



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO

TEMA:

“DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL *OPUNTIA FICUS-INDICA* COMO
BIOCOAGULANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES DEL RÍO
BULUBULU”

AUTORES:

FREDDY GEOVANNY ATUPAÑA GUAMÁN

JESSICA ALEXANDRA GUACHO QUIROZ

DIRECTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

ING. LUIS BONILLA ABARCA, MSC

GUAYAQUIL – ECUADOR

2018-2019



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
UNIDAD DE TITULACIÓN



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE GRADUACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	“DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL <i>OPUNTIA FICUS-INDICA</i> COMO BIOCOAGULANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES DEL RÍO BULUBULU”		
AUTOR(ES) (apellidos/nombres):	ATUPAÑA GUAMÁN FREDDY GEOVANNY GUACHO QUIROZ JESSICA ALEXANDRA		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES) (apellidos/nombres):	ING. LUIS BONILLA ABARCA, MSC.		
INSTITUCIÓN:	Universidad de Guayaquil		
UNIDAD/FACULTAD:	Facultad de Ingeniería Química		
MAESTRÍA/ESPECIALIDAD:			
GRADO OBTENIDO:			
FECHA DE PUBLICACIÓN:	Abril/2019	No. DE PÁGINAS:	100
ÁREAS TEMÁTICAS:	Hidrología/ Calidad de las aguas		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Biocoagulante, <i>Opuntia Ficus-Indica</i> , tratamiento de agua, compuestos químicos, aguas superficiales, análisis fisicoquímicos, análisis microbiológico.		

RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar la eficiencia del *Opuntia Ficus-Indica* como biocoagulante para el tratamiento de aguas superficiales del río BuluBulu, donde se comprobó que estos compuestos orgánicos pueden reemplazar a los compuestos químicos normalmente usados en el tratamiento de agua. La recolección de la muestra de agua se realizó siguiendo lo establecidos en la Norma INEN 2 169:98 y INEN 2 176:1998, luego se realizaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos antes y después del tratamiento con el coagulante natural. Para la obtención del biocoagulante se procedió a realizar las siguientes operaciones: selección, lavado, pelado, cortado, secado, molienda, tamizado, extracción solido-liquido, por ultimo secado y pulverizado. Concluyendo con la determinación de la eficiencia promedio de la aplicación del biocoagulante de la penca de tuna (*Opuntia Ficus-Indica*) en el tratamiento de agua de rio donde se obtuvo un valor inicial de turbiedad de 47,6 NTU, color 40 Pt/Cu y un pH 7.49 y un valor final de turbiedad de 1.80 NTU, Color 14 Pt/Cu y un pH 6,97, alcanzando un porcentaje de remoción de turbiedad 96.21% y color 65%.

ADJUNTO PDF:	☐ SI	☐ NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0968437326 0993263034	E-mail: geovanny21996@gmail.com guacho_quiroz@hotmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Universidad de Guayaquil – Facultad de Ingeniería Química Teléfono: 04-229-2949 E-mail: www.fiq.ug.edu.ec	



ANEXO 6

FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERIA QUÍMICA
UNIDAD DE TITULACIÓN

CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD

Habiendo sido nombrado **ING. LUIS BONILLA ABARCA, MSC.**, tutor del trabajo de titulación, certifico que el presente proyecto ha sido elaborado por **FREDDY GEOVANNY ATUPAÑA GUAMÁN, C.C.: 0604911495** y **JESSICA ALEXANDRA GUACHO QUIROZ, C.C.: 0951564624**, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de **INGENIERO QUÍMICO**.

Se informa que el proyecto: **“DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL *OPUNTIA FICUS-INDICA* COMO BIOCOAGULANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES DEL RÍO BULUBULU”**, ha sido orientado durante todo el periodo de ejecución en el programa antiplagio (URKUND) quedando el 2% de coincidencias.

[https://secure.arkund.com/view/47225293-](https://secure.arkund.com/view/47225293-518156783240#q1bKLvayjay0DGy1DE20DE2jNVRKs5Mz8tMy0xOzEtOVbly0DMwNDK0NDMzMzayNDMytbAwMa8FAA==)

[518156783240#q1bKLvayjay0DGy1DE20DE2jNVRKs5Mz8tMy0xOzEtOVbly0DMwNDK0NDMzMzayNDMytbAwMa8FAA](https://secure.arkund.com/view/47225293-518156783240#q1bKLvayjay0DGy1DE20DE2jNVRKs5Mz8tMy0xOzEtOVbly0DMwNDK0NDMzMzayNDMytbAwMa8FAA==)

A==

ING. LUIS BONILLA ABARCA, MSC.
TUTOR

**FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA****CARRERA DE INGENIERIA QUÍMICA****UNIDAD DE TITULACIÓN**

**LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO EXCLUSIVA
PARA EL USO NO COMERCIAL DE LA OBRA CON FINES NO
ACADÉMICOS**

Nosotros, ATUPAÑA GUAMÁN FREDDY GEOVANNY, C.C.: 0604911495y GUACHO QUIROZ JESSICA ALEXANDRA, con C.C.: 0951564624, certificamos que los contenidos desarrollados en este trabajo de titulación, cuyo título es “DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL *OPUNTIA FICUS-INDICA* COMO BIOCOAGULANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES DEL RÍO BULUBULU”, son de nuestra absoluta propiedad y responsabilidad Y SEGÚN EL Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN*, autorizamos el uso de una licencia gratuita intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la presente obra con fines no académicos, en favor de la Universidad de Guayaquil, para que haga uso del mismo, como fuera pertinente

*CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN (Registro Oficial n. 899 - Dic./2016) Artículo 114.- De los titulares de derechos de obras creadas en las instituciones de educación superior y centros educativos.- En el caso de las obras creadas en centros educativos, universidades, escuelas politécnicas, institutos superiores técnicos, tecnológicos, pedagógicos, de artes y los conservatorios superiores, e institutos públicos de investigación como resultado de su actividad académica o de investigación tales como trabajos de titulación, proyectos de investigación o innovación, artículos académicos, u otros análogos, sin perjuicio de que pueda existir relación de dependencia, la titularidad de los derechos patrimoniales corresponderá a los autores. Sin embargo, el establecimiento tendrá una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra con fines académicos.

ATUPAÑA GUAMÁN FREDDY GEOVANNY

C.C.: 0604911495

GUACHO QUIROZ JESSICA ALEXANDRA

C.C.: 0951564624

AGRADECIMIENTO

Agradecido con Dios por darme la vida y salud para poder cumplir uno de mis sueños, por ser mi guía a lo largo de esta carrera y en momentos muy duros, porque gracias a su voluntad estoy culminando uno de los objetivos más importantes.

A mis queridos padres José Atupaña y Juana Guamán, por su esfuerzo, entrega y sacrificio por dar el mejor legado que es la educación, por haberme inculcado valores y principios en el transcurso de mi vida.

A mi hermana y a todos mis tíos por haber estado en todo momento con su ayuda incondicional, quienes con sus consejos sabios me brindaron apoyo para no rendir.

A Noemí Copa por ser la persona más importante de mi vida, que me ha apoyado en momentos muy duros, quien con sus palabras fue parte para poder llegar a culminar esta carrera.

A la Universidad Guayaquil en especial a la Carrera de Ingeniería Química por abrir las puertas y todos mis docentes por impartir sus conocimientos, al Ing. Luis Bonilla Abarca y a la Dra. Mirella Bermeo, por brindar sus conocimientos y apoyo para poder terminar con éxito este trabajo de titulación.

Freddy Geovanny Atupaña Guamán

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad, por darme, salud, sabiduría y conocimiento para culminar con éxito mis metas propuestas.

A mis padres, Luis Guacho y Elena Quiroz por confiar y creer en mí, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

A mi querido Miguel Alvarado por ser el apoyo incondicional en mi vida, que, con su amor y respaldo, me ayuda alcanzar mis objetivos.

A mis hermanos, tías, abuelas, por llenarme de alegría día tras día y por brindarme su apoyo incondicional.

A mis amigas Eliza, María, Carmen a quienes estimo tanto, gracias por todo el apoyo brindado.

Agradezco al Ing. Luis Bonilla Abarca, Msc y a la Dra. Mirella Bermeo, que gracias a su conocimiento y ayuda pude concluir con éxito el trabajo de investigación.

Un total agradecimiento a todas y cada una de las personas que han conformado parte en mi formación profesional.

Jessica Alexandra Guacho Quiroz

DEDICATORIA

A Dios por darme fortaleza y sabiduría en este proceso de vida para poder vencer y salir victorioso en las dificultades que se presentaron en lo largo del camino.

A mis padres en especial a mi madre por estar con su ayuda incondicional en todo momento, por su cariño, su apoyo, su dedicación y empeño por ayudarme a ser una persona de bien. Por tanto, esfuerzo para alcanzar este triunfo, y sobre todo por ser ese ejemplo de vida que hizo de mí la persona que soy ahora. A usted le debo este logro y con usted la comparto.

A cada uno de mis tíos por su apoyo, porque cada uno de ustedes regaron un granito de arena en mi vida para poder llegar a lograr a este objetivo.

Freddy Geovanny Atupaña Guamán

DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida y estar siempre conmigo, guiándome en mí camino.

A mis Padres, el esfuerzo y las metas alcanzadas, refleja la dedicación, el amor que invierten ellos en nosotros. Gracias a mis padres soy quien soy hoy en día, orgullosamente y con la cara muy en alto agradezco a Luis Alfredo Guacho y Elena Quiroz Cuvi, mi mayor inspiración, gracias a ellos he concluido con mi mayor meta.

A mi hijo Adrián y a mi hermana Rosa, que son mi principal motivación para seguir adelante, son ustedes la razón de mis esfuerzos del presente y el mañana.

Jessica Alexandra Guacho Quiroz



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



Autores:

Atupaña Guamán Freddy Geovanny

Guacho Quiroz Jessica Alexandra

Tutor:

ING. LUIS BONILLA ABARCA, MSC

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar la eficiencia del *Opuntia Ficus-Indica* como biocoagulante para el tratamiento de aguas superficiales del río Bulubulu, donde se comprobó que estos compuestos orgánicos pueden reemplazar a los compuestos químicos normalmente usados en el tratamiento de agua. La recolección de la muestra de agua se realizó siguiendo lo establecidos en la Norma INEN 2 169:98 y INEN 2 176:1998, luego se realizaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos antes y después del tratamiento con el coagulante natural. Para la obtención del biocoagulante se procedió a realizar las siguientes operaciones: selección, lavado, pelado, cortado, secado, molienda, tamizado, extracción solido-liquido, por ultimo secado y pulverizado. Concluyendo con la determinación de la eficiencia promedio de la aplicación del biocoagulante de la penca de tuna (*Opuntia Ficus-Indica*) en el tratamiento de agua de río donde se obtuvo un valor inicial de turbiedad de 47,6 NTU, color 40 Pt/Cu y un pH 7.49

y un valor final de turbiedad de 1.80 NTU, Color 14 Pt/Cu y un pH 6,97, alcanzando un porcentaje de remoción de turbiedad 96.21% y color 65%.

Palabras clave: Biocoagulante, *Opuntia Ficus-Indica*, tratamiento de agua, compuestos químicos, aguas superficiales, análisis fisicoquímicos, análisis microbiológico.



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



Authors:

Atupaña Guamán Freddy Geovanny

Guacho Quiroz Jessica Alexandra

Advisor:

ING. LUIS BONILLA ABARCA, MSC

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the efficiency of *OpuntiaFicus-Indica* as a biocoagulant for the treatment of surface waters of the Bulubulu River, where it was proved that these organic compounds can replace the chemical compounds normally used in water treatment. The collection of the water sample was carried out following the provisions of the Standard INEN 2 169: 98 and INEN 2 176: 1998, then physicochemical and microbiological analyzes were carried out before and after the treatment with the natural coagulant. To obtain the biocoagulant, the following operations were carried out: selection, washing, peeling, cutting, drying, grinding, sieving, solid-liquid extraction, finally drying and pulverizing. Concluding with the determination of the average efficiency of the application of the biocoagulant of the prickly pear (*OpuntiaFicus-Indica*) in the treatment of river water where an initial turbidity value of 47.6 NTU was obtained, color 40 Pt / Cu and a pH 7.49 and a final turbidity value of 1.80 NTU, Color 14 Pt / Cu and a pH 6.97, reaching a percentage of removal of turbidity 96.21% and color 65%.
Key words: Biocoagulant, *OpuntiaFicus-Indica*, water treatment, chemical compounds, surface water,

INDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD.....	IV
LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO EXCLUSIVA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
DEDICATORIA.....	VIII
DEDICATORIA.....	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	11
1. CAPÍTULO I.....	13
1.1 EL PROBLEMA	13
1.1.1 Planteamiento del problema	13
1.2 FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.2.1 Formulación del problema de investigación	14
1.2.2 Sistematización del problema	15
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.3.1 Justificación teórica	15
1.3.2 Justificación metodológica	16
1.3.3 Justificación práctica.....	16

1.4	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.4.1	Objetivo general	17
1.4.2	Objetivo específico	17
1.5	DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.5.1	Delimitación temporal	18
1.5.2	Delimitación espacial	18
1.5.3	Delimitación del contenido	20
1.6	HIPÓTESIS	20
1.6.1	Variable independiente	20
1.6.2	Variable dependiente	20
1.6.1	Operacionalización de las variables	21
2.	CAPÍTULO II	23
2.1	MARCO DE REFERENCIA	23
2.2	Marco Teórico	23
2.2.1	Tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>)	23
2.2.1.1	Clasificación taxonomía	24
2.2.1.2	Clasificación científica	25
2.2.1.3	Característica morfológica	26
2.2.1.6	El mucílago del <i>Opuntia ficus-indica</i>	28
2.2.1.7	Composición química del mucílago	28

2.2.1.8 Mucilago como agente depurador.....	29
2.2.1.9 Usos y aplicaciones	29
2.2.2 Biocoagulante.....	30
2.2.3 Coagulación-floculación	30
2.2.3.1 Coagulación	30
2.2.3.2 Floculación	31
2.2.3.3 Mecanismo de coagulación	31
2.2.3.4 Neutralización de cargas por adsorción	33
2.2.3.5 Mecanismo de barrido	34
2.2.3.6 Factores que influyen en la Floculación-Coagulación	34
2.2.3.7 Principales coagulantes	35
2.2.3.7.1 Coagulantes metálicos.....	35
2.2.4 Mecanismo de acción coagulación/floculación del mucilago <i>Opuntia Ficus-Indica</i>	36
2.2.5 Agua superficial	38
2.2.6 Parámetros de control de la calidad de agua	38
2.2.6.1 Características físicas	39
2.2.6.2 Características químicas	40
2.2.6.3 Características biológicas.....	41
2.3 MARCO CONCEPTUAL	42

2.4	MARCO CONTEXTUAL.....	43
2.4.1	Coagulantes utilizados en el Ecuador	43
2.4.2	<i>Producción en el Ecuador</i>	44
2.4.3	Producción en la región sierra norte del Ecuador.....	44
2.4.4	Tipo de tuna en Ecuador.....	45
3	CAPÍTULO III.....	47
3.1	Metodología de la investigación.....	47
3.2	Materiales y equipos	47
3.3	Diseño de la investigación.....	48
3.3.1	Obtención del biocoagulante de la penca de tuna.....	48
3.3.2	Evaluación del poder del biocoagulante	49
3.3.3	Preparación de la solución madre	49
3.3.4	Prueba de Jarras.....	49
3.4	Toma de muestra.....	51
3.4.2	Normas aplicadas	51
3.4.2.1	Para realizar la caracterización de muestra.....	52
4	CAPÍTULO IV.....	53
4.1	Resultados.....	53
4.1.1	Selección de dosis óptima del coagulante de las pecas de tuna (<i>Opuntia Ficus Indica</i>).....	53

4.1.1.1	pH después del tratamiento con coagulante de <i>Opuntia Ficus-Indica</i>	55
4.2	Resultados utilizado con el coagulante de sulfato de aluminio a las mismas dosificaciones.....	56
4.2.1	pH después del tratamiento con coagulante de Sulfato de Aluminio	58
4.3	Comparación de la eficiencia entre el biocoagulante de <i>Opuntia ficus Indica</i> y el coagulante de sulfato de aluminio	59
4.4	Resultados microbiológicos	60
4.5	Eficiencia de los parámetros de estudio con el uso del biocoagulante en el río Bulubulu.....	62
4.6	Análisis de Resultado.....	63
5.	CAPÍTULO V.....	66
5.1	Conclusiones	66
5.2	Recomendaciones	68
5.3	Abreviatura	69
5.4	Bibliografía	70
5.5	Anexos	75
	Anexo A: Selección de dosis óptima del coagulante de las pecas de tuna (<i>Opuntia Ficus Indica</i>).	75
	Anexos B fotografías	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de la variable.....	21
Tabla 2 Clasificación Taxonomía.....	24
Tabla 3 Descripción completa de la clasificación científica.....	25
Tabla 4 Clasificación de los contaminantes que existe en el agua	38
Tabla 5 Características físicas del agua	39
Tabla 6 Características químicas del agua	40
Tabla 7 Características microbiológicas	41
Tabla 8 Materiales y equipos.....	47
Tabla 9 Parámetros para la caracterización de la muestra	52
Tabla 10 Dosis optima del biocoagulante de Opuntia Ficus Indica.....	53
Tabla 11 Porcentaje de remoción de turbiedad y color del mejor test de jarras con el coagulante de Opuntia Ficus Indica	54
Tabla 12 Variación del pH antes y después de realizar el tratamiento con el biocoagulante de Opuntia Ficus-Indica	55
Tabla 13 Dosis óptima del Coagulante de Sulfato de Aluminio.....	56
Tabla 14 Porcentaje de remoción de color y turbidez del mejor test de jarras usando solo Sulfato de Aluminio.....	57
Tabla 15 Variación del pH antes y después del tratamiento del coagulante de Sulfato de Aluminio	58
Tabla 16 Coliformes fecales en agua de río Bulubulu.....	60
Tabla 17 Coliformes fecales en el agua tratada con el Biocoagulante de Opuntia Ficus- Indica	61

Tabla 18 Coliformes totales en agua de río Bulubulu.....	61
Tabla 19 Coliformes totales en el agua tratada con el Biocoagulante de Opuntia Ficus-Indica	61
Tabla 20 Determinación de la eficiencia de los parámetros físico-químicos y microbiológicos con el uso del biocoagulante en el agua del río Bulubulu.	62
Tabla 21 Resultados en busca de la dosis óptima de biocoagulante de las pecas de tuna (Opuntia Ficus Indica). (Primer test de jarras).....	75
Tabla 22 Porcentaje de remoción de turbiedad y color del primer test de jarras con el biocoagulante de Opuntia Ficus Indica	76
Tabla 23 Resultados en busca de la dosis óptima de biocoagulante de las pecas de tuna (Opuntia Ficus Indica). (segundo test de jarras)	77
Tabla 24 Porcentaje de remoción de turbiedad y color del primer test de jarras con el biocoagulante de Opuntia Ficus Indica	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la Facultad de Ingeniería Química	19
Figura 2 Ubicación del Rio BuluBulu	19
Figura 3 Tuna (Opuntia ficus-indica)	23
Figura 4 Tallo (Opuntia ficus-indica)	26
Figura 5 Flores (Opuntia ficus-indica)	26
Figura 6 Fruto (Opuntia ficus-indica)	27
Figura 7 Hojas (Opuntia ficus-indica)	27
Figura 8 Esquema propuesta del mucilago de Opuntia Ficus Indica	28
Figura 9 Fuerza de Atracción de Van der Waals	32
Figura 10 Teoría de doble capa eléctrica	33
Figura 11 Ácido poligalacturónico	37
Figura 12 Diagrama de Flujo de Elaboración del Biocoagulante Opuntia Ficus-Indica	42
Figura 13 Provincias donde se producen tunas	44
Figura 14 Tuna Silvestre	45
Figura 15 Amarilla con espinas	46
Figura 16 Tuna blanca	46
Figura 17 Amarilla sin espina o de Castilla	46
Figura 18 Coagulante de penca de tuna (Opuntia ficus-indica)	49
Figura 19 Equipo de test de jarra del laboratorio de agua	50
Figura 20 Ubicación del Rio BuluBulu	51

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1	Concentración de coagulante y % remoción de color y turbiedad.....	54
Gráfica 2	Comparación de la variación del pH inicial y final al añadir el coagulante de Opuntia Ficus-Indica.	55
Gráfica 3	Concentración de coagulante y porcentaje de remoción de color y turbidez	57
Gráfica 4	Comparación de la variación del pH antes y después de añadir el coagulante de Sulfato de Aluminio.....	58
Gráfica 5	Comparación de remoción de turbiedad entre el sulfato de aluminio y el biocoagulante de Opuntia ficus Indica (tuna).....	59
Gráfica 6	Comparación de remoción de turbiedad entre el sulfato de aluminio y el biocoagulante de Opuntia ficus Indica (tuna).....	59
Gráfica 7	Comparación de variedad de pH entre el sulfato de aluminio y el biocoagulante de Opuntia ficus Indica (tuna)	60
Gráfica 8	Determinación de la eficiencia de los parámetros físico-químicos y microbiológicos con el uso del biocoagulante en el agua del río Bulubulu.	62

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍA

Fotografía 1 Selección de pencas.....	79
Fotografía 2 Pelado de pencas.....	79
Fotografía 3 Cortado de penca.....	79
Fotografía 4 Secado de penca	79
Fotografía 5 Molienda.....	80
Fotografía 6 Tamizado de la penca.....	80
Fotografía 7 Extracción de la pigmentación	80
Fotografía 8 Coagulante de penca	80
Fotografía 9 Solución madre	81
Fotografía 10 Turbidímetro HACH 2100P	81
Fotografía 11 Colorímetro HACH 890	81
Fotografía 12 pH metro	82
Fotografía 13 Agua de río antes y después del tratamiento con el coagulante Opuntia Ficus-Indica	82
Fotografía 14 Formación de Floc al añadir el coagulante	83
Fotografía 15 Análisis fisicoquímico de la muestra inicial	84
Fotografía 16 Análisis fisicoquímico del agua tratada.....	85
Fotografía 17 Análisis microbiológico inicial del agua de río	87
<i>Fotografía 1 Análisis microbiológico final del agua de río.....</i>	<i>87</i>

INTRODUCCIÓN

El agua es primordial para la existencia de vida en nuestro planeta, los seres vivos en su totalidad necesitamos de agua para sobrevivir.

Por lo cual la humanidad se ha puesto a almacenar y distribuir agua desde las primeras décadas, con diferentes técnicas como almacenamiento, limpieza y distribución así también las infraestructuras y las diferentes tecnologías descubiertas para el tratamiento, reciclado y depuración de aguas.

En algunos países todavía no cuentan con agua purificada, para ello se han ido realizando nuevas investigaciones de tecnologías que son indispensables para realizar el respetivo tratamiento de aguas para realizar la potabilización de la misma. Por ello se han enfocado en la obtención de coagulantes a partir de recursos sustentables. Una de las investigaciones que se ha conocido y ha sobresalido es la que fue investigada en Venezuela al Cactus latitaría, como también a la semilla de *Prosopis juliflora*; estas plantas fueron utilizadas, después de extraer como agentes, para el tratamiento de aguas sintéticas, teniendo en cuenta que esta agua tenia características parecidas al de las aguas crudas que son manejadas en los diferentes procesos de potabilización. (Escobar, 2018)

En el año 2004, se realizó el proceso de extracción de la Tuna (*Opuntia Cochinellífera*), y su respectivo análisis de un polielectrolitos de origen natural. La extracción de esta planta se realizó con diferentes procesos de operaciones unitarias, que son muy conocidas como el secado, molienda, tamizado, lixiviación usando alcohol etílico, filtración y el proceso de evaporación. Para poder realizar la caracterización de este biocoagulante se sometió a una espectroscopia infrarroja,

el cual permite identificar si es un polielectrolitos, efectivamente salió como resultado positivo y para poder saber de su capacidad como coagulante, se analizó la técnica de la prueba de test de jarras, con diferentes aguas potables turbias que mostraban una turbidez de 49 NTU, 199 UPC y un pH de 9,14, los resultados finales se mostró una eficiencia muy alta como coagulante en comparación a los coagulantes metálicos más utilizados en tratamiento de aguas, y una eficiencia mediana al coagulante natural y una baja eficiencia con los sintéticos. (Vilanova , Santín, & Pedret, 2017)

En 2013, se realiza la caracterización de la tuna (*Opuntia Ficus Indica*) para el utilizar como un coagulante natural, entonces las pectas de esta planta se sometió a diferentes operaciones para extraer este agente biocoagulante que es el corte de pencas, pelado, secado, molienda, tamizado y por ultimo una despigmentación, el cual se evaluó la efectividad del poder coagulante, por lo tanto, se realizó el análisis previo del efecto de tres concentraciones de lo que es la turbiedad, color, y el pH del agua potable. Los resultados finales indicaron que este biocoagulante el poder de remover un porcentaje fiable que es de 70% de turbidez, y 50% del color de aguas crudas con concentraciones muy altas en lo que es la turbidez inicial, y no altera su pH, si no que se mantiene. (Villabona Ortiz, Paz Astudillo, & Martínez García, 2013)

1. CAPÍTULO I

1.1 EL PROBLEMA

1.1.1 Planteamiento del problema

Para el desarrollo y crecimiento de todos los seres vivos, el agua es el sustento más importante, el cual es muy utilizado para distintas actividades provechosas que cumple el ser humano en su diario vivir. (Chavez, 2018)

En los últimos años algunos sectores consumen agua de mala calidad, este tipo de casos se dan por lo que las comunidades no pueden contar con coagulantes sintéticos o recursos necesarios, para realizar la respectiva potabilización de aguas.

Uno de los problemas más relevantes del Rio Bulubulu, es la turbiedad, color, metales pesados y diferentes microorganismos provocados por la presencia de partículas coloidales, como también poseen en su superficie cargas eléctricas negativas en gran parte, son aquellas cargas que crean barreras repulsivas entre sí, por lo que se imposibilita la aglomeración de la misma, es por ello que se necesita iniciar con una propuesta de alteración promoviendo la adición de coagulantes para crear un cambio de las características de la superficie de partículas, el cual es uno de los pasos más relevantes al momento de realizar el tratamiento de aguas. (Vallejo & Zapata, 2014)

La coagulación es una de los puntos más críticos, que solamente se puede conseguir al momento de adicionar un agente que pueda remover, como es el caso del coagulante, el cual es capaz de poder neutralizar cargas electroestáticas que existen en los coloides suspendidos en el agua, dando lugar a la formación de aglomeración hasta que se realice macropartículas de fácil sedimentación. (Billabona, Paz, & Martínez, 2013)

En los últimos años los coagulantes más usados, son en su mayoría de sales metálicas y polielectrolitos sintéticos. Debido a que este agente es uno de los principales causantes de los problemas ambientales, llegando a ser muy tóxicos al momento de utilizar altas concentraciones, ya que estos químicos son arrastrados generando lodos al sedimentador en el momento de realizar su debido proceso. Asimismo, al ser un producto técnico y especializado con una alta demanda en el mercado comercial, ya que este producto tiene un precio alcanzable. Por ellos es que se debe considerar, buscar nuevos recursos para la producción de estos coagulantes y que sean amigables con el medio ambiente, dando lugar el acceso a la economía del país. (Bravo, 2017)

Los coagulantes naturales más utilizados en diferentes países tenemos: lo que es moringa, trigo, yuca, papa, cactus, maíz, nopal y entre otras, algunos de estos productos son aprovechados por su alto contenido de almidón, debido a que se encuentra en gran abundancia en el Reino Vegetal (Ojeda, 2012)

Ecuador es uno de los países muy rico en flora, por ellos es conveniente realizar investigación para el aprovechamiento de estos recursos, que puedan contribuir en el tratamiento de agua, que sea en condiciones eficiente y económica para la empresa (Escobar, 2018)

1.2 FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Formulación del problema de investigación

¿Es posible obtener la eficiencia del biocoagulante a base de *Opuntia Ficus-Indica* para la aplicación de tratamiento de aguas superficiales del río Bulubulu que influyen en la separación de partículas suspendidas y coloidales?

1.2.2 Sistematización del problema

- ¿Cuáles son los Parámetros Analizados?: ¿turbidez, pH, y color, en las aguas tratadas?
- ¿Aplicando el análisis de Prueba de Test de Jarras en Aguas crudas, será posible obtener una concentración apropiada del biocoagulante?
- ¿Cuál será la eficiencia del Biocoagulante al momento de realizar pruebas de tratabilidad?

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Justificación teórica

En la actualidad la mayoría de los países se ha enfocado al desarrollo de tratamiento de aguas, por motivos de la contaminación, estas técnicas consisten en varios de procesos físicos, químicos y biológicos que tiene como objetivos eliminar los contaminantes que existe o están presentes en el agua, utilizando coagulantes y floculantes metálicos o sintéticos como es el sulfato de aluminio y los polímeros sintéticos para poder remover turbiedad y color presentes en el agua. Actualmente se desconoce la existencia de instalaciones de tratamiento de aguas utilizando coagulantes naturales.

En el país no existe una determinación o evaluación científica oficial sobre el uso del biocoagulante primario o coadyuvante a base de *Opuntia Ficus-Indica*, por ende, se impulsa a realizar el proyecto de investigación que consiste en la “Determinación de la eficiencia del *Opuntia Ficus-Indica* como

biocoagulante para el tratamiento de aguas superficiales del río Bulubulu” y de esta manera ayudar a profundizar la búsqueda ejecutada en diferentes partes del mundo sobre este coagulante natural. En el presente trabajo se tiene como finalidad determinar la eficiencia del coagulante natural a base de *Opuntia Ficus-Indica* estudiando las características físicas y químicas que reaccionan en el tratamiento de aguas, debido a que las pecas de la planta contienen carbohidratos, dando lugar como un poder coagulante permitiendo resultados positivos en el tratamiento de aguas destinadas al consumo.

1.3.2 Justificación metodológica

Los coagulantes más usados para la remoción de turbiedad en la actualidad, es el cloruro férrico y el sulfato de aluminio, lo que indica es que no existe un control específico al momento de realizar la adición de estas sustancias, dando constancia de que representa significativamente un riesgo potencial la salud humana, se menciona de que estos metales usados en el tratamiento de aguas ocasionan un residuo conocido como el residual de aluminio y que estas son las causantes en los efectos neurológicos adversos, teniendo en cuenta un principal riesgo que es la enfermedad del Alzheimer. (Solís, Laines, & Hernández, 2012). La intención de esta investigación es la determinación de la eficiencia del *Opuntia Ficus-Indica* como biocoagulante para el tratamiento de aguas superficiales, para lo cual se requiere realizar el control de la concentración apropiada, y de esta manera poder comprobar la eficiencia como un coagulante natural.

1.3.3 Justificación práctica

Esta presente investigación se procede a realizar, con la finalidad de reducir la contaminación producido por los coagulantes químicos, como es el caso del coagulante metálico de sulfato de aluminio que al momento de realizar la aplicación en aguas contaminadas se tienden a permanecer

el residual de aluminio. Por lo cual es importante ejecutar nuevas fuentes de investigación que pueda demostrar, la necesidad de encontrar especies del origen vegetal con características de coagulantes y floculantes en aguas superficiales, que brinden resultados positivos, reduciendo así el impacto al hombre y al medio ambiente, por ende el presente trabajo se realiza con el fin de fortalecer la efectividad y la eficiencia del coagulante natural a partir *Opuntia Ficus-Indica*, generalmente estas plantas están disponibles en las serranías del país.

Se realizará varias pruebas de test de jarras para obtener la dosificación más eficiente del biocoagulante, y de inmediato realizar las pruebas pertinentes, que generalmente destacan en los parámetros de turbidez, color y pH, para analizar con las normativas correspondientes que puedan afirmar su eficiencia, y de esta manera contribuir al desarrollo de nuevas tecnologías adecuadas con el medio ambiente y al desarrollo de la Ingeniería, utilizando un producto natural que es el *Opuntia Ficus-Indica* (tunas), en las técnicas de tratamiento conocidos.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo general

Determinar la eficiencia del *Opuntia Ficus-Indica* como biocoagulante para el tratamiento de aguas superficiales del río BuluBulu

1.4.2 Objetivo específico

- Caracterización de las propiedades físico-químicas y microbiológicas de la muestra obtenida del río Bulubulu
- Obtener el biocoagulante del *Opuntia ficus indica*.

- Realizar pruebas para determinar la concentración óptima del biocoagulante para remoción de turbidez, color y alteración de pH en la muestra a tratar.
- Determinar la eficiencia que tiene el biocoagulante para reducir los parámetros físico-químicos y microbiológicos que se encuentra presente en el agua superficial del río Bulubulu.

1.5 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Delimitación temporal

Desde la fecha de aprobación del anteproyecto, se estima un lapso de cinco meses aproximadamente para presentar la obtención y el resultado de la eficiencia del biocoagulante a base de *Opuntia Ficus-Indica* para la aplicación de tratamiento de aguas.

1.5.2 Delimitación espacial

El trabajo de investigación se desarrolló en el laboratorio de Ingeniería de Aguas y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil, lugar donde se llevó a cabo la experimentación para determinar la eficiencia del *Opuntia Ficus-Indica* como biocoagulante en el tratamiento de aguas superficiales del Río BuluBulu.



Figura 1 Ubicación de la Facultad de Ingeniería Química

GD: -2.1819. - 79.8987

Fuente (Google Maps, 2018)



Figura 2 Ubicación del Rio BuluBulu

GD: -1.6422, -78.6746

Fuente (Google Maps , 2018)

1.5.3 Delimitación del contenido

Se llevará a cabo el proyecto de titulación centrado en el estudio de la obtención de biocoagulante a base de *Opuntia Ficus-Indica* y la eficiencia del mismo para la aplicación de tratamiento de aguas, que es una recopilación de enseñanza, en tratamiento de residuos sólidos e ingeniería de aguas y medio ambiente. Junto a previos trabajos realizados, libros e investigaciones realizados que engloban de manera general el tema propuesto.

1.6 HIPÓTESIS

Con la experimentación mediante pruebas de laboratorio estandarizadas se podrá determinar la eficiencia del *Opuntia Ficus-Indica* como biocoagulante para tratar aguas superficiales en muestras del río Bulubulu.

1.6.1 Variable independiente

Biocoagulante

Indicadores

- Tiempo
- Concentración del coagulante
- Velocidad de agitación

1.6.2 Variable dependiente

Agua superficial del Río Bulubulu

Indicadores

- pH
- Turbiedad
- Color

1.6.1 Operacionalización de las variables

Tabla 1 Operacionalización de la variable

<i>Variable</i>	<i>Tipo</i>	<i>Definición</i>	<i>Unidad de medición</i>
<i>Tiempo</i>	Independiente	Es una de las magnitudes principales de la física, el cual mide el intervalo en el que ocurre una serie de sucesos.	S
<i>Concentración del coagulante</i>	Independiente	Es la relación que tiene la masa por volumen de la solución.	mg/L
<i>Velocidad de agitación</i>	Independiente	Es la velocidad con la que va girar los agitadores para acelerar el proceso de formación de flóculos y su respectivo mezclado. (Martínez & González, 2012)	Rpm
<i>pH</i>	Dependiente	Su sigla pH significa potencial de hidrógeno, que permite medir la acidez o basicidad de una sustancia	

<i>Turbidez</i>	dependiente	La turbiedad es la falta de pureza de un líquido, debido a que hay partículas en suspensión, cuantos más sólidos retenidos haya en una sustancia, es más sucia y su valor de turbidez es alto. (Méndez , 2011)	NTU
<i>Color</i>	Dependiente	El color en tratamiento de agua se determinar debido a la presencia de sustancias disueltas y partículas en suspensión, se clasifica en color verdadero y color aparente. (Goyenola , 2007)	Pt/Co

Elaborado por: (Atupaña & Guacho, 2018)

2. CAPÍTULO II

2.1 MARCO DE REFERENCIA

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Tuna (*Opuntia ficus-indica*)

Posee diferentes nombres de acuerdo a geografía donde se localiza, entre ellas tenemos: Tunas en Latinoamérica, Nopal en México, Cactus fruti y pear en Estados Unidos Kaktusfeigen en Alemania, Turksupurug en Sudáfrica. (Robles, 2009)



Figura 3 Tuna (Opuntia ficus-indica)

Fuente: (Robles, 2009)

Es una planta que alcanza los 5 metros de alto, pertenece a la familia de las Cactáceas, está formada por pencas que pueden llegar alcanzar de 30 hasta 50 cm de ancho y un grosos que alcanza los 2

cm. Tiene una superficie color verde intenso, tiene espinas de diferente tamaño, sus flores y frutos ovalados es de color amarillo. Habitan en zonas desérticas, en suelos arenosos. Tiene un desarrollo óptimo en temperaturas de 18 a 26 °C. (FUNDESYRAM, 2015)

Se conoce alrededor de 300 especies del género Opuntia. Pero, hay solo 10 o 12 más usadas, ya sea para el consumo humano o elaboración de algún producto.

2.2.1.1 Clasificación taxonomía

La clasificación científica la tuna pertenece al género Opuntia, la cual está dentro de las Cactáceas y su clasificación es:

Tabla 2 Clasificación taxonomía

Clase	Angiosperma
Subclase	Dicotiledónea
Orden	Cactales
Familia	Cactácea
Género	Opuntia
Especie	Opuntia Ficus Indica

Fuente: (Alcázar , 2015)

2.2.1.2 Clasificación científica

El nombre *Opuntia-Ficus Indica* se debe al español Higo de las Indias (Robles, 2009)

Tabla 3 Descripción completa de la clasificación científica

Clasificación científica	
Reino	Vegetal
Subreino	Embryophita
División	Angiospermae
Clase	Dicotyledonea
Subclase	Dialipétalas
Orden	Opuntiales
Familia	Cactácea
Subfamilia	Opuntioideae
Tribu	Opuntiae
Género	Opuntia Nopalea

Fuente: (Alcázar , 2015)

2.2.1.3 Característica morfológica

Es una planta única en su género, presentando las siguientes características:

Tallo: es un género herbáceo que mide de 3 a 5 m de alto, tiene un tronco leñoso de 20 a 50 cm de diámetro, a diferencia de otro género de cactáceas el tallo está formado por tronco y ramas aplanadas con cutículas gruesas de color verde.



Figura 4 Tallo (*Opuntia ficus-indica*)

Fuente: (Paucara, 2017)

Flores: las flores están localizadas en la parte de arriba de la penca, cada areola produce por general una flor, la cual mide alrededor de 5 a 7 cm de longitud, sus pétalos son de diversos colores vivos como amarillo, anaranjado, rojo rosa.



Figura 5 Flores (*Opuntia ficus-indica*)

Fuente: (Robles, 2009)

Fruto: tiene forma ovoide de color verde con un diámetro de 5,5 y 7 cm, con una longitud de 5 a 10 cm, se tornan de diferentes colores cuando se maduran, su cascara son gruesas y su pulpa es gelatinosa y abundante en semillas.



Figura 6 Fruto (*Opuntia ficus-indica*)

Fuente: (Robles, 2009)

Pencas o Cladodios: es de color verde oscuro con areolas que contienen espinas de color amarillo, puede llegar alcanzar de 30 hasta 50 cm de largo, con un ancho de 20 a 40 cm y un grosor de 2 a 3 cm.

Hojas: mide alrededor de 4 a 5 milímetros de largo, tiene espinas engrosadas en su superficie, sus hojas se caen cuando las pencas alcanzan su desarrollo.



Figura 7 Hojas (*Opuntia ficus-indica*)

Fuente: (Robles, 2009)

2.2.1.6 El mucílago del *Opuntia ficus-indica*

El mucílago es originario de la tuna (*Opuntia*), es considerado un hidrocoloide natural debido a que la goma Guar y gomas comerciales Carragenina, se encuentran en ellas. Es una sustancia espesa y gomosa, que permite al *Opuntia Ficus-Indica* almacenar agua en grandes cantidades, que al momento de entrar en contacto con el agua el mucílago se hincha, mostrando propiedades tenso-activas similares a las diversas gomas naturales, permitiendo que el mucílago precipite partículas e iones de soluciones acuosas. (Jiménez, 2014)

2.2.1.7 Composición química del mucílago

El mucílago de *Opuntia Ficus-indica* es un carbohidrato complejo compuesto por más de 55 azúcares residuales, entre los que se encuentran la L-arabinosa, D-galactosa, L-Ramnosa, D-Xilosa y ácido Galacturónico. (Jiménez, 2014)

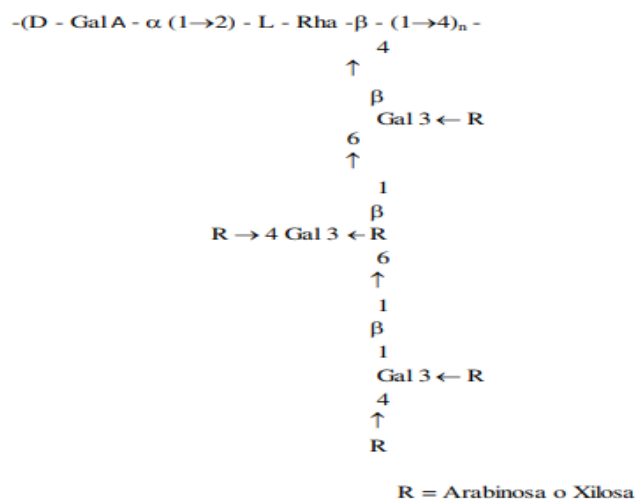


Figura 8 Esquema propuesta del mucílago de *Opuntia Ficus Indica*

Fuente: (Jiménez, 2014)

2.2.1.8 Mucilago como agente depurador

Los coagulantes naturales o biocoagulante que tienen mayor rendimiento en el tratamiento de agua tenemos los que están compuestos de algínicos, los derivados de la tuna y nopal, el almidón y algunas semillas.

Los biopolímeros contienen una toxicidad en mínimas cantidades y en muchos de los casos es nula, donde se incrementa el uso del biocoagulante en el tratamiento de aguas en los procesos de purificación y clarificación, porque sus costos no son elevados. (Jiménez, 2014)

En Cuba se realizó una comparación entre el coagulante natural del mucilago de *Opuntia Ficus-Indica* y el coagulante químico de sulfato de aluminio, donde concluyeron que el coagulante natural del mucilago *Opuntia stricta* variedad Dillenii y *Opuntia ficus-indica* tienen un comportamiento similar al coagulante de sulfato de aluminio para la clarificación del agua.

Otros estudios realizados lograron determinar que el material que se extrae del *Opuntia ficus indica* tiene un alto poder de remoción de color al 50%, turbidez al 70%, debido a su actividad como biocoagulante, sin alterar el pH.

2.2.1.9 Usos y aplicaciones

Para la elaboración de diversos productos ya sea aceites, pectinas, vinos, licores, mermeladas, barra de cereales, vinagre y colorante se utiliza el mucilago, cascara, pulpa y sus compuestos químicos. También se lo utiliza con fines medicinales para la elaboración de astringente, antiinflamatorio, antipirético, analgésicos, etc. A nivel experimental se lo utiliza como fuente de energía para producir el gas metano, la biomasa y enzimas. (Robles, 2009).

2.2.2 Biocoagulante

Los coagulantes naturales o también llamados biocoagulante son seguros, no contaminan el medio ambiente y están libres de toxicidad. Los compuestos bioactivos más utilizados son el mucilago, alcaloides, polisacáridos, proteínas y taninos.

En el tratamiento de aguas ya sea, industrial, residual o en la potabilización del agua, los biocoagulantes permiten la desestabilización de sólidos suspendidos (contaminación coloidal) y remueven los sólidos disueltos, disminuyendo el DQO.

Los biocoagulantes generan mínimas cantidades de lodos residuales, en comparación a los coagulantes químicos. (Banchón, Baquerizo, Muñoz, & Zambrano, 2016)

2.2.3 Coagulación-floculación

La coagulación y la floculación son métodos químicos, que tienen por objetivo potabilizar el agua para el consumo humano, como también para realizar tratamiento de aguas residuales de diferente origen ya sea industrial, minería.

Este proceso es el método más destacado en la remoción de partículas coloidales y suspendidas (80 a 90% de remoción), del agua potable. Además de reducir parcialmente el color del agua, también remueven la turbiedad, microorganismos en un 80 a 90%, y virus. (Ojeda Báez, 2012)

2.2.3.1 Coagulación

Es la desestabilización de una coloide derivada en la eliminación de las dobles capas eléctricas rodeando a todas las partículas coloidales, formando de núcleos microscópicos. Estas reacciones se inician al momento de añadir los coagulantes en el agua a tratar y esto dura pocos segundos, y consta una serie de reacción física y química que hay entre la superficie de las partículas, alcalinidad, agua y los coagulantes.

2.2.3.2 Floculación

La floculación es aquella aglomeración de las partículas que desestabilizan primero en flóculos muy pequeños, para más tarde poder aglomerar flóculos voluminosos. Produciendo el poder de la captación de los flóculos para poder reducir el grado de la hidratación y poder lograr las características adecuadas con un mayor peso para poder facilitar la remoción. (Arboleda, 2000)

Estos procesos se utilizan para las distintas fases:

- Remover de turbiedad orgánica e inorgánica, que no se pueda realizar la sedimentación correcta de manera rápida.
- Remover el color que posee y aparenta el agua.
- Eliminar los virus, las bacterias y los organismos patógenos que pueda existir en la separación con el coagulante.
- Destruir las algas que existe en la muestra y el plancton en general.
- Eliminación de las sustancias que producen el sabor y el mal olor, como también la precipitación química suspendida en otros. (Arboleda, 2000)

2.2.3.3 Mecanismo de coagulación

Existen variedad de mecanismos de desestabilización coloidal, que son:

- **Compresión de doble capa eléctrica**

Es el aumento de las concentraciones de los electrolitos, en donde la capa difusa capta iones de signo contrario al momento de ser incorporadas las mismas, realizando una compresión y disminución de fuerzas repulsivas, y también disminuye la potencial zeta. La coagulación empieza al momento de formar una distancia entre partículas superior a L , por lo cual las partículas, no se

pueden realizar una atracción entre ellos; E (es aquella energía que los mantiene apartados).
(Barrenechea & Aurazo, 2004)

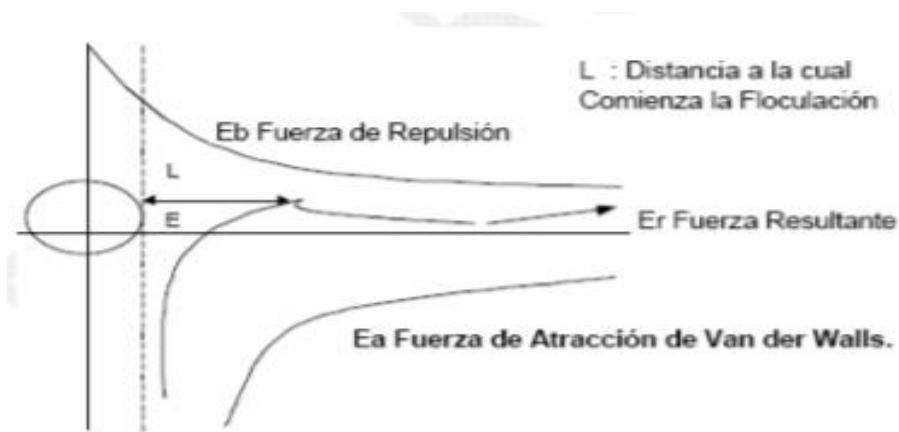


Figura 9 Fuerza de atracción de Van der Waals

Fuente: (Barrenechea & Aurazo, 2004)

Las soluciones coloidales son aquellas que no poseen una carga eléctrica neta, como las partículas coloidales, es por esta razón que la carga primaria en las partículas requiere un equilibrio al momento de llegar a la fase acuosa, por ende, en cada interface existe una doble capa eléctrica al momento de unir un sólido y líquido (agua). Esta capa es formada al momento de tener una partícula con carga y que los iones con carga contraria (contra iones) tiendan a tener un exceso de igual carga, que se acumula en el agua al momento de estar cerca en las superficies de las partículas.
(Arboleda, 2000)

Para poder entender y aclarar esta teoría se puede representar en tres partes, en donde trata de explicar de la distribución de iones y la diferente variación del potencial con distancia a la superficie.

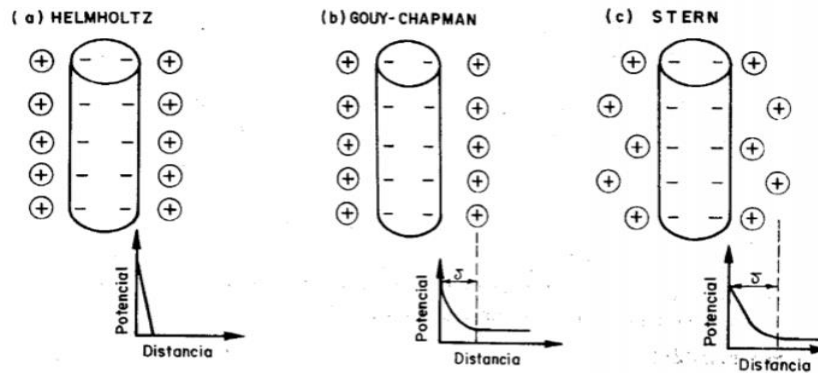


Figura 10 Teoría de doble capa eléctrica

Fuente: (Arboleda, 2000)

La floculación es aquella aglomeración de las partículas que desestabilizan primero en flóculos muy pequeños, para más tarde poder aglomerar flóculos voluminosos. Produciendo el poder de la captación de los flóculos para poder reducir el grado de la hidratación y poder lograr las características adecuadas con un mayor peso para poder facilitar la remoción. (Arboleda, 2000)

Estos procesos se utilizan para las distintas fases:

- Remover de turbiedad orgánica e inorgánica, que no se pueda realizar la sedimentación correcta de manera rápida.
- Remover el color que posee y aparenta el agua.
- Eliminar los virus, las bacterias y los organismos patógenos que pueda existir en la separación con el coagulante.
- Destruir las algas que existe en la muestra y el plancton en general.
- Eliminación de las sustancias que producen el sabor y el mal olor, como también la precipitación química suspendida en otros. (Arboleda, 2000)

2.2.3.4 Neutralización de cargas por adsorción

Ciertas especies químicas tienden a tener una capacidad de ser adsorbida en superficies de partículas coloidales. La atracción que existe entre la superficie y la especie absorbida se debe a la

interacción entre los enlaces de hidrogeno, enlaces covalentes y reacciones de coordinación y el intercambio iónico. Que permite estabilizar la carga de partículas cuando existe un exceso al momento de realizar la coagulación. Sin embargo, la especie química tiene una carga contraria a la superficie de sólidos, esto se va desestabilizar.

La adsorción específica, es causada por la interacción entre coagulación y el coloide. Es frecuente el caso de especies hidrolizadas de aluminio, hierro y polímeros sintéticos.

2.2.3.5 Mecanismo de barrido

Se origina cuando se añade coagulante en concentraciones elevadas, donde este compuesto va exceder el límite de solubilidad. Dando lugar a la precipitación de hidróxidos que se forma debido a la reacción alcalina y el agua con el coagulante, produciendo un floc de barrido que permite atrapar a los coloides y partículas suspendidas cuando caen dentro del precipitado, permitiendo la remoción de la turbiedad.

La presencia de algunos iones y partículas coloidales van acelerar la formación del precipitado, donde esta partícula hace el papel de anillo al momento de la formación del floc; dando origen a una relación inversa entre la turbidez y la cantidad de coagulantes. (Abi-Faical, 2010)

2.2.3.6 Factores que influyen en la Floculación-Coagulación

Los factores que influyen en el proceso de floculación y coagulación son:

- **pH:** Es una propiedad química importante debido a que las diferentes aguas a tratar deben llegar a tener un pH óptimo para tener una coagulación que pueda ocurrir de forma rápida al momento de realizar el tratamiento. (Andía, 2000)

- **Color:** el color se relaciona con el pH, debido a que si el pH disminuya bajara la intensidad del color dando un buen proceso en el tratamiento de aguas con el coagulante. (Domínguez Amorocho, 2010)
- **Sales Disueltas:** causan modificaciones en el pH del agua y se considera en este proceso en la cantidad del coagulante, el tiempo de coagulación y a la cantidad residual de coagulante dentro del efluente. (Andía, 2000)
- **Turbiedad:** es aquella que contiene partículas sólidas, mientras mayor es la turbiedad, mayor será la cantidad de coagulante que se agrega en el agua. (Domínguez Amorocho, 2010)
- **Temperatura del agua:** La diferencia de temperatura puede afectar en la energía cinética de algunas partículas suspendidas, haciendo que la coagulación se vuelva más lenta. Para encontrar la dosis adecuada, se realiza mediante la prueba de test de jarra. (Andía, 2000)
- **Condiciones de mezcla:** permite determinar que la coagulación sea completa, al momento de realizar la adicción del coagulante, esto tiende a tener una velocidad de agitación que golpea la masa del agua. (Andía, 2000)
- **Método de aplicación de los coagulantes:** Para tener una reacción adecuada en el agua se debe adicionar una concentración óptima del coagulante, permitiendo una formación constante y uniforme. (Andía, 2000)

2.2.3.7 Principales coagulantes

2.2.3.7.1 Coagulantes metálicos

Son aquellos coagulantes que son utilizadas en el tratamiento de aguas, para su respectiva purificación ya sea agua residual, superficial, domestica e industrial. Se pueden usar diferentes

coagulantes metálicos dependiendo del pH que tenga el agua. Hay dos tipos de sales que permiten la formación flocs ligeramente pesado.

Las sales más conocidas son:

- **Sulfato de Aluminio:** Es conocido con el nombre de alumbre. Para agregar este coagulante en el agua debe de estar en un pH de 6 a 8, donde va formar flóculos de pequeño tamaño y no va necesitar de ningún aditivo.
- **Sulfato Ferroso:** Es un coagulante más económico, que se lo utiliza junto con la cal para el tratamiento de agua cuando esta tenga un pH mayor a 8.
- **Sulfato Férrico:** Es utilizado para tratar aguas residuales, ya que produce una alta corrección y es por ello que no se lo emplea en la potabilización del agua, dando lugar a la formación de flóculos que se pueda remover fácilmente
- **Cloruro Férrico:** También conocido como tricloruro de hierro, la utilización de este producto es muy limitado por el intervalo de pH reducido.

2.2.4 Mecanismo de acción coagulación/floculación del mucilago *Opuntia Ficus-Indica*

El *Opuntia Ficus-Indica* es utilizada en diversas investigaciones debido a sus diversas propiedades tanto medicinales, alimentaria, como agentes coagulación y floculación para la purificación y clarificación de aguas, ya sea superficiales o residuales que tienen alto contenido de iones metales pesados, turbidez, color, Demanda Química de Oxígeno. Las partes más utilizadas del *Opuntia Ficus-Indica* son el mucilago y cladodios ya que contiene una alta capacidad de coagulación. Los cladodios del cactus contienen carbohidratos complejos almacenados que tiene la capacidad de retener en el agua. Se conoce que el cactus contiene polielectrolitos naturales viscosas con cargas

superficiales y con una mínima cantidad de ácidos, debido a estas propiedades es utilizada como agente coagulante. Por esta razón es considerada esta planta un material descontaminante del agua, biodegradable, económico y natural. La producción del coagulante natural del *Opuntia Ficus-Indica* se obtiene de las pencas, realizando su respectivo secado y molienda hasta obtener un polvo fino inferior a 0,05 mm.

Para poder determinar los componentes que contiene el *O. ficus* se utiliza la técnica de FTIR, la cual permite realizar la respectiva identificación en los grupos funcionales, si estas son eficientes en la actividad como un coagulante que pueda disminuir los metales pesados que existe en el agua al momento de tratar. Mediante esta técnica FTIR se determinó como agente bioactivo el ácido poligalacturónico. (Martínez & González, 2012)

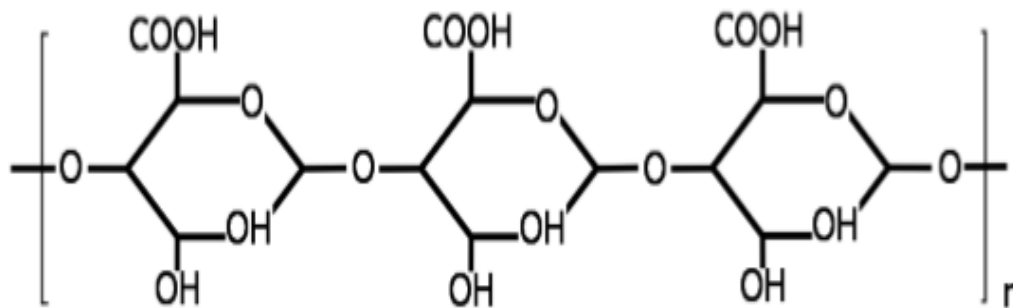


Figura 11 Ácido poligalacturónico

Fuente: (Martínez & González, 2012)

La coagulación y floculación en agua que contiene metales pesados se realiza con diversos mecanismos de reacción como: neutralización de carga, compresión de doble capa, adsorción, floculación de barrido, parches eléctricos y la adsorción entre puentes de partículas. El mecanismo más eficiente para la remoción de turbidez en este tipo de tratamiento con el *O. ficus* es adsorción y de puente de partículas. Para la eliminación de metales pesados como: Cu^{+2} , Cd^{+2} , Zn^{+2} , y Pb^{+2} , se utilizan los mecanismos de adsorción de puente partículas, adsorción y neutralización de

carga, debido a la naturaleza aniónica y la macromolécula del ácido galacturónico desprotonado en el coagulante. (Bravo, 2017)

2.2.5 Agua superficial

Son aquellas aguas que se encuentran en la superficie de la Tierra, pueden presentarse de forma corrientosa, en el caso de ríos, lagos, reservorios, lagunas entre otros y es muy utilizados por los seres vivos.

2.2.6 Parámetros de control de la calidad de agua

El agua para consumo humano debe ser sometida a una serie de control de calidad con el objetivo de poder eliminar o reducir los contaminantes que son perjudiciales para la salud, asegurando así el bienestar del consumidor.

Tabla 4 Clasificación de los contaminantes que existe en el agua

Físicos	Químicos	Gaseosos	Biológicos
Color	Materia orgánica	Metano	Bacterias
Olor y sabor	Metales pesados	Anhídrido carbónico	Algas
Grasas y aceites	Ph	Ácido sulfhídrico	Hongos
Espumas	Nitrógeno		Animales
Sólidos disueltos	Salinidad		Protozoos
Sólidos en suspensión	Pesticida		Plantas

Fuente: (Morejón, 2017)

2.2.6.1 Características físicas

Tabla 5 Características físicas del agua

Característica física	Definición
Turbidez	Su unidad de medición es Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT), la turbiedad es la falta de transparencia que tiene un líquido con sólidos en suspensión. (Severiche, Castillo, & Acevedo, 2013)
Color	El color su unidad de la escala Pt-Co. Por lo general el agua no tiene color, en algunos casos existe una leve coloración debido a la presencia de materiales pigmentados como los ácidos húmicos, turba, plancton, y de ciertos metales como hierro, disueltos o en suspensión. (Alcázar , 2015)
Olor y sabor	Se puede determinar sustancias presentes en el agua en menor cantidad por medio del sentido del olfato, debido a que no existe instrumento de observación. (Samboni, Carvajal, & Escobar, 2015)
	Es una magnitud física muy importantes en el agua, ya que esto va depender en la

Temperatura

aceleración o el en retardo de la actividad biológica. (Severiche, Castillo, & Acevedo, 2013)

Sólidos

Son residuos que se obtiene luego de que el agua sea evaporada y secada a una temperatura dada, existen solidos que se encuentran suspendidos o retenidos en el agua. (Samboni, Carvajal, & Escobar, 2015)

Elaborado por: (Atupaña & Guacho, 2018)

2.2.6.2 Características químicas

Tabla 6 Características químicas del agua

Característica química	Definición
Alcalinidad	Neutraliza los ácidos que se encuentran en el agua, está influenciada por pH, temperatura y la fuerza iónica. La alcalinidad se debe a su contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, entre otras sales o bases. (Severiche, Castillo, & Acevedo, 2013)
Dureza	La dureza en el agua es la suma de todos los cationes metálicos no alcalinos. (Valenzuela, 2014)
pH	Indica la acidez de una sustancia.

	Es utilizada para expresar las condiciones ácidas o alcalinidad de una solución. (Samboni, Carvajal, & Escobar, 2015)
--	--

Elaborado por: (Atupaña & Guacho, 2018)

2.2.6.3 Características biológicas

Tabla 7 Características microbiológicas

Características biológicas	Definición
Coliformes totales	Nos permite determinar si el agua que se consume es apta para el ser humano, estos Coliformes contribuyen al crecimiento de algas y malezas en el medio acuático, la cual disminuye el oxígeno y causa la muerte de peces y otras especies. (Alcázar , 2015)

Elaborado por: (Atupaña & Guacho, 2018)

2.3 MARCO CONCEPTUAL

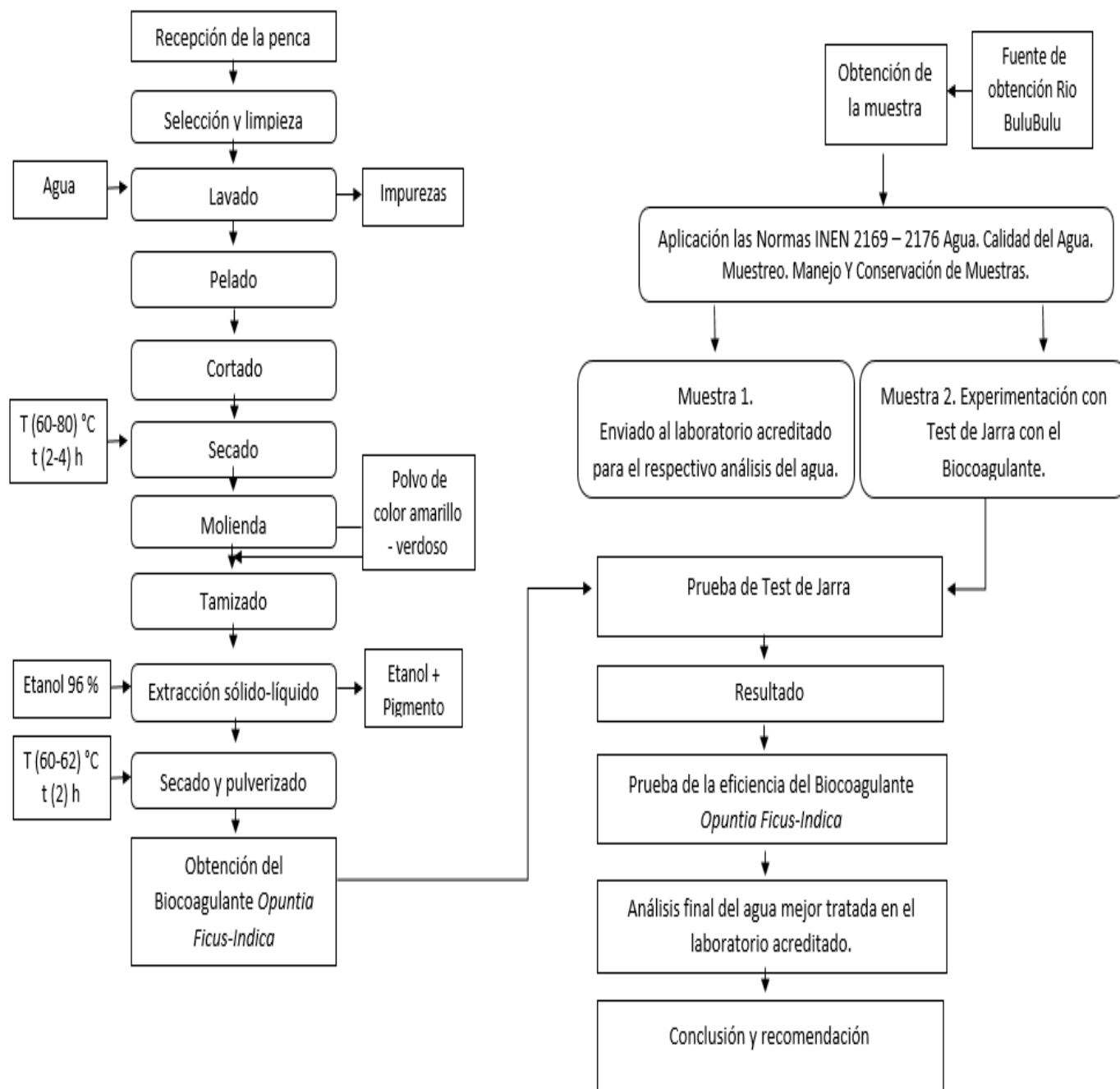


Figura 12 Diagrama de flujo de elaboración del biocoagulante *Opuntia Ficus-Indica*

Elaborado por: (Atupaña & Guacho, 2018)

2.4 MARCO CONTEXTUAL

2.4.1 Coagulantes utilizados en el Ecuador

En la ciudad de Quito, la empresa que es encargada de realizar tratamientos para agua potables y saneamiento de la misma es la Empresa Publica Metropolitana, el cual nos indica que el sulfato de aluminio es uno de los agentes más utilizado en la coagulación de aguas, al momento de tratar, en la planta más conocida de tratamiento de aguas, Bellavista tratan 3000 litros por segundo, en su máxima capacidad la concentración que se utiliza tiene un promedio de 65 mg/L, junto con un polímeros que permite la floculación en un concentración de 0,17 mg/L, esta empresa tiene un sistema automático de dosificación para añadir el sulfato de aluminio y un sistema doble para la obtención de la concentración del polímero. (Cañas , 2015)

En el país normalmente cada planta de tratamiento de aguas, tiene su propio método para realizar su tratamiento correspondiente, en donde utilizan múltiples agentes coagulantes-floculantes con diferentes dosis, variando así los resultados finales de cada una de las pruebas. En la ciudad de Guayaquil el instituto que se encarga de realizar tratamiento de agua es el concesionario Interagua, la cual utiliza coagulantes como el sulfato de aluminio líquido, antes de realizar cualquier tratamiento, cumplen con los estudios necesarios de laboratorio para poder determinar la dosificación apropiada para dicho tratamiento. En el año 2013, se ha utilizado una dosificación promedio mensual de 22,43 mg/L alcanzando una turbiedad promedio de 20 NTU. Para que el agua tenga un alto nivel de pH se usa Hidróxido de Calcio. En ese mismo año realizaron tratamiento de agua potable con 30'201200 m3. (JPV Cosultores, 2014)

2.4.2 Producción en el Ecuador

El país tiene alrededor de 180 hectáreas sembrado de tuna en diferentes provincias como: Tungurahua, Santa Elena, Loja, Imbabura, Riobamba y Carchi. Siendo Imbabura y Carchi las provincias donde hay mayor producción.



Figura 13 Provincias donde se producen tunas

Fuente: (Cuacés , 2013)

La mayoría de las tunas que se cultivan en Ecuador son afectados por diversos insectos que ocasionan daños en el cultivo consecuencia a esto su fruto presenta mancha y sus hojas cortadas afecta a su floración.

2.4.3 Producción en la región sierra norte del Ecuador

En la región Norte de la Serranía Ecuatoriana se cultivan alrededor de 63 hectáreas de tuna, la cual solo 38 hectáreas se encuentran en producción.

En la provincia de Imbabura y Carchi se cultivan cuatro clases de tuna: tuna amarilla sin espina, amarilla con espina, la blanca y silvestre, las tres primeras se cultivan con métodos técnicos para lograr una mejor producción.

2.4.4 Tipo de tuna en Ecuador

Debido a las condiciones climáticas que hay en Ecuador existen cuatro tipos de tuna:

➤ Tuna silvestre

Esta planta tiene hojas y fruto más pequeño que el resto. Gran parte de esta planta se encuentra plagada por un parásito llamado cochinilla (se extrae colorante natural).



Figura 14 Tuna silvestre

(Biodiversitas, 2006)

➤ Amarilla con espinas

Este tipo de tuna se da por el cruce de dos tunas: silvestre y amarilla sin espinas. Tiene un fruto redondo y grande con espinos en su alrededor. Es muy apetecida debido a que su comida es amarillenta y la vuelve deliciosa. (El Comercio, 2011)



Figura 15 Amarilla con espinas

(Biodiversitas, 2006)

➤ **Tuna blanca**

Tiene un fruto alargado, su pulpa es muy dulce que las otras tunas. Esta planta es más resistente al ataque de plagas



Figura 16 Tuna blanca

(Biodiversitas, 2006)

➤ **Amarilla sin espina o de Castilla**

Es una de la más usada por el consumidor debido a que no poseen espinas, pero es una planta delicada



Figura 17 Amarilla sin espina o de Castilla

(Biodiversitas, 2006)

3 CAPÍTULO III

3.1 Metodología de la investigación

El presente trabajo de investigación se desarrolla bajo un enfoque metodológico cuantitativo de tipo experimental, teniendo como el objetivo principal demostrar la eficiencia del coagulante natural obtenida de las pecas de *Opuntia Ficus indica* (tuna), para la sustitución de coagulantes metálicos; por lo tanto, se hicieron diferentes pruebas para encontrar la dosis óptima, donde se va controlar los diferentes parámetros físico-químicos como color, pH y turbiedad basado a las normas ambientales.

3.2 Materiales y equipos

Tabla 8 Materiales y equipos

	Nombres	Descripción	Cantidad
Equipos	Test de Jarras	Modelo HACH 7790-400 120v 50-60 Hz	1
	Estufa	Tappan Modelo TC1050W	1
	Turbidímetro	HACH 2100P	1
	Colorímetro	HACH 890	1
	pH-metro	Waterproof OAKTON	1
Reactivos	Etanol	98%	-
	Pencas de tuna (Opuntia Ficus Indica)	2000 g	-

Materiales	Muestra a tratar (Agua del río Bulubulu)	20 gal	-
	Agua destilada	2 Gal	-

3.3 Diseño de la investigación

3.3.1 Obtención del biocoagulante de la penca de tuna

Una vez colectadas las pencas de la tuna, se seleccionó 8 pencas en buen estado, procediendo a realizar el respectivo lavado removiendo los péndulos y espinos que este en ella, para luego realizar el debido pelado. Quitada completamente la cáscara se procedió a realizar cortes en pequeñas tiras de igual tamaño con el fin de poder tener una mayor eficiencia al momento de secar.

La pulpa cortada fue secada en una estufa a una temperatura de 60 a 80°C por 48 horas hasta poder obtener un peso constante. Luego se procedió a realizar la molienda en un molino de tornillo sin fin para reducir tamaño hasta obtener un material granulado. Para luego llevar a un tamizado y con la ayuda de un tamiz obtener partículas inferiores a 0.05mm.

En caso de tener la necesidad se elimina los pigmentos del polvo de la penca de *Opuntia Ficus-Indica* con etanol al 96% como solvente, mediante el equipo de Soxhlet. Después de realizar la eliminación de los pigmentos, se seca en una estufa a 60 °C hasta eliminar el etanol residual del biocoagulante.



Figura 18 Coagulante de penca de tuna (Opuntia ficus-indica)

Fuente: (Atupaña & Guacho, 2018)

3.3.2 Evaluación del poder del biocoagulante

Para evaluar la efectividad del biocoagulante obtenido a partir de los cladodios de tuna (*Opuntia ficus indica*) se lo realiza mediante el test de jarra que está establecido en la norma ASTM D2035-08, para ello se utilizó muestra de agua superficial, obtenida del río Bulubulu de la Provincia del Guayas.

3.3.3 Preparación de la solución madre

El biocoagulante obtenida se procede a pesar en una balanza analítica para realizar una solución de 1000 mg/l, para realizar la experimentación necesaria en el test de jarras y encontrar la concentración óptima en que se debe realizar al momento de tratar el agua.

3.3.4 Prueba de Jarras

Para realizar la prueba de test de jarras, como primer paso, se realiza la adición de una cierta cantidad de agua del río Bulubulu, exactamente de 500 ml en los 6 vasos de precipitación, los cuales se deben colocar debajo de las aspas del equipo, y se procede a encender por 1 minuto a 100

rpm, después de realizar este paso de inmediato se debe adicionar el biocoagulante de la tuna (Opuntia Ficus Indica) según las concentraciones analizadas. Después de añadir el coagulante y termina el minuto, se debe dejar que el equipo funcione por 10 minuto a una velocidad de 30 rpm. Al momento de realizar la obtención de la concentración apropiada del biocoagulante, se procede nuevamente realizar un nuevo análisis de la prueba de jarras, esta vez analizando con el coagulante de sulfato de aluminio para para medir la eficiencia que tiene el coagulante y realizar una comparación entre ambos.

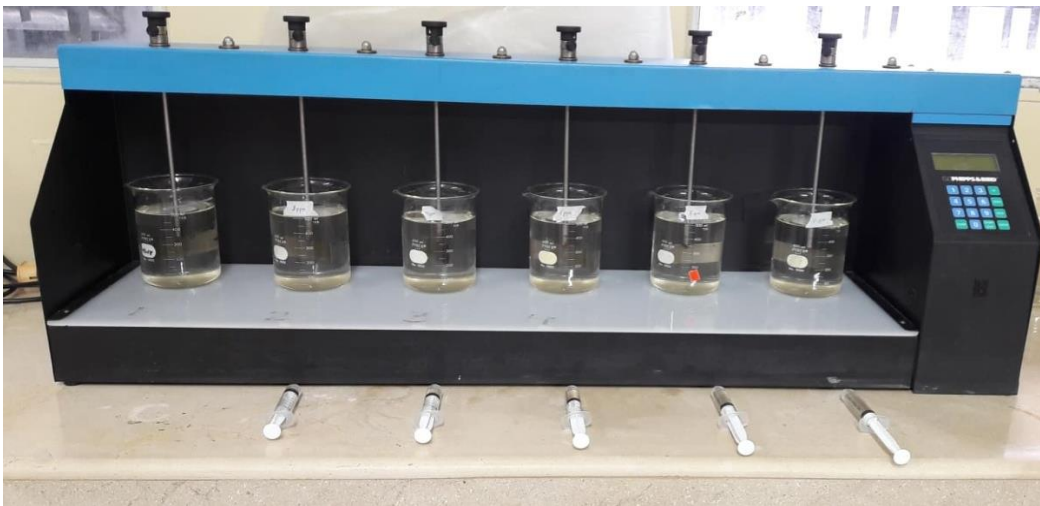


Figura 19 Equipo de test de jarra del laboratorio de agua

Fuente: (Atupaña & Guacho, 2018)

También, se realiza una evaluación visual de acuerdo al índice de Willcomb y se puede apreciar en el siguiente cuadro.

Número	Descripción
0	No se observa la presencia de aglutinación.
2	Visible. Los flóculos son tan diminutos que son casi imperceptibles a simple vista.
4	Dispersos. Los flóculos están bien formados, pero precipita muy lentamente e inclusive no precipitan.

6	Claro. Los flóculos formados son de un mayor tamaño sin embargo aún sedimenta con lentitud
8	Bueno. Los flóculos son grandes y precipitan en poco tiempo
10	Excelentes. Los flóculos es sedimentada con facilidad y el agua se torna más cristalina

Fuente: (Arboleda, 2000)

3.4 Toma de muestra

3.4.1 Localización de la toma de muestra

La muestra se tomó del río Bulubulu en el Cantón Naranjal por vía Naranjito, en el puente el Paraíso.



Figura 20 Ubicación del río Bulubulu

GD: - 1.3689, - 92.4960

Fuente (Google Maps , 2018) (Arboleda, 2000)

3.4.2 Normas aplicadas

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la muestra del río Bulubulu se realizará en el Laboratorio de Aguas de Servicio de Acreditación Ecuatoriano de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil.

Las normativas técnicas ecuatorianas para la toma y custodia de muestra para esta investigación son:

- NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 169:98 “AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.”
- NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 176:1998 “AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO.”

3.4.2.1 Para realizar la caracterización de muestra

Para determinar turbiedad se emplea con un Turbidímetro. Este dispositivo, permite saber las partículas en suspensión en un líquido o en un gas disuelto, se realiza por medio de un haz de luz y un detector de luz fijado a 90° del haz original. (Olivero, Mercado, Casas, & Montes, 2014)

Para determinar color y pH se determina con dispositivos como el fotómetro y pH-metro respectivamente.

Tabla 9 Parámetros para la caracterización de la muestra

Parámetros	Métodos	Norma
Potencial de Hidrogeno	4500-H ⁺ B pH value	(NTE INEN-ISO 10523)
Color real	890 HACH	(NTE INEN 970)
Turbidez	2130 B S.M.	(NTE INEN 971)
Nitratos	8171 HACH	(NTE INEN 975 - 995)
Nitritos	8507 HACH	-

Fuente: (NTE INEN 2 169:98)

4 CAPÍTULO IV

4.1 Resultados

4.1.1 Selección de dosis óptima del coagulante de las pecas de tuna (*Opuntia Ficus Indica*).

Tabla 10 Dosis optima del biocoagulante de *Opuntia Ficus Indica*

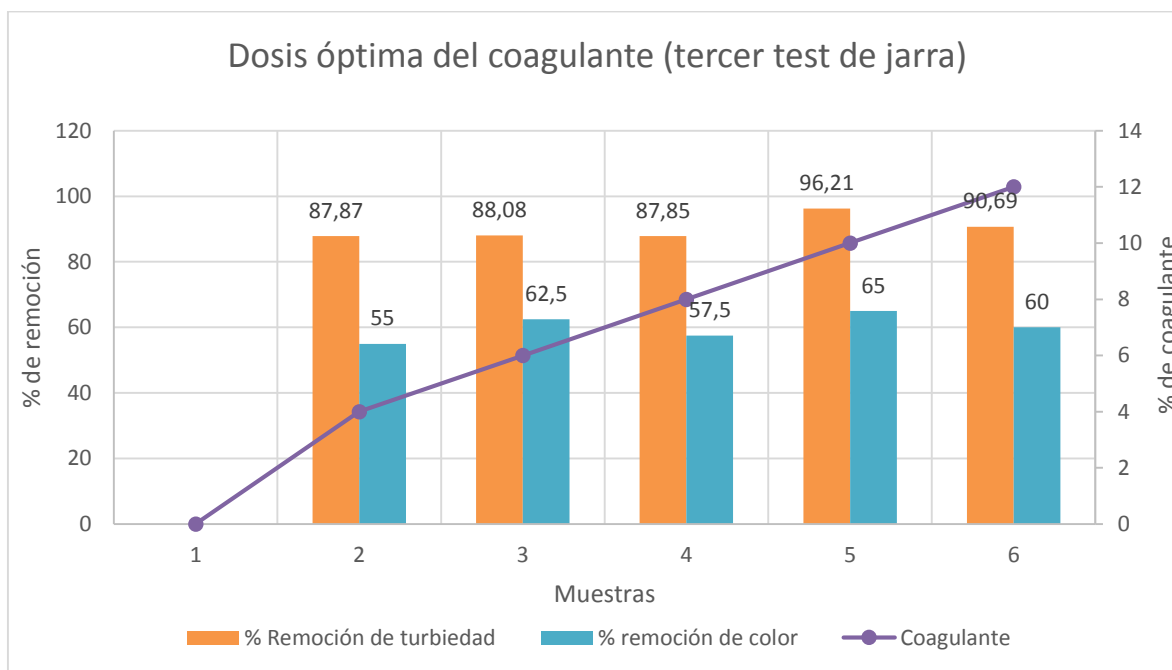
	Agua Cruda	Dosificación mg/l	Observaciones visuales		Agua sedimentada		
	Turbiedad: 47.6 NTU Color real: 40 (Pt/Cu)	Mezcla rápida Tiempo: 1min Velocidad: 100 rpm	Volúmenes de vasos 500 ml		Floculación Tiempo de flocs: 10 min Velocidad: 30 rpm	Sedimentación Tiempo: 15 min	
N° de Jarras	pH	Coagulante Solución de <i>Opuntia Ficus Indica</i>	Tiempos de formación de flocs	Índice de Willcomb	pH	Color (Pt/Cu)	Turbiedad (NTU)
1	7,49	-	-	-	7,49	40	47,6
2	7,49	4	5'25''	5	7,28	18	5,77
3	7,49	6	4'39''	5	7,24	15	5,67
4	7,49	8	4'50''	6	7,14	17	5,78
5	7,49	10	3'53''	8	6,97	14	1,80
6	7,49	12	4'09''	6	7,16	16	4,43

Elaborado por: (Atupaña & Guacho, 2018)

Tabla 11 Porcentaje de remoción de turbiedad y color del mejor test de jarras con el coagulante de *Opuntia Ficus Indica*

Muestra	Turbiedad (NTU)	Color (Pt/Cu)	% Remoción de turbiedad	% remoción de color
1	47,6	40	-	-
2	5,77	18	87,87	55
3	5,67	15	88,08	62,5
4	5,78	17	87,85	57,5
5	1,80	14	96,21	65
6	4,43	16	90,69	60

Elaborado por: (Atupaña & Guacho, 2018)



Gráfica 1 Concentración de coagulante y % remoción de color y turbiedad

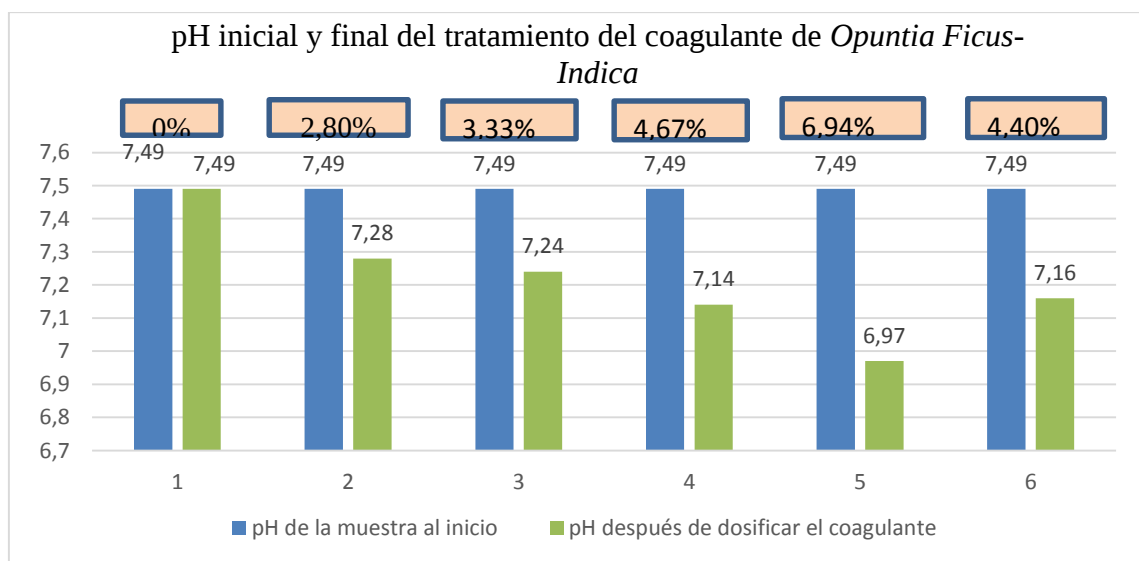
Elaborado por: (Atupaña & Guacho, 2018)

4.1.1.1 pH después del tratamiento con coagulante de *Opuntia Ficus-Indica*

Tabla 12 Variación del pH antes y después de realizar el tratamiento con el biocoagulante de *Opuntia Ficus-Indica*

Muestra	pH de la muestra al inicio	pH después de dosificar el coagulante
1	7,49	7,49
2	7,49	7,28
3	7,49	7,24
4	7,49	7,14
5	7,49	6,97
6	7,49	7,16

Elaboración: (Atupaña & Guacho, 2018)



Gráfica 2 Comparación de la variación del pH inicial y final al añadir el coagulante de *Opuntia Ficus-Indica*.

Elaborado por: (Atupaña & Guacho, 2018)

4.2 Resultados utilizado con el coagulante de Sulfato de Aluminio a las mismas dosificaciones.

Tabla 13 Dosis óptima del coagulante de Sulfato de Aluminio.

	Agua Cruda	Dosificación mg/l	Observaciones visuales		Agua sedimentada		
	Turbiedad: 47,6 NTU Color real: 40 (Pt/Cu)	Mezcla rápida Tiempo: 1min Velocidad: 100 rpm	Volúmenes de vasos 500 ml		Floculación Tiempo de flocs 10 min min Velocidad 30 rpm	Sedimentación Tiempo de sed 15 min	
N° de Jarras	pH	Coagulante Solución de Sulfato de Aluminio	Tiempos de formación de flocs	Índice de Willcomb	pH	Color (Pt/Cu)	Turbiedad (NTU)
1	7,49	-	-	-	7,49	40	47,6
2	7,49	4	5'25''	2	7,21	21	3,41
3	7,49	6	4'39''	6	7,23	18	2,98
4	7,49	8	4'09''	10	7,08	16	2,13
5	7,49	10	3'53''	8	7,12	19	2,63
6	7,49	12	4'39''	6	7,13	18	3,98

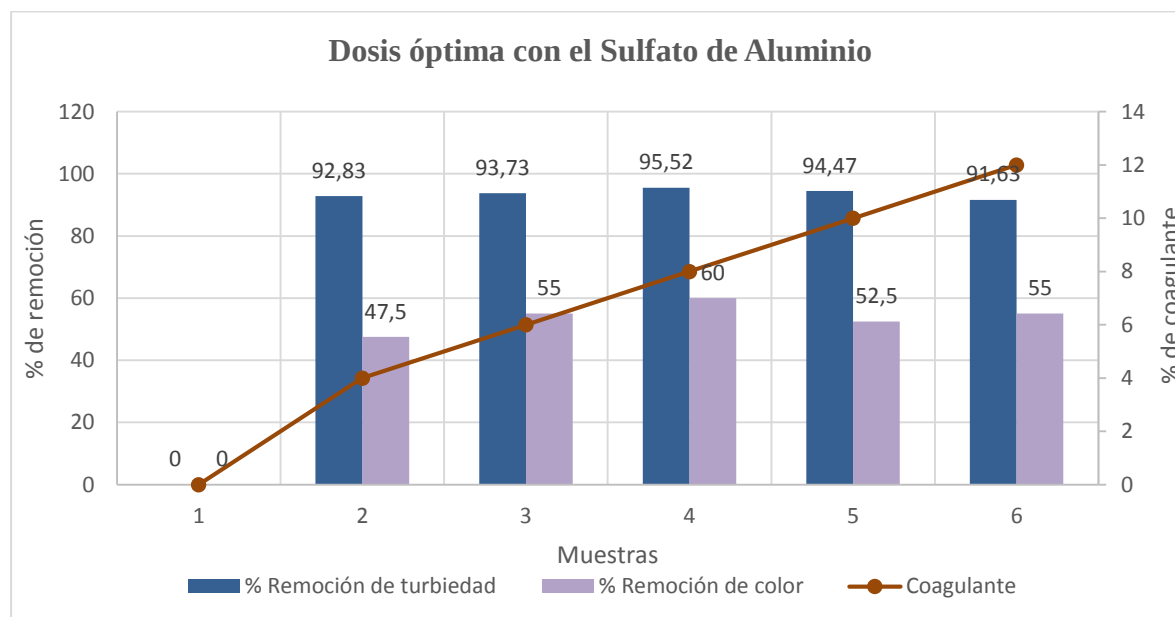
Elaborado por: (Atupaña & Guacho, 2018)

Tabla 14 Porcentaje de remoción de color y turbidez del mejor test de jarras usando solo

Sulfato de Aluminio

Muestra	Turbiedad (NTU)	Color (Pt/Cu)	% Remoción de turbiedad	% Remoción de color
1	47,6	40	-	-
2	3,41	21	92,83	47,5
3	2,98	18	93,73	55
4	2,13	16	95,52	60
5	2,63	19	94,47	52,5
6	3,98	18	91,63	55

Elaborado por: (Atupaña & Guacho, 2018)



Gráfica 3 Concentración de coagulante y porcentaje de remoción de color y turbidez

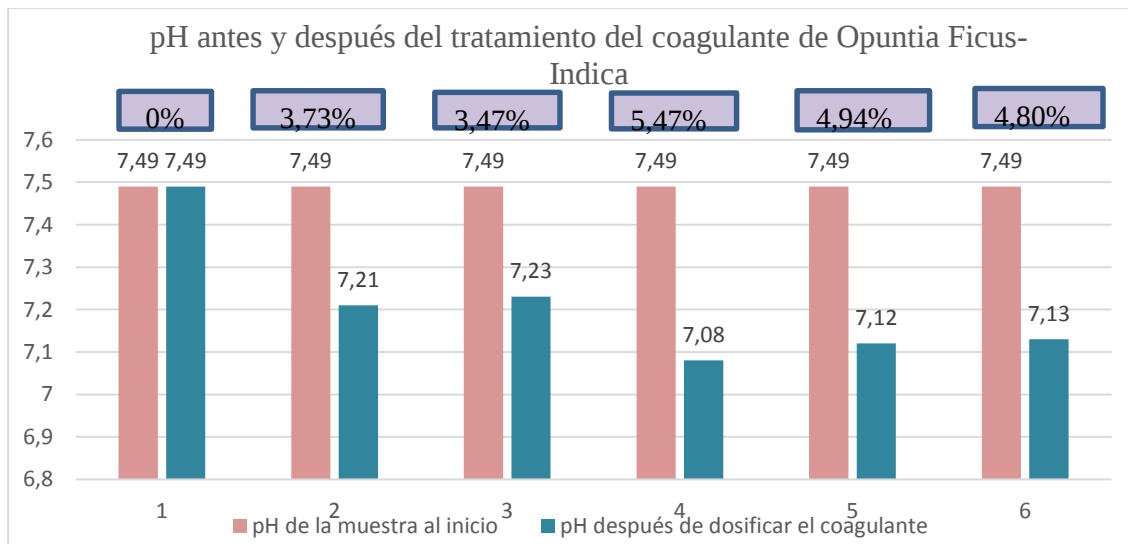
Elaborado por: (Atupaña & Guacho, 2018)

4.2.1 pH después del tratamiento con coagulante de Sulfato de Aluminio

Tabla 15 Variación del pH antes y después del tratamiento del coagulante de Sulfato de Aluminio

Muestra	pH de la muestra al inicio	pH después de dosificar el coagulante
1	7,49	7,49
2	7,49	7,21
3	7,49	7,23
4	7,49	7,08
5	7,49	7,12
6	7,49	7,13

Elaborado por: (Atupaña & Guacho, 2018)

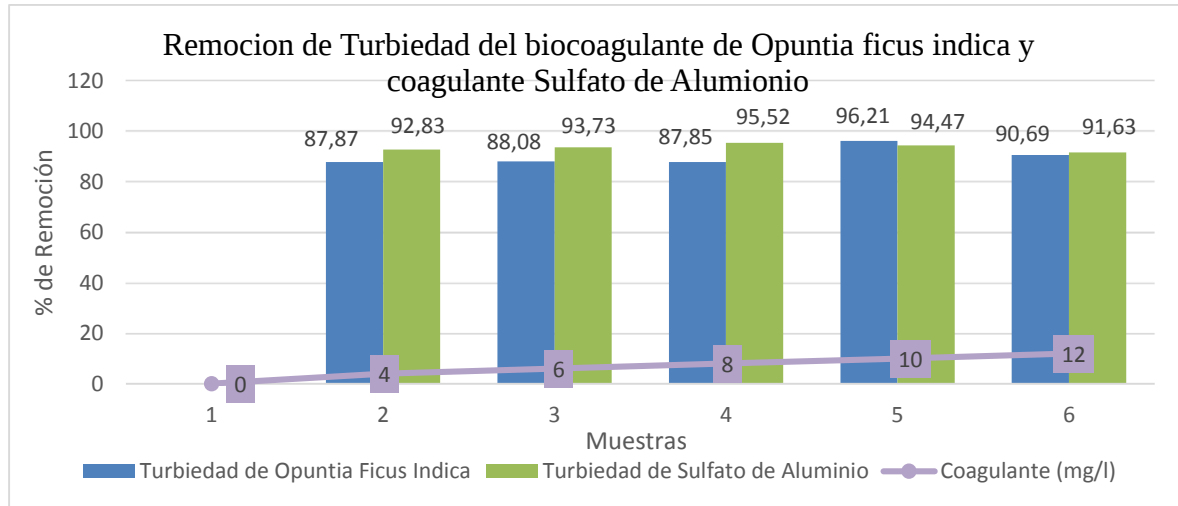


Gráfica 4 Comparación de la variación del pH antes y después de añadir el coagulante de Sulfato de Aluminio.

Elaborado por: (Atupaña & Guacho, 2018)

4.3 Comparación de la eficiencia entre el biocoagulante de *Opuntia ficus Indica* y el coagulante de sulfato de aluminio

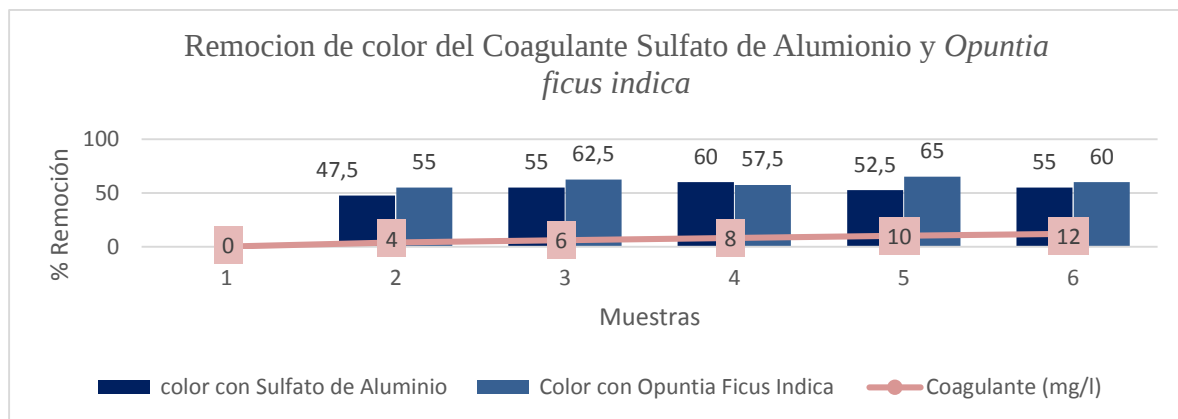
4.3.1 Comparación de la turbiedad



Gráfica 5 Comparación de remoción de turbiedad entre el sulfato de aluminio y el biocoagulante de *Opuntia ficus Indica* (tuna)

Elaborado por: (Atupaña & Guacho, 2018)

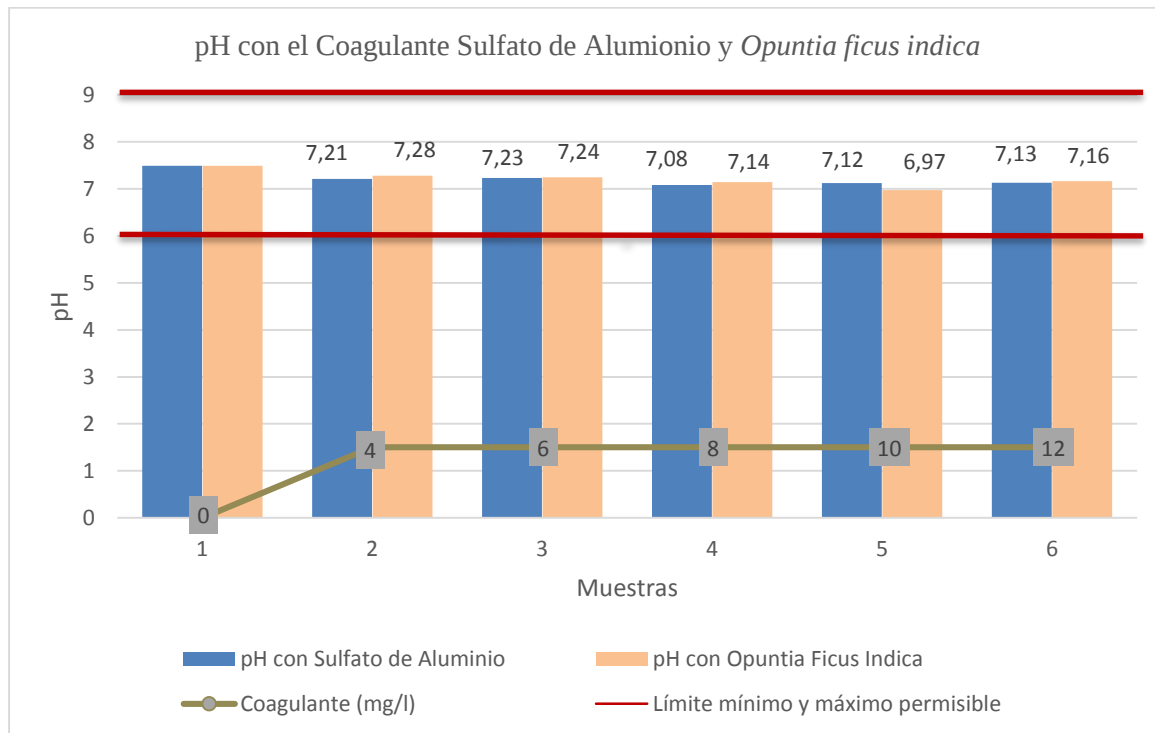
4.3.2 Comparación del color



Gráfica 6 Comparación de remoción de turbiedad entre el sulfato de aluminio y el biocoagulante de *Opuntia ficus Indica* (tuna)

Elaborado por: (Atupaña & Guacho, 2018)

4.3.3 Comparación del pH



Gráfica 7 Comparación de variedad de pH entre el sulfato de aluminio y el biocoagulante de *Opuntia ficus Indica* (tuna)

Elaborado por: (Atupaña & Guacho, 2018)

4.4 Resultados microbiológicos

Tabla 16 Coliformes fecales en agua de río Bulubulu

Coliformes Fecales
(NMP)
< 3

Elaborado por: (Atupaña & Guacho, 2018)

Tabla 17 Coliformes fecales en el agua tratada con el biocoagulante de Opuntia Ficus-Indica

Coliformes Fecales (NMP)
< 3

Elaborado por: (Atupaña & Guacho, 2018)

Tabla 18 Coliformes totales en agua de río Bulubulu

Coliformes Totales (NMP)
1100

Elaborado por: (Atupaña & Guacho, 2018)

Tabla 19 Coliformes totales en el agua tratada con el Biocoagulante de Opuntia Ficus-Indica

Coliformes Totales (NMP)
<3

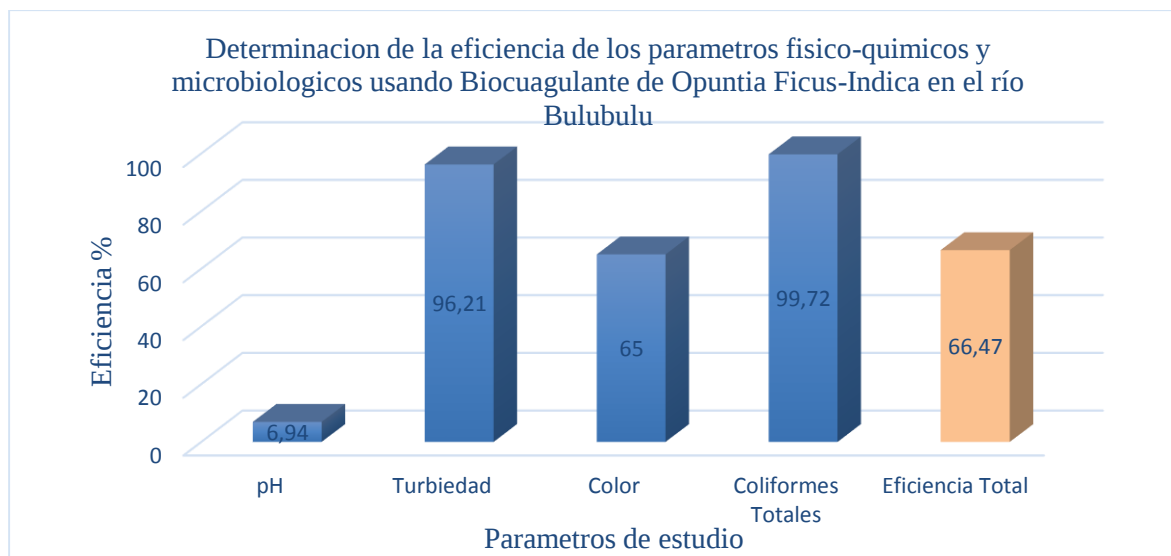
Elaborado por: (Atupaña & Guacho, 2018)

4.5 Eficiencia de los parámetros de estudio con el uso del biocoagulante en el río Bulubulu

Tabla 20 Determinación de la eficiencia de los parámetros físico-químicos y microbiológicos con el uso del biocoagulante en el agua del río Bulubulu.

Parámetros de Estudio	Eficiencia %
pH	6,94
Turbiedad	96,21
Color	65
Coliformes Totales	99,72
Eficiencia Total	66,47

Elaborado por: (Atupaña & Guacho, 2018)



Gráfica 8 Determinación de la eficiencia de los parámetros físico-químicos y microbiológicos con el uso del biocoagulante en el agua del río Bulubulu.

Elaborado por: (Atupaña & Guacho, 2018)

4.6 Análisis de Resultado

De acuerdo a la tabla 10, la dosis óptima de Biocoagulante de *Opuntia Ficus Indica* es de 9 mg/L con una remoción de color, turbiedad; obteniendo un índice Willcomb de 8 y el tiempo de formación de flocs es de 3 minutos con 53 segundos.

Al momento de utilizar el biocoagulante de *Opuntia Ficus-Indica* se alcanzó valores de 14 Pt/Cu de color y una turbiedad de 1,80 NTU dando un porcentaje de 65% y 96,21% respectivamente, como se puede observar en la tabla 11.

La tabla 12 nos muestra los valores iniciales y finales de pH, donde se obtuvieron valores que van de 6,97 a 7,49 los cuales se encuentran dentro de los límites permisibles de acuerdo a la Tabla 1 del TULSMA.

En la tabla 13 se utilizó como coagulante químico el sulfato de aluminio para realizar una comparación resultados con el biocoagulante donde se obtuvo una turbiedad, color y pH de 2,13 NTU, 16 Pt/Cu y 7,08 respectivamente.

Se observa en la tabla 14 los porcentajes que alcanza al momento de remover la turbidez y el color utilizando el coagulante de sulfato de aluminio, dando como resultado de turbiedad 95,52 % y color 60 %.

De acuerdo a la tabla 15 se utiliza el sulfato de aluminio como coagulante, obteniendo un pH de 7,08: teniendo en cuenta que no se observó ninguna alteración debido a que se encuentra en los límites establecidos.

En la gráfica 5 muestra una comparación del porcentaje de remoción de la turbiedad, tanto del biocoagulante *Opuntia Ficus-Indica*, como el sulfato de aluminio, utilizando las mismas

concentraciones, siendo el más eficiente con 10 mg/L, removiendo un 96,21% de la turbiedad, en cambio con el coagulante químico de sulfato de aluminio a la misma concentración se remueve el 94,47%.

En la gráfica 6 se observa una comparación de remoción de color entre el coagulante de sulfato de aluminio y el biocoagulante de *Opuntia ficus Indica*, ambos a las mismas concentraciones de 10 mg/L, siendo el más eficiente en remover el biocoagulante, teniendo como resultado 65% del color, con un 52,5% en la remoción utilizando el sulfato de aluminio.

En la siguiente grafica 7 nos muestra una comparación de variedad de pH entre el sulfato de aluminio y el biocoagulante de *Opuntia ficus Indica*, a las mismas concentraciones se obtuvo un pH de 6,97 con el biocoagulante y 7,12 con el sulfato de aluminio, los mismo que se encuentran en los límites de los máximos permisibles de acuerdo a la tabla 1 de TULSMA

Las tablas 16 y 17 nos muestran los análisis microbiológicos iniciales correspondientes a Coliformes fecales, donde el agua del río Bulubulu presenta un valor mínimo de < 3 NMP, mostrando ausencia de Coliformes fecales.

Las tablas 18 y 19 nos muestra los análisis microbiológicos inicial y final correspondiente a Coliformes totales, donde el agua del río Bulubulu presenta un valor inicial < 1100 NMP y el agua después de ser tratada con el coagulante natural (*Opuntia ficus*

Indica) presenta un valor de <3 NMP, mostrando ausencia de Coliformes totales.

De acuerdo a la tabla 20 se muestra la determinación de la eficiencia de los parámetros físicos-químicos y microbiológicos con el uso de biocoagulante en el agua del río Bulubulu teniendo una eficiencia total de 66,47%.

En la gráfica 8 se observa la eficiencia del biocoagulante en el agua del río Bulubulu mostrando los siguientes porcentajes de remoción de los parámetros analizados de pH 6,94%, turbiedad 96,21%, color 65%, Coliformes totales 99,72%.

5. CAPÍTULO V

5.1 Conclusiones

- Se logró una buena eficiencia en los distintos parámetros al utilizar el biocoagulante de la tuna (*Opuntia ficus indica*) así: en el contenido de Coliformes totales con una remoción de 99,72%; turbiedad de 96,21% y con un color de 65%, manteniendo el pH dentro de los rangos de los máximos permisibles, lo que demuestra que el biocoagulante, si es eficiente en este tipo de tratamiento.
- Los parámetros iniciales físico químico de la muestra tomada del río BuluBulu dieron como resultados 47,6 NTU de Turbiedad, 40 Pt/Cu de Color y un pH de 7,49; y lo microbiológicos como los Coliformes fecales y totales se obtuvo como resultado <3NMP/100 ml y 1100NMP/100 ml respectivamente.
- En la obtención del biocoagulante de tuna (*Opuntia Ficus-Indica*), se procedió a realizar las operaciones respectivas, utilizando 8 pencas con un peso total de 14 kg, y un residuo de cascara de 2,5 kg, al momento de realizar el respectivo corte, secado, molienda, tamizado se obtuvo un 0,60 kg del polvo como biocoagulante, realizando una extracción solido-líquido para extraer la coloración, por el método Soxhlet utilizando etanol al 96% GL, y para eliminación del residuo del etanol se realizó un secado a una temperatura de 60°C.
- Se realizó 4 pruebas experimentales para determinar la concentración optima del Biocoagulante a partir de *Opuntia Ficus-Indica* para tratar el agua del río Bulubulu, la cual

fue de 10 mg/L, obteniendo como resultado una turbiedad 1.80 NTU, color real 14 Pt/Cu y con un pH 6,97 lo cual se encuentra dentro de lo establecido en la Normas INEN 1108 requisito que debe cumplir el agua potable.

- La eficiencia total del biocoagulante de *Opuntia Ficus-Indica* para el tratamiento del agua del río Bulubulu es de 66,47%, de acuerdo a los parámetros utilizados.

5.2 Recomendaciones

- Al momento de la recolección y limpieza de las pencas de tuna, se debe utilizar equipo de protección personal, evitando así accidentes, debido a que contiene gran cantidad de espinas.
- Evitar utilizar pencas de tuna que tenga un alto grado de maduración debido a que afectara en la obtención del coagulante.
- Buscar otro método de secado de la penca del *Opuntia Ficus-Indica* que permita disminuir el consumo de energía y el tiempo, aumentando eficazmente el rendimiento en la obtención del biocoagulante.
- Fomentar nuevas investigaciones para realizar floculantes naturales ya que esto ayuda a un mayor concentrado de sedimentos en el tratamiento de aguas.
- Realizar los respectivos análisis acerca del componente antimicrobiano que presenta la tuna (*Opuntia Ficus-Indica*) y la aplicación como una nueva alternativa al momento de realizar la cloración en el tratamiento de potabilización de agua.

5.3 Abreviatura

Cm Centímetro

INEN Servicio Ecuatoriano de Normalización

NTU Unidad Nefelométrica de Turbidez

ml/L Miligramo por litro

ml Miligramo

m Metro

mm Milímetro

pH Potencial de Hidrogeno

ppm Parte por millón

Rpm Revoluciones por minuto

UPC Unidades de Platino y Cobalto

5.4 Bibliografía

- Martínez, J., & González, L. (2012). Evaluación del poder coagulante de la tuna (*Opuntia Ficus-Indica*) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas. *Universidad de Cartagena*, pp: 51.
- Abi-Faical, A. (2010). Aplicación de membrana de nanofiltración para eliminar disruptores endocrinos en la potabilización de agua. (U. P. Catalunya, Ed.) Barcelona. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/94167>
- Alcázar , D. (2015). Aplicación de un coagulante natural obtenido a partir de la penca de tuna (*Opuntia Ficus Indica*) para la mejora de la calidad en aguas de consumo en la localidad de Achocalla. pp: 22-25.
- Andía, Y. (2000). Tratamiento de Agua: Coagulación y Floculación. *SEDAPAL*, 16-19. Obtenido de http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154
- Arboleda, J. (2000). *Teoría, Diseño y Control de los Procesos de Clarificación del Agua* (Vol. 13). Lima: Departamento de Ingeniería y Ciencias del ambiente. Obtenido de <https://www.ircwash.org/node/60513>
- Atupaña, F. G., & Guacho, J. A. (12 de Noviembre de 2018). Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Banchón, C., Baquerizo, R., Muñoz, D., & Zambrano, L. (2016). Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales. *Enfoque UTE*, pág: 114.
- Barrenechea, A., & Aurazo, M. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Lima: Organización Panamericana de la Salud. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org>

- Billabona, Á., Paz, I., & Martínez, J. (2013). Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. *Revista Colombiana de Biotecnología*. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/32768/41988>
- Biodiversitas. (2006). Tuna: Producción y diversidad. pp:68.
- Bravo, M. (2017). *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José De Caldas.
- Cañas , D. (2015). *Propuesta de un sistema de costeo por procesos para el tratamiento de agua cruda en la planta Bellavista de la Empresa pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento - EPMAPS*. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/10015>
- Chavez, S. (2018). Evaluación de la acción coagulante de la semilla de durazno y tallo de nopal: aclaración de aguas turbias. pp: 7-8.
- Cuacés , M. G. (2013). Máquina desespinaadora de tunas para la variedad amarilla o de castilla (*Opuntia Ficus Indica* (L)). pp: 32 - 38.
- Domínguez Amoroch, M. F. (2010). *Optimizacion de Coagulacion-Floculacion en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la Sede Recreacional Compoalegre-Cajasan*. Bucaramanga, Colombia: Cajasan.
- El Comercio. (15 de Octubre de 2011). La tuna cuatro variedades se producen en el país. págs. <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/tuna-cuatro-variedades-se-producen.html>.
- Escobar, J. A. (06 de Abril de 2018). *Escuela Politécnica Superior de Chimborazo*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec>
- FUNDESYRAM. (2015). *Fundacion Para el Desarrollo Socioeconómica y Restauración Ambiental*. Obtenido de <http://www.fundesynam.info/biblioteca.php?id=2665>

- Google Maps . (2018). *Geografia del Rio Bulubulu* . Obtenido de <https://tierra.tutempo.net/ecuador/rio-bulubulu-ec001324.html>
- Google Maps. (Noviembre de 2018). *Facultad de Ingenieria Quimica* . Obtenido de <https://www.google.com.ec/maps/place/Facultad+de+Ingenier%C3%ADa+Qu%C3%ADmica+Universidad+de+Guayaquil/@-2.1826117,-79.8992985,16.17z/data=!4m6!3m5!1s0x902d6de7a9edb003:0x119fa42e0ed501c7!4b1!8m2!3d-2.1819132!4d-79.8992794>
- Goyenola , G. (Junio de 2007). Transparencia, color y turbidez. *Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos* , pp: 3.
- Inglese, P., Mondragon , C., Nefzaoui, A., & Sáenz , C. (2016). Ecología del Cultivo Manejo y Usos del Nopal. *ICARDA*, 35 - 40.
- inocuidad, Laboratorio de análisis químico y microbiológico de alimentos subsecretaria de calidad e. (2018). Ministerio de Acuacultura y Pesca. Guayaquil.
- Jiménez, E. E. (2014). Obtención del mucílago de la cáscara de la tuna (Opuntia Ficus-Indica). *Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química*, pp: 11-28.
- JPV Cosultores. (2014). Informe de Auditoría. Guayaquil. Obtenido de https://www.interagua.com.ec/sites/default/files/iag-ia-a13-003a_-_evolucion_de_insumos_quimicos_0.pdf
- Laboratorio de Aguas Acreditado de la Facultad de Ingeniería Química. (2018).
- Laboratorio de análisis químico y microbiológico de alimentos. (2018-2019). Ministerio de Acuacultura y Pesca.
- Méndez , A. (11 de Enero de 2011). Turbidez .

- Morejón, B. J. (2017). Utilización del mucílago de tuna (*Opuntia Ficus-Indica*) en el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano, en la comunidad de Pusir grande, provincia del Carchi. *Universidad Técnica Del Norte*, pág: 20 - 25.
- NTE INEN 1108. (2014). AGUA POTABLE. REQUISITOS. *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*, <http://www.pudeleco.com/files/a16057d.pdf>.
- NTE INEN 2 169:98. (s.f.). “AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.” . *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*, Pág: 10 - 20.
- Ojeda Báez, L. F. (2012). *Universidad Politécnica Salesiana De Quito*. Obtenido de <https://studylib.es/doc/7707763/universidad-polit%C3%A9cnica-salesiana-sede-quito>
- Ojeda, L. F. (2012). Determinación de la eficiencia de las características coagulantes y floculantes del *tropaeolum tuberosum*, en el tratamiento de agua cruda. pp: 4.
- Olivero, R., Mercado, I., Casas, D., & Montes, L. (2014). Utilización de Tuna (*opuntia ficus-indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. *Unilibre*, 70-73.
- Paucara, C. M. (2017). *Caracterización física y química de la tuna (Opuntia ficus-indica) en el Municipio de Luribay Provincia Loayza del Departamento de la Paz*. La Paz - Bolivia.
- Robles, A. (2009). Cultivo de Tuna. *Gerencia Regional Agraria La Libertad*, pp: 6-8. Obtenido de <https://docplayer.es/2153108-Gerencia-regional-agraria-la-libertad-opuntia-ficus-indica.html>
- Rosillo, C. K. (2016). Estudio de los principios bioactivos y obtención de colorantes naturales de la cáscara de *Opuntia ficus - indica* (L.) Miller “tuna”. *UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS*, 6-8. Obtenido de <https://docplayer.es/2153108-Gerencia-regional-agraria-la-libertad-opuntia-ficus-indica.html>

- Samboni, N. E., Carvajal, Y., & Escobar, J. C. (2015). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería de Investigación*.
- Severiche, C. A., Castillo, M. E., & Acevedo, R. L. (2013). Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos Básicos en Aguas.
- Solís, R., Laines, J., & Hernández, R. (2012). Mezcla con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Scielo*, 230. Obtenido de <http://www.scielo.org/php/index.php>
- Valenzuela, C. (2014). Dureza del agua . En *Revisión Bibliografica* (pág. pp: 56).
- Vallejo , E., & Zapata, K. (2014). Estudio comparativo de la reprogramación del proyecto control de inundaciones del río Bulubulu - Cañar utilizando métodos estocásticos y software de programación de obras. pp: 80-86.
- Vilanova , R., Santín, I., & Pedret, C. (2017). Control y Operación de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, pp. 217-233.
- Villabona Ortiz, A., Paz Astudillo, I. C., & Martínez García, J. (2013). Characterization of *Opuntia ficus-indica* for using as a natural coagulant. *Revista Colombiana de Biotecnología*, vol. 15 pp: 137-144.

5.5 Anexos

Anexo A: Selección de dosis óptima del coagulante de las pecas de tuna (*Opuntia Ficus Indica*).

Tabla 21 Resultados en busca de la dosis óptima de biocoagulante de las pecas de tuna (*Opuntia Ficus Indica*). (Primer test de jarras)

	Agua Cruda	Dosificación mg/l	Observaciones visuales		Agua sedimentada		
	Turbiedad: 47.6 NTU Color real: 40 (Pt/Cu)	Mezcla rápida Tiempo: 1min Velocidad: 100 rpm	Volúmenes de vasos 500 ml		Floculación Tiempo de flocs 10 min min Velocidad 30 rpm	Sedimentación Tiempo de sed 15 min	
N° de Jarras	pH	Coagulante Solución de <i>Opuntia Ficus Indica</i>	Tiempos de formación de flocs	Índice de Willcomb	pH	Color (Pt/Cu)	Turbiedad (NTU)
1	7,49	-	-	-	7,49	40	47.6
2	7,49	40	3'05''	6	7,28	18	15,77
3	7,49	80	5'39''	4	7,29	20	25,67
4	7,49	120	5'10''	4	7,34	23	31.35
5	7,49	160	5'50''	2	7,47	29	35,50
6	7,49	200	6'15''	2	7,76	38	39,10

Elaborado por: (Atupaña & Guacho, 2018)

Tabla 22 Porcentaje de remoción de turbiedad y color del primer test de jarras con el biocoagulante de *Opuntia Ficus Indica*

Muestra	Turbiedad (NTU)	Color (Pt/Cu)	% Remoción de turbiedad	% remoción de color
1	47,6	40	-	-
2	15,77	18	68,87	55
3	25,67	21	46,07	47,5
4	31,35	23	34,14	42,5
5	35,50	29	25,42	27,5
6	39,10	35	17,84	12,5

Elaborado por: (Atupaña & Guacho, 2018)

Tabla 23 Resultados en busca de la dosis óptima de biocoagulante de las pecas de tuna (*Opuntia Ficus Indica*). (Segundo test de jarras)

	Agua Cruda	Dosificación mg/l	Observaciones visuales		Agua sedimentada		
	Turbiedad: 47.6 NTU Color real: 40 (Pt/Cu)	Mezcla rápida Tiempo: 1min Velocidad: 100 rpm	Volúmenes de vasos 500 ml		Floculación Tiempo de flocs 10 min min Velocidad 30 rpm	Sedimentación Tiempo de sed 15	
N° de Jarras	pH	Coagulante Solución de <i>Opuntia Ficus Indica</i>	Tiempos de formación de flocs	Índice de Willcomb	pH	Color (Pt/Cu)	Turbiedad (NTU)
1	7,49	-	-	-	7,49	40	47,6
2	7,49	5	5'40''	6	7,30	19	5,81
3	7,49	10	4'39''	8	7,01	15	2,07
4	7,49	15	5'10''	4	7,40	20	3.35
5	7,49	20	6'10''	2	7,37	23	7,30
6	7,49	25	6'50''	2	7,25	29	8,10

Elaborado por: (Atupaña & Guacho, 2018)

Tabla 24 Porcentaje de remoción de turbiedad y color del primer test de jarras con el biocoagulante de *Opuntia Ficus Indica*

Muestra	Turbiedad (NTU)	Color (Pt/Cu)	% Remoción de turbiedad	% remoción de color
1	47,6	40	-	-
2	5,81	19	87.79	52,5
3	2,07	15	95,65	62,5
4	3.35	20	92.96	50
5	7,30	23	84,66	42,5
6	8,10	29	82,98	27,5

Elaborado por: (Atupaña & Guacho, 2018)

Anexos B fotografías

Fotografía 2 Selección de pencas



Fuente: (Atupaña & Guacho, 2018)

Fotografía 3 Pelado de pencas



Fuente: (Atupaña & Guacho, 2018)

Fotografía 4 Cortado de penca



Fuente: (Atupaña & Guacho, 2018)

Fotografía 5 Secado de penca



Fuente: (Atupaña & Guacho, 2018)

Fotografía 6 Molienda Fotografía



Fuente: (Atupaña & Guacho, 2018)

7 Tamizado de la penca



Fuente: (Atupaña & Guacho, 2018)

Fotografía 8 Extracción de la pigmentación



Fuente: (Atupaña & Guacho, 2018)

Fotografía 9 Coagulante de penca



Fuente: (Atupaña & Guacho, 2018)

Fotografía 10 Solución madre
((Opuntia Ficus-Indica))



Fuente: (Atupaña & Guacho, 2018)

Fotografía 11 Turbidímetro HACH 2100P



Fuente: (Atupaña & Guacho, 2018)

Fotografía 12 Colorímetro HACH 890



Fuente: (Atupaña & Guacho, 2018)

Fotografía 13 pH metro



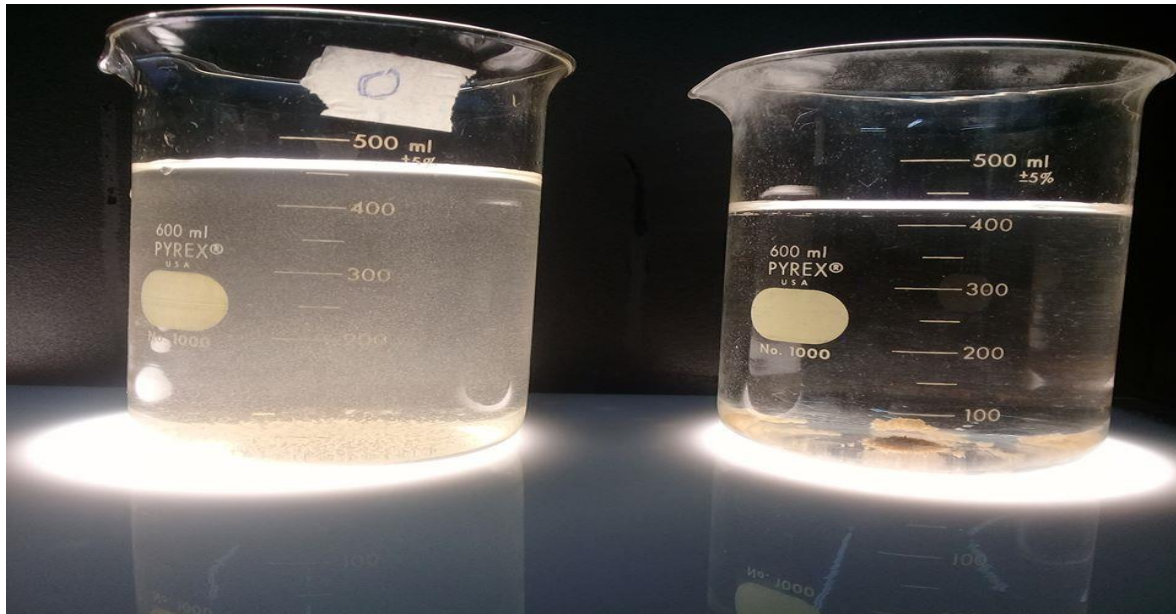
Fuente: (Atupaña & Guacho, 2018)

Fotografía 14 Agua de río antes y después del tratamiento con el coagulante *Opuntia Ficus-Indica*



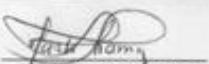
Fuente: (Atupaña & Guacho, 2018)

Fotografía 15 Formación de Floc al añadir el coagulante



Fuente: (Atupaña & Guacho, 2018)

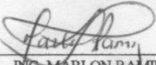
Fotografía 16 Análisis fisicoquímico de la muestra inicial

 UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL	 UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD LABORATORIOS AGUAS PETRÓLEO Y MEDIO AMBIENTE Facultad de Ingeniería Química Universidad de Guayaquil Cda. Universitaria Salvador Allende Teléfono: 2292949 - FAX: 2294772 Guayaquil - Ecuador	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL SAE CON ACREDITACIÓN N° OAE LE C 08-003				
INFORME DE ANALISIS FISICO - QUIMICO						
SOLICITADO POR: JESSICA GUACHO QUIROZ		INFORME N°: LA / 210 / 18				
EMPRESA: -						
DIRECCIÓN: Las Malvinas						
Fecha de inicio de análisis: 2018 / 12 / 21		Fecha de recepción: 2018 / 12 / 20				
Fecha de culminación de análisis: 2019 / 01 / 07						
IDENTIFICACIÓN DE LOS ANALISIS TABULADOS						
A: MUESTRA DE AGUA, RIO BULU BULU (CRUDA).		TIPO DE MUESTRA: PUNTUAL ⁽¹⁾ FECHA DE MUESTREO: 2018 / 12 / 20 ⁽²⁾				
Parámetros	Expresado como	Unidad	Resultados	incert. U (k=2)	Límites Máximos Permisibles⁽²⁾	Método
A						
Potencial de Hidrogeno	pH		7.49	± 0.14	6 - 9	4500-678 PERCUTANAL
*Color	Color real	PtCo	40	-	75	8025 HACH
*Turbidez	-	NTU	47.6	-	100	2130 B
Sólidos suspendidos	-	mg/l	106	± 0.11	-	3540 D PERCUTANAL
*Nitrato	N-NO ₃	mg/l	0.4	-	50	8171 HACH
*Nitrato	N-NO ₃	mg/l	0.008	-	0.2	HACH 8507
OBSERVACIONES:						
Los ensayos marcados () NO están incluidos en el alcance de la Acreditación del SAE.						
⁽¹⁾ Datos proporcionado por la empresa.						
⁽²⁾ Legislación Ambiental. Tabla 1: Criterios de Calidad de Fuentes de agua para consumo humano y doméstico. Acuerdo Ministerial N° 083B. 097-A; 140. Noviembre 2015.						
 DR. MARLON RAMÍREZ DIRECTOR TÉCNICO				Fecha de emisión: 2019 / 01 / 10		
Los análisis fueron realizados de acuerdo al STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER, SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTE 23RD EDITION						
* Los resultados obtenidos en este informe son exclusivos de la Muestra sometida a ensayo. Nota: * Queda prohibido la reproducción parcial o total de este informe sin previa autorización de esta Unidad.						

MC2203-01
Hoja 1 de 2

Fuente:(Laboratorio de Aguas Acreditado de la Facultad de Ingeniería Química, 2018)

Fotografía 17 Análisis físicoquímico del agua tratada

 UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL	 UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD LABORATORIOS AGUAS PETRÓLEO Y MEDIO AMBIENTE Facultad de Ingeniería Química Universidad de Guayaquil Cda. Universitaria Salvador Allende Teléfono: 2292949 - FAX: 2294772 Guayaquil - Ecuador	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL SAE CON ACREDITACIÓN N° OAE LE C 08-003				
INFORME DE ANALISIS FISICO - QUIMICO						
SOLICITADO POR: JESSICA GUACHO QUIROZ EMPRESA: - DIRECCIÓN: Las Malvinas Fecha de inicio de análisis: 2018 / 12 / 21 Fecha de culminación de análisis: 2019 / 01 / 07		INFORME N°: LA / 210 / 18 Fecha de recepción: 2018 / 12 / 20				
IDENTIFICACIÓN DE LOS ANALISIS TABULADOS						
B: MUESTRA DE AGUA, RIO BULU BULU (TRATADA).		TIPO DE MUESTRA: PUNTUAL ⁽¹⁾ FECHA DE MUESTREO: 2018 / 12 / 20 ⁽¹⁾				
Parámetros	Expresado como	Unidad	Resultados	Incert. U (k=2)	Límites Máximos Permisibles ⁽²⁾	Método
Potencial de Hidrogeno.	pH		6.97	± 0.14	6 - 9	4500-H ⁺ B PERUCCLA/02
*Color	Color real	Pt/Co	14	-	75	8025 HACH
*Turbidez	-	NTU	1.80	-	100	2130 B
**Sólidos suspendidos	-	mg/l	5	-	-	2540 D PERUCCLA/05
*Nitratos	N-NO ₃ ⁻	mg/l	0.4	-	50	8171 HACH
*Nitritos	N-NO ₂	mg/l	0.009	-	0.2	HACH 8307
OBSERVACIONES: *Los ensayos marcados (*) NO están incluidos en el alcance de la Acreditación del SAE. **Rango de acreditación: SST: 100 - 1 000 mg/l. ⁽¹⁾ Dato proporcionado por la empresa. ⁽²⁾ Legislación Ambiental. Tabla 1: Criterios de Calidad de Fuentes de agua para consumo humano y doméstico. Acuerdo Ministerial N° 083B; 097-A; 140. Noviembre 2015.						
 ING. MARLON RAMIREZ DIRECTOR TÉCNICO				Fecha de emisión: 2019 / 01 / 10		
Los análisis fueron realizados de acuerdo al STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER, SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTE 23RD EDITION						
* Los resultados obtenidos en este informe son exclusivos de la Muestra sometida a ensayo. Nota: * Queda prohibido la reproducción parcial o total de este informe sin previa autorización de esta Unidad.						

Fuente: (Laboratorio de Aguas Acreditado de la Facultad de Ingeniería Química, 2018)

Fotografía 18 Análisis microbiológico inicial del agua de río



GOBIERNO
DE LA REPUBLICA
DEL ECUADOR



MINISTERIO
DE ACUACULTURA
Y PESCA

LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE ALIMENTOS
SUBSECRETARÍA DE CALIDAD E INOCUIDAD



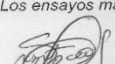
Pag 1/1

CÓDIGO ÚNICO No.	12690-1-M1	Reporte No.	27452
EMPRESA	NOMBRE	JESSICA ALEXANDRA GUACHO QUIROZ	
	DIRECCIÓN	MALVINAS - GUAYAQUIL, MALVINAS - GUAYAQUIL	
TIPO DE PRODUCTO	AGUA DE RIO		
FACTURA	CODIGO/LOTE	M-1	FECHA DE RECEPCION
			05/12/2018
PESO DECLARADO	MARCA		FECHA FINALIZACION DE ANALISIS
			11/12/2018
ORDEN DE TRABAJO	56684	CLASIFICACION	N/A
CONDICIONES AMBIENTALES	Temperatura(°C) 19-26	HUMEDAD RELATIVA	Humedad Relativa: (%) 49-70

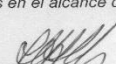
RESULTADO DE ANÁLISIS			
PARAMETRO	METODO REFERENCIA	RESULTADO	UNIDAD
*Coliformes fecales	MLM_31 Standard Methods Ed. 22, 2012	<3NMP/100	ml
*Coliformes totales	MLM_28 Standard Methods Ed. 22, 2012	1100NMP/100	ml

Muestreo realizado por	LA EMPRESA
Observaciones	

NOTA: Este reporte solamente puede ser reproducido de forma integral y con la autorización por escrito del SCI. Está totalmente prohibida su reproducción de forma parcial. Los resultados emitidos en éste reporte se refieren exclusivamente al material ensayado y no son relacionados directamente a productos no ensayados. Los registros de los análisis son archivados en el laboratorio por 5 años. Se analizó bajo las condiciones de temperatura de recepción de la muestra. Los ensayos marcados con * NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.



DRA. SULLY STACIO
RESPONSABLE AUTORIZADO



ING. FERNANDA HURTADO
DIRECTOR(A) TÉCNICO(A)

Letamendi 102 y la Ría * Telefax: (593-4) 2401 773 - 2401 776 - 2401 779 * Fax(593-4) 2402 304
 P.O. Box: 09-01-15131 * E-mail: sci@acuaculturaypesca.gob.ec * Guayaquil - Ecuador

Fuente: (Laboratorio de análisis químico y microbiológico de alimentos, 2018-2019)

Fotografía 19 Análisis microbiológico final del agua de río



GOBIERNO
DE LA REPÚBLICA
DEL ECUADOR



MINISTERIO
DE ACUACULTURA
Y PESCA

LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE ALIMENTOS
SUBSECRETARÍA DE CALIDAD E INOCUIDAD



Ministerio
de Acuicultura
y Pesca

Pag 1/1

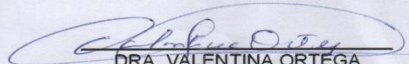
ORIGINAL

CÓDIGO ÚNICO No.	12690-691-M68	Reporte No.	28435
EMPRESA	NOMBRE JESSICA ALEXANDRA GUACHO QUIROZ		
	DIRECCIÓN MALVINAS - GUAYAQUIL, MALVINAS - GUAYAQUIL		
TIPO DE PRODUCTO	AGUA DE RIO TRATADA CON COAGULANTE NATURAL		
FACTURA	CODIGO/LOTE	M-1	FECHA DE RECEPCION 24/01/2019
PESO DECLARADO	MARCA		FECHA FINALIZACION DE ANALISIS 31/01/2019
ORDEN DE TRABAJO	70074	CLASIFICACION N/A	FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS 31/01/2019
CONDICIONES AMBIENTALES	Temperatura(°C) 19-26	HUMEDAD RELATIVA	Humedad Relativa: (%) 49-70

RESULTADO DE ANALISIS			
PARAMETRO	METODO REFERENCIA	RESULTADO	UNIDAD
*Coliformes fecales	MLM_31 Standard Methods Ed. 22, 2012	<3NMP/100	ml
*Coliformes totales	MLM_28 Standard Methods Ed. 22, 2012	<3NMP/100	ml

Muestreo realizado por	LA EMPRESA
Observaciones	

NOTA: Este reporte solamente puede ser reproducido de forma integral y con la autorización por escrito del SCI. Está totalmente prohibida su reproducción de forma parcial. Los resultados emitidos en éste reporte se refieren exclusivamente al material ensayado y no son relacionados directamente a productos no ensayados. Los registros de los análisis son archivados en el laboratorio por 5 años. Se analizó bajo las condiciones de temperatura de recepción de la muestra. Los ensayos marcado con (*) NO estan incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.



DRA. VALENTINA ORTEGA
RESPONSABLE AUTORIZADO



ING. FERNANDA HURTADO
DIRECTOR(A) TÉCNICO(A)



Ministerio
de Acuicultura
y Pesca

CONTROL INTERNO
MULTIDISCIPLINARIO

Letamendi 102 y la Ría * Telefax: (593-4) 2401 773 - 2401 776 - 2401 779 * Fax(593-4) 2402 304
 P.O. Box: 09-01-15131 * E-mail: sci@acuaculturaypesca.gob.ec * Guayaquil - Ecuador

Fuente: (Laboratorio de análisis químico y microbiológico de alimentos, 2018-2019)

