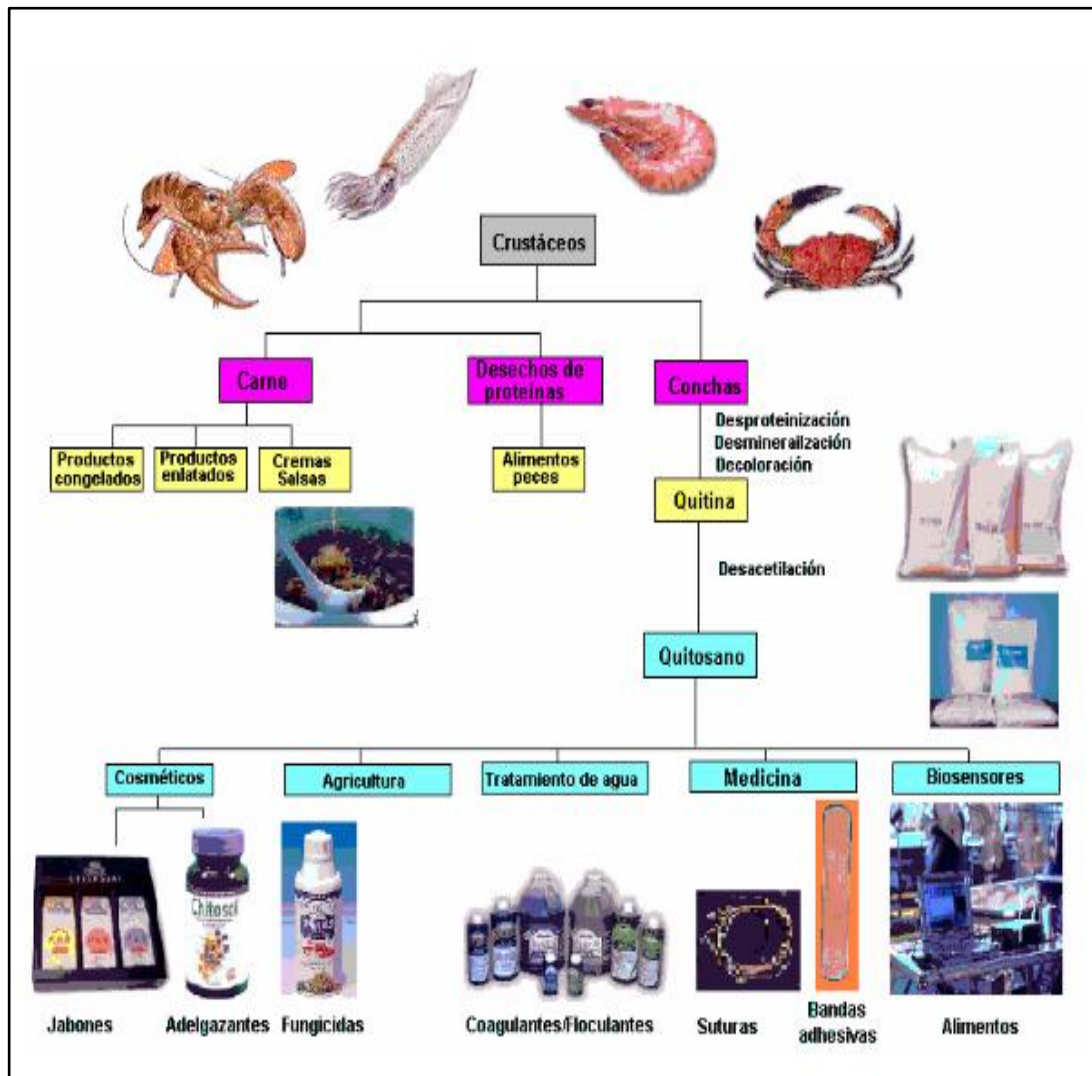
<b>Industria</b>	<b>Aplicación</b>
<b>Cosmética</b>	<p>Tratamiento del acné.  Mantenimiento de humedad de la piel.  Reducir la estática del pelo.  Cuidado dental.  Disminuir líneas de expresión.  Lentes de contacto.</p>
<b>Papelería y textil</b>	<p>Resistencia al quebrado de papel.  Mejora el brillo del papel.  Resistencia al deterioro microbiano o enzimático.  Mejora la biodegradabilidad de materiales plásticos.  Mayor impermeabilidad del papel.  Menos absorción de grasa.  Mejora propiedades antisépticas en papel fotográfico.  Mejora viscosidad de colorantes y tintas en telas.  Mayor estabilidad y resistencia d color en telas.</p>
<b>Biomedicina</b>	<p>Actividad inmunológica y antitumoral.  Homeostático y anticoagulante.  Curación (vendas).  Bacteriostático / fungistático.  Anticolesterolémico.  Sedante de sistema nervioso central.  Ayuda a regenerar tejido conjuntivo.  Acelera formación de osteoblastos.</p>
<b>Tratamiento de aguas</b>	<p>Agente floculante, coagulante para clarificar el agua.  Remoción de iones metálicos y residuos orgánicos.  Reducción de olores.</p>
<b>Agricultura y ganadería</b>	<p>Recubrimiento de semillas para su conservación durante el almacenamiento.  Sistemas liberadores de fertilizantes.  Aditivo para alimento de animales.  Activador de mecanismos de defensa en plantas.  Estimulación de crecimiento en plantas.  Liberación de agroquímicos y nutrientes en el suelo.  Cubierto de semillas contra congelamiento.  Mejora la germinación de semillas.  Protege de daño microbiano.</p> <p><b>“Continuación Tabla 6.”</b></p>
<b>Alimentaria</b>	<p>Soporte para inmovilización de enzimas en la producción de maltosa.  Espesante en alimentos.  Agente preservante.  Estabilizador de emulsiones.</p>

Recubridor protector de frutas y hortalizas.

**Separaciones cromatográficas** Separación de enzimas.  
Cromatografía de gases y columna.

**Fuente:** Pastor e Higuera, 2004. El quitosano, características y aplicaciones.

**Figura 11.** Esquema general de aplicaciones del quitosano.



**Fuente:** (Lárez C, 2006). Quitina y quitosano.

### 1.7.7. Producción de camarón en el Ecuador

En el Libro Blanco del Camarón, edición 1989, se establece que de cada 100 libras de camarón, se obtienen entre 65 y 70 libras de cola. Es decir que el porcentaje de desperdicios constituye el 30 y el 35% en el que se encuentra el caparazón.

La *Figura 12* nos indica claramente cómo se incrementó la escala en cada periodo donde se muestra la forma ascendente que se ha desarrollado la producción en toneladas y las exportaciones del camarón en miles de dólares.

**Figura 12.** Exportaciones de camarón en toneladas métrica y dólares.



**Fuente:** Banco Central del Ecuador Boletín #37

En el 2010 se exportaron 151.336.000 en toneladas métrica que son 849.674.000 dólares, en el 2011 se exportaron 187.391.000 en toneladas métrica que son 1.178.389.000 dólares. En el 2012 se exportaron 208.813.000 en toneladas métrica que son 1.278.399.000 dólares, en el 2013 se exportaron

223.142.000 en toneladas métrica que son 1.784.936.000 dólares. En el 2014 se exportaron 298.131.000 en toneladas métrica que son 2.571.813.000 dólares y es también el año donde su producción en toneladas métricas y en dólares es mayor a comparación del 2010 al 2013. (Banco central del Ecuador Boletín #37).

De las 298.131.000 toneladas de camarón que se exportaron en el año 2014, el 25% fueron camarones sin cáscara. La cáscara de la cola del camarón equivale al 15% del peso total del camarón, lo que nos deja 11'179.912,5 toneladas de cáscara de camarón disponibles en el Ecuador. Este estimado, nos da una idea de la cantidad de materia prima que se puede utilizar tanto para producir harina de pescado, como quitosano. (Banco Central del Ecuador/ Jaramillo F., 2015).

En la Tabla 7 se puede visualizar el cálculo realizado.

**Tabla 7**

*Disponibilidad de cáscaras de camarón en el Ecuador año 2014.*

	<b>Total Camarón exportado</b>	<b>Camarón sin cáscara exportado</b>	<b>Cáscaras de camarón disponibles</b>
<b>Porcentaje anual</b>	100 %	25 %	15 %
<b>Toneladas métricas año 2014</b>	298'131.000	74'532.750	11'179.912,5

**Fuente:** Banco Central del Ecuador/ Jaramillo F., 2015.

### **1.8. El plátano**

“El plátano o banano tiene su origen en Asia meridional, siendo conocido desde el año 650, la especie llegó a las Canarias en el siglo XV y se introdujo al continente americano en 1516. Su cultivo comercial se inició a finales del siglo XIX y principios del XX. El plátano es una fruta tropical originada en el sudoeste asiático, perteneciente a la familia de las musáceas (es un híbrido triploide de *Musa acuminata* y *Musa balbisiana*) (Pérez, 2010).

El plátano es una planta monocotiledónea y pertenece al orden Escitaminales,

a la familia Musaceae, subfamilia Musoideae y al género Musa. El género Musa contiene entre 30 y 40 especies diploides ( $2n=14, 18, 20, 22$ ). En la actualidad, solo dos especies tienen importancia comercial: *Musa acuminata* (plátano) y *Musa balbisiana* (Pérez, 2010).

El plátano es considerado el principal cultivo de las regiones húmedas y cálidas del suroeste asiático. Los plátanos o bananos tienen forma oblonga, alargada y algo curvada. El color de la piel de los frutos puede ser amarillo verdoso, amarillo, amarillo-rojizo o rojo. El plátano macho tiene una piel gruesa y verdosa y su pulpa es blanca; en el bananito, la pulpa es de color marfil y la piel fina y amarilla. El plátano y el bananito destacan porque su sabor es dulce, intenso y perfumado. En el plátano macho, la pulpa tiene una consistencia harinosa y su sabor, a diferencia del resto de plátanos de consumo en crudo, no es dulce ya que apenas contiene hidratos de carbono sencillos (Pérez, 2010).

El plátano es uno de los cultivos más importante del mundo, después del arroz, el trigo y el maíz. Además de ser considerado un producto básico y de exportación, constituye una importante fuente de empleo e ingresos en numerosos países en desarrollo.

A continuación en la Tabla 7 se detalla la composición química del plátano.

**Tabla 8**  
*Composición química del plátano.*

Componente	%
Agua	61,0
Proteínas	1,1
Grasas	0,2
Carbohidratos	36,0
Fibra	0,6
Cenizas	1,0

**Fuente:** Jiménez et al., (1994).

En el país existen cerca de 5000 productores de banano, de acuerdo al tamaño de la plantación, el 80% corresponden a propiedades menores de 30 hectáreas y tan solo el 3% a mayores de 100has. Cuando las expectativas de demanda de banano de exportación no se cumplen en el tiempo estipulado, el momento de corte de los racimos se supera y no permite que sean aprovechados para exportaciones futuras. (Bustamante, 2014).

Esta fruta queda disponible en los campos y es la denominada boleja, la cual se estima entre un 5% y 10% de la producción de exportación anual (Bustamante, 2014).

En la etapa de selección y empaque, se presentan rechazos en las operaciones de desgaje y desmane. En la primera se inspeccionan las dimensiones de la fruta, y en la segunda, las condiciones de la cáscara. De este modo, el rechazo de empacadora resulta de la exigencia de calidad estipulada por las comercializadoras de banano. Este rechazo se estima entre un 15% y 20% del total de la producción de exportación anual.

En el 2013 se exportó 5995,527 toneladas de banano, se tuvo una exportación de 6907,376 toneladas en el año 2014 (Bustamante, 2014).

### **1.8.1. Proceso de la post cosecha del banano**

a) **Corte:** De acuerdo con el país el sistema de corte difiere según el tipo de transporte de la fruta hacia la empacadora, ya sea por el sistema tradicional o por el de Banempac.

En el primer caso se transporta el racimo completo y en el segundo caso se transportan las manos separadas del raquis o tallo (Arias, 2015).

El ayudante pica el pseudotallo a una altura conveniente para que la planta se agobie y el racimo baje suavemente hasta la altura en que los cortadores y/o cargadores insertan la barracuda para proceder al corte del racimo (Arias, 2015).

Una vez que está bien sujeto el racimo, se procede a cortar el tallo y transportarlo a la empacadora a través del cable vía medio que evita el estropeo de la fruta como se muestra en la *Figura 13*.

***Figura 13.*** Corte.



**Fuente:** Arias, 2015. Cultivo de banano.

**b) Desmane:** El desmane se realiza con un cuchillo curvo o cortador semicircular, (cuchareta) efectuando un solo corte limpio sin dejar otros cortes ni desgarres.

Es muy importante la habilidad del operador para que sea más eficiente la labor, el corte se hace lo más cerca posible del tallo dejando suficiente corona. Las manos son colocadas suavemente al tanque de desmane como se indica en la *Figura 14* (Arias, 2015).

***Figura 14.*** Desmame.



**Fuente:** Arias, 2015. Cultivo de banano.

- c) **Lavado y Saneo:** En el primer tanque se procede a lavar cuidadosamente cada mano y se eliminan aquellas muy pequeñas, deformadas o que presenten defectos tales como estropeo, rasguños, daños causados por insectos u otros que desmejoren su presentación en más de dos dedos. Usando cuchillos curvos bien afilados se arregla cualquier desperfecto de la corona como se indica en la *Figura 15* (Arias, 2015).

**Figura 15.** Lavado y Saneo.





**Fuente:** Arias, 2015. Cultivo de banano.

- d) **Enjuague o Desleche y Clasificación.** En el tanque las manos o los clúster permanecen entre doce a veinte minutos dentro del agua para que se elimine todo el “látex o leche” (INIAP, 2013).
- e) **Sellado:** Algunas Compañías exportadoras para ciertos mercados colocan en los dedos interiores de la mano o del clusters, unas etiquetas distintivas de la marca registrada por ella. En la *Figura 16*, se indica el proceso de desleche y sellado del banano (Arias, 2015).

**Figura 16.** Desleche y Sellado.



**Fuente:** Arias, 2015. Cultivo de banano.

- f) **Pesada.** En la *Figura 17* se puede observar el pesaje en una balanza romana se coloca la bandeja de diseño adecuada y se deposita el número de manos o clusters necesarios hasta completar el peso de la fruta por caja solicitado. (Arias, 2015).

**Figura 17.** Pesaje.



**Fuente:** Arias, 2015. Cultivo de banano.

- g) Empaque.** Se realiza en cajas de cartón corrugado elaborado bajo especificaciones y dimensiones convenientes, establecidas según el peso a empacarse, la distancia a la que va a ser transportada y las condiciones del mercado consumidor (Arias, 2015).

### **1.8.2. Almidón de plátano como coagulante**

El uso del almidón natural en combinación con coagulantes inorgánicos es una alternativa que permite disminuir el consumo de polímeros sintéticos utilizados como ayudantes de coagulación y floculación (poli electrolitos), reduciendo así los costos en plantas de tratamiento de lixiviados o aguas residuales (Ortega, 2010).

El almidón y sus derivados han demostrado ser muy útiles para floculación de partículas minerales ultra finas y metales de hierro.

- a) Composición del almidón.**

El plátano en su etapa biche tiene un gran porcentaje de almidón, entre 60 y 70%, de modo que funciona como un excelente floculante. (Ortega, 2010).

Los componentes del plátano en orden de mayor a menor porcentaje son: almidón, humedad, fibra, lípidos, proteínas y cenizas (Ortega, 2010).

El almidón es una mezcla de glucanos, ya que cada partícula insoluble de almidón involucra principalmente amilasa y amilopectina.

El almidón se localiza en el interior de las células vegetales, formando partículas insolubles.

La amilasa es un polímero lineal, mientras que la amilopectina es un polímero altamente ramificado. Los valores del contenido de amilosa y amilopectina en el almidón de plátano:

- 11g de amilosa por 100g de almidón, y 89g de amilopectina por 100g de almidón, lo cual corresponde con la afirmación de que la amilopectina es el componente mayoritario del almidón.
- La amilopectina constituye aproximadamente 70-80% del almidón.
- 42,4g de amilosa por cada 100g de almidón.
- 36,2% del almidón de plátano corresponde a amilosa, componente que le confiere características fisicoquímicas especiales como la tendencia a producir geles más firmes y claros (Ortega, 2010).

El almidón en su forma nativa tiene propiedades gelificantes y espesantes, lo cual es muy útil para regular y estabilizar la textura en procesos de manufactura.

En ocasiones, el plátano es desechado en procesos de manufactura por no cumplir normas y estándares de calidad. Sin embargo, las propiedades gelificantes

y espesantes se pueden mejorar por modificación de la estructura química. (Ortega, 2010).

En este caso el almidón cubre completamente las superficies de las partículas previniendo la formación de puentes entre ellas.

#### **b) Almidón como polímero**

El almidón es un polímero natural. Los polímeros resultan de monómeros que se acoplan, dando lugar a un alto peso molecular en el intervalo 10<sup>4</sup> a 10<sup>6</sup> Da. Los polímeros tienen diferente peso molecular, estructura, composición, y tipo de carga.

La cantidad de carga depende de las características de la ionización de cada grupo funcional, la co - polimerización y la sustitución de grupos en caso presentarse dicha sustitución, los poli electrolitos (polímeros) tienen tres tipos de acciones (Ortega, 2010).

- Coagulación, causando una disminución de la carga de las partículas, que es el caso de los poli electrolitos catiónicos.
- Formación de puentes entre partículas, que es el caso de polímeros amónicos y polímeros no iónicos.
- Coagulación - formación de puentes, que es el caso de poli electrolitos catiónicos de alto peso molecular (Ortega, 2010).

Los polímeros de alto peso molecular son efectivos para inducir floculación. Estos polímeros forman colas que conectan varias partículas mediante puentes. Así, se supera el efecto de las fuerzas de repulsión entre partículas cargadas negativamente. Generalmente, la efectividad de la floculación mejora con el peso

molecular del polímero, ya que esto implica la formación de flóculos más largos. Sin embargo, una concentración muy alta de polímero puede degradar la floculación porque en este caso cada molécula de polímero se pega sobre una sola partícula, de modo que no se forman los puentes (Ortega, 2010).

Los polímeros disueltos generalmente tienen una alta viscosidad, de modo que se debe usar agitación mecánica para disolver el polímero en el agua. La intensidad del mezclado debe ser tal que se logre la dispersión, pero sin degradar los flóculos.

La efectividad del polímero depende de su concentración, carga, peso molecular, pero también depende de las características del agua a tratar y los parámetros del proceso.

En las Figuras 18 y 19 se puede observar cada fase del proceso de obtención del almidón de plátano que servirá como coagulante.

**Figura 18.** Diagrama de obtención del almidón.

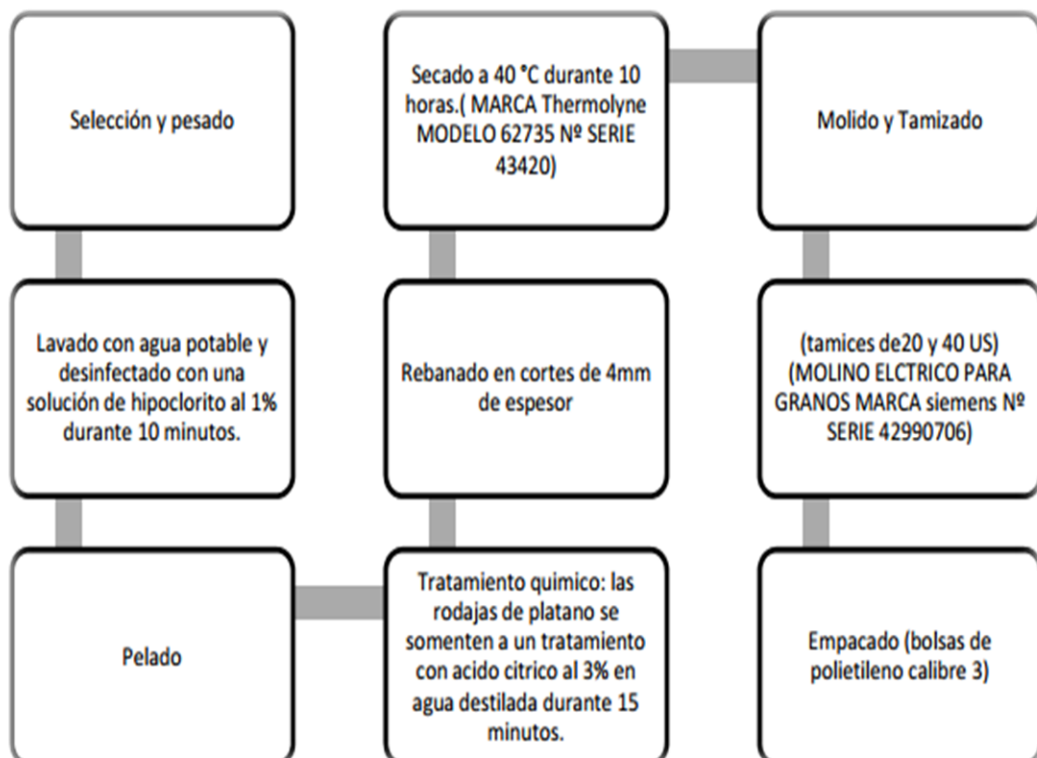


Imagen tomada por: <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/MAY11/garcia-tejana.pdf>

*Figura 19.* Diagrama almidón modificado.

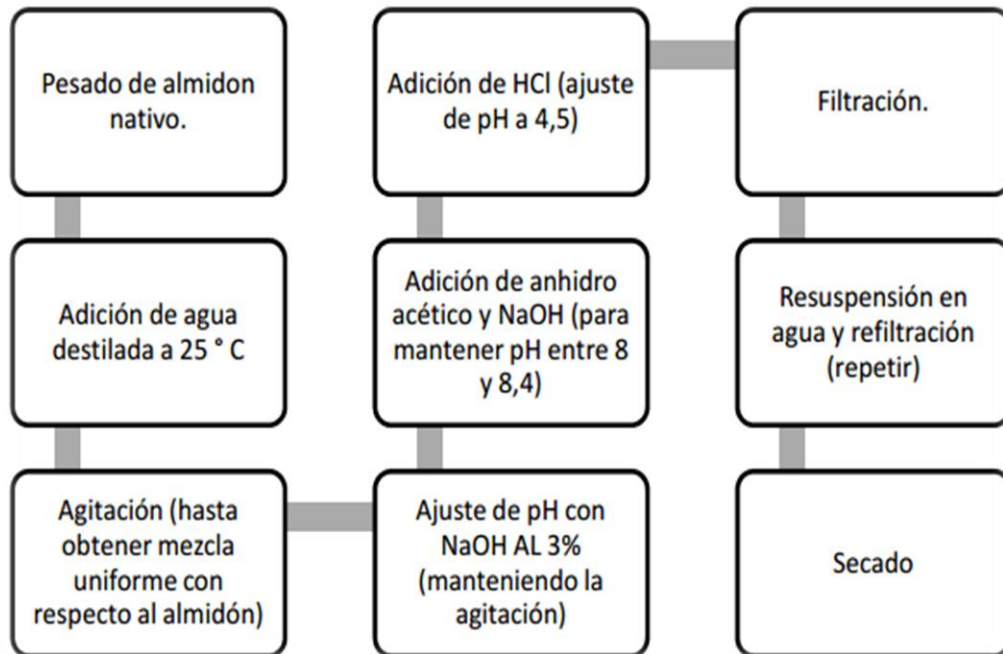


Imagen tomada de: <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/garcia-tejana.pdf>

### 1.8.3. Látex como coagulante

El látex, tanto en la planta de banano como en el fruto cumple con la función biológica de retrasar y en ocasiones de suprimir el desarrollo de hongos y bacterias que puedan afectar partes de la planta antes de alcanzar su madurez fisiológica o perder su utilidad funcional (Baker ,1990).

Químicamente se considera una suspensión coloidal de diversas organelos como lípidos, luteoides y fragmentos citoplasmáticos) y dentro de sus constituyentes se encuentran compuestos de fenoles, terpenos, terpenolenos, agua, azúcares y proteínas entre los principales (Baker ,1990).

El látex ha sido observado en todas las partes de plantas de banano in vitro, con excepción de las raíces y se encuentra a presión en los ductos laticíferos,

razón por la cual, cuando se cortan uno o más ductos, su contenido es extra, su es extraído (Sandoval, 1989).

Su concentración en la planta varía según la sección que se muestree; cuando está fresco y fluido puede lavarse, pero en pocas horas se vuelve pegajoso y los frutos desflorados en el campo cerca del mediodía liberan menos látex y la severidad de la mancha es menor que aquellos donde dicha labor se efectúa en horas tempranas de la mañana. Por ello, añade el mencionado autor, es posible lograr un gran control de la mancha por látex ocasionada por la desflora de los frutos en el campo mediante la ejecución de la labor en horas del mediodía (Sandoval 1989).

La aplicación inmediata de calor a soluciones frescas de látex logró que este coagulara y con ello una prevención del oscurecimiento causado por la oxidación. En el plátano (*Musa AAB*) menciona que la inmersión por 1 a 1,5 min a una temperatura del agua de entre 80 a 90°C fue superior a los restantes tratamientos térmicos evaluados (Shillingford, 1985).

Los mencionados autores añaden que hubo una mejor respuesta del fruto a la remoción manual de la cáscara y se redujo el daño de dicha labor en la pulpa así como la mancha de látex con respecto al testigo. A su vez indican que la inmersión de los frutos en agua caliente redujo levemente la firmeza de la pulpa.

### **1.9. Prueba de jarras**

La prueba de jarras es una técnica de laboratorio que pretende realizar una simulación del proceso de clarificación del agua que se lleva a cabo en la planta, de manera que permite evaluar a escala y de una manera rápida la acción que ejerce sobre el proceso de clarificación la variación de los diferentes parámetros como velocidad y/o tiempo de agitación, gradientes de velocidad producidos, dosificación de diversos compuestos químicos solos o en combinaciones, y el procedimiento para realizarlas se desarrolla de acuerdo a las recomendaciones que

para tal efecto brinda en sus manuales la American Water Works Association (AWWA) en Norte América y el CEPIS en Latinoamérica.

La prueba de jarras se usa para:

- Evaluar, determinar y optimizar las variables químicas del proceso de coagulación y/o floculación, esto es, medir el desempeño de uno o varios productos químicos dados, coagulante, floculante, etc., y encontrar la dosificación adecuada, tanto en términos de calidad final del agua obtenida, como en términos económicos.
- Determinar la dosificación de la solución de coagulante.
- Encontrar el punto o etapa de dosificación adecuado para el producto que se ensaya.
- Evaluar y comparar el desempeño de una combinación de productos.
- Forma y secuencia de dosificación óptima de coagulantes y floculantes.
- Punto o etapa ideal de dosificación de coagulantes y floculantes.
- Determinación del pH óptimo de coagulación.
- En operación, tomar decisiones rápidas sobre la dosificación de químicos a utilizar de acuerdo a las variaciones en la calidad del agua cruda.
- Evaluar los efectos de modificaciones en las condiciones de operación de la planta sobre el proceso de clarificación (Ramalho, 2003).



Para las pruebas de jarras se utiliza un dispositivo llamado floculador provisto de cuatro o seis puntos de agitación, que permite agitar simultáneamente, a una velocidad determinada, el líquido contenido en una serie de vasos (*Ver figura 20*).

**Figura 20.** Equipo de jarras.

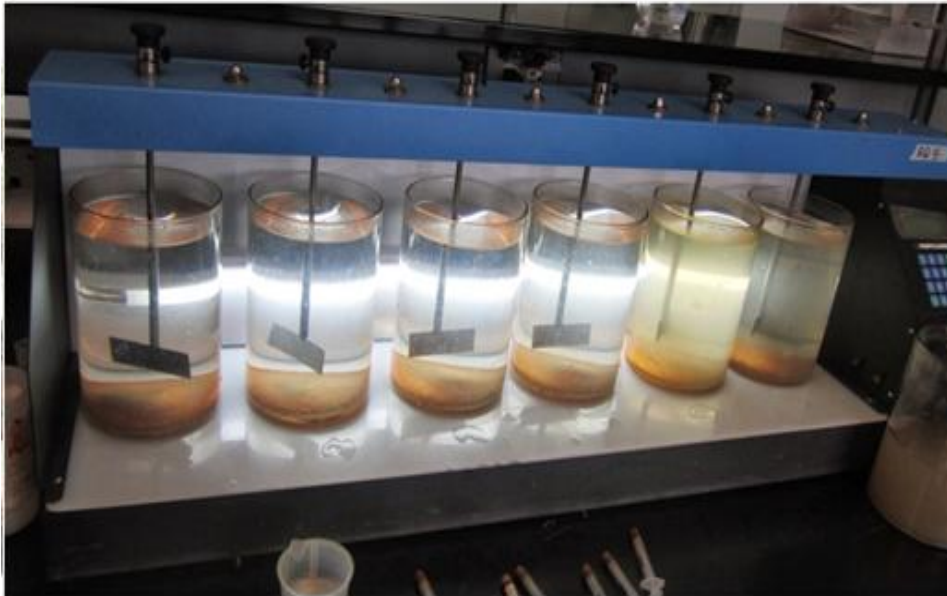


Imagen tomada de: <http://soltechltda.com/pdf/Equipo%20de%20Jarras%20-%20Floculadores.pdf>

Este método permite realizar ajustes en el pH, las variaciones en la dosis de coagulante o polímero, alternando velocidades de mezclado, o la prueba de coagulante o diferentes tipos de polímeros, a pequeña escala con el fin de predecir el funcionamiento de una operación a gran escala de tratamiento (Ramalho, 2003).

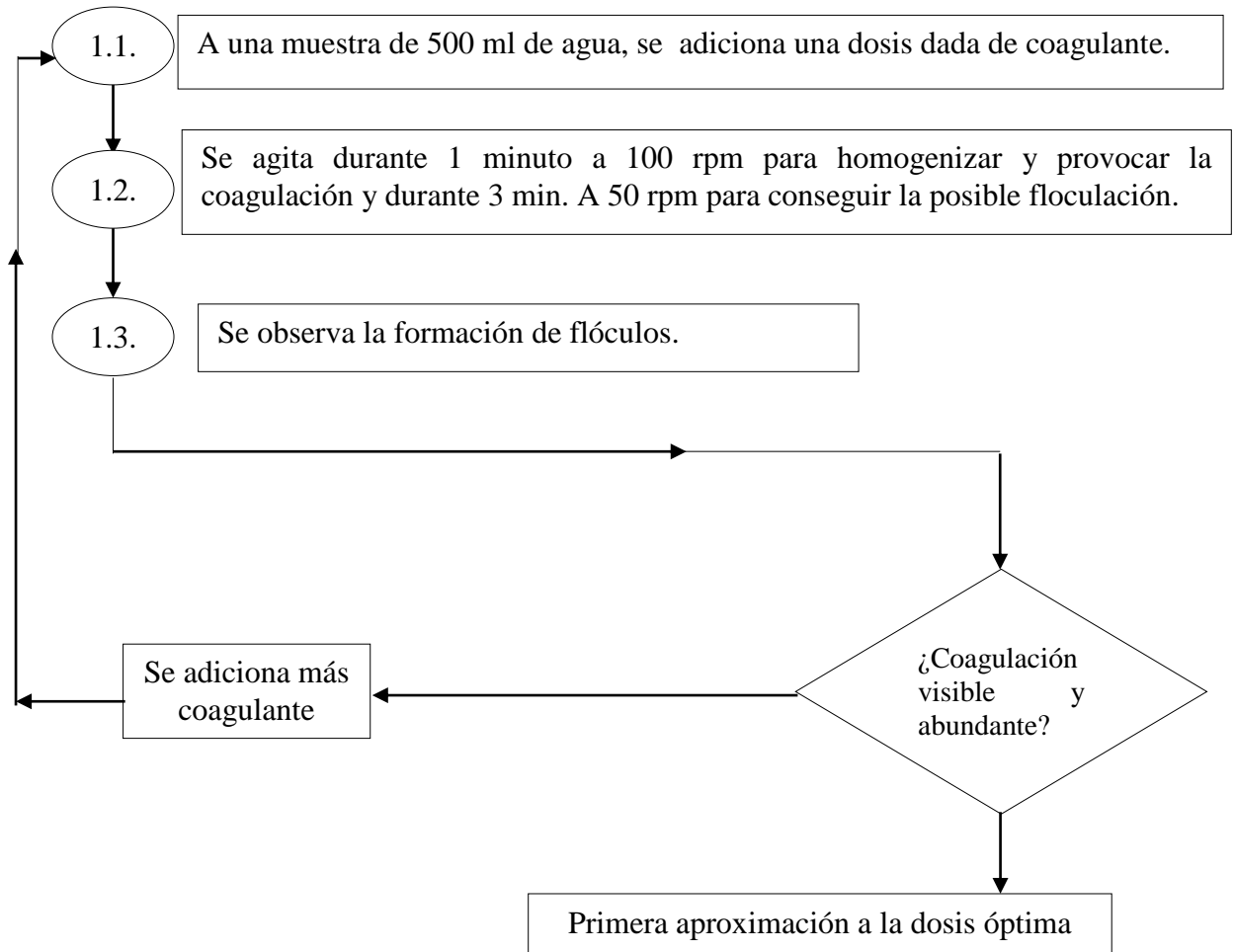
Una prueba de jarras simula los procesos de coagulación y floculación que fomentan la eliminación de los coloides en suspensión y materia orgánica que puede conducir a problemas de turbidez, olor y sabor.

### **1.9.1. Procedimiento**

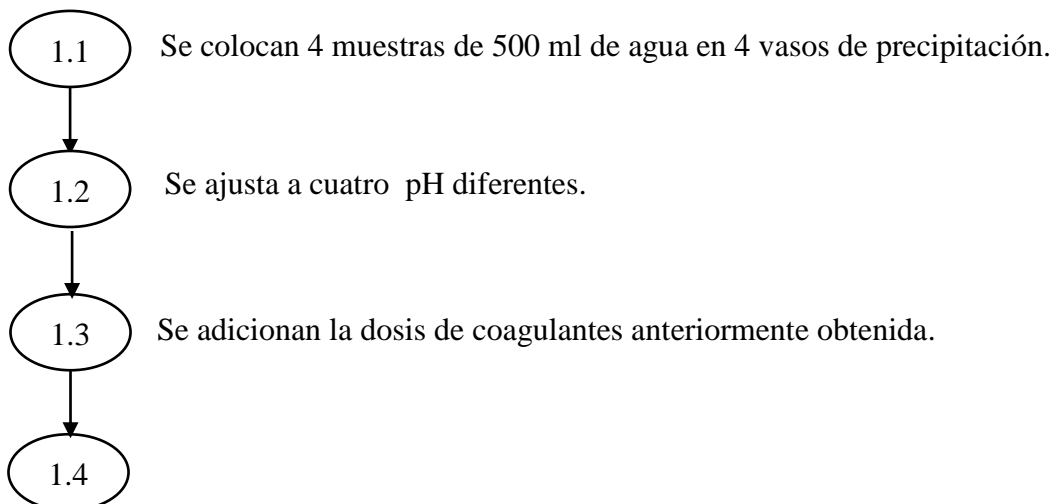
La metodología empleada es la sugerida por Eckenfelder para la selección del coagulante (*Ver Figura 21*) y utiliza el índice de Willcomb para evaluar la calidad del flóculos los cuales se indican en las Tabla 9.

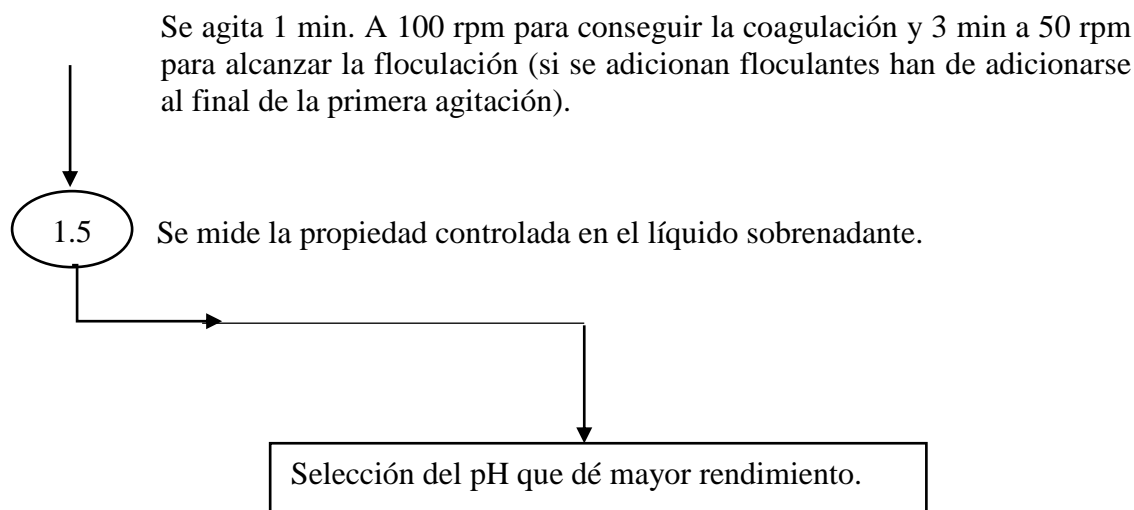
**Figura 21.** Metodología empleada por Eckenfelder para la selección de coagulante.

### 1ª Fase: primera aproximación a la dosis óptima

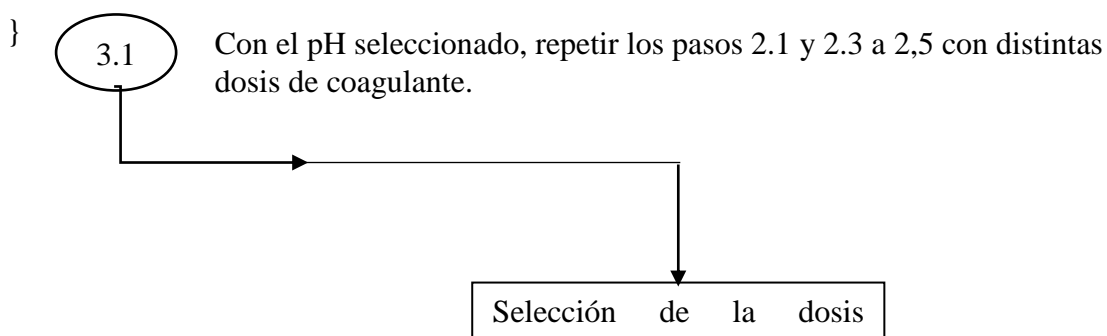


### 2ª fase: aproximación al pH óptimo





### 3ª fase: nueva aproximación a la dosis óptima



Fuente: (Correa C., 2002).

**Tabla 9**

*Índice de Willcomb para caracterización de flóculos.*

VALOR ASIGNADO	CARACTERÍSTICAS DEL FLOC
0	Flóculo. Coloidal sin ningún signo de aglutinación
2	Visible. Flóculo muy pequeño, casi imperceptible
4	Disperso. Flóculo bien formado, pero uniformemente distribuido (sedimenta muy lento)
6	Claro. Flóculo de tamaño relativamente grande, pero que precipita con lentitud

8	Bueno. Flóculo que se deposita fácil, pero no completamente
10	Excelente. Flóculo que se deposita completamente, dejando el agua cristalina

**Fuente:** (Correa C., 2002).

## **1.10. Clarificación**

La clarificación del agua tiene por objeto retirar los sólidos suspendidos, sólidos finamente divididos y materiales coloidales, convirtiéndolos en partículas más grandes que se pueden remover con mayor facilidad. (Gerad, 2007).

Es un proceso utilizado tanto en sistemas de tratamiento de aguas municipales con el fin de obtener agua potable para consumo humano, como en sistemas de tratamiento de aguas industriales que comprenden el tratamiento individual del agua proveniente de acueductos municipales de acuerdo con su uso final, ya sea agua para elaboración de bebidas o alimentos, generación de vapor o circuitos de refrigeración, lavado de envases (Rojas,2002).

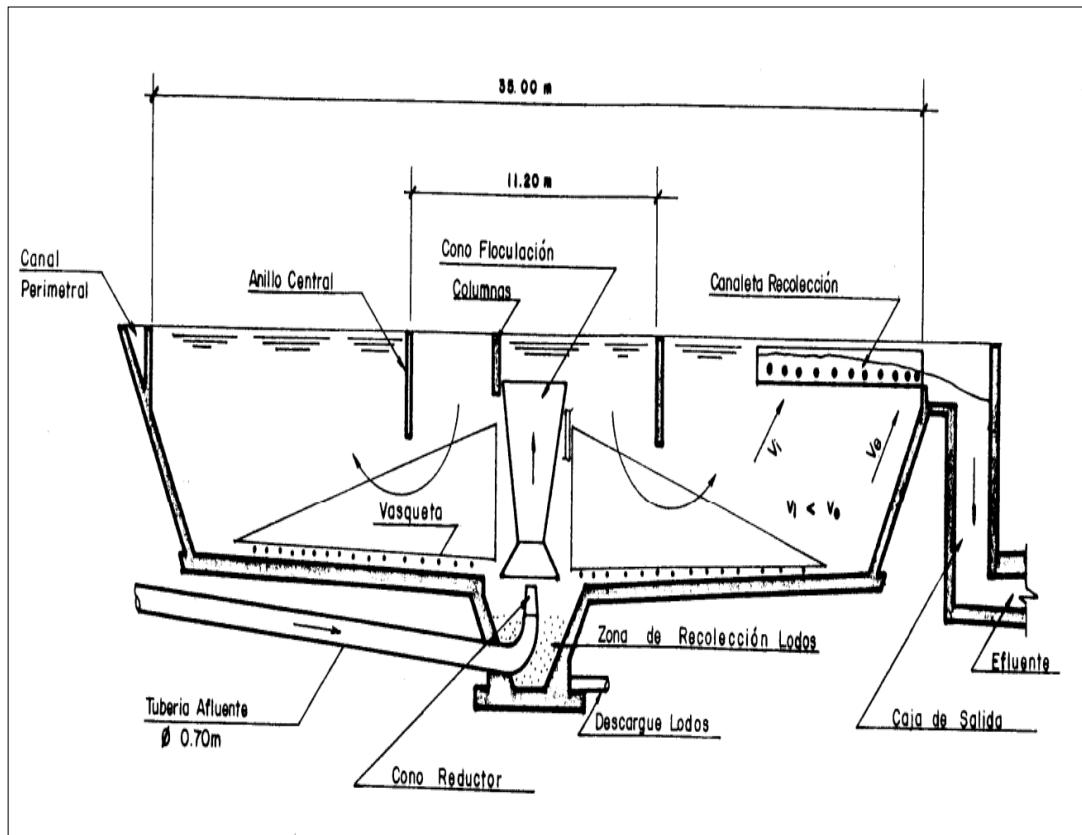
### **1.10.1. Componentes de un clarificador**

- Entrada de agua cruda.
- Zona de mezcla secundaria y gradiente de reacción.
- Zona de concentración de lodo.
- Zona de decantación con sistema para recoger agua.
- Construcción circular o al menos lo más simétrica posible (Ej. Cuadrada).
- Recirculación de lodo, con el fin de favorecer la floculación y la coagulación de barrido.

### **1.10.2. Clarificadores de Manto de Lodos**

Los clarificadores de manto de lodos *Figura 22* son sistemas de potabilización no convencionales en los cuales se integran la coagulación, floculación y sedimentación en una unidad compacta. Son ventajosos por aspectos económicos, alto desempeño, incluso con agua de alta turbiedad, y poco espacio requerido. Su principal desventaja radica en que su operación precisa de mayor control que un sistema convencional (Rojas, 2002).

**Figura 22.** Clarificador mecánico de manto de lodos.



**Fuente:** (Arboleda, 2000). Clasificación de los Clarificadores.

El clarificador de manto de lodos opera con flujo vertical generando 3 zonas, (desde abajo hacia la superficie del tanque), de las cuales depende la calidad del agua tratada: la capa del manto de lodos donde las partículas se reacomodan y compactan; la capa de interfase, en la que el floc está en constante choque por la velocidad de caída de algunas partículas y la velocidad de ascenso del flujo; por último esta la capa de agua clarificada que es recogida por canales superficiales (Rojas, 2002).

Se han realizado ensayos para clarificadores de flujo vertical, encontrando que a mayor concentración de partículas menor velocidad de caída de la interfase, menor velocidad de ascenso de las partículas, lo que lleva al equilibrio de la interfase y mantiene el flujo en suspensión (funcionando como floculador). (Rojas, 2002).

La calidad del agua del efluente mejora (disminuyendo la turbiedad) y baja la turbiedad a mayor porosidad del manto de lodos. (Rojas, 2002).

### **1.12.3. Clasificación de Clarificadores**

#### **a) Clarificador rectangular**

El lodo es arrastrado por las rasquetas a lo largo del tanque y hacia el extremo de entrada. En otros diseños el lodo es arrastrado hacia la zona de salida del tanque (Ramalho, 2003).

Los mecanismos de las rasquetas son de tipo giratorio y consisten en pequeñas rasquetas montadas en una cadena sin fin que hacen contacto con el fondo del tanque, se mueve lentamente a una velocidad aproximada de 0,3 m / min. (Ramalho, 2003).

#### **b) Clarificador circular con alimentación central**

La alimentación se hace por la parte central y la solución clarificada rebosa por una canal de recogida con la periférica. (Ramalho, 2003).

El fondo del clarificador tiene una pendiente mínima de  $\frac{1}{2}$  (Ramalho, 2003).

Estas unidades tienen forma cilíndrica (Figura 23). La entrada del agua cruda se realiza por el centro de la unidad en forma. En la parte inferior está ubicada la zona de lodos, que tiene forma cónica con pendiente de 45° a 60°, según la naturaleza del agua y el tratamiento aplicado. La recolección del agua sedimentada se realiza en la parte periférica superior de la unidad. El mecanismo

de rasquetas es de tipo de paletas para evitar que tenga una inercia y prevenir la adherencia del lodo al fondo del tanque. (Ramalho, 2003).

### c) Clarificador circular con alimentación periférica

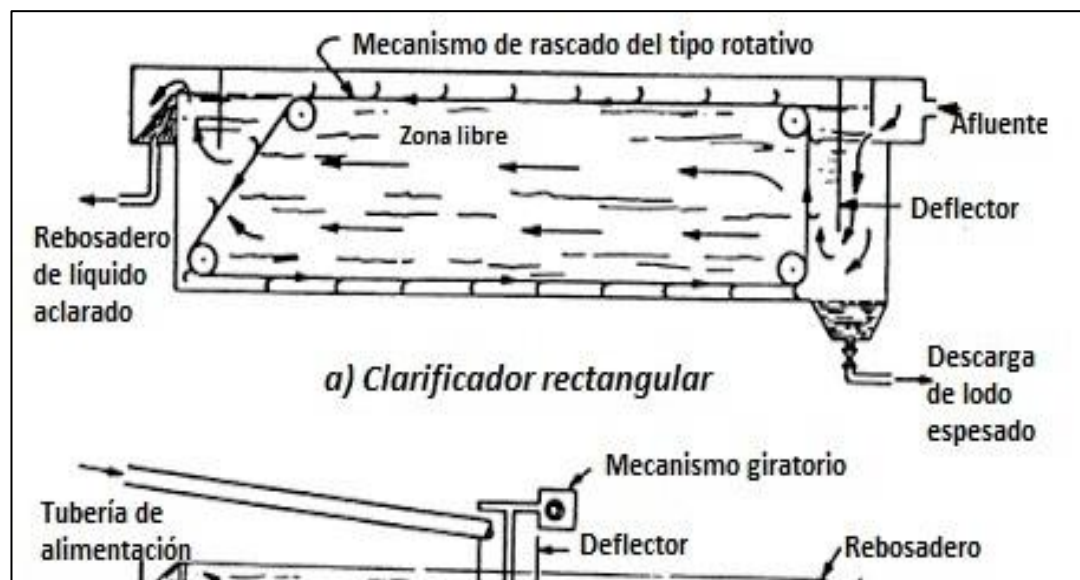
La alimentación está situada en la periférica y la solución clarificada rebosa por un canal de recogida en la zona central.

La sección de entrada deber ser diseñada con cuidado para tener una distribución uniforme de flujo, tanto a lo ancho como en profundidad. De forma similar la sección con cuidado para tener una distribución uniforme de flujo, tanto en lo ancho como en profundidad. De forma similar la sección de salida debe diseñarse para recoger el efluente de manera uniforme. (Ramalho, 2003).

El flujo tangencial se logra mediante la combinación de una tubería y canales periféricos con orificios de entrada de agua. Los orificios son dimensionales y se disponen espaciados para permitir una distribución uniforme del agua en el clarificador. El canal recolector de agua sedimentada está ubicado en el centro del clarificador o en la periferia. Generalmente, una pantalla vertical contribuye a lograr una mejor distribución y a evitar cortocircuitos. (Ramalho, 2003).

Un buen diseño de las secciones de entrada y de salida reduce las posibilidades de cortocircuito en el flujo líquido, que lleva unas malas presentaciones del clarificador. La correcta posición de los vertederos y los deflectores. (Ver figura 23).

*Figura 23.* Tipos de clarificadores.



**Fuente:**(Ramalho, 2003). Tipos de clarificadores.



## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA

#### 2.1. Tipo de estudio

Los métodos de investigación que se han utilizado son:

- **Método Experimental** aplicado para el análisis físico – químico de las aguas con alto contenido de turbiedad y color.
- **Método Inductivo** aplicando las pruebas de jarras que es un método de ensayo y de error, con cuyos datos se pudo determinar la dosificación y eficiencia de los coagulantes.
- **Método Bibliográfico** aplicado a la recopilación de la información ya que garantiza la calidad de los fundamentos teóricos de la investigación.

#### 2.2. Población y muestra

No se aplica este ítem en vista de que es un diseño experimental.

Los coloides son las partículas de muy bajo diámetro que son responsables de la turbidez o del color del agua superficial, por tal motivo las muestras de agua para las pruebas de coagulación se tomarán del río Chibunga y de la Laguna de San Antonio de Padua de forma puntual cuyas características son su alto grado de turbiedad y color respectivamente, además se ensayó con muestras de agua con contenido de petróleo para conocer el comportamiento de los coagulantes naturales con este tipo de agua.

Para eliminar los coloides del agua la mejor solución es realizar como primer paso una coagulación de las partículas con un agente coagulante, por ello mediante esta investigación se pretende buscar nuevas alternativas de origen animal y vegetal que contengan propiedades coagulantes como son los polímeros cuya principal característica es su alto peso molecular dentro de los cuales se encuentran el quitosano proveniente del exoesqueleto del camarón, el almidón de plátano y el látex del plátano.

Además se pretende minimizar los daños ambientales causados por los desechos de estos componentes ya que según datos expuestos en el capítulo anterior los desechos de estos sumamente altos.

### **2.3. Operacionalización de las variables**

En las Tablas 10 y 11 se indican la operacionalización de las variables dependiente e independiente respectivamente.

### 2.3.1. Variable Dependiente

**Tabla 10**

*Variable Dependiente.*

VARIABLE DEPENDIENTE	CATEGORÍA	INDICADORES	CONCEPTO	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
ANÁLISIS FÍSICOS	Análisis Físicos	Turbidez Color pH	<p><b>Turbidez:</b> La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión; mide la claridad del agua.</p> <p><b>Color:</b> El término “color” se usa aquí para referirse al color real, es decir, el color de agua del que se ha retirado la turbiedad. El término “color aparente” incluye no solo color debido a sustancias en solución, sino también al color que se debe a materia en suspensión.</p> <p><b>pH:</b> El pH es una medida de la acidez o de la alcalinidad de una sustancia.</p>	Técnica Nefelométrica Colorimetría	Turbidímetro Colorímetro Peachímetro
PROTOTIPO	Prototipo	Clarificador circular de colchón de lodos	Su operación se basa en manto de lodos que sirve para filtrar partículas más pequeñas.	Ensayo de Jarras	Prototipo

**Elaborado por:** Damián M., Silva G. 2016.

### 2.3.1. Variable Independiente

**Tabla 11**  
*Variable Independiente.*

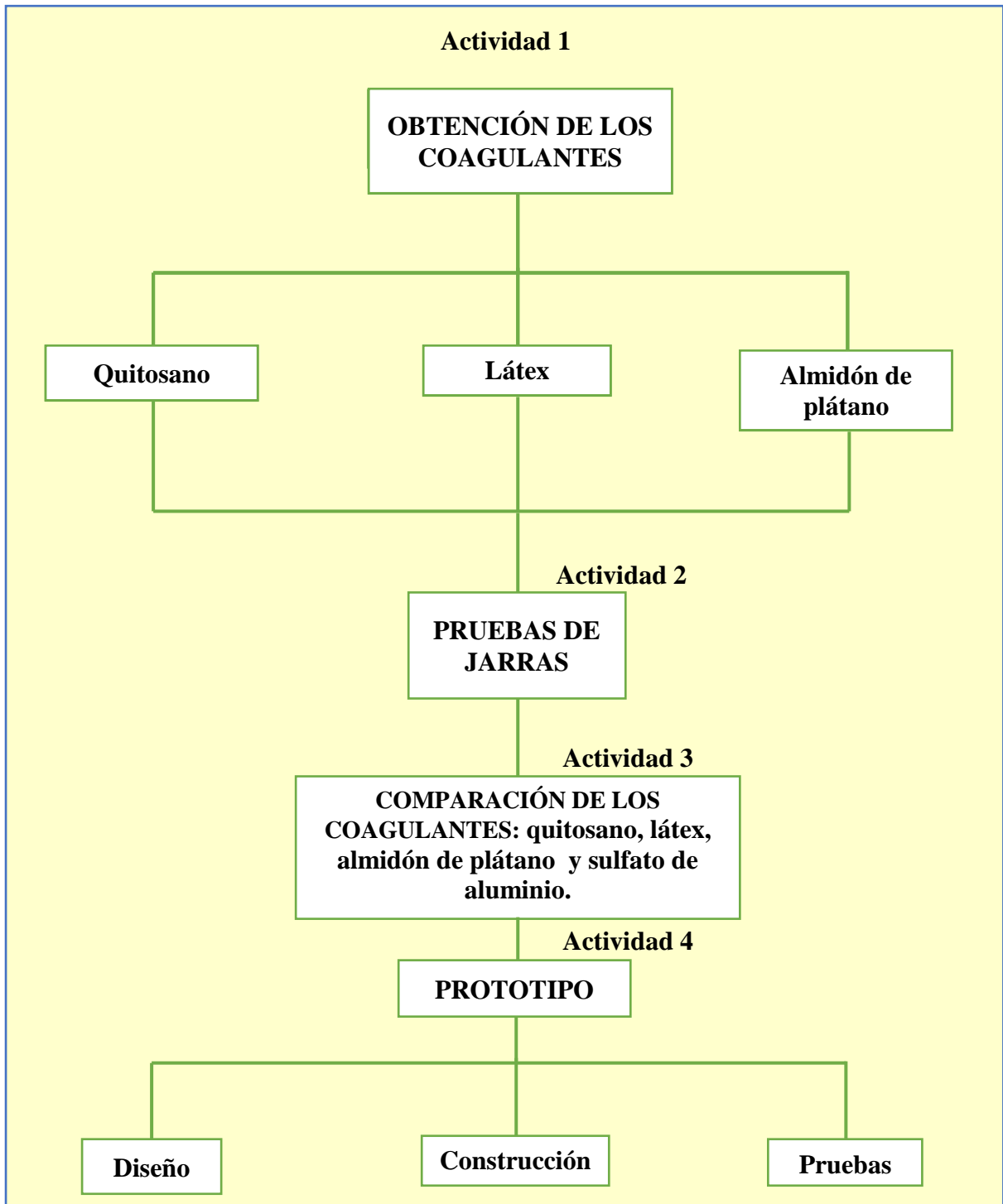
VARIABLE INDEPENDIENTE	CATEGORÍA	INDICADORES	CONCEPTO	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
DOSIFICACIÓN DE LOS COAGULANTES	Dosificación de los coagulantes.	ppm	<b>Partes por millón</b> (ppm) es una unidad de medida con la que se mide la concentración. Se refiere a la cantidad de unidades de una determinada sustancia que hay por cada millón de unidades del conjunto.	Prueba de Jarras	Equipo de prueba de Jarras
	Variación de pH.	ppm			
	Variación de cal.	ppm			

**Elaborado por:** Damián M., Silva G. 2016.

## 2.4. Procedimientos

En la *Figura 24* se muestra los procedimientos que se llevaron a cabo en el desarrollo de la investigación.

*Figura 24.* Esquema de Procedimientos.



Elaborado por: Damián M., Silva G. 2016.

## 2.5. Procesamiento y análisis

### 2.5.1. Actividad 1. Obtención de los coagulantes

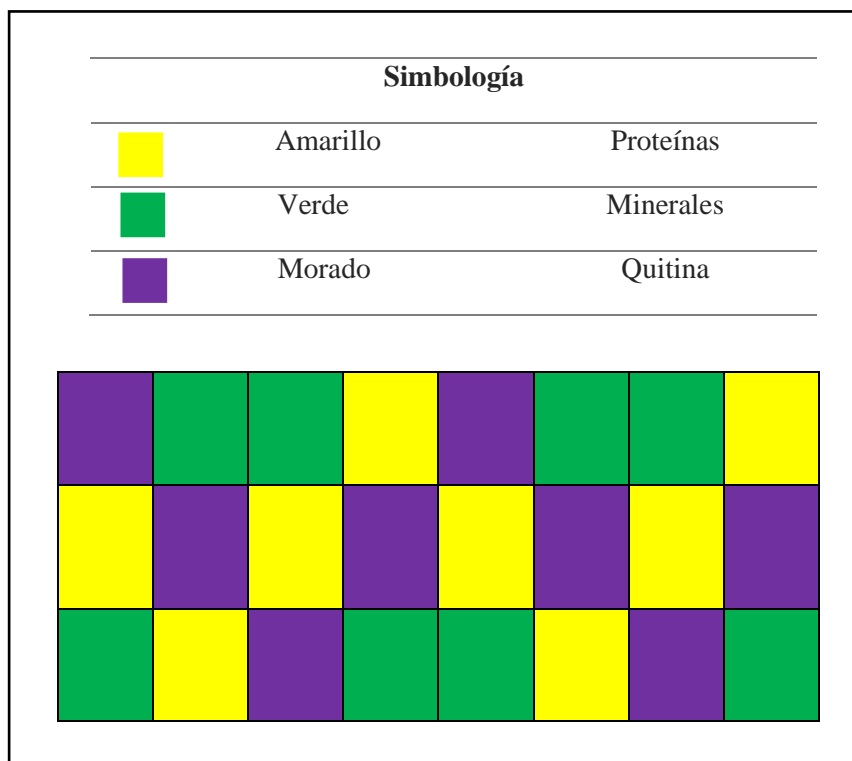
#### Actividad 1.1. Obtención del quitosano

El exoesqueleto de los camarones contiene básicamente tres componentes: minerales, proteínas y quitina.

El material que nos interesa extraer es la quitina, a partir de ella se obtiene el quitosano por medio de una transformación química. Con la ayuda de las siguientes figuras explicaremos lo anterior:

La *Figura 25* representa los materiales que componen el exoesqueleto de los camarones. En color amarillo se representa a las proteínas, el verde a los minerales y el morado representa a la quitina.

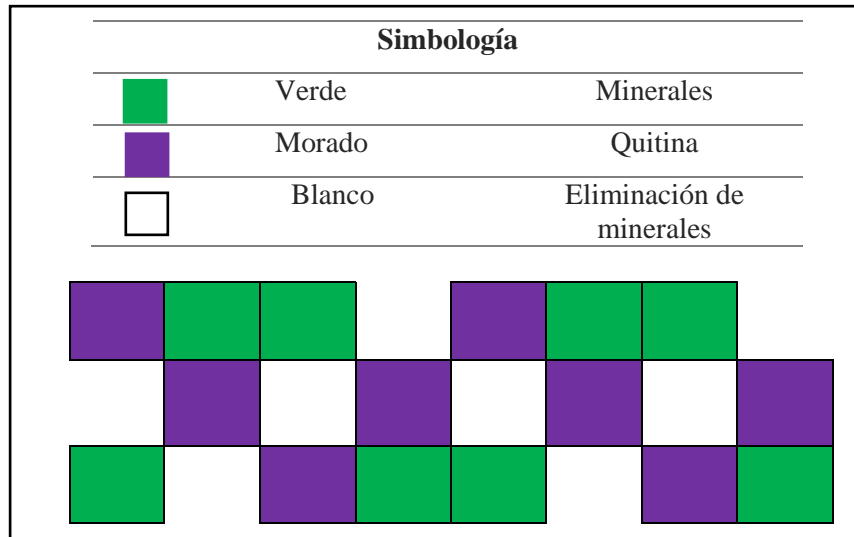
**Figura 25.** Componentes el exoesqueleto del camarón.



**Elaborador por:** Damián M., Silva G. 2016.

La primera etapa del proceso consiste en eliminar los minerales. Esto se hace con una solución de ácido clorhídrico. Al finalizar esta etapa el residuo es una solución de ácido clorhídrico con un alto contenido de minerales (*Ver Figura 26*).

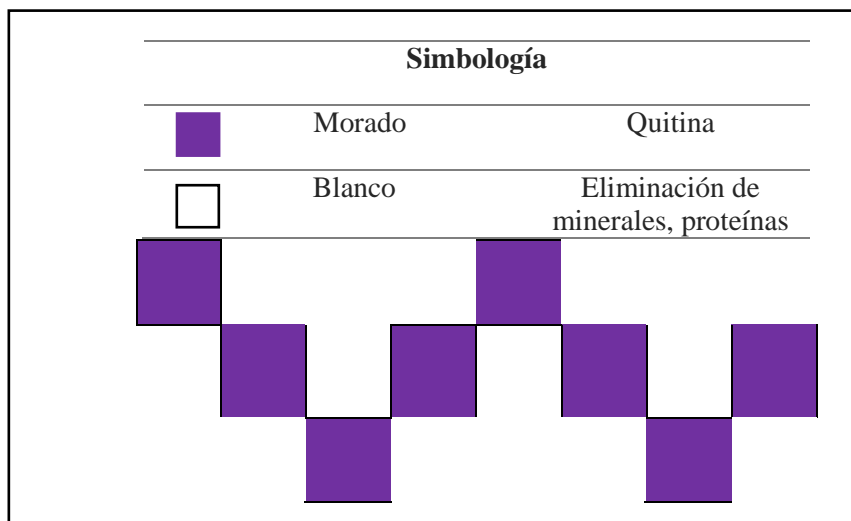
**Figura 26.** Proceso de eliminación de minerales.



**Elaborado por:** Damián M., Silva G. 2016.

La segunda etapa del proceso consiste en eliminar las proteínas, esto se hace con una solución de hidróxido de sodio a cierta temperatura, al finalizar esta etapa se obtiene la quitina. (*Ver Figura 27*).

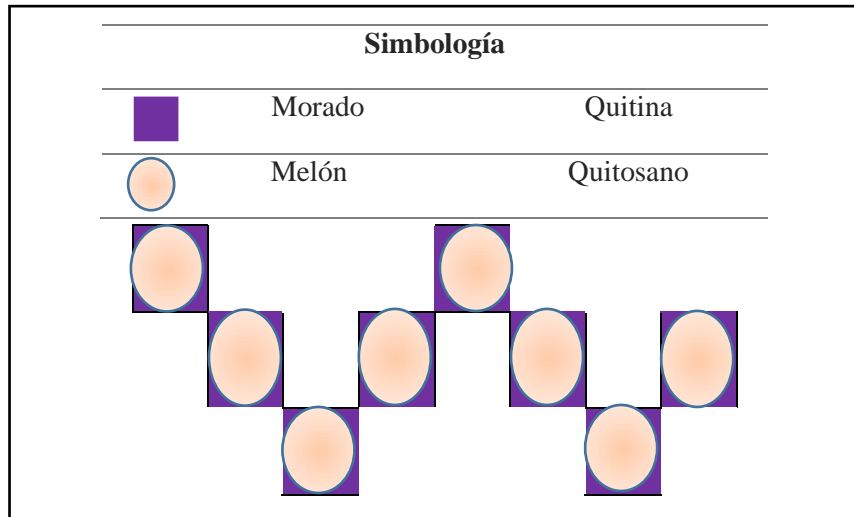
**Figura 27.** Eliminación de proteínas.



**Elaborado por:** Damián M., Silva G. 2016.

Para transformar la quitina en quitosano se emplea hidróxido de sodio concentrado a alta temperatura. (Ver Figura 28).

**Figura 28.** Transformación de quitina en quitosano.



**Elaborado por:** Damián M., Silva G. 2016.

El procedimiento que se indica a continuación está en base a un kilo de muestra de camarón húmedo.

### OBTENCIÓN DEL QUITOSANO

**1.** Lavar y limpiar las cáscaras de camarón para eliminar impurezas o basuras presentes.



**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.

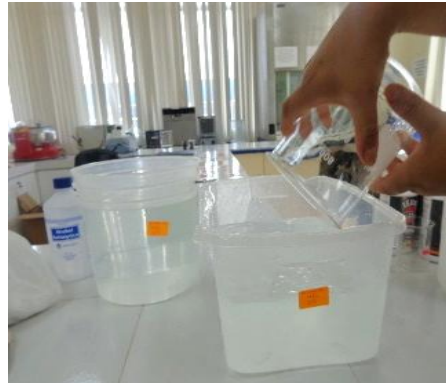


2. Pesar las cáscaras de camarón (1 kg).



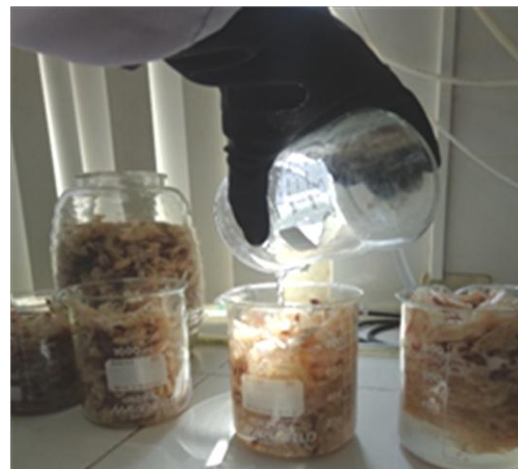
Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

3. Preparar 500 ml de una solución de ácido clorhídrico (HCl) al 2N.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

4. Agregar la solución de HCl hasta inmersión completas de las cáscaras. Se realiza esto para producir una desmineralización.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

5. Agitar por dos horas a temperatura ambiente.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

6. Lavar las cáscaras hasta eliminar totalmente el ácido clorhídrico (comprobar mediante la adición de un colorante por ejemplo azul de metileno que en solución ácida tiene un color rosado y en solución neutra un color azul).



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

7. Preparar una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 2% la cantidad suficiente hasta cubrir las cáscaras de



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

8. Mantener por 30 minutos a una temperatura 70 °C y con agitación constante.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

9. Transcurrido los 30 minutos lavar varias veces las cáscaras para que salga toda la base, comprobar agregando dos gotas de fenolftaleína si el agua se torna de un color violeta significa que está todavía básico pero si el agua es cristalina quiere decir que no existe rastros de hidróxido de sodio en las cáscaras del camarón, finalmente enjuagar con agua



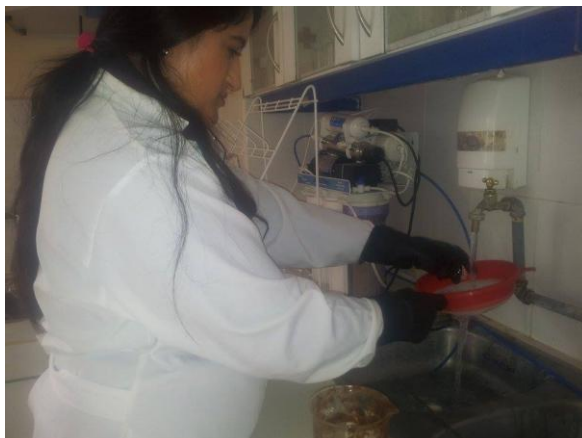
Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

10. Realizar nuevamente una extracción con hidróxido de sodio (NaOH) al 50% y dejar por una hora a una temperatura entre 80 y 90 °C con agitación constante.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

11. Transcurrido los 60 minutos lavar para que salga toda la base con agua común y la última lavada con agua destilada, comprobar cómo se indicó en el párrafo anterior.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

12. Secar las cáscaras esparciéndolas uniformemente en las bandejas en un secador por un lapso de 2 horas a 100°C.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

13. Triturar las cáscaras de camarón en un molino lo más fino posible, pesar y guardarlas en fundas herméticas para evitar que se humedezcan.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

### Actividad 1.2. Obtención del Látex

El látex se obtuvo del pseudotallo de la planta de plátano, donde en primer lugar se procede a picar el pseudotallo a una altura conveniente para que la planta se agobie y el racimo baje suavemente hasta la altura en que los cortadores o cargadores insertan el machete para proceder al corte del racimo, en ese instante:

1. El látex empieza a caer y se lo recoge.
2. También se recoge la látex pero en menor cantidad en el corte de los racimos.

**Figura 29.** Látex puro de plátano.



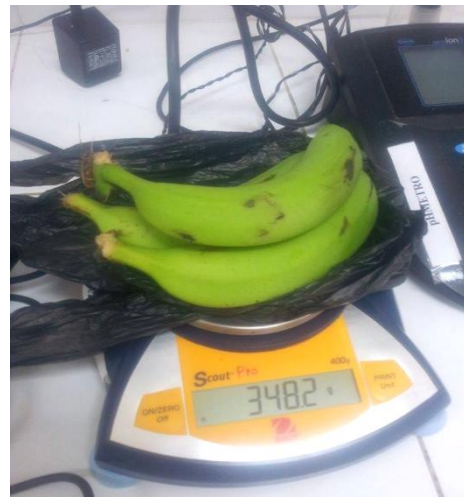
Fuente: Damián M., Silva G.

### Actividad 1.3. Obtención del almidón de plátano

Para obtener el almidón de plátano se siguieron diferentes pasos que se detallan a continuación:

#### OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO

1. Seleccionar el plátano.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

2. Lavar con agua potable y desinfectar con una solución de cloro al 1% por 10 minutos.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

3. Rebanar o cortar el plátano con cáscara en rodajas de aproximadamente 4 mm. de espesor.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

4. Las rodajas de plátano se someten a un tratamiento con ácido cítrico al 3% en agua destilada durante 10 minutos para evitar pareamiento.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

5. Escurrir el agua y pesar.



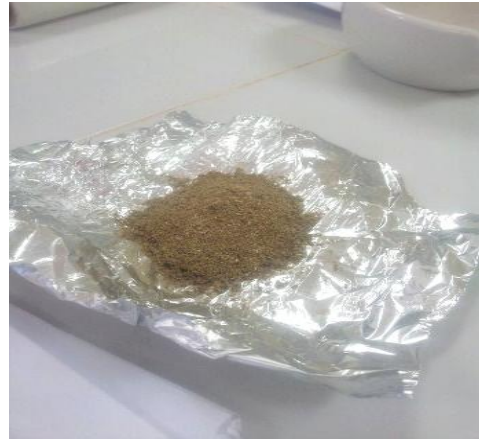
Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

6. Secar a 60 °C aproximadamente por 15 horas o hasta que posea una textura crocante.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

7. Triturar las rodajas de plátano seco, tamizar y pesar.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

8. Calentar 50 ml de agua destilada a 25°C.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.



9. Agregar el polvo de plátano al agua destilada y mezclar bien hasta formar una pasta uniforme.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

10. Realizar una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 3% y ajustar el pH de 8 – 8,5



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

11. Adicionar ácido clorhídrico (HCl) para estabilizar el pH hasta 4,5.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

12. Filtrar al vacío y secar a 60 °C por 24 horas.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

13. Pesar el polvo de plátano para saber su rendimiento y guardarlo en fundas herméticas para su posterior uso.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

## 1.5.2. Actividad 2. Pruebas de Jarras

### Actividad 2.1. Preparación de soluciones

#### Preparación de la solución de coagulante de quitosano

1. Preparar una solución de ácido acético al 0,6 %.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

2. Preparar una solución al 1 % de quitosano con la solución de ácido acético preparada anteriormente.



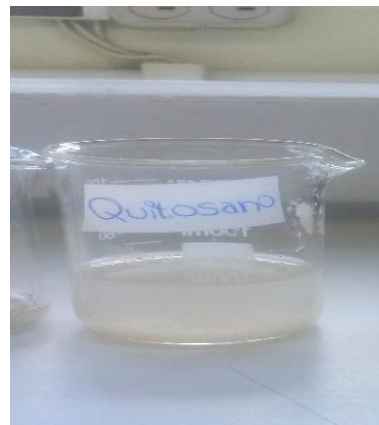
Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

3. Agitar la solución preparada por un lapso de 2 horas.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

4. Al término de las dos horas el coagulante de quitosano está listo para ser usado.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

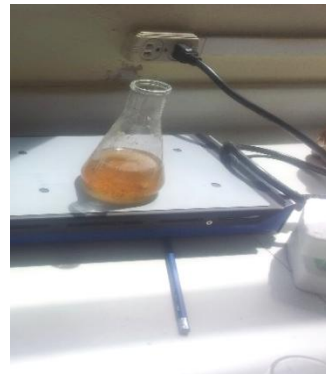
## Preparación de la solución coagulante de látex

1. Preparar una solución de látex al 1 %.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

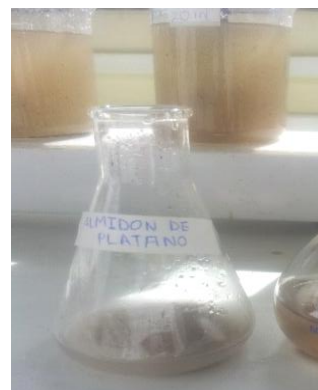
2. Agitar por un lapso de 30 minutos y almacenar para las pruebas.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

## Preparación de la solución coagulante de almidón de plátano

1. Preparar la solución coagulante de almidón de plátano al 1% y agitar por una hora.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

## Preparación de la solución coagulante de sulfato de aluminio

Preparar una solución de coagulante de sulfato de aluminio al 1% hasta disolver completamente.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

### Actividad 2.2. Pruebas de Jarras

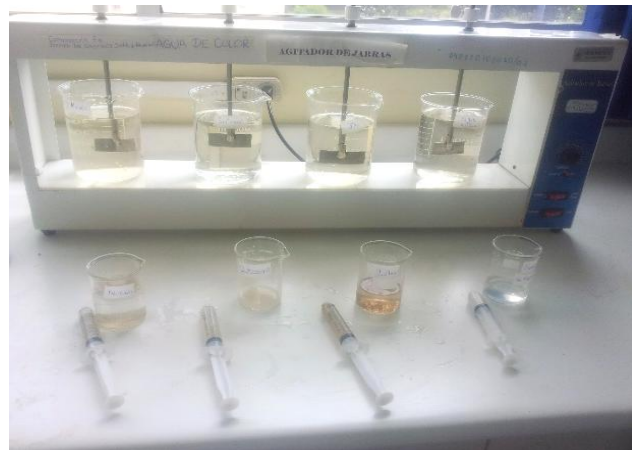
## PRUEBAS DE JARRAS

1. Para la realización de las Pruebas de Jarras se hace uso de recipientes de 500 ml de muestra.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

2. Se realiza ensayos con diferentes dosificaciones de los coagulantes.



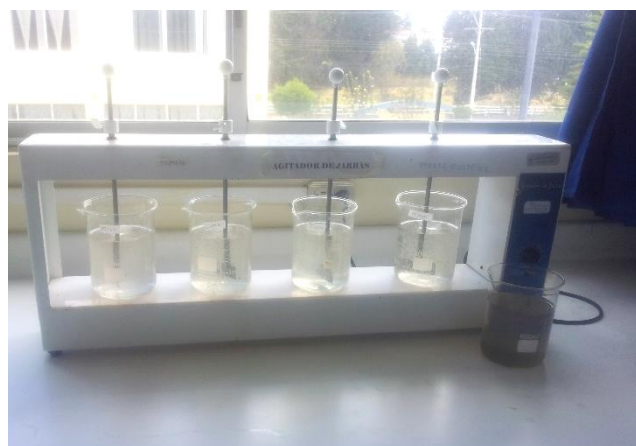
Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

3. Agitar por un minuto a 130 revoluciones por minuto.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

4. Agitar por 20 minutos a 30 revoluciones por minuto.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

5. Dejar en reposo por 30 minutos en cada muestra se va a tomar turbiedad para el caso del río Chibunga, color para el caso del agua de la Laguna, para el caso del agua con petróleo se hace medición del DQO, se mide también la calidad del floc formado.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

### Actividad 2.3. Caracterización de flóculos

Willcomb clasifica los flóculos por su tamaño, tal como se indica en la Tabla 11 siguiente:

**Tabla 12**

*Índice de Willcomb para la caracterización de los flóculos.*

ÍNDICE	DESCRIPCIÓN DEL ÍNDICE DE WILLCOM
0	<b>Flóculo coloidal.</b> Sin ninguna señal de aglutinación.
2	<b>Visible.</b> Flóculo muy pequeño, casi imperceptible.
4	<b>Disperso.</b> Flóculo bien formado, pero uniformemente distribuido (sedimenta muy lento).
6	<b>Claro.</b> Flóculo de tamaño relativamente grande, pero que precipita con lentitud.
8	<b>Buena.</b> Flóculo que se deposita fácil, pero no completamente.
10	<b>Excelente.</b> Flóculo que se deposita completamente dejando el agua cristalina.

Fuente: (Correa C., 2002).

Para poder saber el porcentaje de remoción de cada parámetro (turbiedad, color, DQO) aplicamos la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{\text{Parámetro inicial} - \text{Parámetro final}}{\text{Parámetro inicial}} \times 100$$

### **1.5.3. Actividad 3. Criterio de diseño del prototipo (clarificador circular de colchón de lodos)**

#### **Actividad 3.1. Criterios de diseño a nivel de laboratorio**

El clarificador circular de colchón de lodos es de uso común en plantas de tratamiento, ya que se puede lograr una buena remoción de lodos, el sistema de flujo es radial, para lo cual el agua residual se introduce por el centro o por la periferia del tanque. (Ramalho R. 1996).

Comúnmente se emplea unidades de “alimentación central en donde el agua residual es llevada por tubería al centro del tanque, luego el agua pasa por una campana circular para distribuir el flujo en todas las direcciones. (Ramalho R. 1996).

La campana circular tiene un diámetro entre 15 - 20% del diámetro total del tanque y una profundidad entre 1 – 2,5 m” (Ramalho R. 1996).

A efectos de diseño para laboratorio, es costumbre dividir la carga superficial, obtenida en tablas por un factor que oscila entre 1.25 y 1.75 (Ramalho R. 1996).



La Tabla 12 muestra las cargas superficiales de diferentes de los floc de diferentes suspensiones químicas.

**Tabla 13**

*Cargas de superficie para diversas suspensiones químicas.*

Suspensión	Carga de superficie (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d)	
	Intervalo	Caudal punta
Flóculo de alúmina	5 – 50	50
Flóculo de hierro	25 – 50	50
Flóculo de cal	30 – 60	60
Agua residual cruda	25 – 60	50

**Fuente:** (METCALF & EDDY, 1995). Ingeniería de Aguas Residuales.

Para el diseño del tanque clarificador circular de colchón de lodos se consideraron los siguientes elementos:

**a) Caudal**

Corresponde al volumen del efluente o afluente que pasa por una tubería, sección, conducto o canal en un determinado tiempo (segundo, minutos, horas, etc.).

Por definición se emplean las siguientes ecuaciones para su cálculo, proveniente de la ecuación de continuidad:

$$Q = v \times A$$

Donde:

**Ec. 3.1.**

$Q$  = Caudal (m<sup>3</sup>/h)

$v$  = Velocidad (m/h)

$A$  = Área (m<sup>2</sup>)

O también puede ser:

$$Q = \frac{V}{TR}$$

Donde:

**Ec. 3.2.**

$Q$  = Caudal ( $m^3/h$ )

$V$  = Volumen ( $m^3$ )

$TR$  = Tiempo de retención (h)

### b) Área

Para determinar el área del clarificador circular de colchón de lodos se despeja de la Ecuación 3.1., donde el área quedaría de la siguiente manera:

$$A = \frac{Q}{v}$$

Donde:

**Ec. 3.3.**

$A$  = Área ( $m^2$ )

$Q$  = Caudal ( $m^3/h$ )

$v$  = Velocidad (m/h)

### c) Carga Superficial

La carga superficial se define con la siguiente ecuación:

$$C_s = \frac{Q}{A_s}$$

Donde:

**Ec. 3.4.**

$C_s$  = Carga superficial ( $m^3/m^2.d$ )

$Q$  = Caudal ( $m^3/h$ )

$A_s$  = Área superficial ( $m^2$ )

### d) Área Superficial

Para determinar el área superficial se despeja de la Ecuación 3.5, donde quedaría así:

$$A_s = \frac{Q}{C_s}$$

**Ec. 3. 5.**

#### e) **Velocidad**

La velocidad ascensional media será de 0,5 a 1 m/h en el caso de clarificación de agua para abastecimiento público, y de 1 a 2 m/h para decantación primaria de aguas residuales urbanas. (Ramalho, 1996).

La velocidad de sedimentación, el tiempo de retención y la profundidad del tanque se relacionan mediante la siguiente expresión: (METCALF & EDDY, Ingeniería de Aguas Residuales, 1995.)

$$V_c = \frac{\textit{Profundidad}}{\textit{Tiempo de retención}}$$

$$V_c = \frac{H}{TRH}$$

Donde:

**Ec. 3. 6.**

$V_c$  = Velocidad de sedimentación (m/h)

$H$  = Profundidad o altura (m)

$TRH$  = Tiempo de retención hidráulica

#### f) **Volumen**

Para hallar el volumen del tanque clarificador, se despeja de la Ecuación 3.2., donde el volumen quedaría:

$$V = Q \times TRH$$

Donde:

**Ec. 3.7.**

$V =$  Volumen (m<sup>3</sup>)

$Q =$  Caudal (m<sup>3</sup>/h)

$TRH =$  Tiempo de retención (h)

El tiempo de retención por consideraciones de diseño se toma de una hora.

El volumen también se puede encontrar mediante la siguiente ecuación:

$$V = A \times h$$

Donde:

**Ec. 3.8.**

$V =$  Volumen (m<sup>3</sup>)

$A =$  Área (m<sup>2</sup>)

$h =$  Altura (m)

### g) **Altura**

Para hallar la altura del tanque clarificador se despeja la Ecuación 3.5.

$$h_1 = \frac{V}{A}$$

Donde:

**Ec. 3.9.**

$h =$  Altura (m)

$V =$  Volumen (m<sup>3</sup>)

$A =$  Área (m<sup>2</sup>)

- Para hallar la altura de la parte inferior del clarificador de forma cónica se considera el 50% de la altura vertical  $h_1$  para el cono respectivo.

$$h_2 = 0,5 \cdot h_1$$

**Ec. 3.10.**

- La altura total del tanque clarificador es la suma de las dos alturas  $h_1$  y  $h_2$ :

$$H = h_1 + h_2$$

**Ec. 3.11.**

#### **h) Radio**

Para determinar el radio del clarificador se hace en base a la siguiente ecuación:

$$A_s = \pi \cdot r^2$$

Donde:

**Ec. 3.12.**

$A$  = Área ( $m^2$ )

$r$  = Radio (m)

Donde despejando de la Ecuación 3.7., el radio es:

$$r = \sqrt{\frac{A_s}{\pi}}$$

**Ec. 3.13.**

#### **i) Diámetro**

El diámetro al ser un cilindro con base cónica para el cálculo del diámetro se determina con la siguiente ecuación en función al radio determinado:

$$D = 2r$$

Donde:

**Ec. 3. 14.**

$D$  = Diámetro del primer tanque (m)

$r$  = Radio (m)

### Actividad 3.2. Consideraciones de diseño de la campana circular

Para el diseño de la campana circular se toma en consideración las siguientes ecuaciones:

#### a) Diámetro

$$D2 = D \times 20\%$$

Donde:

**Ec. 3.15.**

$D$  = Diámetro del primer tanque (m)

$D2$  = Diámetro del segundo tanque (m)

#### b) Número de baffles

$$\text{Número de baffles} = \frac{H}{a + e} - 1$$

Donde:

**Ec. 3.16.**

$H$  = Altura de los baffles (cm)

$a$  = Ancho de los baffles (cm)

$e$  = Espesor de los baffles (cm)

### 1.5.4. Procedimiento de la puesta en marcha del clarificador circular de colchón de lodos (prototipo)

- Preparar una solución del polímero (quitosano) al 0,5%.

- Realizar pruebas de jarras colocando 10, 20, 30, 40 ppm, hasta observar en que dosis se formó el mejor floc.
- Una vez buscada la dosis óptima en el equipo de jarras, se transfiere los datos de laboratorio al prototipo. El funcionamiento de todo el sistema de clarificación de colchón de lodos se puede visualizar en el capítulo V.

a) **Fórmula de soluciones o concentraciones**

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

Puede expresarse en: % P/V

Donde:

$C_1$  = Concentración 1

$V_1$  = Volumen 1

$C_2$  = Concentración 2

$V_2$  = Volumen 2

**Ec. 3.17.**

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS

#### 3.1. Obtención de los coagulantes naturales

Con los procedimientos indicados en el capítulo de metodología se obtienen los siguientes rendimientos: para el coagulante quitosano se inicia con un peso de 1000 gramos del cual se obtiene 100 gramos de producto final, es decir 100 gramos de quitosano obteniendo su rendimiento del 10 %; para el coagulante del plátano se parte de 348,2 gramos de los cuales se obtiene 29,2 gramos de coagulante de almidón que corresponde a un porcentaje de 8,4 %; en cuanto al látex se consigue según el procedimiento de una forma pura.

En las Tablas 14, 15 se reportan los precios de los reactivos utilizados por kilo de materia prima (cáscaras de camarón) y los costos de producción del quitosano.

**Tabla 14**

*Precios de los reactivos por kilo de materia prima.*

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO (\$)
Ácido clohídrico (HCl)	1	kg.	0,38
Hidróxido de sodio (NaOH)	1	kg.	1,00
Ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH) (500 ml)	1	botella (500ml)	1,46

**Fuente:** Ecuapet Quím (Empresa Ecuatoriana de petróleos y química).

**Elaborado por:** Damián M., Silva G. 2016



**Tabla 15***Costos de producción del coagulante quitosano.*

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	PRECIO TOTAL (\$)	Elaborado por: Damián M., Silva
Ácido clorhídrico (HCl)	0,3645	kg.	0,38	0,14	
Hidróxido de sodio(NaOH)	0,260	kg.	1,00	0,26	
Ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH) (500 ml)	0,006	kg.	1,46	0,01	
<b>TOTAL COSTOS DE PRODUCCIÓN</b>				<b>0,41</b>	

a G. 2016.

En las Tablas 16, 17 se reportan los precios de los reactivos utilizados y los costos de producción del almidón de plátano.

**Tabla 16***Precios de los Reactivos por kilo.*

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO(\$)
Cloro	1	Botella(100ml)	2,00
Ácido nítrico	1	kg.	1,50
Ácido clorhídrico (HCl)	1	kg.	0,38
Hidróxido de sodio (NaOH)	1	kg.	1,00

**Fuente:** Ecuapet Quím (Empresa Ecuatoriana de petróleos y química).**Elaborado por:** Damián M., Silva G. 2016.**Tabla 17***Costos de producción por kilo de coagulante almidón de plátano.*

DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	PRECIO TOTAL (\$)
Cloro	0,08	kg	2	0,16
Ácido nítrico	0,35	kg.	1,50	0,53
Hidróxido de sodio (NaOH)	0,530	kg.	1,00	0,14
Ácido clorhídrico (HCl)	0,3645	kg.	0,38	0,14
<b>TOTAL COSTOS DE PRODUCCIÓN</b>				<b>0,97</b>

**Elaborado por:** Damián M., Silva G. 2016.

En la Tabla 18 se reportan los costos de producción por kilo de diferentes coagulantes.

**Tabla 18**

*Costos de producción por kilo de diferentes coagulantes coagulante.*

<b>COAGULANTE</b>	<b>PRECIO POR KILO</b>
Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$	0,44
Policloruro de aluminio PAC (Chino)	0,42
Policloruro de aluminio PAC fórmula	0,87
Quitosano	0,41
Almidón de plátano	0,97

**Fuente:** Ecuapet Quím (Empresa Ecuatoriana de petróleos y química).

**Elaborado por:** Damián M., Silva G. 2016.

### 3.2. Prueba de jarras

En la Tabla 19, 20 y 21 se presentan los datos de los diferentes parámetros determinados en muestras crudas.

**Tabla 19**

*Agua cruda del río Chibunga.*

<b>Agua cruda</b>	<b>pH</b>	<b>Turbiedad (NTU)</b>	<b>Color (UPC)</b>	<b>Sólidos suspendidos (mg/l)</b>
<b>Muestra 1</b>	7,3	108	406	85
<b>Muestra 2</b>	7,4	160	437	114
<b>Muestra 3</b>	7,2	148	329	42
<b>Muestra 4</b>	7,4	184	435	90
<b>Promedio</b>	7,3	150	402	83

**Elaborado por:** Damián M., Silva G. 2016.

**Tabla 20***Agua cruda de la Laguna San Antonio de Padua.*

<b>Agua cruda</b>	<b>pH</b>	<b>Turbiedad (NTU)</b>	<b>Color (UPC)</b>	<b>Sólidos suspendidos (mg/l)</b>
<b>Muestra 1</b>	7,2	16	87	6
<b>Muestra 2</b>	7,3	20	89	8
<b>Muestra 3</b>	7,0	13	84	6
<b>Muestra 4</b>	7,1	18	88	10
<b>Promedio</b>	<b>7,15</b>	<b>17</b>	<b>88</b>	<b>8</b>

**Elaborado por:** Damián M., Silva G. 2016.**Tabla 21***Agua cruda con contenido de petróleo.*

<b>Agua cruda</b>	<b>pH</b>	<b>Turbiedad (NTU)</b>	<b>Color (UPC)</b>	<b>Sólidos Suspendidos (mg/l)</b>	<b>DQO (mg/l)</b>
Muestra 1	5	51	332	29	752

**Elaborado por:** Damián M., Silva G. 2016.

A continuación se reporta las dosificaciones utilizadas en las pruebas de jarra y los porcentajes de remoción de cada uno de los parámetros para las diferentes aguas tratadas y de los diferentes coagulantes utilizados. (Ver Tablas desde la 22 hasta la 27).

**Tabla 22***Agua del río Chibunga usando quitosano.*

<b>Dosis ppm</b>	<b>pH</b>	<b>Turbiedad (NTU)</b>	<b>% de remoción de turbiedad</b>	<b>Color (UPC)</b>	<b>% de remoción de color</b>	<b>Sólidos Suspendedos (mg/l)</b>	<b>% de remoción de s.s</b>	<b>IW*</b>
10	6,3	101	6,5	322	20,7	59	19,2	0
20	6	67	38,0	262	35,5	47	35,6	0
30	5,4	60	44,4	250	38,4	40	45,2	0
40	5	57	47,2	237	41,6	37	49,3	2
50	4,8	55	49,1	238	41,4	37	49,3	2
60	4,6	50	53,7	214	47,3	32	56,2	2
70	4,4	40	63,0	216	46,8	36	50,7	2
80	3,8	16	85,2	100	75,4	12	83,6	8
90	4,7	56	48,1	229	43,6	35	52,1	4
100	4,2	51	52,8	214	47,3	33	54,8	4
110	4	50	53,7	211	48,0	31	57,5	6
120	4	53	50,9	196	51,7	28	61,6	6
130	4	42	61,1	166	59,1	23	68,5	6
140	3,9	37	65,7	183	54,9	21	71,2	6
150	3,8	31	71,3	180	55,7	19	74,0	6
160	3,9	38	64,8	165	59,4	26	64,4	8
170	3,8	24	77,8	122	70,0	16	78,1	8
180	5,4	48	55,6	208	48,5	23	68,5	6
190	3,7	19	82,4	99	75,6	7	90,4	6
200	3,7	16	85,2	87	78,6	10	86,3	6

**\*IW = Índice de Willcom****Elaborado por:** Damián M., Silva G. 2016.

**Tabla 23***Agua de la laguna de San Antonio usando quitosano.*

Dosis ppm	pH	Turbiedad (NTU)	% de remoción de turbiedad	Color (UPC)	% de remoción de color	Sólidos Suspendidos (mg/l)	% de remoción de s.s	IW
30	6,1	15	6,3	81	6,9	2	66,7	0
60	5,3	13	20,0	79	9,2	2	66,7	2
90	4,8	13	23,1	77	11,5	1	83,3	4
120	4,3	14	15,4	82	5,7	3	50,0	6
150	4,3	12	28,6	76	12,6	1	83,3	8
180	4,2	11	41,7	74	14,9	1	83,3	10

Elaborado por: Damián M., Silva G. 2016.

**Tabla 24***Muestras con contenido de petróleo usando quitosano.*

Dosis ppm	pH	Turbiedad (NTU)	% de remoción de turbiedad	Color (UPC)	% de remoción de color	Sólidos Suspendidos (mg/l)	% de remoción de s.s	DQO (mg/l)	% de remoción d DQO	IW
40	4,2	43	15,7	235	29,2	25	13,8	473	37,1	0
60	4,1	36	29,4	204	38,6	21	27,6	465	38,2	0
80	4	13	74,5	184	44,6	15	48,3	452	39,9	4
120	3,9	20	60,8	212	36,1	23	20,7	418	44,4	4
150	3,8	18	64,7	197	40,7	24	17,2	300	60,1	6
180	3,5	23	54,9	287	13,6	19	34,5	374	50,3	8

Elaborado por: Damián M., Silva G. 2016.

**Tabla 25***Agua del río Chibunga empleando látex de plátano.*

<b>Dosis ppm</b>	<b>pH</b>	<b>Turbiedad (NTU)</b>	<b>% de remoción de turbiedad</b>	<b>Color (UPC)</b>	<b>% de remoción de color</b>	<b>Sólidos Suspendidos (mg/l)</b>	<b>% de remoción de s.s</b>	<b>IW</b>
<b>40</b>	7,6	130	18,8	173	60,4	42	63,2	0
<b>60</b>	7,6	110	31,3	158	63,8	33	71,1	2
<b>100</b>	7,8	50	68,8	169	61,3	30	73,7	2
<b>140</b>	7,7	60	62,5	174	60,2	38	66,7	0
<b>180</b>	7,9	26	83,8	151	65,4	17	85,1	2
<b>200</b>	8	27	83,1	158	63,8	21	81,6	0
<b>300</b>	7,8	29	81,9	188	57,0	27	76,3	0
<b>340</b>	7,9	27	83,1	172	60,6	24	78,9	2
<b>400</b>	7,6	18	88,8	163	62,7	19	83,3	2
<b>460</b>	7,5	24	85,0	145	66,8	12	89,5	4
<b>500</b>	7,8	27	83,1	177	59,5	18	84,2	6
<b>560</b>	7,6	23	85,6	157	64,1	17	85,1	6
<b>600</b>	8,4	21	86,9	91	79,2	13	88,6	6
<b>700</b>	8,2	7	95,6	31	92,9	6	94,7	8
<b>760</b>	8,1	49	69,4	177	59,5	35	69,3	6
<b>800</b>	8,1	75	53,1	202	53,8	41	64,0	4

**Elaborado por:** Damián M., Silva G. 2016.

**Tabla 26***Agua del río Chibunga empleando almidón de plátano.*

Dosis ppm	pH	Turbiedad (NTU)	% de remoción de turbiedad	Color (UPC)	% de remoción de color	Sólidos Suspendedos (mg/l)	% de remoción de s.s	IW
40	8,2	60	61,0	180	57,6	50	44,4	0
60	8	48	68,8	160	62,4	46	48,9	4
360	8	50	67,5	156	63,3	33	63,3	2
400	8,1	52	66,2	157	63,1	31	65,6	2
500	8,3	56	63,6	155	63,5	30	66,7	4
560	8,2	47	69,5	129	69,6	28	68,9	4
600	8,1	44	71,4	116	72,7	23	74,4	6
660	8,2	31	79,9	112	73,6	21	76,7	6
700	8,2	11	92,9	51	88,0	9	90,0	10
760	8	15	90,3	67	84,2	10	88,9	8
800	8,1	59	61,7	187	56,0	25	72,2	6

Elaborado por: Damián M., Silva G. 2016.

**Tabla 27***Agua del río Chibunga, utilizando sulfato de aluminio.*

Dosis ppm	pH	Turbiedad (NTU)	% de remoción de turbiedad	Color (UPC)	% de remoción de color	Sólidos Suspendedos (mg/l)	% de remoción de s.s	IW
10	7	4	97,3	19	92,4	5	84,4	6
20	7	1	99,3	9	96,4	1	96,9	8
30	7	1	99,3	3	98,8	2	93,8	8
40	7,1	0	100,0	2	99,2	2	93,8	10
60	7	1	99,3	4	98,4	2	93,8	8
100	7	0	100,0	3	98,8	2	93,8	8
150	7,2	5	96,6	6	97,6	10	68,8	8
180	7,5	0	100,0	10	96,0	1	96,9	8
200	7,3	0	100,0	5	98,0	2	93,8	6

Elaborado por: Damián M., Silva G. 2016.



### 3.3. Comparación de los coagulantes naturales con respecto al sulfato de aluminio

Una vez obtenidas las dosificaciones óptimas de cada uno de los coagulantes se procede a realizar una corrida conjunta cuyos resultados se reportan en las Tablas 28 y 29, en las Tablas 30 y 31 se hace un solo ensayo a 40 ppm y en las Tablas 32 y 33 se lo realiza con una dosificación de 150 ppm con la finalidad de poder ver como funcionan todos los coagulantes en una sola dosificación tanto baja como alta.

**Tabla 28**

*Comparación de los coagulantes naturales vs. Sulfato de aluminio usando agua del río Chibunga.*

PARÁMETROS	CONCENTRACIÓN DE COAGULANTES (PPM)			
	Quitosano a 80	Látex a 100	Almidón de plátano a 60	Sulfato de aluminio a 20
Turbiedad (NTU)	2	36	40	0
Color (UPC)	9	99	115	2
pH	5,5	6,5	7,4	6,9
Sólidos Suspendidos (mg/l)	1	21	28	1
Conductividad (ms/cm)	0,84	0,57	0,92	0,55

Elaborado por: Damián M., Silva G. 2016.

**Tabla 29**

*Comparación de los coagulantes naturales vs. Sulfato de aluminio usando agua de la laguna de San Antonio.*

PARÁMETROS	CONCENTRACIÓN DE COAGULANTES (PPM)			
	Quitosano a 80	Látex a 100	Almidón de plátano a 60	Sulfato de aluminio a 20
<b>Turbiedad (NTU)</b>	7	143	15	5
<b>Color (UPC)</b>	74	309	99	63
<b>pH</b>	4,2	8,7	8,8	7,1
<b>Sólidos Suspendidos (mg/l)</b>	1	94	16	7
<b>Conductividad (ms/cm)</b>	0,97	0,62	0,77	0,90

Elaborado por: Damián M., Silva G. 2016.

**Tabla 30**

*Comparación de los coagulantes naturales vs. Sulfato de aluminio a 40 ppm usando agua del río Chibunga.*

PARÁMETROS	CONCENTRACIÓN DE COAGULANTES A 40 PPM			
	Quitosano	Látex	Almidón de plátano	Sulfato de aluminio
<b>Turbiedad (NTU)</b>	12	34	41	7
<b>Color (UPC)</b>	37	104	168	12
<b>pH</b>	7	8,2	7,9	7,6
<b>Sólidos Suspendidos (mg/l)</b>	8	20	23	0,79

<b>Conductividad (ms/cm)</b>	0,72	g0,52	0,49	1
----------------------------------	------	-------	------	---

Elaborado por: Damián M., Silva G. 2016.

**Tabla 31**

*Comparación de coagulantes naturales vs. Sulfato de aluminio a 40 ppm en empleando agua de la laguna de San Antonio.*

PARÁMETROS	CONCENTRACIÓN DE COAGULANTES A 40 PPM			
	Quitosano	Látex	Almidón de plátano	Sulfato de aluminio
<b>Turbiedad (NTU)</b>	12	103	47	5
<b>Color (UPC)</b>	54	221	79	24
<b>pH</b>	5,7	8,1	8,2	7,0
<b>Sólidos Suspendidos (mg/l)</b>	1	84	26	1
<b>Conductividad (ms/cm)</b>	0,95	0,61	0,77	0,89

Elaborado por: Damián M., Silva G. 2016.

**Tabla 32**

*Comparación de los coagulantes naturales vs. Sulfato de aluminio a 150 ppm utilizando agua del río Chinunga.*

PARÁMETROS	CONCENTRACIÓN DE COAGULANTES A 150 PPM			
	Quitosano	Látex	Almidón de plátano	Sulfato de aluminio
<b>Turbiedad (NTU)</b>	20	36	34	5
<b>Color (UPC)</b>	36	81	112	27
<b>pH</b>	5,9	7,8	8,2	7,1
<b>Sólidos Suspendidos</b>	3	15	8	2

(mg/l)				
<b>Conductividad (ms/cm)</b>	0,69	0,83	0,97	0,67

Elaborado por: Damián M., Silva G. 2016.

### Tabla 33

*Comparación de los coagulantes naturales vs. Sulfato de aluminio a 150 ppm utilizando agua de la laguna de San Antonio.*

PARÁMETROS	CONCENTRACIÓN DE COAGULANTES A 150 PPM			
	Quitosano	Látex	Almidón de plátano	Sulfato de aluminio
<b>Turbiedad (NTU)</b>	9	144	19	4
<b>Color (UPC)</b>	47	307	97	36
<b>pH</b>	4,3	8,7	8,8	7,1
<b>Sólidos suspendidos (mg/l)</b>	2	96	18	2
<b>Conductividad (ms/cm)</b>	0,84	0,92	0,88	0,79

Elaborado por: Damián M., Silva G. 2016.

### 3.4. Dimensionamiento del clarificador

Para dimensionar el clarificador a escala de laboratorio se imponen los siguientes parámetros:

**Caudal** =  $Q = 0,01 \text{ m}^3/\text{h}$

**Tiempo de retención hidráulico** =  $TRH = 1 \text{ hora}$

- Para el cálculo del volumen se empleó la Ec. 3.7.

$$V = Q \times TRH$$

$$V = 0,01 \frac{m^3}{h} \cdot 1 h$$

$$V = 0,01 m^3$$

- Se calcula el área del tanque mediante la Ec. 3.5.

$$A_s = \frac{Q}{C_s}$$

$$A_s = \frac{0,01 \frac{m^3}{h}}{0,17 \frac{m^3}{m^2 \cdot h}}$$

$$A_s = 0,05 m^2 = 50 cm^2$$

*Nota.* Para consideraciones de diseño a nivel de laboratorio según (Ramalho, 1996) el valor de la carga superficial  $5 m^3/m^2 \cdot d$  de acuerdo a la Tabla 12 se multiplica por 1,25 dando como resultado  $4 m^3/m^2 \cdot d$  que es igual a  $0,17 m^3/m^2 \cdot h$ .

- La altura del tanque se determina mediante la Ec. 3.9.

$$h = \frac{V}{A_s}$$

$$h_1 = \frac{0,01 m^3}{0,05 m^2}$$

$$h_1 = 0,20 m = 20 cm$$

- Para hallar la altura de la parte inferior cónica del tanque clarificador se considera el 50% de la altura vertical  $h_1$  para el cono respectivo, se calcula mediante la ecuación 3.10.

$$h_2 = 0,5 \cdot h_1$$

$$h_2 = 0,5 \cdot 0,20 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,10 \text{ m}$$

- La altura total del tanque clarificador se determina mediante la Ec. 3.11.

$$H = h_1 + h_2$$

$$H = 0,20 \text{ m} + 0,10 \text{ m}$$

$$H = 0,30 \text{ m}$$

- El radio se calcula a partir de la Ec. 3.13.

$$r = \frac{A_s}{\pi}$$

$$r = \frac{0,05 \text{ m}^2}{\pi}$$

$$r = 0,126 \text{ m} \cong 0,13 \text{ m}$$

$$r = 0,13 \text{ m} = 13 \text{ cm}$$

- El diámetro se determina usando la Ec. 3.14., en función del radio determinado anteriormente.

$$D = 2r$$

$$D = 2 \cdot 0,13 \text{ m}$$

$$D = 0,26 \text{ m} = 26 \text{ cm}$$

### Campana circular

- El diámetro se calcula mediante la Ec.3.15.

$$D_2 = 0,26 \text{ m} \times 20\%$$

$$D_2 = 0,06 \text{ m} = 6 \text{ cm}$$

El número de baffles se determina en función de la Ec.3.16.

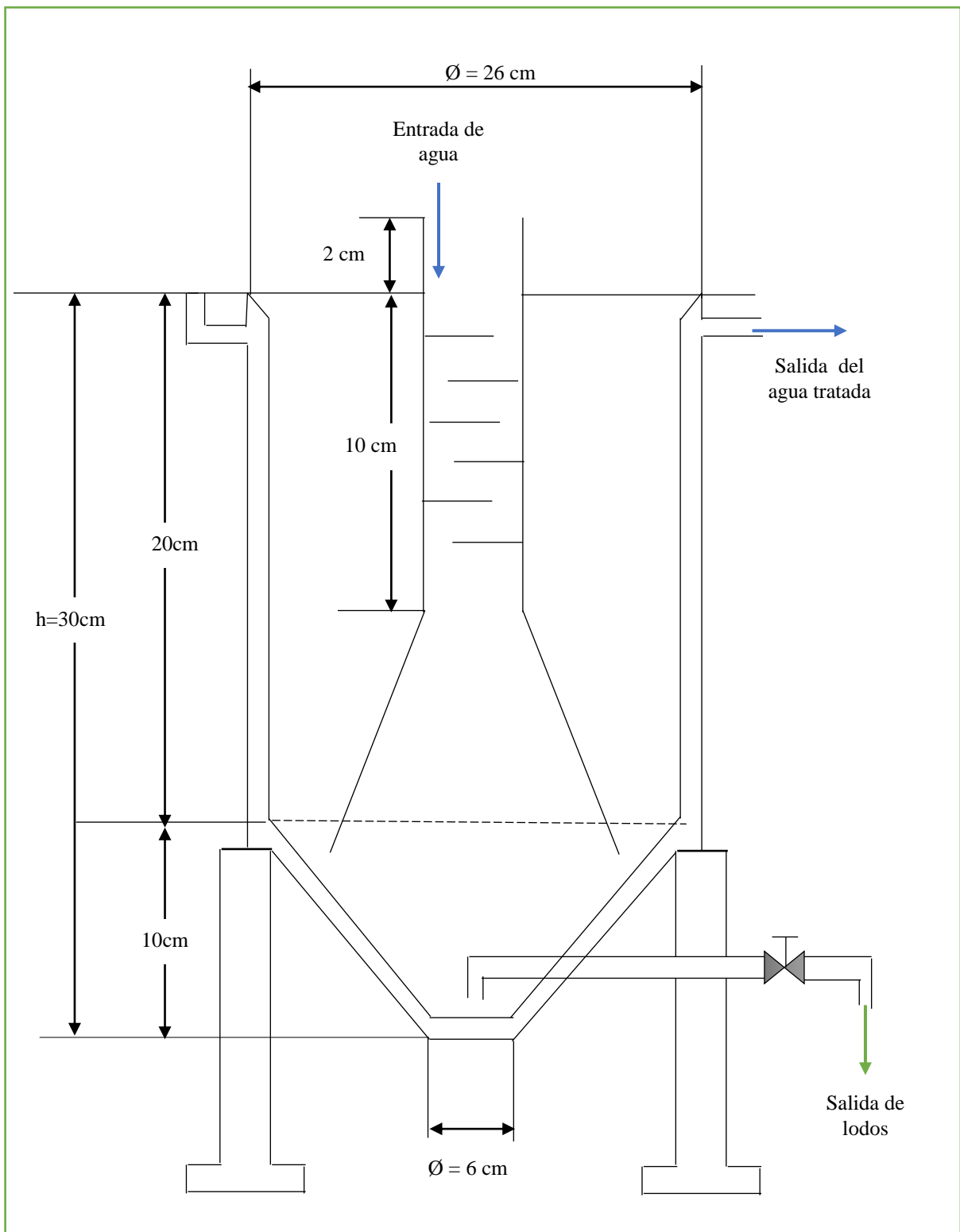
$$\text{Número de bafles} = \frac{H}{a + e} - 1$$

$$\text{Número de bafles} = \frac{0,30 \text{ m}}{0,04 \text{ m} + 0,01 \text{ m}} - 1$$

$$\text{Número de bafles} = 6$$

### 3.4.1. Plano del clarificador circular de colchón de lodos

**Figura 30.** Diseño del clarificador circular de colchón de lodos.



Elaborado por: Damián M., Silva G. 2016.

### 3.4.2. Puesta en funcionamiento del prototipo

#### *Parámetros de agua cruda*

**Turbiedad** = 153 NTU

**Color** = 480 UPC

**Sólidos suspendidos** = 100 mg/l

**pH** = 7,5

En la Tabla 28 se coloca los resultados de las pruebas de jarras realizadas.

**Tabla 34**

*Parámetros del ensayo de jarras a diferentes dosis.*

Dosis ppm	pH	Turbiedad (NTU)	% de remoción de turbiedad	Color (UPC)	% de remoción de color	Sólidos Suspendidos (mg/l)	% de remoción de s.s	IW
40	7,4	83	45,8	350	27,1	52	48,0	6
60	7,3	61	60,1	285	40,6	39	61,0	8
80	7,3	43	71,9	195	59,4	27	73,0	8
100	7,4	39	74,5	174	63,8	24	76,0	10
120	7,4	37	75,8	171	64,4	22	78,0	8
140	7,6	32	79,1	168	65,0	21	79,0	8



**Elaborado por:** Damián M., Silva G. 2016.

La dosis ideal de coagulante es de 100 ppm con un porcentaje de turbiedad de 74,5%, 63,8 % de color y 76 % de sólidos suspendidos.

Se transfieren las dosis óptimas de coagulantes mediante los siguientes cálculos:

- **Caudal del agua cruda** = 10 L/h = 10.000 ml/h = 166 ml/min
- Preparación de la solución al 0,5% de los respectivos coagulantes.

### **Cálculo de la dosificación a aplicar**

$$100 \text{ ppm} \rightarrow 10 \text{ ml/min}$$

Para lo cual se aplica:

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

$$5.000 \text{ ppm} * V_1 = 100 \text{ ppm} * 500 \text{ ml}$$

$$V_1 = 10 \text{ ml}$$

### 3.4.3. Reporte de los diferentes parámetros de la puesta en marcha del sistema de clarificación de colchón de lodos

*Día 1.*

**Tabla 35**

*Parámetros de agua cruda y tratada del día 1 en 8 horas de trabajo.*

HORA	CAUDALES (ml/min)		DOSIS ppm	TURBIEDAD (NTU)		COLOR (UPC)		SÓLIDOS SUSPENDIDOS (mg/l)		Ph		
	Agua cruda	Dosificación		Agua tratada	Agua cruda	Agua tratada	Agua cruda	Agua tratada	Agua cruda	Agua tratada	Agua cruda	Agua tratada
<b>8:00</b>	164	19,2	112	146	103	31	164	86	43	18	7,1	7,0
<b>9:00</b>	116	24	88	259	73	17	162	54	58	56	7,2	6,9
<b>10:00</b>	168	12	116	89	46	12	132	37	17	2	7,0	6,3
<b>11:00</b>	124	8,8	88	89	52	20	175	48	22	11	7,0	6,2
<b>12:00</b>	164	15,6	136	119	164	50	124	51	32	14	7,0	6,8
<b>13:00</b>	176	10,8	140	77	56	40	222	100	40	20	6,7	6,8
<b>14:00</b>	128	15,2	108	148	122	53	96	49	22	9	6,8	6,4
<b>15:00</b>	164	10,4	116	79	55	26	115	96	28	17	6,8	6,7
<b>16:00</b>	132	10	88	95	90	17	157	60	17	14	6,8	6,9

Elaborado por: Damián M., Silva G. 2016.

*Día 2.*

**Tabla 36**

*Parámetros de agua cruda y tratada del día 2 en 8 horas de trabajo.*

HORA	CAUDAL (ml/min)		DOSIS ppm	TURBIEDAD (NTU)		COLOR (UPC)		SÓLIDOS SUSPENDIDOS (mg/l)		Ph		
	Agua cruda	Dosificación		Agua tratada	Agua cruda	Agua tratada	Agua cruda	Agua tratada	Agua cruda	Agua tratada	Agua cruda	Agua tratada
<b>7:30</b>	<b>164</b>	<b>10,4</b>	<b>112</b>	<b>79</b>	<b>102</b>	<b>15</b>	<b>103</b>	<b>20</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>6,8</b>	<b>6,4</b>
<b>8:00</b>	128	10	88	98	113	10	449	24	74	5	7,0	6,5
<b>9:00</b>	172	10,4	108	76	116	4	420	24	85	2	7,1	6,5
<b>10:00</b>	120	10	96	104	129	10	525	54	87	7	7,1	6,6
<b>11:00</b>	124	10,4	112	105	117	16	442	81	78	10	7,2	7,0
<b>12:00</b>	120	10,4	104	108	130	58	477	57	88	3	7,5	7,3
<b>13:00</b>	164	10,4	136	79	78	22	366	93	50	13	7,5	7,3
<b>14:00</b>	140	10,4	104	93	101	13	405	55	64	6	7,5	7,4
<b>15:00</b>	140	10,4	112	93	138	8	468	51	97	6	7,5	7,5
<b>16:00</b>	164	10,4	140	79	119	23	487	88	84	14	7,6	7,3

**Elaborado por:** Damián M., Silva G. 2016

## CAPÍTULO IV

### DISCUSIÓN

#### 4.1. Rendimiento de los coagulantes

En cuanto a la obtención del quitosano se puede observar que existe un rendimiento del 10%, donde de 1000 gramos nos da 100 gramos de coagulante, es decir que si en el país se desechan anualmente 11.79.912, 5 toneladas de cascaras de camarón, lo que implica tener 1.100.000 de toneladas de quitosano, es decir alrededor de un millón toneladas de coagulante que es una muy buena producción que sirve para comercializarlo.

En la producción del almidón de plátano se tiene un 8,4% de rendimiento, donde de 348,2 gramos se obtiene 29,2 gramos lo que significa que si en el país se desechan anualmente 690.276 toneladas de banano de rechazo, se tendría 580.211 toneladas de coagulante de almidón de plátano.

El costo por kilo del sulfato según datos del mercado es de 0,44 (ver Tabla 18) centavos de dólar, sin considerar el costo de mano de obra podemos visualizar que el costo total por metro cúbico de agua tratada es: para el quitosano de 0,033 dólares por  $m^3$  y para el sulfato de aluminio es de 0,008 dólares por  $m^3$ , lo que significa una diferencia de 0,02 centavos por  $m^3$ .

El almidón de plátano tiene un costo por kilo 0,97 (ver Tabla 18) centavos de dólar con relación al sulfato de aluminio sin considerar el costo de mano de obra, el costo total por metro cúbico de agua tratada para el almidón es 0,058 dólares por  $m^3$  lo que significa una diferencia de 0,05 centavos por  $m^3$ , realizando una comparación de una comunidad pequeña cuyo consumo día es de 160  $m^3$ /día significaría un costo 800 dólares diarios si se emplea almidón de plátano mientras

que si emplea quitosano se tendrá un costo de 320 dólares diarios menos al utilizar el sulfato de aluminio, debemos tomar en cuenta que se está dando una forma de remediación con las cáscaras de camarón por lo tanto la factibilidad de producir el coagulante a nivel industrial es buena.

Considerando los costos de los productos químicos existentes en el mercado dados en la Tabla 18 dados por la Empresa Ecuatoriana de Petróleos y Químicos (Ecuapet Quim) se puede evidenciar que el costo por kilo de quitosano está dentro de los valores comparados con el sulfato de aluminio y el policloruro de aluminio PAC Chino.

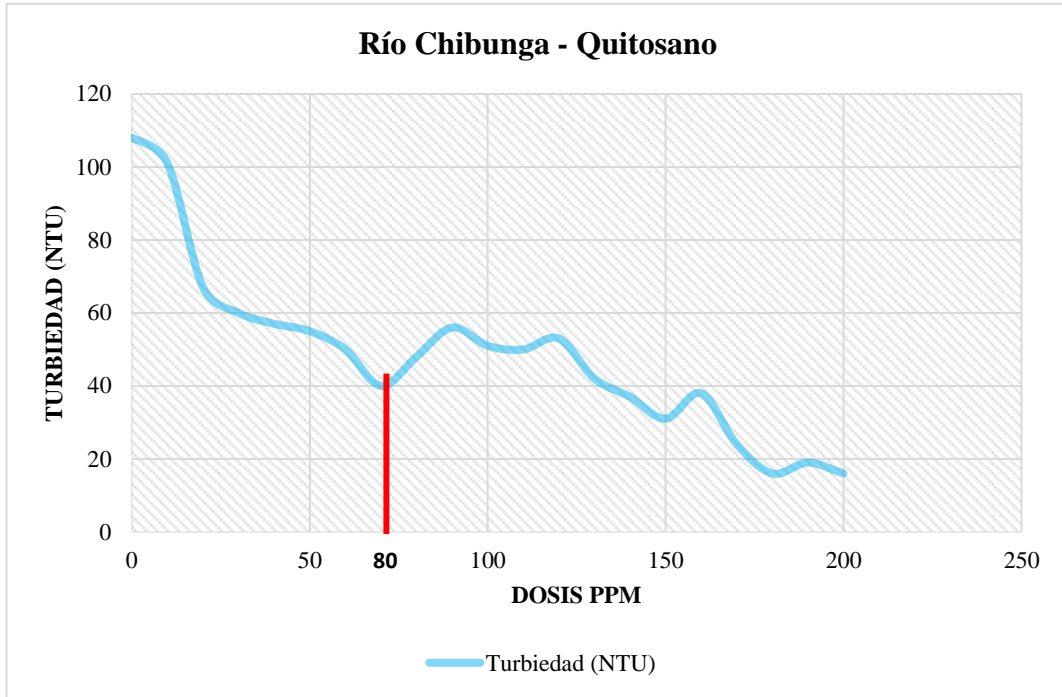
De igual manera comparando con los costos de producción de coagulantes de acuerdo a la Tabla 18 se puede visualizar que el costo del almidón de plátano se dispara hasta dos veces más de los demás productos, por lo tanto la producción de almidón de plátano no sería factible por sus elevados costos de producción.

#### **4.2. Pruebas de Jarras**

Con los resultados reportados en la Tabla 22 se gráfica la turbiedad de las aguas vs. la dosificación en donde se puede observar que la menor turbiedad se obtiene a 80 ppm (*Ver figura 31*).

En las figuras 33, 34, 35, 36 y 37 se grafican los resultados obtenidos en las pruebas de jarras donde se puede observar que la dosificación óptima es de 90, 80, 100, 60 y 20 ppm respectivamente cabe recalcar que la característica de los coagulantes según como se indica en la Figura 32 en donde se puede conseguir la misma turbiedad con una dosificación mucho mayor, es por eso que se debe realizar las pruebas de jarra.

**Figura 31.** Curva de turbiedad vs. dosis de coagulante quitosano usando agua del río Chibunga



Elaborado por: Damián M., Silva G. 2016

**Figura 32.** Característica del coagulante.

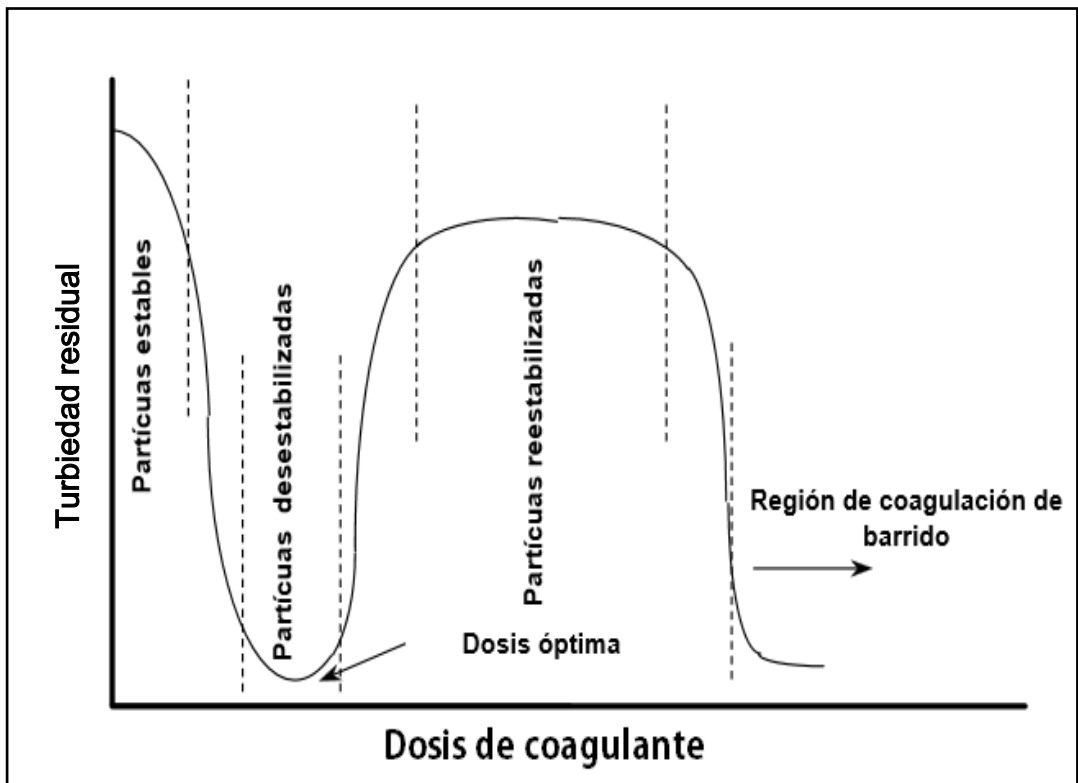
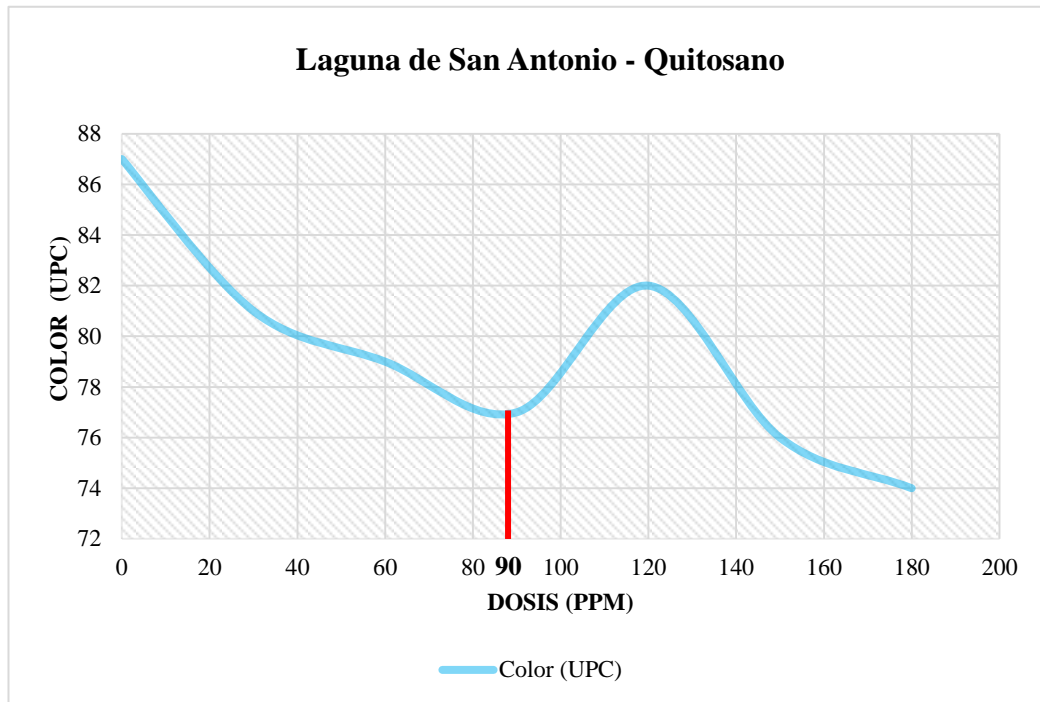


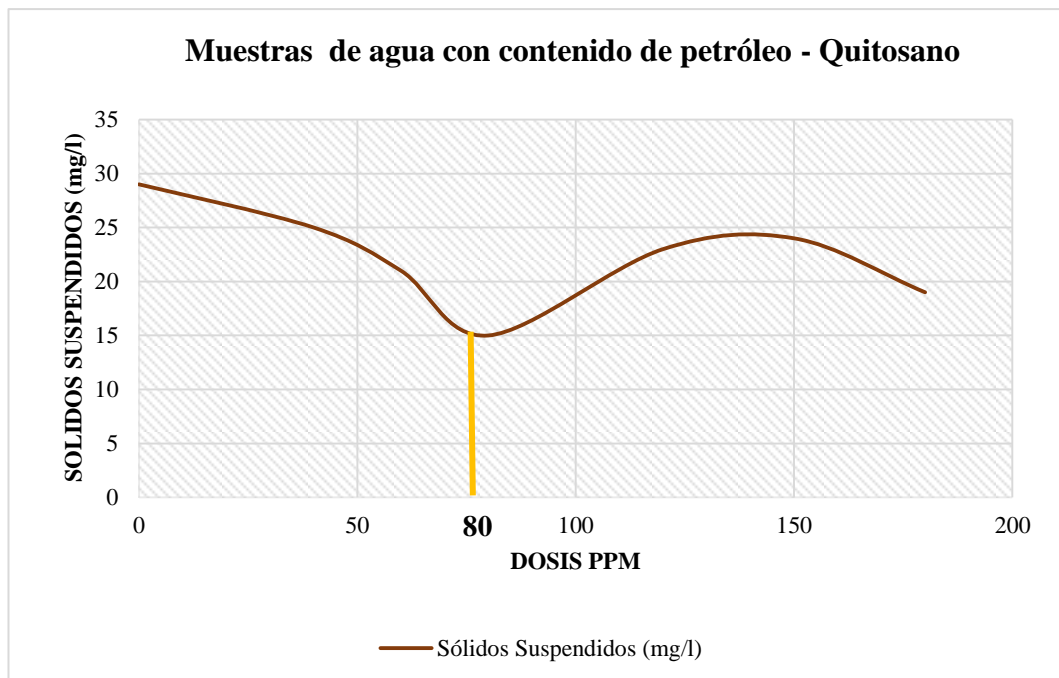
Imagen tomada de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/mexicon/R-0199.pdf>

**Figura 33.** Curva de color vs. dosis de coagulante quitosano usando agua de la Laguna de San Antonio.



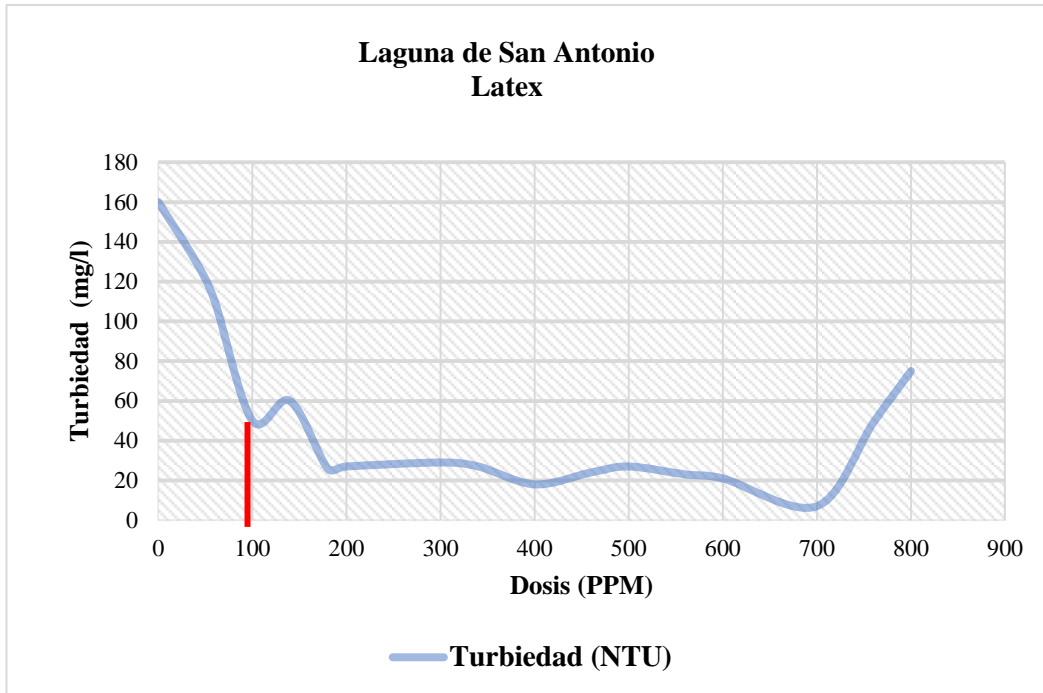
Elaborado por: Damián M., Silva G. 2016

**Figura 34.** Curva de Sólidos suspendidos vs. dosis de coagulante quitosano usando agua con contenido de petróleo.



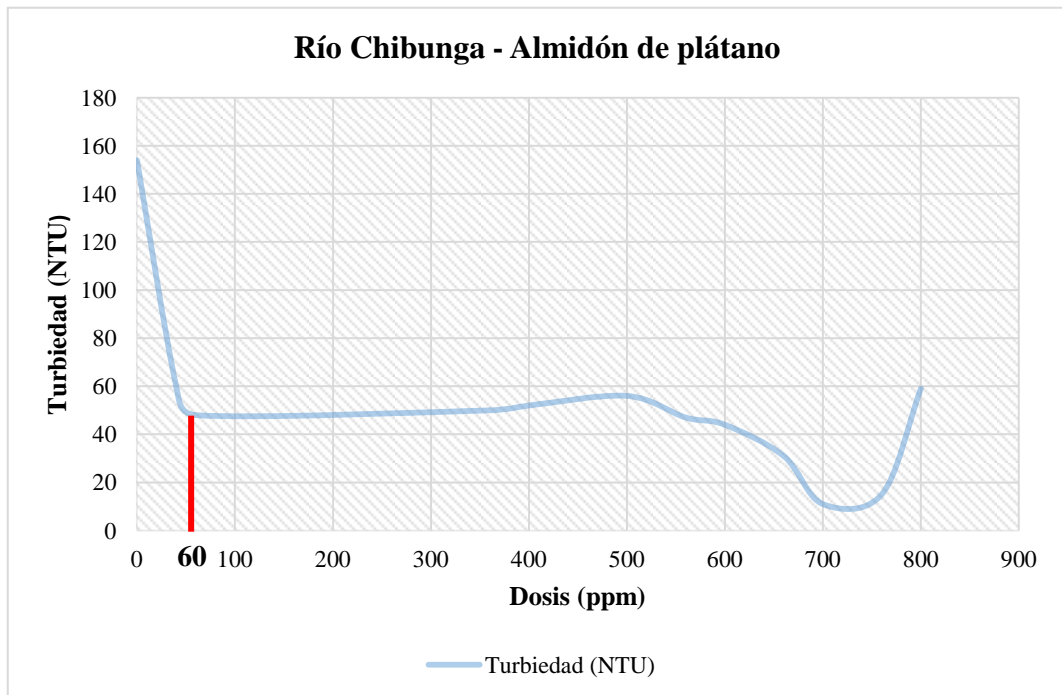
Elaborado por: Damián M., Silva G. 2016

**Figura 35.** Curva de turbiedad vs. dosis de coagulante látex usando agua del río Chibunga.



Elaborado por: Damián M., Silva G. 2016.

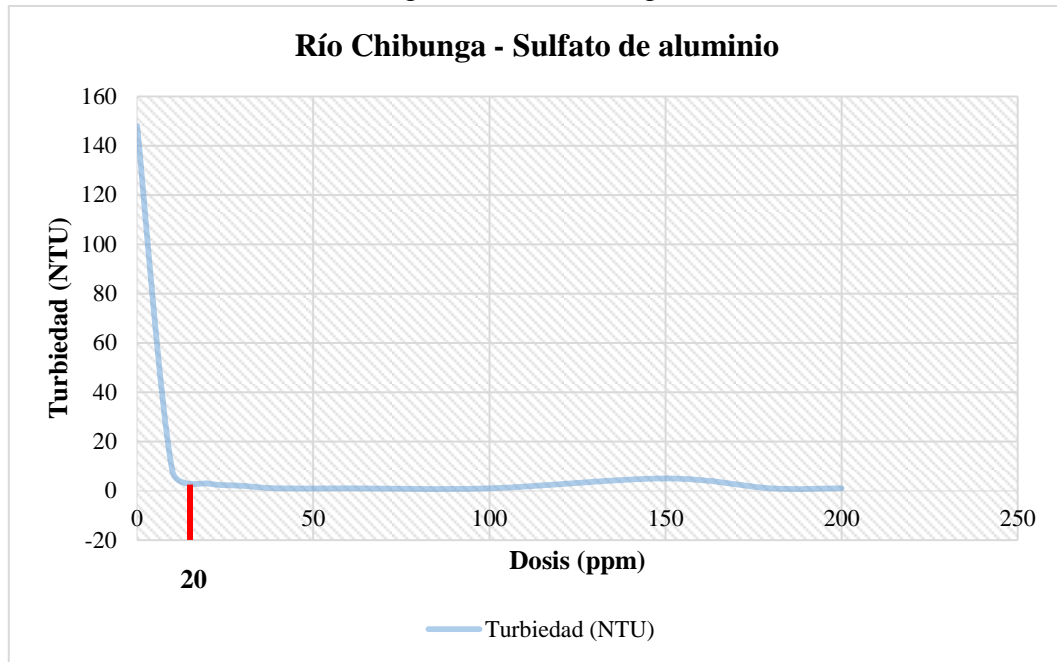
**Figura 36.** Curva de turbiedad vs. dosis de coagulante (almidón de plátano), con agua del río Chibunga.



Elaborado por: Damián M., Silva G. 2016.



**Figura 37.** Curva de turbiedad vs. dosis de coagulante (sulfato de aluminio), con agua del río Chibunga.



**Elaborado por:** Damián M., Silva G. 2016.

En todos los tratamientos realizados se consiguen una remoción de más del 60%.

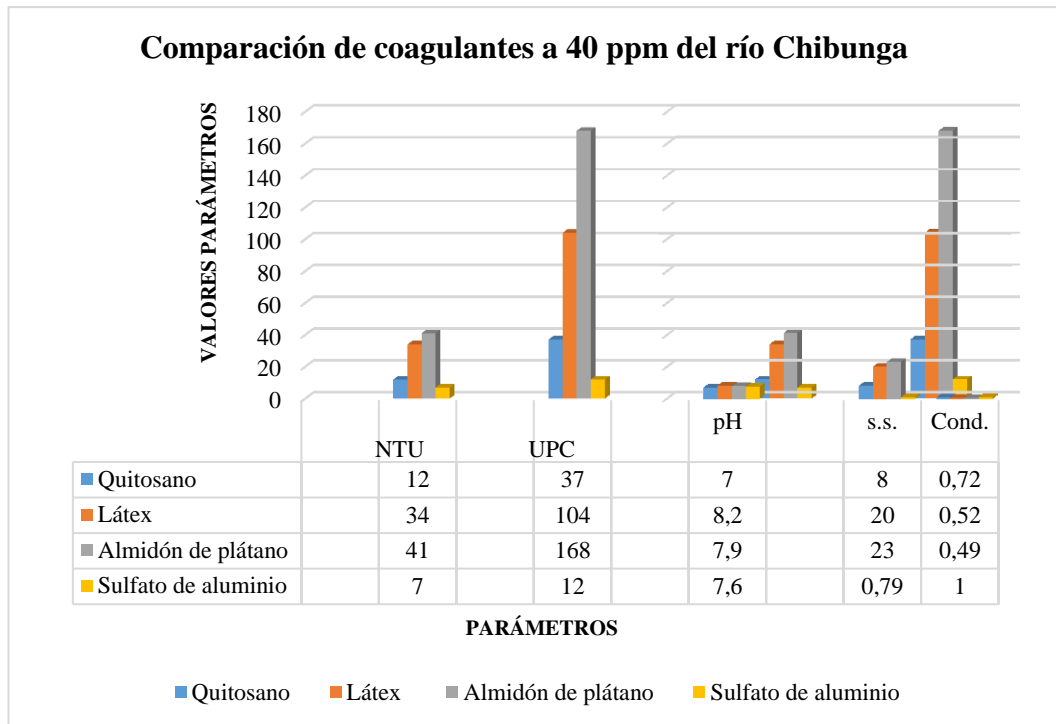
### 4.3. Comparación entre los diferentes coagulantes

Al considerar las dosis óptimas de cada uno de los coagulantes se consigue una mayor reducción con el sulfato de aluminio.

Los diferentes coagulantes probados con agua con contenido de color y turbiedad a 40 ppm el sulfato es el que mayor porcentaje de remoción tiene con 94%, el quitosano es el que más se le acerca con una remoción de 87%, al aumentar la concentración a 150 ppm podemos notar que la turbiedad reduce un 95% con el sulfato mientras que con el quitosano reduce un 79%, y el color en un 90 y 86 respectivamente.

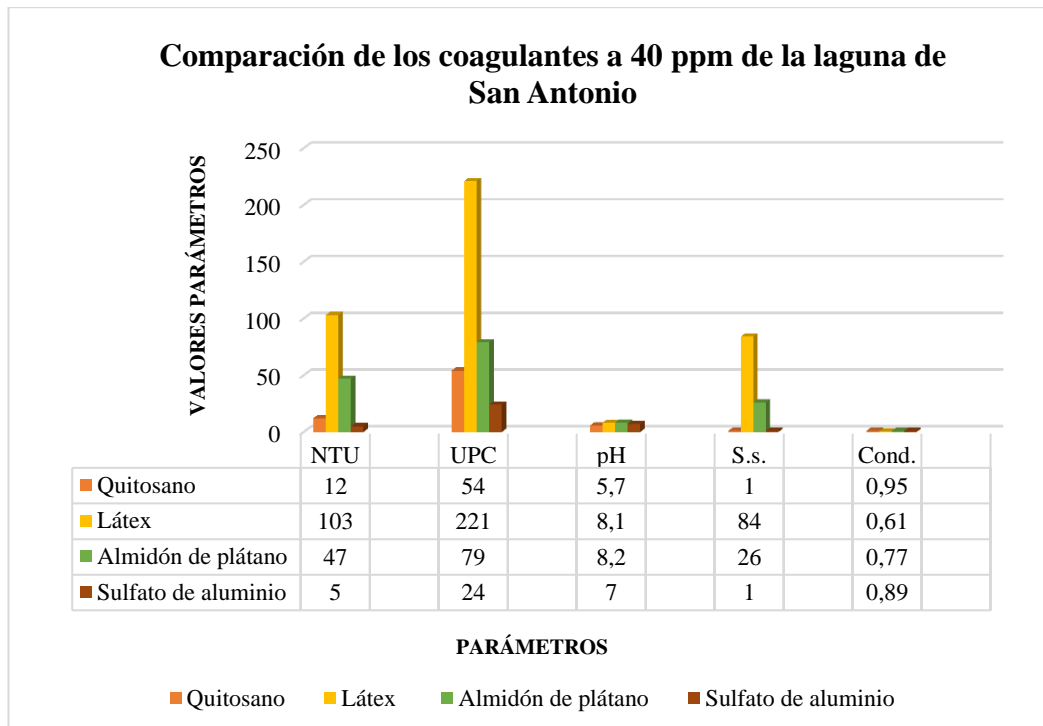
En las Figuras 38, 39, 41, y 42 se puede evidenciar que el sulfato de aluminio es el que mayor remoción tiene tanto a concentraciones bajas como altas.

**Figura 38.** Comparación de coagulantes a 40 ppm usando agua del río Chibunga.



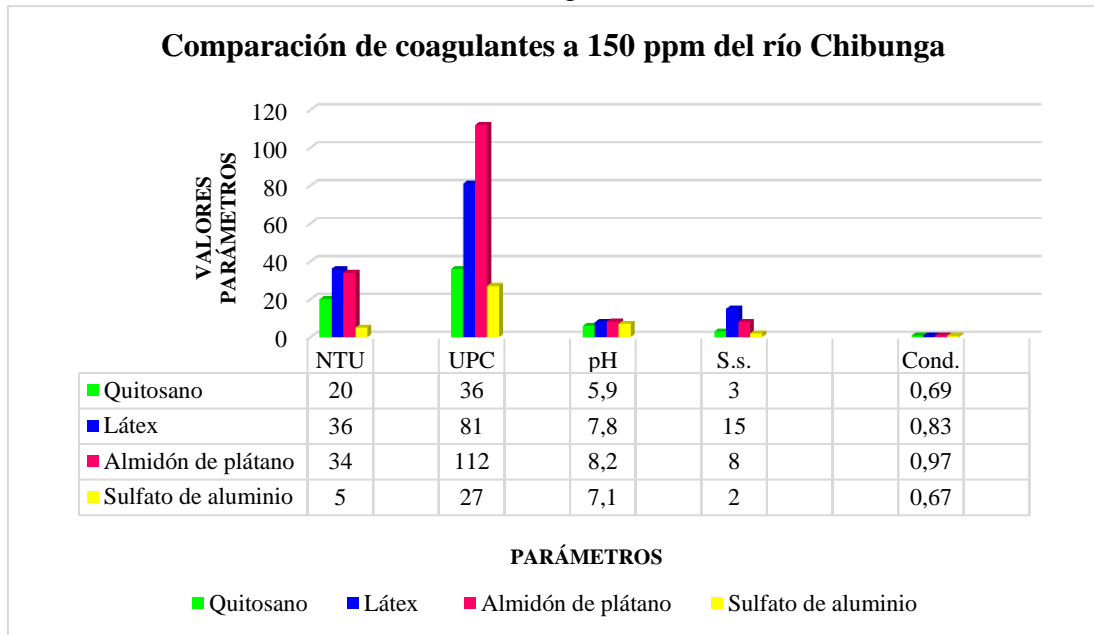
Elaborado por: Damián M., Silva G. 2016.

**Figura 39.** Comparación de coagulantes a 40 ppm usando agua de la laguna de San Antonio.



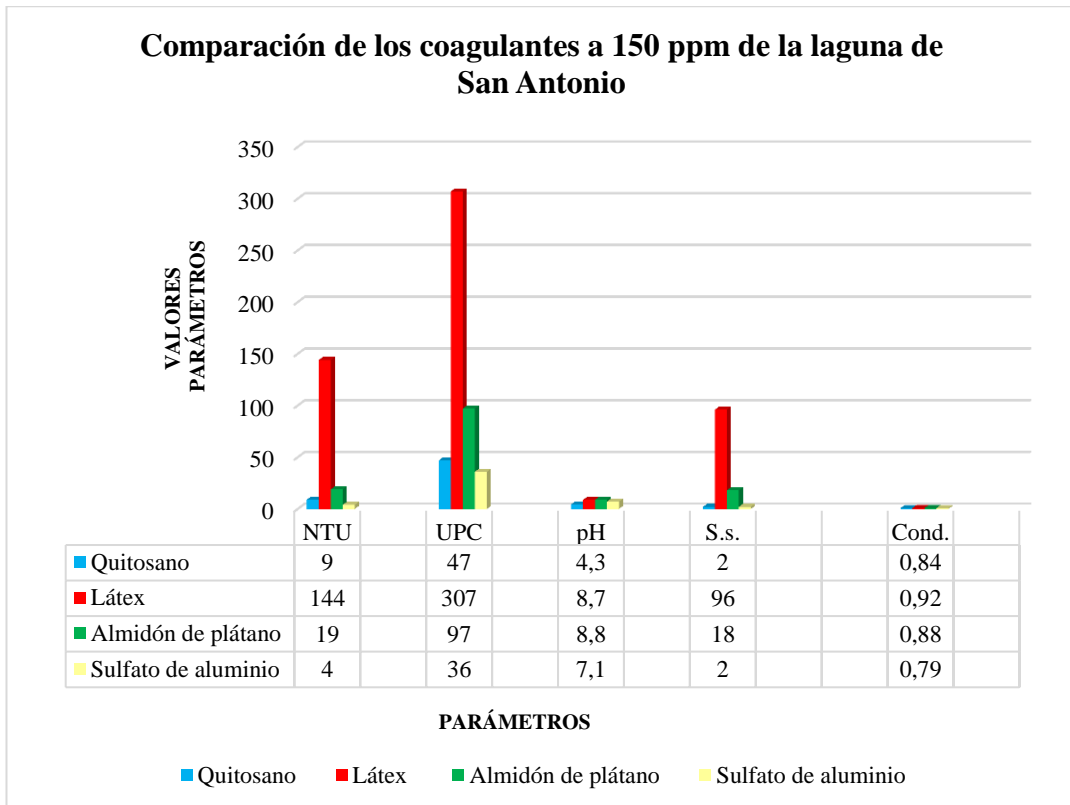
Elaborado por: Damián M., Silva G. 2016.

**Figura 40.** Comparación de coagulantes a 150 ppm usando agua del río Chibunga.



**Elaborado por:** Damián M., Silva G. 2016.

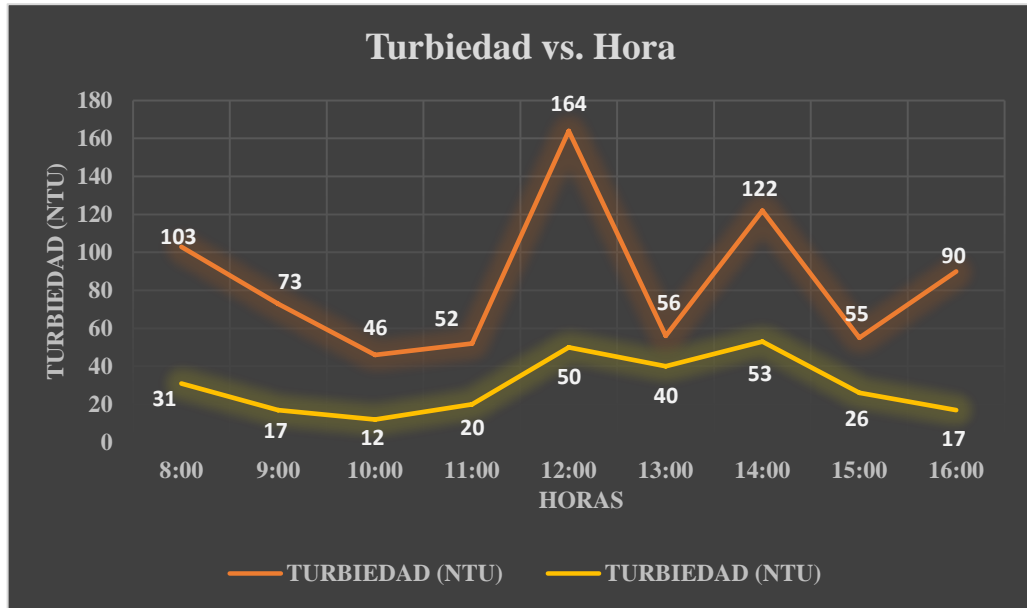
**Figura 41.** Comparación de coagulantes a 150 ppm usando agua de la laguna de San Antonio.



**Elaborado por:** Damián M., Silva G. 2016.

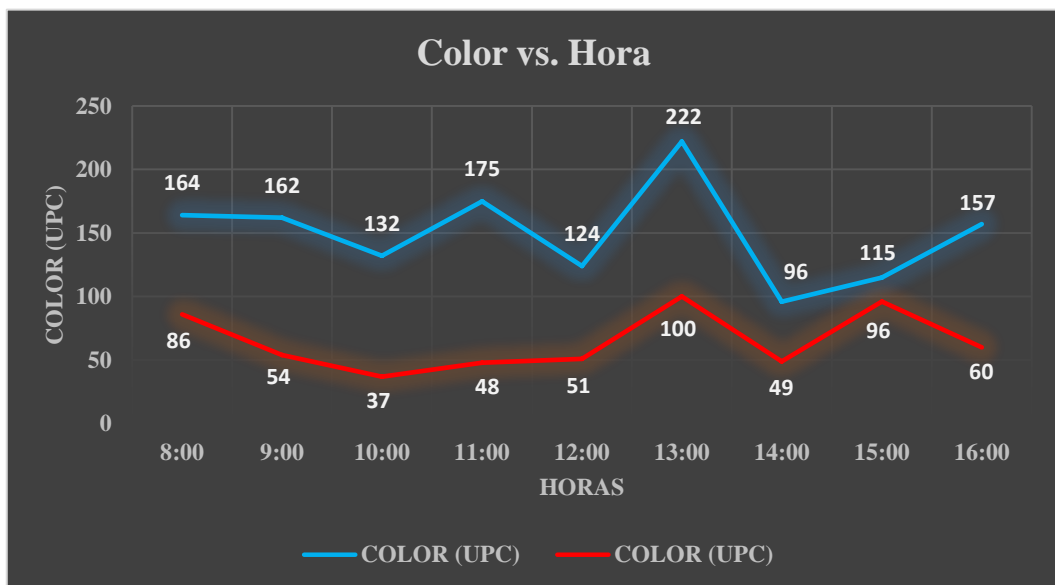
Para visualizar los resultados de la Tabla 35 se presentan las respectivas figuras en donde se puede observar que pese a que hay puntos altos de turbiedad y color (Ver figura 42 y 43) una vez estandarizada la planta los valores de turbiedades y colores finales no se ven muy afectados

**Figura 42.** Turbiedad del agua cruda y tratada en 8 horas de trabajo del día 1.



Elaborado por: Damián M., Silva G. 2016.

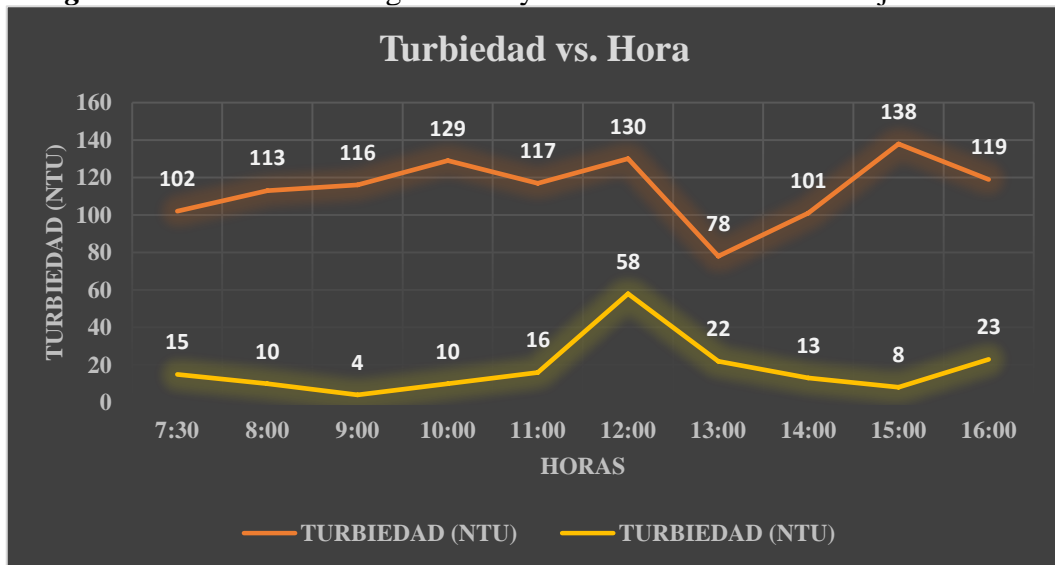
**Figura 43.** Color del agua cruda y tratada en 8 horas de trabajo del día 1.



Elaborado por: Damián M., Silva G. 2016.

En el día dos luego de tratar aproximadamente 12 horas se puede observar que ya existe una formación de lodos (*Ver figura 44, 45, 46 y 47*), lo que indica que la planta se va estabilizando y por más que existan puntos altos y bajos de variaciones de turbiedad o de color que entran de agua cruda la planta se estabiliza y a las 12 horas de tratamiento se presenta un colchón de lodos objetivo del clarificador ayudando a soportar valores de turbiedad y color altas.

**Figura 44.** Turbiedad del agua cruda y tratada en 8 horas de trabajo del día 2.



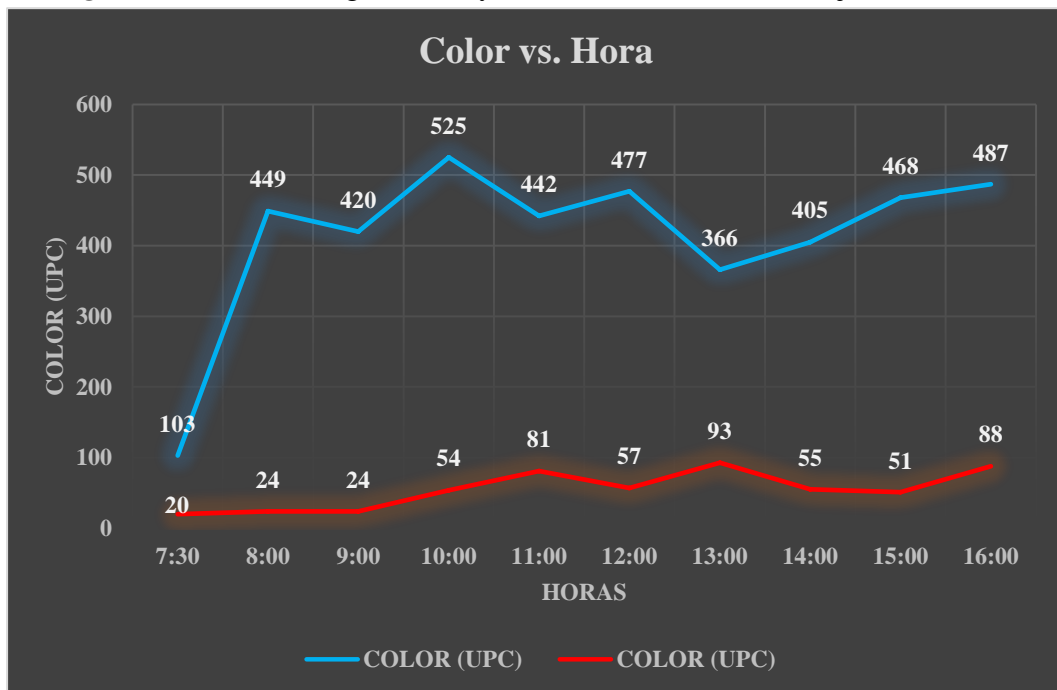
**Elaborado por:** Damián M., Silva G. 2016.

**Figura 45.** Formación del colchón de lodos del clarificador



**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.

**Figura 46.** Color del agua cruda y tratada en 8 horas de trabajo del día 2.



Elaborado por: Damián M., Silva G. 2016.

**Figura 47.** Colchón de lodos en el clarificador.



Fuente: Damián M., Silva G. 2016.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- Se pudo obtener el coagulante a partir del exoesqueleto del camarón mediante un proceso de desmineralización de sus cáscaras obteniéndose un rendimiento del 10%.
- La obtención del coagulante a partir del desecho de plátano se realizó a partir de las cáscaras de plátano y de su fruto a través de un secado y pulverizado, obteniendo el almidón con un rendimiento del 8,4%, además se utilizó el látex del plátano 100% puro proveniente de la planta usado como coagulante natural dando óptimos resultados.
- Las dosis ideales donde se evidencio mejor clarificación son para el quitosano es 80 ppm, 100 látex ppm, 60 almidón ppm, sulfato de aluminio es 20 ppm.
- El sulfato de aluminio coagulante químico es más eficiente que los coagulantes naturales, sin embargo estos últimos a su vez el quitosano trabaja mejor en dosis altas sobrepasando los 180 ppm mientras que el sulfato de aluminio en dosis bajas de hasta 10 ppm.
- El quitosano es un coagulante efectivo para el tratamiento de agua dado que se presentan buenos resultados en remoción de sólidos coloidales responsables de la turbidez y color del agua.
- En Ecuador existe la cantidad suficiente de materia prima (cáscaras de camarón) para poder producir aproximadamente un millón de toneladas de

quitosano ya que se desechan cerca de 11.179.912 de cáscaras, a parte que ayudaría a minimizar los impactos ambientales causados por la actividad camaronera en nuestro país principal ingreso no petrolero superando al banano, lo que significa que si el país se desechan anualmente 6907,276 toneladas de banano de rechazo, se tendría 580.211184 de coagulante de almidón de plátano.

## **5.2. Recomendaciones**

- Para que el látex sea fresco y no tenga alteraciones en el transporte de la muestra se debe añadir agua y mantener en refrigeración.
- Lavar bien las cáscaras de camarón al término de cada proceso para que no quede residuos de los ácidos que podrían afectar la obtención del quitosano.
- Realizar una buena selección de la materia prima que se va a emplear para tener buenos resultados.
- Realizar investigaciones sobre coagulantes naturales de origen animal y vegetal de esa forma se aprovechara los recursos naturales en beneficio de la propia naturaleza.
- Realizar un estudio de factibilidad para el uso del quitosano.



## **CAPÍTULO VI**

### **PROPUESTA**

#### **6.1. Título de la propuesta**

Manual de prácticas para el clarificador circular de colchón de lodos (prototipo) en el tratamiento de aguas.

#### **6.2. Introducción**

En este capítulo se presenta el manual de prácticas del clarificador circular de colchón de lodos que se diseñó para esta investigación, el mismo que servirá de apoyo para los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Ambiental al momento de la realización de prácticas de clarificación de aguas que complementen la teoría impartida.

#### **6.3. Objetivos**

##### **6.3.1. Objetivo General**

Elaborar un manual para el clarificador circular de colchón de lodos (a escala de laboratorio) en el tratamiento de aguas.

##### **6.3.2. Objetivos Específicos**

- Indicar los usos que se pueden dar al clarificador circular de colchón de lodos.
- Establecer los procedimientos para su operación.

## 6.4. Fundamentación científico – técnica

### 6.4.1. Manual

Un manual de procedimiento es un documento formal donde se concentra información y que está al alcance del personal, sirve como una de las herramientas para lograr los objetivos organizacionales. Los manuales son la base de una correcta organización y disciplina para la realización de las actividades (Múnera, 2002).

Para que un manual de procedimientos pueda elaborarse, es necesario tener un amplio conocimiento de las actividades, y analizar la manera óptima para realizar las actividades; esto con el fin de optimizar el uso de los recursos que intervienen y facilitar la ejecución de los procesos.

### 6.4.2. Estructura del manual

La estructura de los manuales de procedimiento, como todo tiene su orden y estructura, sin embargo, hay variación de un manual a otro, todo depende de quién lo elabora y que tan detallado o sencillo lo requiera. La siguiente estructura está tomada del libro (Múnera, 2002).

- **Identificación.** Se incluyen los datos de la empresa, logotipo, nombre de la empresa, denominación del manual, fecha de elaboración, número de páginas y datos relativos a la o las revisiones del manual.
- **Índice.** Presenta la relación de capítulos y apartados del documento.
- **Introducción.** Es una breve explicación del contenido total del manual.
- **Objetivo.** Muestra qué es lo que se quiere lograr con dicho documento.
- **Alcance.** Son todos los requisitos a cumplir para lograr el objetivo.
- **Políticas.** Son criterios que orientan y facilitan las operaciones.

- **Responsable.** Es el puesto o la unidad administrativa que tiene a su cargo la preparación y aplicación del procedimiento.
- **Procedimientos.** Son la descripción detallada de las operaciones, se presentan por escrito y de una forma secuencial, describe en qué consiste el procedimiento, cómo, dónde y con qué se lleva a cabo.
- **Glosario.** Es la lista que explica de forma técnica algunos conceptos relacionados en el contenido.

### 6.4.3. Práctica de laboratorio

La práctica de laboratorio es el tipo de clase que tiene como objetivos instructivos fundamentales que los estudiantes adquieran las habilidades propias de los métodos de la investigación científica, amplíen, profundicen, consoliden, realicen, y comprueben los fundamentos teóricos de la asignatura mediante la experimentación empleando los medios de enseñanza necesarios, garantizando el trabajo individual en la ejecución de la práctica (Múnera, 2002).

En las prácticas de laboratorio predominan la observación y la experimentación en condiciones de laboratorio, lo que exige la utilización de métodos y procedimientos específicos para el trabajo. En relación con esto, es significativa la contribución de los métodos y procedimientos utilizados en el desarrollo de habilidades generales de carácter intelectual y docente (observación, explicación, comparación, elaboración de informes, entre otras), y, fundamentalmente en la formación y desarrollo de habilidades propias de cada asignatura que utilice esta forma de organización del proceso de enseñanza-aprendizaje.

### 6.5. Descripción de la propuesta

La propuesta planteada consiste en exponer a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Ambiental la funcionalidad del prototipo diseñado, con la finalidad

que puedan acceder hacer uso del mismo con ayuda del manual de prácticas que permitirán reforzar sus conocimientos.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**MANUAL DE PRÁCTICAS PARA EL CLARIFICADOR COLCHÓN DE**  
**LODOS (PROTOTIPO) EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS**  
**NATURALES Y RESIDUALES**

**INTEGRANTES**

Mariela Damián Lemache

Gabriela Silva Oquendo

**Directora del manual:** Dra. Anita Mejía López

**Año**

**2016**

## **CONTENIDO DEL MANUAL DE PRÁCTICAS**

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>146</b>
<b>2. ALCANCE</b>	<b>146</b>
<b>3. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO</b>	<b>147</b>
<b>4. FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO</b>	<b>150</b>
<b>5. TERMINOLOGÍA</b>	<b>154</b>
<b>6. PRÁCTICA 1</b>	<b>156</b>
<b>7. PRÁCTICA 2</b>	<b>160</b>
<b>8. PRÁCTICA 3</b>	<b>166</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>171</b>

## **1. Introducción**

La Universidad Nacional de Chimborazo cuenta con la Carrera de Ingeniería Ambiental donde la prioridad es cuidar, remediar y preservar el medio ambiente, siendo de gran importancia aprovechar los propios recursos presentes en la naturaleza.

En nuestro país existen aguas naturales y superficiales, debido a las actividades del ser humano han tenido un cambio en sus características físico- químico, es así que mediante la investigación realizado en la tesis se ha diseñado y construido un prototipo clarificador circular de colchón de lodos, mediante la utilización de coagulantes ayudarán en el proceso de clarificación del agua.

El manual cuenta con una descripción del funcionamiento del prototipo así como prácticas de laboratorio a desarrollarse.

Los objetivos del presente documento son:

- Comprender el proceso del prototipo clarificación circular de colchón de lodos.
- Guiar en el desarrollo de prácticas de laboratorio para el tratamiento de aguas residuales con turbiedad alta
- Guiar el desarrollo de las prácticas de laboratorio para aguas superficiales con color.

## **2. Alcance**

El equipo que se describe en este manual debe usarse como base primordial para la realización de nuevas investigaciones y prácticas estudiantiles que vayan a tratar procesos de clarificación en los tratamientos de aguas con contenido de

turbiedad, color, hierro, manganeso, calcio, cromo, y como sedimentador secundario.

### 3. Descripción del prototipo

*Figura 48.* Sistema de clarificación de colchón de lodos.



**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.

El sistema de clarificación circular colchón de lodos (prototipo) consiste de un tanque de almacenamiento de agua cruda, tanque de almacenamiento del coagulante, sistema de agitación rápida, clarificador circular colchón de lodos.

#### a) Tanque de almacenamiento de agua cruda

El tanque de almacenamiento de agua cruda tiene un volumen de 10 litros, cumple también con la función de sedimentación de partículas suspendida por tener su salida a una distancia de 5 cm de la base, consta de una llave para regular su caudal y manguera plástica por donde sale el agua cruda al sistema de agitación rápida. El agua cruda puede ser agua natural, superficial o residual según la práctica que se desee desarrollar.

#### b) Tanque de almacenamiento del coagulante

Para el almacenamiento del coagulante sea natural o químico se utiliza un tanque con un volumen de 4 litros, que consta de una manguera plástica por donde sale el coagulante que se une al sistema de agitación rápida.

**c) Sistema de agitación rápida.**

**Figura 49.** Sistema de agitación rápida.



**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.

Está compuesto por un embudo pequeño de plástico donde se realiza la función de mezclado de agua cruda y los químicos utilizados. La simulación de la agitación rápida está compuesta por una manguera plástica en forma de zig-zag.

**# vueltas manguera = 6 vueltas**

**d) Clarificación circular de colchón de lodos**

**Figura 50.** Clarificador.





**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.

El clarificador circular de colchón de lodos esta realizado de material de acero inoxidable de 30 cm , está compuesto por una campana central y dos salidas la primera se encuentra en la parte superior que es por donde sale el agua tratada, la segunda se encuentra en la parte baja y sirve de salida a los lodos.

**e) Campana central**

*Figura 51.* Campana circular



**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.

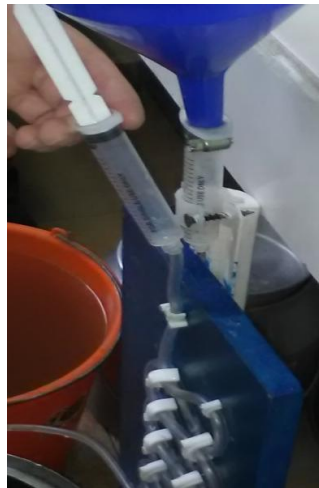
La campana circular tiene una altura de 17 cm, el diámetro de la campana es de 14 cm, mientras que el diámetro por donde ingresa el agua es de 6 cm, es de gran importancia porque permite la recirculación del agua que siguen la forma de los 6 baffles que se encuentran en el interior, a su vez ayuda a la formación del colchón de lodos.

A continuación se presenta el plano del sistema de clarificación circular de colchón de lodos donde se detalla las dimensiones del sistema.

#### **4. Funcionamiento del prototipo**

- Antes de empezar la puesta en marcha del prototipo se debe comprobar que no exista lodos en el sistema de agitación rápida, de ser así se debe inyectar aire para evitar taponamiento; verificar que la llave de purga de lodos se encuentre cerrada.

*Figura 52.* Mantenimiento del sistema de agitación



**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.

- Mantener un volumen constante de agua cruda en el tanque de almacenamiento.

*Figura 53.* Tanque de almacenamiento agua cruda



**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.

- Realizar prueba de jarras para saber la dosis óptima de los respectivos químicos; con las dosis obtenidas se debe efectuar los cálculos pertinentes para conocer la cantidad a inyectarse en el sistema.

**Figura 54.** Ensayo de jarras.



**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.

- Se debe controlar el caudal de agua y la dosificación del coagulante que baja del tanque de almacenamiento al sistema de agitación.

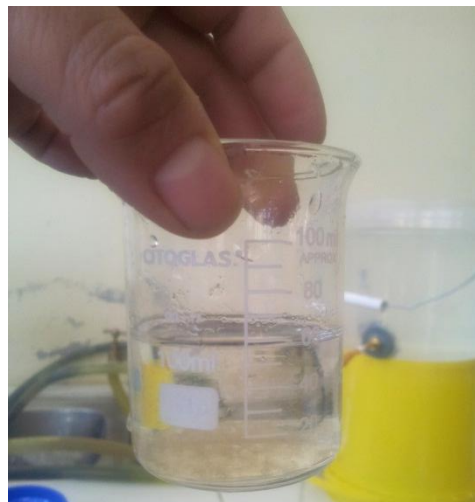
**Figura 55.** Control de caudal.



**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.

- El agua coagulada pasa por el sistema de agitación rápida, seguidamente va al clarificador circular de colchón de lodos, donde el agua sigue la trayectoria de los baffles en forma de zic-zac, luego el agua permanece en reposo para sedimentar los lodos.

**Figura 56.** Agua coagulada.



**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.

- Posteriormente el agua tratada así van hacer depositados en un recipiente de plástico.

**Figura 57.** Agua trata vs análisis.



**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.

- Mantener el colchón de lodos a nivel de la campana circular para una mejor clarificación

*Figura 58.* Colchón de lodos.



**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.

- Cuando el nivel sobrepasa la campana y antes de inicio de un nuevo proceso se procede a realizar la purga de lodos proveniente del clarificador a través de la válvula respectiva abriendo y cerrándola por periodos de 30 segundos hasta alcanzar el nivel deseado, como se puede ver en la figura 63.

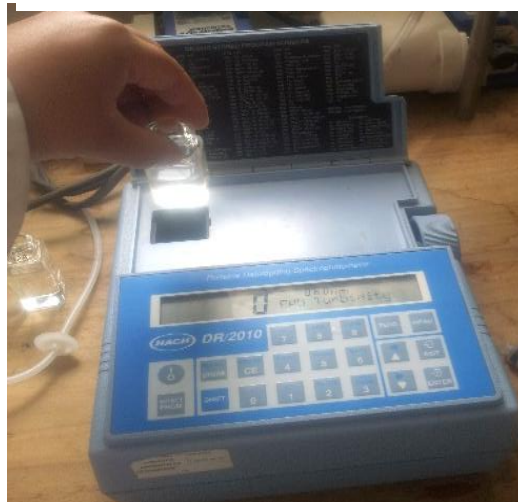
**Figura 59.** Purga de lodos.



**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016

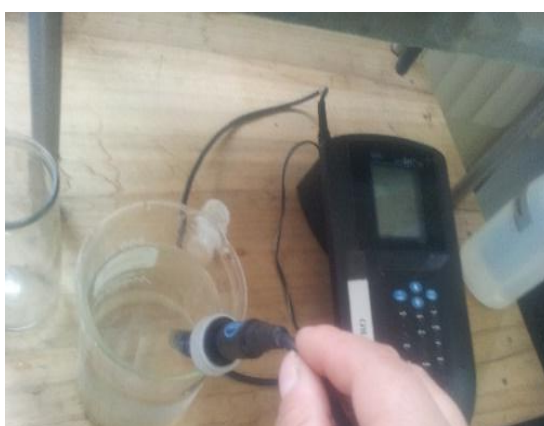
- Los análisis físico-químicos se debe realizar al agua cruda y al agua tratada cada hora, de igual manera se debe tomar el caudal del tanque de almacenamiento de agua cruda y del tanque dosificador.

**Figura 60.** Análisis físico- químicos



**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.

**Figura 61.** Análisis físico- químicos



**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.

## **5. Terminología**

**Coloide:** Un coloide, suspensión coloidal o dispersión coloidal es un sistema físico-químico compuesto por dos fases: una continua, normalmente fluida, y otra dispersa en forma de partículas; por lo general sólidas de tamaño mesoscópico es decir medio camino entre los mundos macroscópico y microscópico (Ramalho, 2003).

**Turbiedad:** La turbidez es la dificultad del agua, para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, que se presentan principalmente en aguas superficiales. La turbidez nos da una noción de la apariencia del agua y sirve para tener una idea acerca de la eficiencia de su tratamiento (Asano, 2004).

**Sólidos suspendidos:** Los sólidos disueltos o salinidad total, es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua (Andia, 2000).

**Color:** El color es una propiedad física que indirectamente describe el origen y las propiedades del agua (Andia, 2000).

**pH:** El valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculado por el número de iones de hidrógeno presente. Es medido en una escala desde 0 a 14, en la cual 7 significa que la sustancia es neutra. Valores de pH por debajo de 7 indica que la sustancia es ácida y valores por encima de 7 indican que la sustancia es básica (Rojas, 2002).

**Aguas naturales:** Las aguas que se encuentran en ríos, lagos y lagunas son susceptibles de emplearse con o sin tratamiento previo, para su consumo como agua potable (Rojas, 2002).

**Aguas Residuales:** Son generadas por residencias, instituciones y locales comerciales e industriales. Esto puede ser tratado dentro del sitio en el cual es generado (por ejemplo: tanques sépticos u otros medios de depuración) o recogido y llevado mediante una red de tuberías y eventualmente bombas a una planta de tratamiento municipal (Rojas, 2002).

**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 y la aplicación de la energía de mezclado (Andia, 2000).

**Floculación:** Es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad (Asano, 2004).

## **6. Práctica 1**

**Tema:** Tratamiento de aguas con alto contenido de color.

### **6.1. Objetivos de la práctica**

El desarrollo de la práctica deberá tomarse un tiempo aproximado de 8 horas diarias continuas con una duración de 2 a 3 días.

#### **6.1.1. Objetivo general**



- Conocer como es el proceso de tratamiento de un agua con alto contenido de color mediante el prototipo clarificador circular colchón de lodos con el fin de obtener agua clarificada.

### **6.1.2. Objetivos específicos**

- Realizar ensayos de clarificación a una muestra de agua superficial con alto contenido de color.
- Montaje y puesta en marcha del prototipo clarificador circular colchón de lodos.
- Analizar de los parámetros físicos-químicos de control para este tipo de agua.

## **6.2. Fundamentos**

Para el desarrollo de la práctica se debe instruir a los estudiantes con ciertos conceptos como los que se menciona anteriormente en la terminología, ya que estos servirán de gran ayuda al momento del desarrollo y aplicación de la práctica.

### **6.2.1. Origen del color en el agua**

El color es una característica física del agua producida por sustancias orgánicas e inorgánicas que se encuentran en solución o en forma de partículas coloidales. En las aguas naturales el color generalmente es el resultado de sales metálicas como hierro y manganeso o de sustancias orgánicas. Resulta del contacto del agua con extractos vegetales provenientes de hojas, semillas, madera, humos, plancton, etc., sustancias que en la mayoría de los casos son inocuas (Andia, 2000).

### **6.2.2. Impacto del calor**

En ocasiones las aguas pueden parecer coloreadas por materia suspendida, como es el caso de las aguas superficiales. Al color producido por materia suspendida se le denomina color aparente, es decir, es el color que se le determina a la muestra sin eliminarle las partículas suspendidas. (Ramalho, 2003).

El término color significa color real y es aquel que tienen las aguas después de que les han sido eliminadas las partículas en suspensión por centrifugación. No es recomendable el filtrado por existir la posibilidad de quedarse adherido algo de color al medio filtrante (Ramalho, 2003).

### **6.2.3. Remoción del color**

Los procesos de tratamiento preferibles desde el punto de vista económico para la remoción del color, son los procesos oxidación, coagulación-floculación y sedimentación (Ramalho, 2003).

### **6.2.4. Medición de color**

La determinación del color en una muestra de agua se realizará con el método de la escala platino – cobalto. La medida del color se basa en la comparación visual de la muestra con soluciones coloreadas o en la comparación con discos de vidrios de color especiales, que han sido calibrados de acuerdo a las soluciones coloreadas o estándares. El método estándar es el método de la escala platino – cobalto, en el cual una unidad de color es definida como la producida por un miligramo de platino (en la forma de ión cloro platinato) por litro de agua destilada, con concentraciones variadas de cloruro cobaltoso para dar diversas tonalidades (Andia, 2000).

## **6.3. Materiales, Equipos, Sustancias**

**Tabla 37***Materiales, equipos, sustancias a utilizar.*

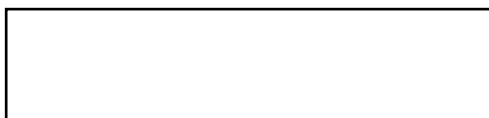
<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Sustancias</b>
<b>Vasos de precipitación 500 ml</b>	Equipo hach para análisis de agua	Coagulante químico o natural, cloro
<b>Balones 100 ml</b>	Equipo de jarras	Agua cruda residual
<b>Probeta 10 ml y 500 ml</b>	Prototipo clarificador circular colchón de lodos	Agua destilada
<b>Mandil</b>	Phmetro	
<b>Guantes</b>	Cámara fotográfica	
<b>Recipientes</b>		

**Elaborado por:** Damián M., Silva G. 2016.

#### **6.4. Procedimiento de la práctica.**

Se realizará grupos de trabajo de 4 personas, cada uno de los integrantes tendrá una función que cumplir; montaje y puesta en marcha del equipo, verificar que no exista taponamiento del sistema de agitación rápida, así como asegurarse que la llaves de purga de lodos se encuentre cerrada.

- Realizar prueba de jarras para para obtener la dosis óptima de cloro y coagulante, a su vez se debe hacer los cálculos pertinentes que se debe utilizar en el tanque de almacenamiento del coagulante del prototipo con la fórmula para calcular soluciones o concentraciones.



$$V_1 * C_1 = V_2 * C_2$$

- Obtención del agua natural 10 litros \* hora aproximadamente durante el tiempo que dure el desarrollo de la práctica.
- Homogenizar el agua residual.
- Colocar en el tanque de almacenamiento el agua cruda residual.
- Colocar el coagulante en su respectivo tanque de almacenamiento.
- Regular el caudal de ingreso del agua cruda y de la dosis de coagulante al sistema de agitación rápida.
- Recoger el agua tratada en un recipiente limpio.
- Analizar los parámetros cada hora del agua cruda y del agua tratada.

**Tabla 38**

*Parámetros analizar de aguas naturales con contenido de color.*

<b>Parámetros a analizar</b>	<b>Unidades</b>	<b>Límites máximos permisibles</b>
<b>Color</b>	UPC	100
<b>Potencial de hidrogeno</b>	pH	6-9
<b>Sólidos suspendidos.</b>	mg/l	100
<b>Turbiedad</b>	NTU	100

**Elaborado por:** Damián M., Silva G. 2016.

- Los parámetros de color, solidos suspendidos, turbiedad pueden ser tomados de preferencias en el equipo hach para lo cual son colocadas en vasos de precipitación de ahí son extraídas las muestras y son colocadas en

las celdas para ser llevadas al equipo y leer los resultados obtenidos de los diferentes parámetros. Para medir el pH se realiza mediante el peachimetro que indicara si el agua es acida, básica, o neutra.

Después de las 8 horas de trabajo se podrá tener datos específicos de como el clarificador está tratando el agua y se pondrá a consideración si necesita un segundo tratamiento químico o no.

## **6.6. Discusión y exposición en el aula clase de los resultados**

Una vez que todos los grupos han participado en el desarrollo de la práctica, el docente asignara un tiempo determinado para que los alumnos expongan los resultados obtenidos y se pueda aclarar inquietudes para que de esa forma puedan elaborar el informe de la práctica.

## **7. Práctica 1**

**Tema:** Tratamiento de aguas con turbiedad alta.

### **7.1. Objetivos de la práctica**

El desarrollo de la práctica deberá tomarse un tiempo aproximado de 8 horas diarias continuas durante 2 a 3 días.

### **7.2. Objetivo general**

- Conocer como es el proceso de tratamiento de un agua residual mediante el prototipo clarificador circular colchón de lodos con el fin de obtener agua clarificada.

#### **7.2.1. Objetivos específicos**

- Realizar ensayos de coagulación-floculación a una muestra de agua con turbiedad alta para saber su dosis óptima.
- Montaje y puesta en marcha del prototipo clarificador circular colchón de lodos.
- Analizar de los parámetros físicos-químicos turbiedad, solidos suspendidos, pH antes y después del tratamiento.

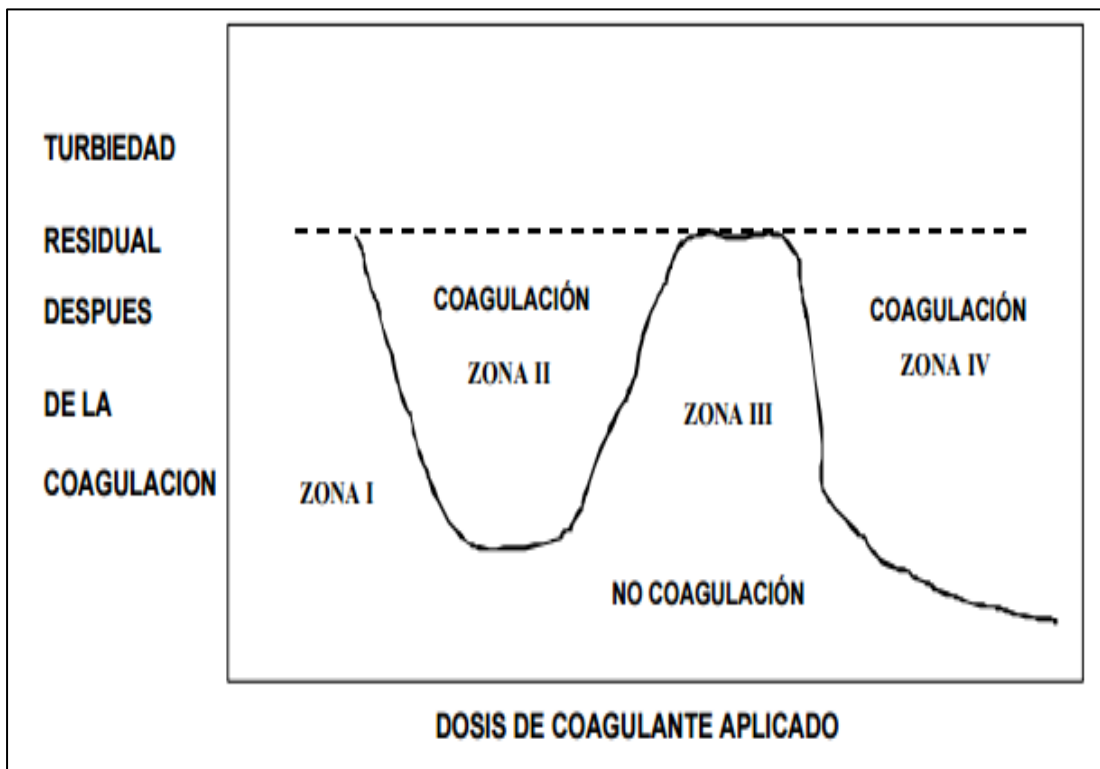
### 7.3. Fundamentos

Para el desarrollo de la práctica se debe instruir a los estudiantes con ciertos conceptos como los que se menciona anteriormente en la terminología, ya que estos servirán de gran ayuda al momento del desarrollo y aplicación de la práctica.

#### 7.3.1. Remoción de Turbiedad.

La aplicación de una dosis creciente del coagulante al agua presenta diferentes zonas de coagulación, como se puede observar en la *figura 62*.

**Figura 62.** Turbiedad vs dosis coagulante.



**Fuente:** (Rojas ,2002). Coagulación.

**Zona 1.** La dosis de coagulante no es suficiente para desestabilizar las partículas y por lo tanto no se produce coagulación.

**Zona 2.** Al incrementar la dosis de coagulantes, se produce una rápida aglutinación de los coloides.

**Zona 3.** Si se continúa incrementando la dosis, llega un momento en que no se produce una buena coagulación, ya que los coloides se re estabilizan.

**Zona 4.** Al aumentar aún más la dosis, hasta producir una súper saturación se produce de nuevo una rápida precipitación de los coagulantes que hace un efecto de barrido, arrastrando en su descenso las partículas que conforman la turbiedad (Rojas ,2002).

### **7.3.2. Clarificador circular de colchón de lodos**

El clarificador de manto de lodos opera con flujo vertical generando 3 zonas, (desde abajo hacia la superficie del tanque), de las cuales depende la calidad del agua tratada: la capa del manto de lodos donde las partículas se reacomodan y compactan; la capa de interface, en la que el floc está en constante choque por la velocidad de caída de algunas partículas y la velocidad de ascenso del flujo; por último esta la capa de agua clarificada que es recogida por canales superficiales (Rojas, 2002).

### **7.3.3. Prueba de jarras**

Este método permite realizar ajustes en el pH, las variaciones en la dosis de coagulante o polímero, alternando velocidades de mezclado, o la prueba de coagulante o diferentes tipos de polímeros, a pequeña escala con el fin de predecir el funcionamiento de una operación a gran escala de tratamiento (Ralmaho, 2003).

### **7.3.4. Coagulante**

Los coagulantes son productos químicos que al adicionar al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos del agua, especialmente con la alcalinidad del agua para formar un precipitado voluminoso, muy absorbente, constituido generalmente por el hidróxido metálico del coagulante que se está utilizando.(Arboleda, 2000).

## **7.4. Materiales, Equipos, Sustancias**

A continuación se detallan los materiales, equipo y sustancias a utilizar en el desarrollo de la práctica (ver Tabla 39).



**Tabla 39***Materiales, equipos y sustancias a utilizar en la práctica.*

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Sustancias</b>
<b>Vasos de precipitación</b>	Equipo hach para análisis de agua	Coagulante químico o natural
<b>Balones</b>	Equipo de jarras	Agua cruda residual
<b>Probeta</b>	Prototipo clarificador circular colchón de lodos	Agua destilada
<b>Mandil</b>	Peachimetro	
<b>Guantes</b>	Cámara fotográfica	
<b>Recipientes</b>		

**Elaborado por:** Damián M., Silva G. 2016.

### **7.5. Procedimiento de la práctica.**

El profesor explicará a sus estudiantes sobre la práctica a realizarse instruyendo a los alumnos sobre el funcionamiento del prototipo, condiciones de seguridad que se deben mantener en el laboratorio, materiales y sustancias a utilizar.

Seguidamente se realizará grupos de trabajo de 4 personas, cada uno de los integrantes tendrá una función que cumplir; montaje y puesta en marcha del equipo, verificar que no exista taponamiento del sistema de agitación rápida, así como asegurarse que la llaves de purga de lodos se encuentre cerrada.

- Realizar prueba de jarras con el coagulante para obtener la dosis optima, a su vez se debe hacer los cálculos pertinentes que se debe utilizar en el tanque de almacenamiento del coagulante del prototipo con la fórmula para calcular disoluciones o concentraciones

$$V_1 * C_1 = V_2 * C_2$$

**Figura 63.** Equipo de jarras.



**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.

- Obtención del agua residual 10 litros \* hora aproximadamente durante el tiempo que dure el desarrollo de la práctica.
- Homogenizar el agua residual.
- Colocar en el tanque de almacenamiento el agua cruda residual.
- Colocar el coagulante en su respectivo tanque de almacenamiento.
- Regular el caudal de ingreso del agua cruda y de la dosis de coagulante al sistema de agitación rápida.
- Recoger el agua tratada en un recipiente limpio.
- Analizar los parámetros cada hora del agua cruda y del agua tratada.

**Tabla 40**

*Parámetros analizar en la práctica.*

<b>Parámetros a analizar</b>	<b>Unidades</b>
<b>Color</b>	UPC
<b>pH</b>	
<b>Sólidos suspendidos.</b>	mg/l

**Elaborado por:** Damián M., Silva G. 2016.

Después de las 8 horas de trabajo se podrá tener datos específicos de como el clarificador está tratando el agua y se pondrá a consideración si necesita un segundo tratamiento químico o no.

### **7.6. Discusión y exposición en el aula clase de los resultados**

Una vez que todos los grupos han participado en el desarrollo de la práctica, el docente asignara un tiempo determinado para que los alumnos expongan los resultados obtenidos.

## **8. Práctica 3**

**Tema:** Tratamiento de lodos del clarificador circular de colchón de lodos.

### **8.1. Objetivos de la práctica**

#### **8.1.1. Objetivo general**

Tratar de lodos del clarificador circular de colchón de lodos.

#### **8.1.2. Objetivos específicos**

- Realizar la purga de lodos del prototipo clarificador circular de colchón de lodos.
- Determinar el índice volumétrico de lodos del clarificador circular de colchón de lodos.

- Realizar la estabilización de los lodos proveniente del prototipo utilizando cal.

## **8.2. Fundamentos**

### **8.2.1. Lodos**

Los materiales sólidos y semisólidos removidos del agua residual en plantas de tratamiento son considerados como lodos. (Rojas, 2002).

Los residuales orgánicos del tratamiento primario y secundario constituyen la mayoría de los lodos, pero también incluyen arena, natas y sólidos del cribado (Rojas, 2002).

La producción de lodos en los procesos unitarios típicos dependerá del porcentaje de aportación industrial, basura molida, el uso de químicos, control del proceso, cargas pico y condiciones climatológicas. Los tipos de lodos incluyen: lodo primario, lodo biológico, lodos químicos (Rojas, 2002).

### **8.2.2. Índice Volumétrico de Lodos**

Es un indicador para determinar la sedimentabilidad de un lodo. Por definición corresponde al volumen ocupado por un gramo de sólidos suspendidos al cabo de 30 minutos de sedimentación (Burchard, 2010).

### **8.2.3. Purga de lodos**

La purga del lodo es el exceso de sólidos que se eliminan del sistema de fangos activos. El exceso de lodo se elimina del sistema siendo bombeado directamente del fondo del clarificador, de la misma línea de recirculación o directamente del tanque de aireación. (Limón, 2013).

La purga de lodo mantiene un número óptimo de microorganismos en el sistema. Esto ayuda a mantener un buen nivel de tratamiento. La purga del lodo también mantiene a las bacterias con una adecuada actividad (Limón, 2013).

#### 8.2.4. Estabilización de lodos con cal

La adición de cal para la estabilización de lodos es un proceso sencillo que permite eliminar olores y patógenos mediante la creación de un pH igual a 12,0 durante más de dos horas. (Burchard, 2010).

Cuando se agrega cal, los microorganismos que producen los gases olorosos de la descomposición anaerobia son destruidos o inactivados, así como los patógenos. (Burchard, 2010).

La adición de cal también mejora las características de secado y sedimentación del lodo, reduce el poder fertilizante del lodo estabilizado en comparación con el lodo digerido anaerobiamente y aumenta su alcalinidad (Burchard, 2010).

### 8.3. Materiales, Equipos, Sustancias

A continuación se detalla los materiales, equipos, sustancias a utilizar en el desarrollo de la práctica (Ver Tabla 41).

**Tabla 41**

*Materiales, equipos y sustancias a utilizar en el desarrollo de la práctica de lodos.*

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Sustancias</b>
<b>Recipiente</b>	Conos inoff	Cal
<b>Vasos de precipitación de 200 ml</b>	Cámara fotográfica	

**Elaborado por:** Damián M., Silva G. 2016.

#### 8.4. Procedimiento de la práctica

Se recomienda formar grupos de 4 a 5 estudiantes para el desarrollo de la práctica.

**Figura 64.** Recolección de lodos.



**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.

- Para el desarrollo de la práctica se requiere que el lodo llegue hasta el nivel de la campana del prototipo de esa manera se formara el colchón de lodos dentro del prototipo.
- La purga de los lodos se realiza del prototipo mediante la llave de paso que conecta al equipo, se abre las llaves por pocos segundos e inmediatamente se cierra, se repite el mismo procedimiento, nuevamente se abre y se recoge el lodo.
- Se procede a determinar el volumen de los lodos obtenidos mediante vasos de precipitación o conos inoff, se homogeniza la muestra para su debida sedimentación durante 30 minutos, se anota el volumen medido que ocupa el fango sedimentado.
- Se procede a la estabilización de lodo con cal, se mezcla el lodo, previamente espesado con cal siendo la proporción cal: lodo, es de 1:3.
- Dar condiciones a los barros (elevado pH) para que no puedan desarrollarse microorganismos. Elevar el pH a 12, y que se mantenga, al menos 2 horas.

## **8.5 Discusión y exposición en el aula clase de los resultados**

Una vez que todos los grupos han participado en el desarrollo de la práctica, el docente asignara un tiempo determinado para que los alumnos expongan los resultados obtenidos.

## **6.6. Diseño organizacional de la propuesta**

La ejecución de la propuesta “Manual de prácticas para el clarificador circular de colchón de lodos (prototipo) en el tratamiento de aguas naturales y residuales.” Será puesta a consideración a la Dirección de la Carrera de Ingeniería Ambiental para que conjuntamente con los Docentes encargados de las Cátedras de Tratamiento de Aguas y de Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas y el Técnico encargado del Laboratorio en donde se encontrará el prototipo, para que realicen conjuntamente un cronograma de actividades y en ella conste el número de prácticas a realizarse en el laboratorio con los respectivos estudiantes.

## **6.7. Monitoreo y Evaluación de la propuesta**

### **6.7.1. Monitoreo**

El proyecto será evaluado cada semestre de acuerdo al número horas de prácticas que realicen los docentes con los estudiantes en el prototipo, de esta manera se podrá verificar la funcionalidad del mismo.

### **6.7.2. Evaluación**

Debido a la inexistencia de los equipos necesarios para la realización de las prácticas de los estudiantes en la cátedra de Tratamiento de Aguas y de Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas de la Carrera de Ingeniería Ambiental se propone la siguiente investigación ya que mediante el desarrollo de esta los estudiantes podrán acceder al uso del equipo para la realización de diferentes prácticas que desean realizar con sus respectivos docentes.

Con la presente investigación se espera obtener buenos resultados, ya que de una u otra manera el uso del prototipo en las diferentes prácticas a efectuarse, contribuirá a que los estudiantes refuercen los conocimientos teóricos adquiridos.



## CAPÍTULO VII

### BIBLIOGRAFÍA

#### Libros

- Asano, L. (2004), Wastewaterengineering: treatment and reuse, Londres, Inglaterra: McGraw-Hill).
- Arboleda, J. (2000).Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá: Mc Graw Hill y Acodal.
- Baker, D. (1990). Water Relations of the Banana. II. Physicochemical Aspects of the Latex and Other Tissue Fluids.
- Campos, I. (2000). Saneamiento Ambiental). San José-Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia Costa Rica.
- Cordero, R. (2014). Ingeniería Sanitaria y Ambiental (DISA).Mexico:Texere.
- Espinoza, S. (2009). Physicochemical characteristics of starches from unripe fruits of mango and banana. Mexico: Starch/ Stärke.
- Duprat, F. (1980). In les polymères végétaux. Paris: Monties.
- Gerard, J. (2007).Tratamiento de aguas negras y desechos industriales, México: Uteha.
- Metcalf & Eddy. (2003). Wastewater Engineering Treatment and Reuse.New York: McGraw-Hill

- Pastor, A. (2004). Quitina y Quitosano: Obtención, Caracterización y Aplicaciones. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Valenzuela, C. (2006). Obtención de quitosano de pota (*Dosidicus gigas*) empleando altas dosis de radiación gamma. Lima: Universidad San Marcos.
- Ortega, R (2009). Pollutant removal from oily wastewater discharged from car washes through sedimentation–coagulation. Maracaibo-Venezuela:Universidad de Zulia.
- Ramalho, R. (1996). Tratamiento de aguas residuales. Barcelona: Reverté.
- Ramalho, R. (2003). Tratamiento de aguas residuales segunda edición. Barcelona: Reverté.
- Rojas, J. (2002). Calidad del Agua. Medellín: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Shillingford, C. (1977). Control of banana fruit rot and of fungi that contaminate washing water. Puerto Rico:Trop.Sci .
- Von, M. (2007). Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal. Brasil: Planeta do Brazil.
- Coagulation Flocculation Process. En: Ain Shams Journal of Civil Engineering Egypt. 2:57-63.

### **Artículos científicos**

- Arias, M. (2015). Manejo del cultivo de banano. Revista Informativa del Instituto Nacional Autonomo de Investigaciones Agropecuarias. (Volumen 2), pp. 10-15.

- Andia, Y. (2000). Tratamiento de agua coagulación floculación. SEDAPAL. (Volumen 1), pp. 12-80.
- Baney, P. (2005). Comparison of chitins produced by chemical and bioprocessing methods. Chemical technology and biotechnology. (Volumen 2), pp. 2-18.
- Caldera, Y. (2009). Quitosano como coagulante durante el tratamiento de aguas de producción de petróleo. Universidad Popular del Cesar de Valledapur. (Volumen2), pp 23-40.
- Covas, C. (2006). Estudios sobre quitina y quitosano. Scientific & Technical. (Volumen 1), pp 5-13.
- Gacen, J. Gacen, I. (1996). Quitina y quitosano nuevos materiales textiles. Revista intexter upc. Volumen (4), pp. 110.
- Goycoolea, M. (2004). Microencapsulation of astaxanthin in a chitosan matrix. El sevier. (Volumen 4), pp. 8-10.
- Hernandez, I. (2004). Uso del quitosano obtenido de *Litopenaeus schmitti* en el tratamiento de agua para consumo humano Multiciencias, (Volumen 8), pp. 281-287.
- Kirk, E. Othmer, A. (1970). Polymers from renewable resources. Sigma-Aldrich. Volumen (1), pp. 12-30.
- Lárez, C. (2003). Revista Iberoamericana de Polímeros. Volumen (4), pp. 93-104.
- Pérez, L. (2010). Extracción y modificación de plátano cuatro filos. FAO. pp. 34-72.

- Pastor, A. Higuera, I. (2004). Características y aplicaciones de quitina y quitosano. Fondo editorial Pontífica Católica del Perú. Edición (1), pp. 312-345.
- Pérez, L. (2010). Extracción y modificación de plátano cuatro filos. FAO. pp. 34-72.
- Rinaundo, M. (2006). Chitin and Chitosan properties and applications. Marine drugs. (Volumen 31), pp. 603-632.
- Sandoval, J. (1989). Estudio de la anatomía y morfología de plantas de Musa in vitro en condiciones de aclimatación y en el campo. Turrialba, pp. 175.

#### **Fuentes electrónicas**

- Documentes. m. x. (2015, junio). Clasificación del tamaño de la partícula. Recuperado de: <http://www.elaguapotable.com/coagulacion-floculacion.htm>
- Carrero, Diego. (2015, septiembre). Coagulación. Recuperado de: [http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis\\_procesos/tema5.pdf](http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis_procesos/tema5.pdf)
- Correa, 2002. Residuos industriales líquidos. Revista agua Latinoamérica. Recuperado de: <http://www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/6Aidis%20Industriales.pdf>

## CAPÍTULO VIII

### APÉNDICES Y ANEXOS

## ANEXO 1

### Límites permisibles

**TABLA 1**

Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado Como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permissible</b>
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Aluminio	Al	mg/l	0,2
Amoniaco	N-Amoniacal	mg/l	1,0
Amonio	NH <sub>4</sub>	mg/l	0,05
Coliformes Totales	nmp/100 ml		3 000
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		600
Color	color real	unidades de color	100
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/l	2,0
Dureza	CaCO <sub>3</sub>	mg/l	500
Potencial de hidrógeno	Ph		6-9
Sólidos suspendidos		mg/l	100
Turbiedad		UTN	100

**Fuente:** Tulsma libro VI, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua.

## **ANEXO 2**

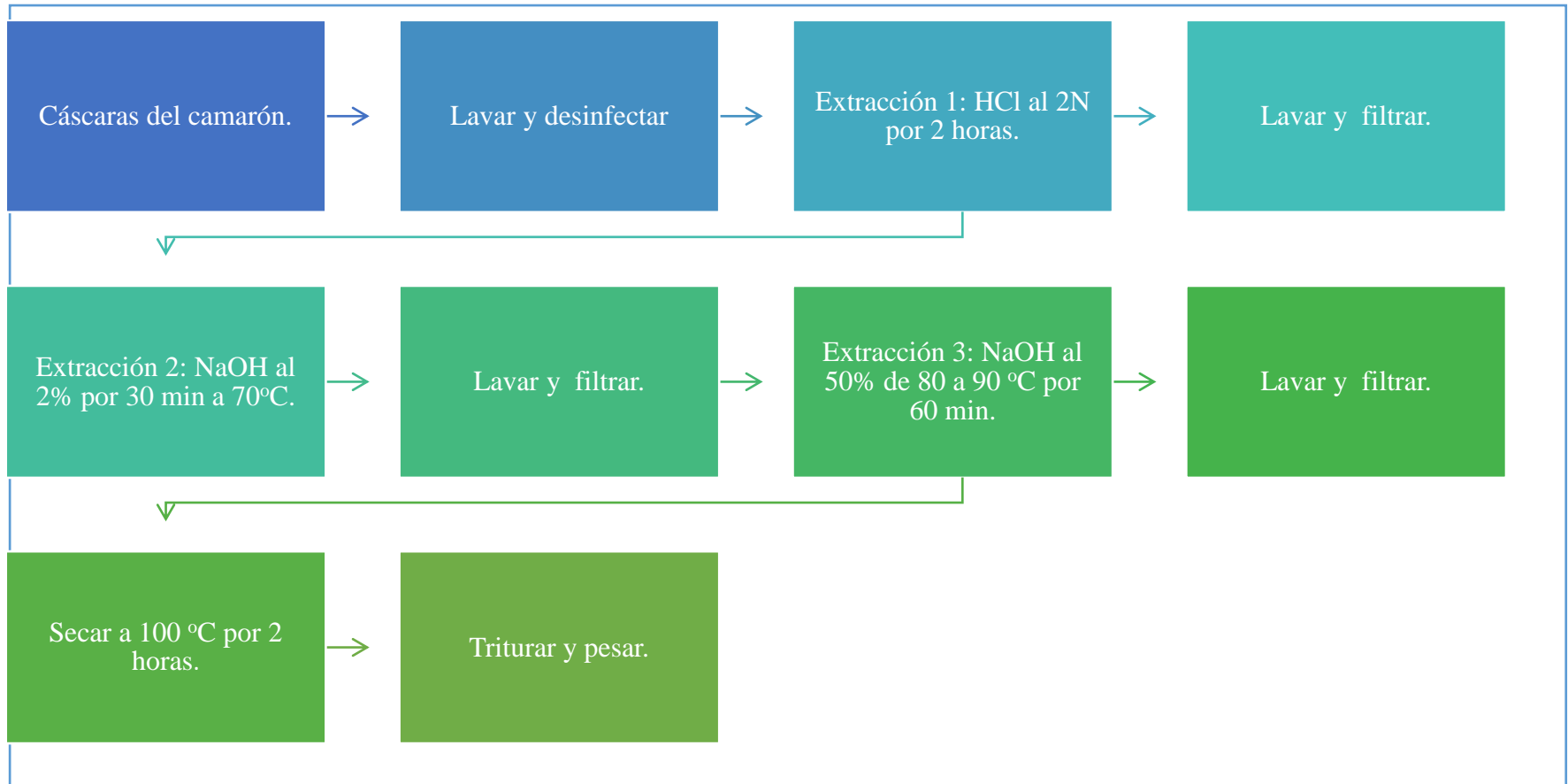
### **PLANO DEL SISTEMA DE CLARIFICACIÓN DE COLCHÓN DE LODOS**

## **ANEXO 3**

### **ESQUEMAS DE OBTENCIÓN DE COAGULANTES**

### Anexo 3.1. Esquemas de obtención del quitosano

**Figura 65.** Esquema de obtención de quitosano.

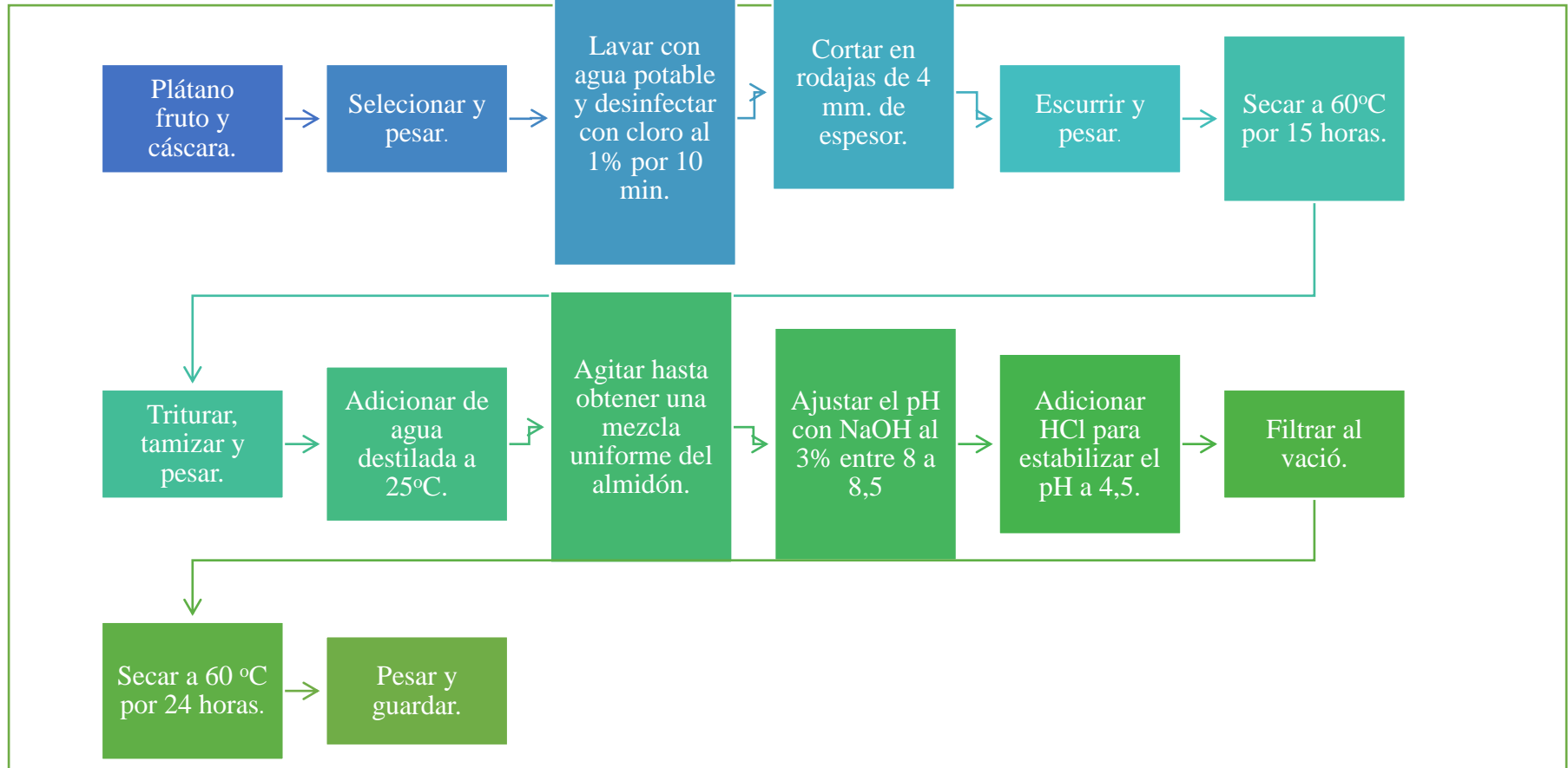


**Elaborado por:** Damián M., Silva G. 2016.



### Anexo 3.2. Esquemas de obtención del almidón de plátano

Figura 66. Esquemas de obtención del almidón de plátano.



Elaborado por: Damián M., Silva G. 2016.

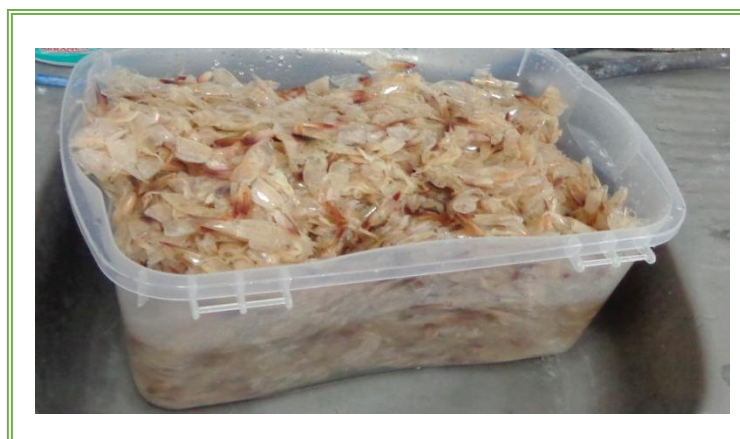
## **ANEXO 4**

### **REGISTRO FOTOGRÁFICO QUITOSANO**



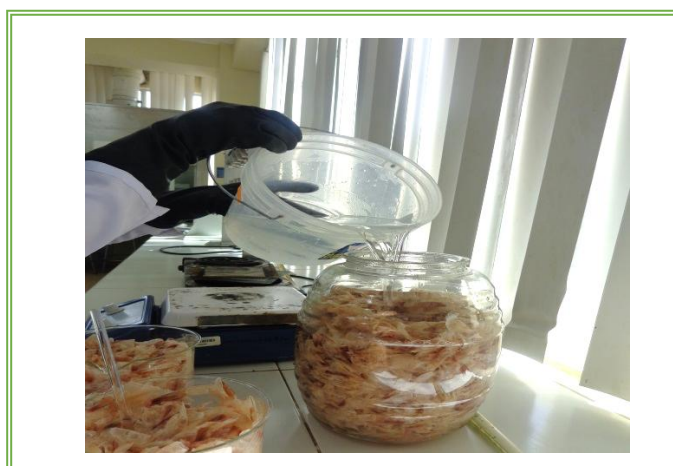
**Fotografía 1.** Materiales usados en la obtención.

**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.



**Fotografía 2.** Materia prima camarón.

**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.



**Fotografía 3.** Adición de ácido.

**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.



**Fotografía 4.** Secado de las cascadas de camarón.

**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.



**Fotografía 5.** Cáscaras de camarón después del secado

**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.



**Fotografía 6.** Quitosano en polvo.

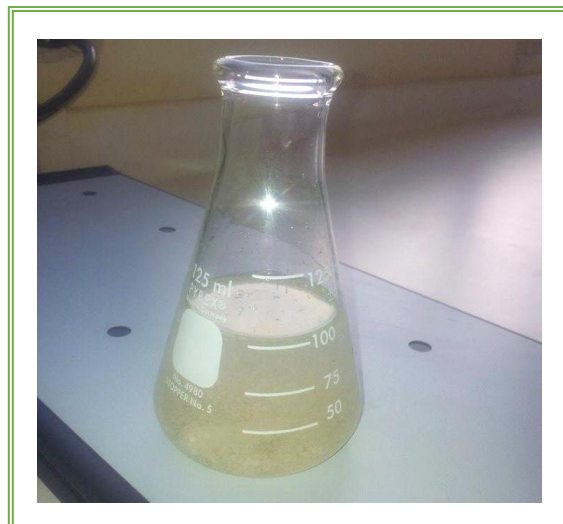
**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.



**Fotografía 7.** Preparación de la solución quitosano.  
**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.



**Fotografía 8.** Materiales, para la solución quitosano en ácido acético.  
**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.



**Fotografía 9.** Solucion de quitosano en el agitador magnético.  
**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.

## **ANEXO 5**

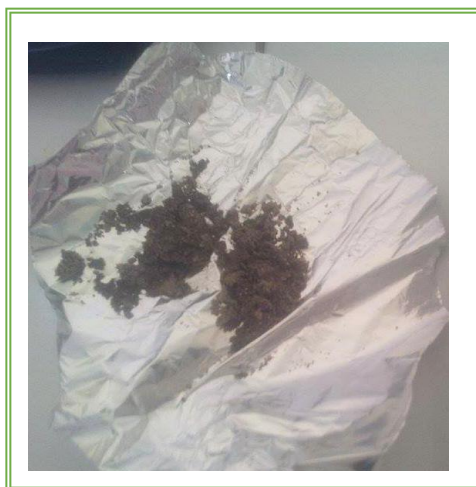
### **REGISTRO FOTOGRÁFICO DE ALMIDÓN DE PLÁTANO**



**Fotografía 10.** Materia prima para obtener almidón de plátano.  
**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.



**Fotografía 11.** Plátano en ácido cítrico.  
**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016.

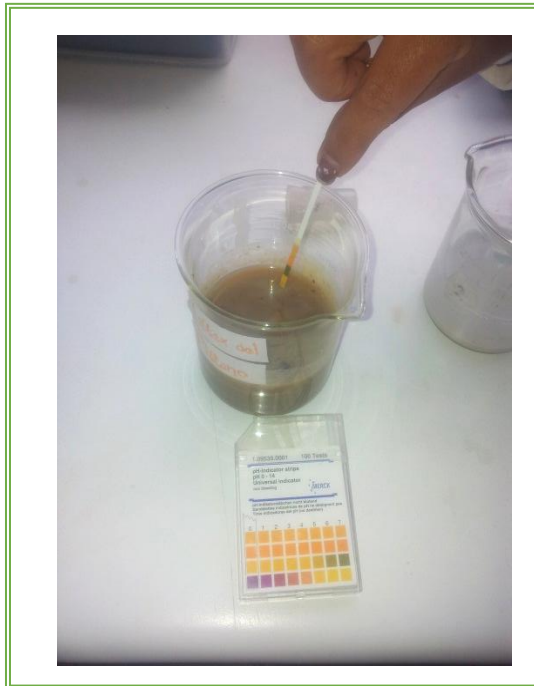


**Fotografía 12.** Almidón de plátano.  
**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016

## **ANEXO 6**

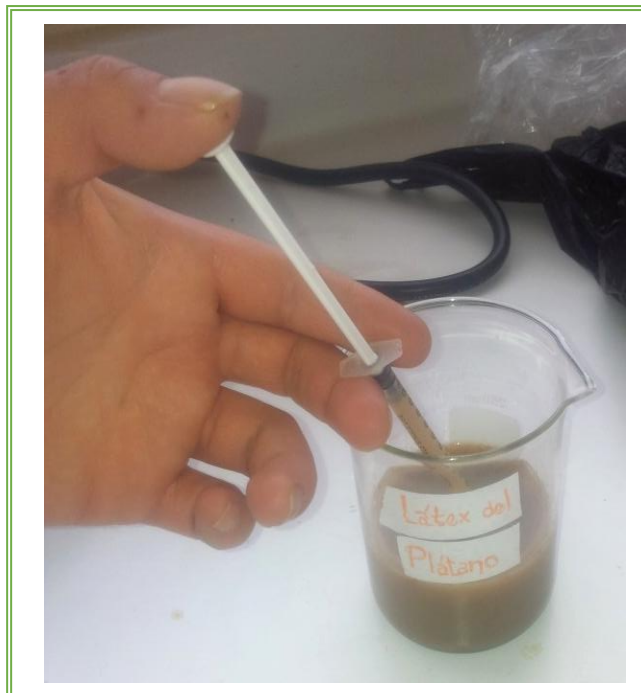
### **LÁTEX DE PLÁTANO**





**Fotografía 13.** Medición de pH del látex.

**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016



**Fotografía 14.** Látex de plátano.

**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016



**Fotografía 15.** Preparación de solución de látex.  
**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016



**Fotografía 16.** Solución de látex.  
**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016

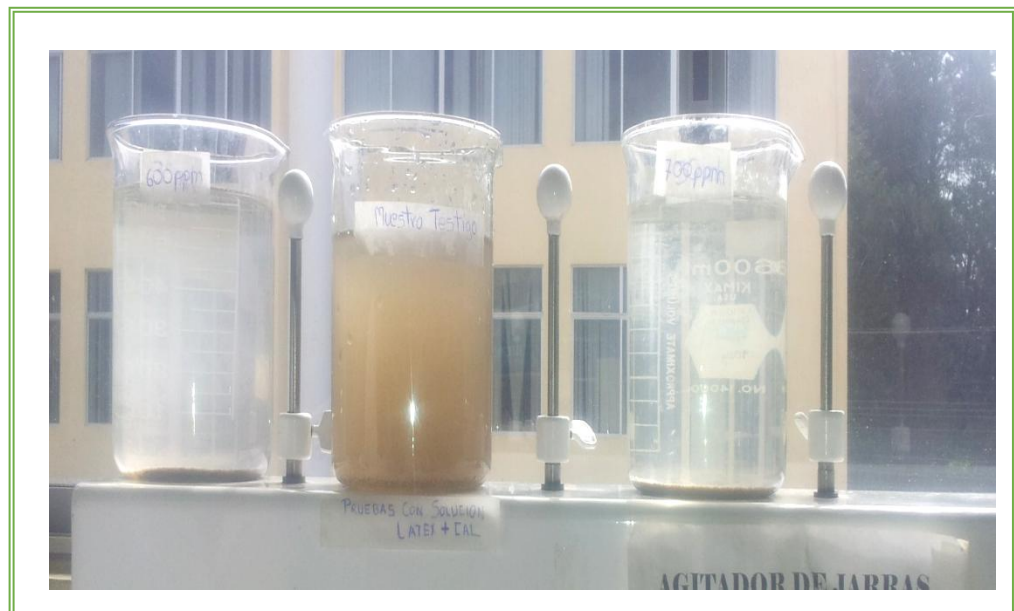
## **ANEXO 7**

### **REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PRUEBAS DE JARRAS**



**Fotografía 17.** Solución de coagulantes naturales.

**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016



**Fotografía 18.** Prueba de jarras con látex de plátano.

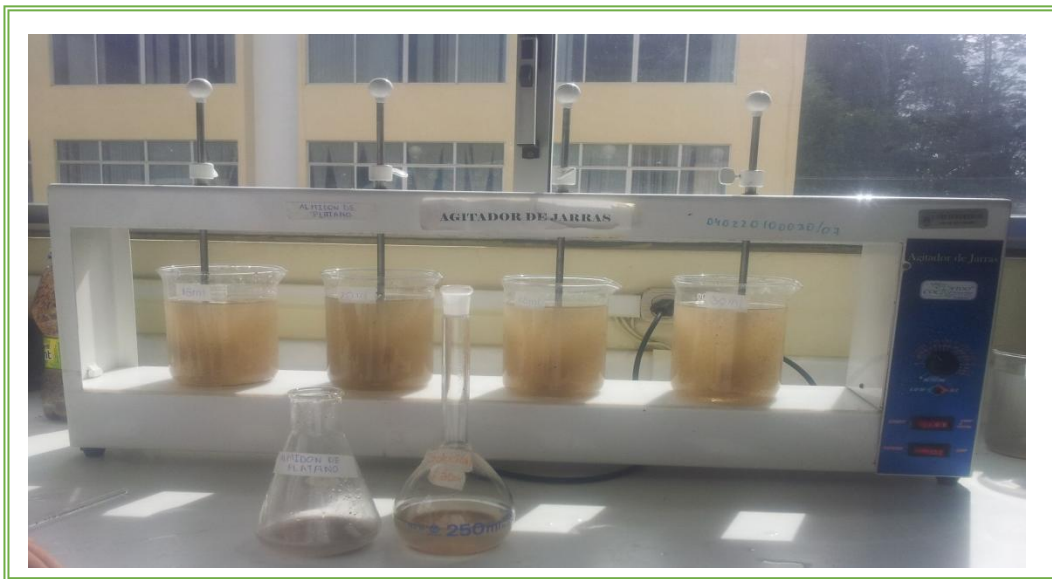
**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016



**Fotografía 19.** Prueba de jarras con sulfato de aluminio.  
**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016

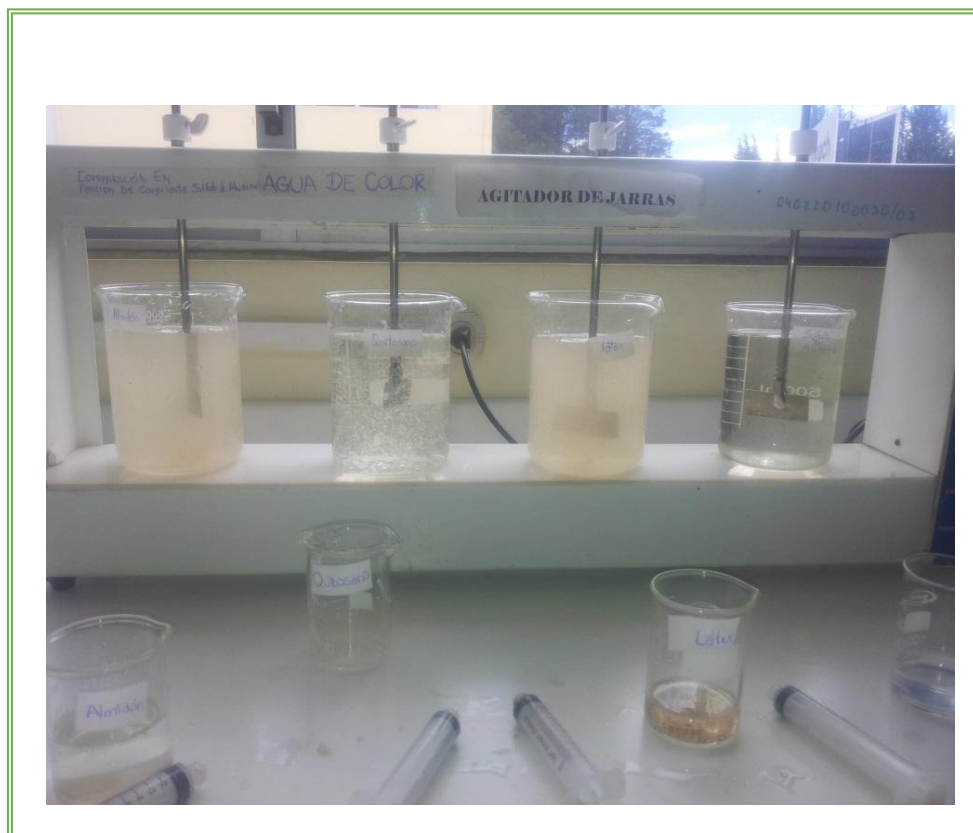


**Fotografía 20.** Prueba de jarras quitosano.  
**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016



**Fotografía 21.** Prueba de jarras almidón de plátano.

**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016

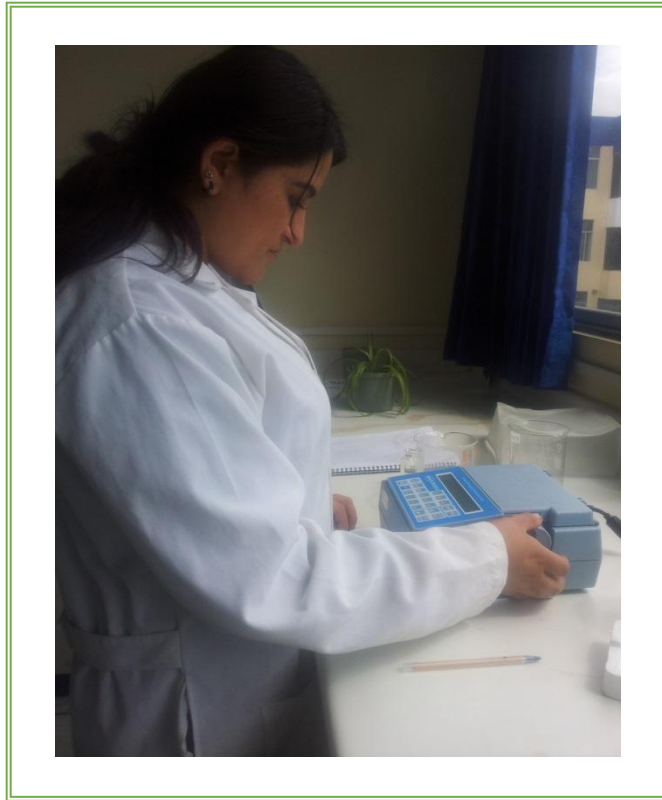


**Fotografía 22.** Comparación de coagulantes naturales en función del sulfato de aluminio.

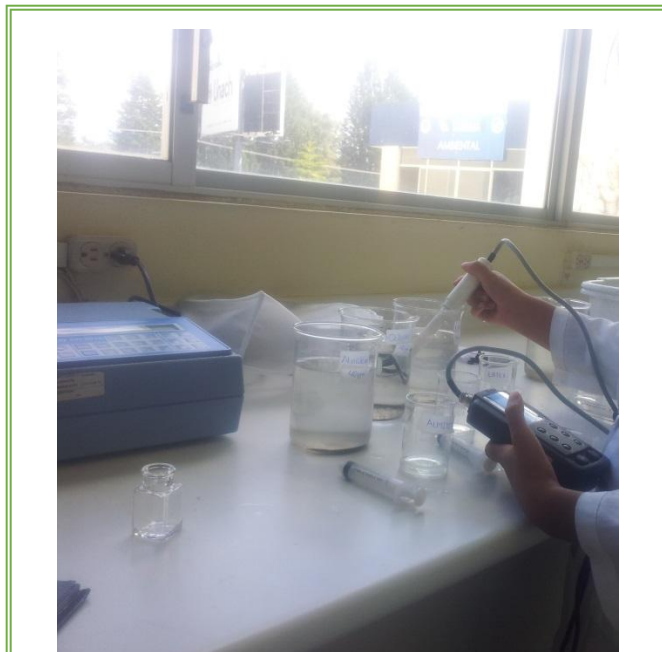
**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016

## **ANEXO 8**

### **REGISTRO FOTOGRÁFICO DE ANALISIS DE PARÁMETROS**

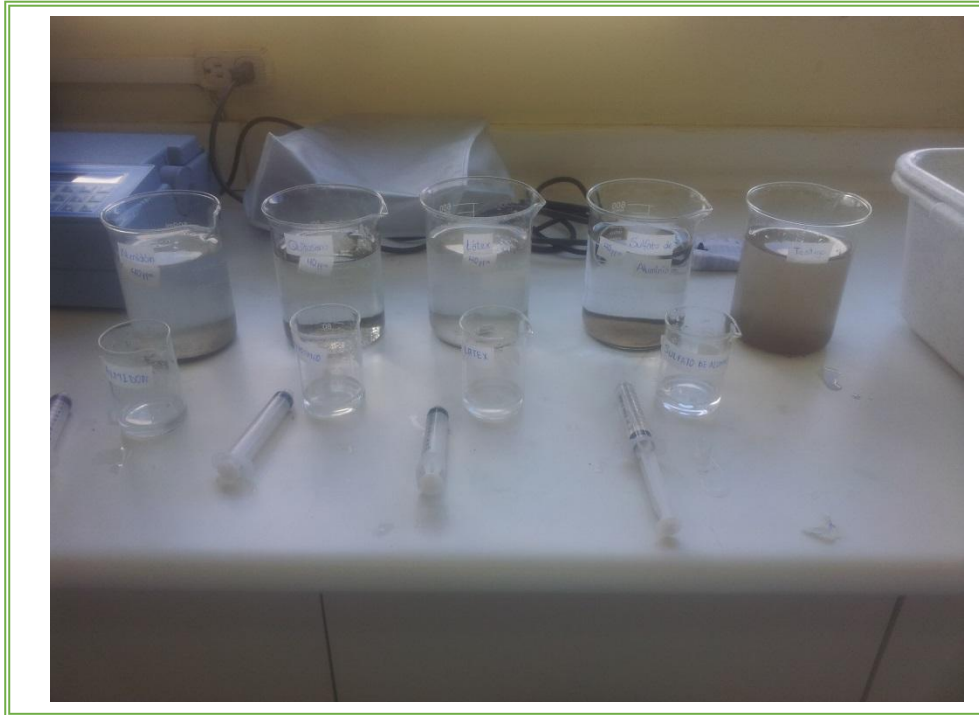


**Fotografía 23.** Utilización de equipo hach.  
**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016



**Fotografía 24.** Medición de pH.  
**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016





**Fotografía 25.** Preparación para toma de muestras.

**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016



**Fotografía 26.** Toma de muestra con la pipeta.

**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016

## **ANEXO 9**

**REGISTRÓ FOTOGRAFICÁ DE TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS**



**Fotografía 27.** Laguna de San Antonio de Padua.

**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016



**Fotografía 28.** Muestra de agua laguna

**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016



**Fotografía 29.** Muestras de aguas con turbiedad

**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016



**Fotografía 30.** Lodos del clarificador

**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016



***Fotografía 31.*** Sedimentación de lodos en la campana central.  
**Fuente:** Damián M., Silva G. 2016





