



UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos

PROYECTO DE TESIS

“Efecto en la disminución de la turbidez en el agua por floculantes de *Opuntia ficus-indica* (Tuna) con diferentes procesos de extracción en el río Chonta de Cajamarca, 2018”

Autor:

Lozano Florián, Lorena Lizeth

Asesor:

Joaquín Rodríguez, Fernando Camilo

Cajamarca – Perú

Julio - 2018



UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos

PROYECTO DE TESIS

“Efecto en la disminución de la turbidez en el agua por floculantes de *Opuntia ficus-indica* (Tuna) con diferentes procesos de extracción en el río chonta de Cajamarca, 2018”

Tesis para optar el título profesional de:
Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos

Autor:

Lozano Florián, Lorena Lizeth

Asesor:

Joaquín Rodríguez, Fernando Camilo

Cajamarca – Perú
2018

COPYRIGHT © 2018 by

LORENA LIZETH LOZANO FLORIÁN

Todos los derechos reservados

A:

Dedico esta tesis en primera instancia a DIOS, por darme la fortaleza necesaria para superar cada uno de los obstáculos que se me presentaron en el transcurso de mi carrera.

A mi madre hermosa, la cual siempre me ha apoyado y brindado todo el cariño incondicional y por la que me esfuerzo por salir adelante y superarme en la vida:

Sra. Norma Violeta Florián Morales

A mis hermanos Jorge Luis y Micaela, que me apoyaron y brindaron su apoyo en todo el transcurso de mi carrera y culminación de mi tesis.

Este trabajo ha sido posible gracias a todos ellos, que son mi motivación, inspiración y felicidad. Los amo inmensamente.

Agradecimientos

- A Dios por permitirme llegar hasta aquí, porque su fidelidad y misericordias son nuevas cada día.
- A la Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo por la formación académica impartida.
- Al laboratorio ImnoDevel S.A.C. por haberme permitido disponer de sus instalaciones y recursos para la realización de esta investigación.
- A mi asesor, el Mg. Fernando Camilo Joaquín Rodríguez, por su compromiso y dedicación durante todo el proyecto, por brindarme su apoyo, paciencia y por sus acertados consejos y sugerencias, enseñándome con su ejemplo lo que es la perseverancia.
- A todos nuestros profesores por su esfuerzo y dedicación para transmitirnos sus conocimientos.

Resumen

En esta investigación se presentan los resultados de la obtención y aplicación del polímero natural extraído de las pencas de tuna (*Opuntia ficus-indica*) como mucílago fresco obtenido a través de tres procesos de operaciones unitarias como extracción, licuado y escurrimiento.

Este polímero se utilizó como coagulante natural en aguas del río Chonta de Cajamarca; se evaluó la eficiencia del mucílago extraído de la Tuna (*Opuntia ficus-indica*) como agente clarificante. Los ensayos se realizaron a escala de laboratorio, con agua turbia con valores de turbidez iniciales de 55 NTU. Los parámetros a medir fueron la turbidez, el pH, Conductividad y la dosis del coagulante (mucílago fresco).

Los estudios realizados indicaron que el mucílago fresco del proceso de extracción remueve la turbidez a un 82% al tratar turbidez inicial de 55 NTU reduciendo a una turbidez final de 10 NTU, los procesos de extracción y licuado fueron menos eficientes en la disminución de la turbidez.

Palabras Clave: Uso de la Tuna, Floculación.

Abstract

In this investigation they present the results of the obtaining and application of the natural polymer extracted from the main ribs of tuna (*Opuntia ficus-indicates*) as fresh slime obtained across three processes of unitary operations as extraction, liquefied and runoff. This polymer was in use as natural coagulant in waters of the river Chonta de Cajamarca; there was evaluated the efficiency of the slime extracted from prickly pear (*Opuntia ficus-indicates*) as clarifying agent. The tests were realized to laboratory scale, with turbid water with initial values of turbidity of 55 NTU. The parameters to measuring were the turbidity, the pH, Conductivity and the dose of the coagulant (fresh slime). The realized studies indicated that the fresh slime of the process of extraction removes the turbidity to 82 % on having treated initial turbidity of 55 NTU reducing to a final turbidity of 10 NTU, the processes of extraction and liquefied they were less efficient in the decrease of the turbidity.

Keywords: Use of the Tuna, Flocculation.

Índice

Dedicatoria	i
Agradecimientos	ii
Resumen.....	iii
Abstract	iv
Índice.....	v
LISTA DE TABLAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
INTRODUCCIÓN	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. Planteamiento del problema de investigación	3
1.2. Formulación del Problema	4
1.3. Justificación de la investigación	5
2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
2.1. Objetivo general.....	6
2.2. Objetivos específicos	6
3. MARCO TEÓRICO	7
3.1. Teorías que sustentan la investigación	7
3.2. Fundamentos teóricos.....	11
3.2.1. Sólidos en el agua cruda.....	11
3.2.2. Origen de los Sólidos	12
3.2.3. Procesos de remoción de sólidos	13
3.2.4. Agua Cruda	18
3.2.5. Características del agua cruda	19
3.2.5.1. Color	19
3.2.5.2. Turbidez-transparencia	20
3.2.5.3. Conductividad	21
3.2.5.4. pH.....	22
3.2.6. El mucílago de la Tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>).....	22

3.2.7.	Taxonomía	24
3.2.8.	Composición química de <i>Opuntia ficus-indica</i> (tuna).....	25
3.2.9.	<i>Opuntia ficus-indica</i> (tuna) como agente depurador	27
3.2.10.	Test de Jarras.....	29
3.3.	Discusión Teórica	30
3.4.	Definición términos básicos	32
4.	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	35
4.1.	Operacionalización de las variables	35
5.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	36
5.1.	Unidad de análisis, muestra, universo.....	36
a.	Unidad de análisis	36
b.	Muestra.....	37
c.	Universo	37
5.2.	Método de investigación	37
5.3.	Técnica de investigación	40
5.4.	Instrumentos de investigación	41
5.5.	Técnicas de análisis estadístico.....	42
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
6.1.	Presentación	43
6.2.	Tratamiento de datos obtenidos en los experimentos	44
6.3.	Análisis e interpretación	44
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
7.1.	Conclusiones	61
7.2.	Recomendaciones	62
8.	LISTA DE REFERENCIAS	63
	ANEXO A	67
	ANEXO B	69
	ANEXO C	72

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de Opuntia Ficus Indica (tuna)	26
Tabla 2. Matriz operacional de variables	35
Tabla 3. Factores y respuestas de cada unidad experimental.....	43
Tabla 4. Características de carbohidratos	45
Tabla 5: Análisis de Varianza de un solo factor Turbidez inicial	46
Tabla 6: Análisis de Varianza - Resumen de medias turbidez inicial	46
Tabla 7. Análisis de Varianza de un solo factor turbidez final	48
Tabla 8. Análisis de Varianza - Resumen de medias turbidez final.....	48
Tabla 9. Análisis de Varianza de un solo factor pH.....	50
Tabla 10. Análisis de Varianza - Resumen de medias pH.....	51
Tabla 11. Análisis de Varianza de un solo factor conductividad	52
Tabla 12. Análisis de Varianza - Resumen de medias conductividad.....	53
Tabla 13. Efecto en la disminución de la turbidez en el agua por flocculantes de Opuntia ficus - indica (Tuna) mediante el proceso de extracción.	57
Tabla 14. “Tratamiento ecológico, una alternativa sustentable para la purificación de aguas contaminadas destinada al riego de cultivos en Arequipa”	58
Tabla 15. “Utilización del mucílago de tuna (Opuntia ficus – indica) en el mejoramiento de la calidad del agua de consumo, en la comunidad de Pusir grande, provincia del Carchi”	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Planta de tuna. Fuente.....	23
Figura 3. Intervalos de la turbidez inicial.....	47
Figura 4. Intervalos de la turbidez final.....	49
Figura 5. Intervalos del pH.....	51
Figura 6. Intervalos de Conductividad.....	53
Figura 7. Influencia de factores turbidez final.....	54
Figura 8. Valores individuales turbidez final.....	55
Figura 9. Grafica descriptiva de experimentos.....	56
Figura 10. Resultados de Laboratorio.....	68
Figura 11. Foto 01 Recolección de muestras de agua del río Chonta.....	70
Figura 12. Foto 02 Compósito de 50 litros de Agua.....	70
Figura 13. Foto 03 se coloca 500 ml de agua y conductividad inicial.....	67
Figura 14. Foto 04 medición de turbidez, ph del río en un beaker de la misma medida..	70
Figura 15. Foto 05 recolección de pencas del mucílago.....	67
Figura 16. Foto 6 proceso de extracción de la tuna y eliminación de espinas.....	70
Figura 17. Foto 07 proceso de licuado del mucílago.....	68
Figura 18. Foto 08 proceso de escurrimiento.....	71
Figura 19. Foto 09 obtención del mucílago de los 3 procesos.....	71
Figura 20. Foto 10 agregando el mucílago a los beaker para la prueba de jarras.....	71
Figura 21. Foto 11 Prueba de test de jarras.....	71
Figura 22. Foto 12 efecto del mucílago en el agua del río.....	71
Figura 23. Foto 13 Ubicación del río Chonta - Cajamarca.....	73

INTRODUCCIÓN

Las descargas de efluentes de una diversidad de actividades de origen antropogénico han tenido como conclusión la contaminación de los ríos, lagos y otros cuerpos de agua. El acelerado incremento poblacional y la extensión de las zonas urbanas han desarrollado impactos adversos sobre los recursos hídricos.

El agua cruda derivado de ríos, lagos y manantiales trae consigo impurezas, gases, residuo y microorganismos, los cuales pueden afectar la salud del ser humano, las bacterias, virus y parásitos son partículas coloidales que pueden incorporarse a otro tipo de cuerpo en suspensión, generando el incremento de la turbidez y el peligro de enfermedades gastrointestinales Debido a lo anterior, la separación de la turbidez es indispensable antes de llevar a cabo la etapa de desinfección del proceso de potabilización del agua.

Teniendo en cuenta esta etapa, día tras día se busca mejorar e implementar nuevas tecnologías con las cuales se puedan producir a cabo estos procesos de forma más económica, eficiente y amigable con el medio ambiente. La desestabilización o coagulación del agua, ha sido constantemente considerada una de las etapas más notable del tratamiento, por ello se le ha dado mucha valor a los agentes coagulantes utilizados, ya que sin ellos, esta fase fundamental no sería no sería permisible. Es por esta razón, que se ha investigado mucho referente al tema,

en la actualidad los coagulantes preferidos siguen siendo las sales minerales de hierro y aluminio, a excepción de, los polielectrólitos orgánicos sintéticos cada día adquieren mayor importancia. Vale la pena anotar que estos reactivos deben ser dosificados con mucho cuidado porque en exceso pueden llegar a ser perjudicial para la salud.

Como alternativa a estos agentes químicos, al inicio de los años setenta en varios países latinoamericanos se propuso hacer uso de coagulantes naturales extraídos de especies vegetales o animales locales para atenuar en parte o en su totalidad el consumo de coagulantes sintéticos. Esta actividad no tuvo un apogeo significativo debido a la elaboración y comercialización de polímeros sintéticos con mayor eficacia. No obstante, son muy diversas las fuentes naturales estudiadas en todo el mundo, con la finalidad de ser utilizadas como coagulantes, para la clarificación del agua.

Teniendo en cuenta el aumento de buscar alternativas más ecológicas, es que en la presente investigación se propone hacer el uso de la penca de Tuna, evaluando que proceso de extracción es mejor para disminuir la turbidez del agua.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema de investigación

En los últimos años el río Chonta viene soportando una fuerte contaminación debido al vertido de aguas residuales domésticas (principalmente materia fecal), aguas residuales industriales (metales pesados) y residuos sólidos (basura), que lo están dañando seriamente y comprometiendo la salud de la población. Por otro lado, los agricultores y ganaderos utilizan el agua del río Chonta para el riego de cultivo y para dar de beber a sus animales.

Para la separación de sólidos en el agua se emplean diferentes métodos o procesos de remoción, entre éstos tenemos a la sedimentación sin el uso de aditivos, también la sedimentación ayudados de la coagulación y floculación de por la adición de productos específicos para éstos proceso. Los productos usados en la floculación y coagulación son diversos, existiendo algunos provenientes de una síntesis químicos y otros de origen natural. Según Kelderman y Kruis, (2001) “Los coagulantes más ampliamente usados están hechos a base de sales de hierro y aluminio. Los más ampliamente usados son sulfato de aluminio, cloruro de hierro (II) y sulfato de hierro (II).” También se viene usando los coagulantes de origen natural, tal como lo describe García, (2007) describe que los agentes naturales son sustancias solubles en agua, procedentes de materiales de

origen vegetal o animal que actúan de modo similar a los coagulantes y desinfectantes sintéticos, aglomerando las partículas en suspensión que contiene el agua cruda, facilitando su sedimentación y reduciendo la turbidez inicial de esta. Algunos coagulantes poseen además propiedades antimicrobianas, por lo que reducen o eliminan el contenido de microorganismos patógenos susceptibles de producir enfermedades.

Por estas razones, se considera pertinente buscar fuentes naturales para la producción de coagulantes amigables con el medio ambiente y más accesibles a las economías emergentes de los países en vía de desarrollo. En resumidas cuentas, las fuentes de obtención ideales no deben afectar la cadena alimenticia y tener una mínima o nula toxicidad. Allí radica la importancia de este proyecto, donde se pretende obtener un coagulante natural, a partir de la Tuna (*Opuntia ficus indica*) útil para la remoción de la turbidez en aguas crudas.

1.2. Formulación del Problema

¿Cuál de los productos extraídos de *Opuntia ficus-indica* (tuna) será más eficiente para disminuir la turbidez del agua, en el Río Chonta de Cajamarca?

1.3. Justificación de la investigación

En la actualidad, las aguas del río Chonta son utilizadas en distintas actividades económicas y productivas, especialmente de carácter agrícola, ya que con ellas se riegan gran cantidad de cultivo que abastecen a la ciudad.

En función a ello, el proyecto intenta desarrollar un sistema que permita la purificación de estas aguas para disminuir la turbidez (Sólidos suspendidos), para mejorar su calidad y por lo tanto puedan ser utilizadas para el riego de cultivos agrícolas.

Este proyecto es considerado de alto impacto, debido a que no es necesario la aplicación coagulantes químicos para la reducción de la turbidez (Sólidos suspendidos).

2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Objetivo general

Evaluar la efectividad de los procesos de obtención del floculante de *Opuntia ficus-indica* (Tuna) para disminuir la turbidez en el río Chonta de Cajamarca.

2.2. Objetivos específicos

- a. Obtener el coagulante-floculante mediante tres procesos (extracción, licuado y escurrimiento) para usar como coagulante-floculante.
- b. Determinar la concentración de carbohidratos y la densidad en cada uno de los tres productos obtenidos en los procesos.
- c. Evaluar la disminución de la turbidez por efecto de los coagulantes-floculantes mediante las pruebas “Jar Test”, considerando como factores intervinientes la concentración y la agitación.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Teorías que sustentan la investigación

En un artículo de Process Biochemistry Díaz, Rincón, Escorihuela, Fernández, y Chacín, (1999) describieron que:

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

Por otro lado, Almendárez, (2004) en Managua – Nicaragua se extrajo y analizó, de la Tuna (*Opuntia Cochinellífera*), un polielectrólito

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

Siguiendo la misma línea de investigación Zhang, Luo, y Yang, (2006) en China, se estudió el comportamiento de un coagulante natural obtenido a partir de un cactus. Con base a los resultados obtenidos se concluyó que este principio activo bajo ciertas condiciones iniciales de turbidez (20 a 200 NTU), pH alcalino y 30 °C de temperatura, alcanza una eficiencia de remoción muy alta y una turbidez final menor a 5 NTU. En este caso la dosis óptima fue similar a la del sulfato de aluminio para una misma muestra de agua, a su vez, se utilizó de manera conjunta el cactus y el sulfato de aluminio para el tratamiento de aguas residuales, la eficiencia de remoción de turbidez fue mayor a la obtenida cuando se utilizó solo uno de los dos.

Antov y Petrovic, (2010) semillas como la del fríjol también han sido estudiadas, con el objetivo de evaluar la efectividad del agente activo y

mejores técnicas de extracción con una solución de NaCl. Los resultados finales sugieren, que la mayor concentración del principio activo se obtuvo con una solución de 0,5 M y para una concentración de 1,75 M se obtuvo la mayor actividad (72,3%) del coagulante, casi 22% más efectivo que las semillas crudas del frijol, esto permite la utilización del coagulante para la purificación del agua, aunque su poder de remoción no se comparara con coagulantes más eficientes.

Vásquez, (1994) muchas especies de cactus hacen parte de la larga lista de sustancias ensayadas para obtener coagulantes naturales alrededor del mundo. Por ejemplo, en México se extrajo el agente activo de varias especies nativas de cactus (*Opuntia imbricata* y *Opuntia lindheimeri*), usando acetona como solvente. Análisis fisicoquímicos realizados, mostraron un alto contenido de sales inorgánicas, las cuales son importantes en el proceso de coagulación, porque favorecen la desestabilización de las cargas. Los coagulantes naturales obtenidos fueron utilizados para el tratamiento de aguas sintéticas, aguas residuales domésticas y para la remoción de metales pesados. La remoción de turbidez, de las dos especies fue muy similar para las pruebas con aguas sintéticas y aguas residuales domésticas, para la remoción de metales pesados los coagulantes fueron muy efectivos en un pH alcalino. Los resultados obtenidos permitieron concluir, que los cactus pueden utilizarse, como coagulantes por sí solo, o trabajar junto con el alumbre para aumentar su eficiencia.

A su vez Rodríguez, Lugo, Rojas, y Malaver, (2007), en Colombia se han realizado investigaciones sobre la utilización de coagulantes naturales, como el almidón de yuca y el almidón de maíz, los cuales han sido evaluados junto con el sulfato de aluminio B y un polielectrólito comercial, como agentes coagulantes de aguas crudas superficiales, utilizadas para el abastecimiento de una planta potabilizadora. Las pruebas se realizaron a 20 °C, con agua cruda de la quebrada Las Delicias en Bogotá D.C. la cual presento una turbidez promedio de 175 ± 5 NTU, color 70 ± 5 UPC y pH de $5,4 \pm 0,5$.

Rodríguez, Lugo, Rojas, y Malaver, (2007) los resultados obtenidos mostraron un buen desempeño del almidón de maíz, comparable con el polielectrólito y mejor que el sulfato de aluminio B, para estas condiciones se obtuvo una dosis óptima de 20 mg/L, turbidez final por debajo de 20 NTU, color inferior a 25 UPC y pH de 5,38, parámetros acordes con la normativa colombiana. Por el contrario, el almidón de yuca presentó un mal desempeño en estas condiciones y fue el menos efectivo de los agentes coagulantes evaluados.

Guzmán, Tarón, y Núñez (2007) en la Universidad de Cartagena, también se han realizado estudios sobre coagulantes naturales, la fuente considerada fue las semillas de cañafístula (*Cassia fistula*) una planta

nativa de la región y fuente de alimento. Las semillas fueron secadas y trituradas. El polvo obtenido fue utilizado para tratar una muestra de agua recolectada en el canal del Dique, los resultados permitieron establecer una dosis óptima de 20 mg/L para un mismo volumen de control, además, este agente coagulante no afectó de manera significativa el pH, la alcalinidad total y dureza total del agua cruda tratada. La remoción de la turbidez fue del 95% y de color del 87,5%, las cuales son comparables por la normativa vigente en ese año. Este polvo también fue utilizado como desinfectante microbiológico, las pruebas fueron satisfactorias, ya que se obtuvo un agua segura y confiable.

3.2. Fundamentos teóricos

3.2.1. Sólidos en el agua cruda

Según Romero Rojas, (2012) describe en su libro calidad del agua lo siguiente:

Las aguas crudas naturales contienen tres tipos de sólidos no sedimentables: suspendidos, coloidales y disueltos. Los sólidos suspendidos son transportados gracias a la acción de arrastre y soporte del movimiento del agua; los más pequeños (menos de 0.01 mm) no sedimentan rápidamente y se consideran sólidos no sedimentables, y los más grandes (mayores de 0.01 mm) son generalmente sedimentables.

Los sólidos coloidales consisten en limo fino, bacterias, partículas causantes de color, virus, etc., los cuales no sedimentan sino después de periodos razonables, y su efecto global se traduce en el color y la turbiedad de aguas sedimentadas sin coagulación. Los sólidos disueltos, materia orgánica e inorgánica, son invisibles por separado, no son sedimentables y globalmente causan diferentes problemas de olor, sabor, color y salud, a menos que sean precipitados y removidos mediante métodos físicos y químicos. Romero Rojas, (2012).

3.2.2. Origen de los Sólidos

Beltrán y Rangel, (2012), en su publicación Modelación dinámica de los sólidos suspendidos totales en el humedal jaboque define que:

El origen de los sólidos viene dado por disoluciones de sales presentes en el terreno y por las escorrentías. Según el ciclo del agua, se produce evaporación del agua presente en el mar, lagos, suelos, etc., formando las nubes, que descargan sobre el terreno llegando hasta los ríos, lagos, al subsuelo, desde donde se aprovecha para su captación y depuración para poder ser utilizada. Con la lluvia se forman escorrentías de agua con velocidad

suficiente para erosionar la capa superficial del terreno y transportar los sólidos.

3.2.3. Procesos de remoción de sólidos

Para remover los sólidos en el agua se utilizan diferentes procesos, como son la sedimentación, la floculación y coagulación, filtración, etc., los cuales se describen a continuación:

a. Sedimentación: La sedimentación se utiliza en la potabilización del agua, para reducir la cantidad de partículas no deseadas, y se diseñan dispositivos para ese fin. La sedimentación en el agua potable está basada en la ley de Stokes que menciona que las partículas de mayor diámetro y/o mayor peso específico que el líquido son más fáciles de sedimentar, así también una menor viscosidad del líquido logra una mejor sedimentación.

En el tratamiento de las aguas residuales, es muy útil en la remoción de materia sólida fina, orgánica o no, el agua se hace pasar por un sedimentador que retiene materiales para su posterior eliminación. Wordpress, (2018).

b. Floculación y Coagulación: En varios procesos agroindustriales o industriales, se deriva una serie de desechos que se podría utilizar como floculantes o coagulantes. El sulfato de hierro (II), desecho de la fabricación de acero es ampliamente utilizado a escala mundial Kelderman y Kruis, (2001).

- **Floculante:** La floculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas en microflóculos y después en los flóculos más grandes que tienden a depositarse en el fondo de los recipientes construidos para este fin, denominados decantadores. El proceso de floculación es precedido por el de coagulación, por eso suele hablarse de procesos de coagulación - floculación. La coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico (coagulante) que, neutralizando las cargas electrostáticas, hace que las partículas tiendan a unirse entre sí. Perez de la Cruz y Urrea Mallebrera, (2011).

- **Coagulante:** Se denomina coagulación al proceso de desestabilización y posterior agregación de partículas en suspensión coloidal presentes en el agua, para potenciar la etapa de decantación o espesado en la que esas partículas deben

separarse del agua. La desestabilización se consigue neutralizando sus cargas eléctricas, con lo que dejan de actuar las fuerzas de repulsión, su potencial Zeta se anula y los coloides tienden a agregarse por acción de masas tienden a agregarse por acción de masas Normalmente, las partículas a coagular proceden: Del suelo, por arrastre de minerales en disolución, De descomposición de materia orgánica natural en los cursos de agua, De vertidos domésticos e industriales. Perez de la Cruz y Urrea Mallebrera, (2011).

- **Coagulantes Químicos y Naturales más comunes utilizados en la clarificación del Agua.**

- **Coagulante químico:** Para Olivero Verbel, (2013) el Sulfato de Aluminio o alumbre, es el coagulante químico más utilizado para la clarificación del agua porque remueve los microorganismos entre un 90 y 99% al ser utilizado en condiciones óptimas Miller y Fugate, (2008) Sin embargo, puede ser fácilmente asimilado por el hombre, con potenciales consecuencias negativas a largo plazo. Sus efectos se asocian con varias formas de cáncer, Alzheimer y enfermedades óseas. Una dosificación de Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) superior

a 0,1 mg/L en agua para consumo humano puede ser un factor de riesgo para la demencia, especialmente para el mal de Alzheimer Parra y Cedeño, (2011) Además, el alumbre genera grandes cantidades de lodos que no pueden ser utilizados como biosólidos porque impactan negativamente los suelos y el agua debido a su ecotoxicidad.

Por lo anterior, surge como alternativa para sustituir o minimizar el uso del Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$), la utilización de coagulantes naturales obtenidos de especies vegetales de la familia Moringaceae, como *Moringa oleífera*, *Moringa stenopetala*; de la familia Cactaceae, como *Cereus deficiens* conocido como cactus o cardón lefaria, *Opuntia cochinellifera*, *Opuntia wentiana* Parra y Cedeño, (2011) *Opuntia ficus-indica* *Stenocereus griseus* conocido como cardón dato, cardón guajiro o yosú; de la familia Loganiaceae, como *Strychnos potatorum* Nirmala y Jadhav, (2012) entre otras. Existen muchas ventajas al utilizar coagulantes naturales para el proceso de clarificación del agua.

Las sustancias derivadas de estas especies son consumibles, por tal razón su presencia en el efluente no genera un riesgo tóxico para el ser humano. Los lodos generados por los coagulantes de especies vegetales son altamente biodegradables. Cuando se utiliza alumbre como coagulante, se produce una mayor cantidad de lodos que al emplear coagulantes naturales. Además, los costos de adquisición: importación del Sulfato de Aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), son mayores comparados con los costos de elaboración: transporte de los coagulantes fabricados a base de plantas Espino Díaz, Ornelas Paz, y Martínez Telles, (2010).

- **Coagulante natural:** Los polímeros naturales se han usado por más de 4000 años en países como la India, África y China. Además, son una alternativa con un alto potencial y que presentan una mínima o nula toxicidad. Algunos se fabrican a partir de productos naturales con capacidad coagulante y desinfectante: alginatos (extractos de algas), almidones (extractos de granos vegetales), derivados de la celulosa, ciertas gomas, Moringa oleífera (Moringa), Jatropha curcas (Piñón

Mejicano), Hibiscus sabdariffa (Rosa de Jamaica), Prosopis juliflora (Frijol mezquite), Cactus latifaria en Venezuela y Opuntia ficus indica (Nopal, tuna) Solis, (2012).

- **Coagulantes metálicos:** Principalmente los coagulantes metálicos son los más utilizados en la clarificación de aguas y eliminación de DBO y fosfatos de aguas. Tienen la propiedad de actuar como coagulantes-floculantes al mismo tiempo. Los más representativos en la aplicación están: Sulfato de Aluminio, Sulfato Férrico, Cloruro Férrico y el Aluminato de Sodio. Sin embargo, tienen el inconveniente de ser muy sensibles a un cambio de pH. Si éste no está dentro del intervalo adecuado la clarificación es pobre y pueden solubilizar Hierro (Fe) o Aluminio (Al) y generar problemas Guzmán, (2013).

3.2.4. Agua Cruda

Según Sánchez Ortiz y Matsumoto, (2012). El agua cruda es el agua tal como se encuentra en las fuentes, en estado natural, no sometida a ningún tratamiento. Se pueden identificar como fuentes

de agua cruda a los cursos superficiales o subterráneos, entre ellos los ríos, arroyos, lagos, lagunas y acuíferos, que el hombre usa como materia prima para abastecerse.

3.2.5. Características del agua cruda

3.2.5.1. Color

Según Catalán la fuente y Catalán Alonso, (1987) el color de un agua se debe a sustancias coloreadas existentes en suspensión o disueltas en ella: materias orgánicas procedentes de la descomposición de vegetales, así como de diversos productos y metabolitos orgánicos que habitualmente se encuentran en ellas (coloraciones amarillentas). Además, la presencia de sales solubles de Fe y Mn (aguas subterráneas y superficiales poco oxigenadas) también produce un cierto color en el agua. En aguas naturales de lagos y embalses suele existir una relación directa entre color y pH, de forma que cuando aumenta el segundo lo hace el primero. El color de las aguas profundas de lagos y embalses durante la época de estratificación térmica es marcadamente superior al del agua superficial.

3.2.5.2. Turbidez-transparencia

Según Catalán la fuente y Catalán Alonso, (1987). La presencia de materias en suspensión, arcilla, limos, coloides orgánicos, plancton y organismos microscópicos da lugar a la turbidez en un agua. Estas partículas (de dimensiones variables desde 10 mm hasta 0,1 mm) se pueden asociarse a tres categorías: minerales, partículas orgánicas húmicas y partículas filamentosas.

Las primeras provienen de la erosión de suelos y rocas, suelen estar revestidas de restos orgánicos, y conforman la mayor fracción de las materias en suspensión de la mayoría de las aguas. Los aportes de aguas turbias de escorrentía por lluvias, ricas en materias minerales causan aumentos de turbidez en aguas de ríos y embalses, así como las algas en época de su floración.

En aguas naturales, la turbidez evoluciona pareja a la del aporte de aguas de escorrentías al medio, a su vez provocada por las lluvias, especialmente, si éstas son torrenciales o se producen en terrenos susceptibles de fácil erosión. La turbidez se reduce con la sedimentación natural.

En embalses y lagos, el período de mezcla presenta alta turbidez en toda la columna de agua, mientras durante la

estratificación térmica las aguas superficiales presentan bajan turbidez que va incrementándose con la profundidad del agua. Respecto a la transparencia, medida utilizada en estudios limnológicos, está afectada por las floraciones algales en la masa de agua. Los valores de transparencia en lagos y embalses de nuestras latitudes suelen oscilar entre 1 y 5 m.

3.2.5.3. Conductividad

Según Manahan, (2007) la conductividad o Conductancia es la habilidad de una sustancia para conducir corriente eléctrica. La unidad más utilizada para expresar la conductividad es el micromhos/cm, y en el sistema internacional de unidades (SI) el siemens o microsiemens. El agua químicamente pura tiene una muy baja conductividad eléctrica, el cual es un valor que tiene significancia puramente teórica, ya que el agua pura es muy difícil de obtener.

3.2.5.4. pH

Según Manahan, (2007) el pH es el logaritmo negativo o el logaritmo recíproco de la actividad del ión hidrógeno en una solución acuosa o de otro solvente especificado. El valor del pH juega un papel importante en ciertos procesos de potabilización, como la coagulación, la desinfección por cloro, el ablandamiento y el control de corrosión. Su medición es usada universalmente para expresar la intensidad de las condiciones ácidas o alcalinas de una solución. Es un indicador de la acidez de una sustancia. Está determinado por el número de iones libres de hidrógeno (H^+) en una sustancia.

3.2.6. El mucílago de la Tuna (*Opuntia ficus-indica*)

Según Sáenz, (2006) es una sustancia gelatinosa consistente, que por sus propiedades se la ha empleado en diferentes aplicaciones dentro de la industria alimenticia, farmacéutica, cosmética, construcción, en el sector energético, agroindustrial y en la industria de aditivos naturales.

El contenido del mucílago de tuna representa un compuesto muy complejo por la capacidad de formar redes moleculares, es un biopolímero que contiene polisacáridos similares a las pectinas que permiten el encapsulamiento y la separación de los sólidos disueltos del agua Gutiérrez Cortez y Rojas Molina, (2011).

Estudios sobre su estructura y composición han determinado la presencia de compuestos como L-arabinosa, ácido D-galacturónico, D-galactosa, D-xilosa, L-ramnosa, que al ser polisacáridos permiten aglutinar sustancias presentes en el agua. Sepúlveda y Graham, (2007).



Figura 1: Planta de tuna. Fuente: (WordPress, 2018)

3.2.7. Taxonomía

Álvarez y Bautista, (1989) hacen referencia a la botánica de las tunas cultivadas en el Perú, logrando en la actualidad configurar el siguiente esquema.

- División : Magnoliophyta
- Clase : Magnoliopsida
- Orden : Centrospermae
- Familia : Cactaceae
- Sub-familia : Opuntioideae
- Género : Opuntia
- Subgénero : Platyopuntia
- Especie : Opuntia ficus-indica

La planta de la tuna recibe varios nombres de acuerdo al país donde se encuentre, así tenemos: La familia *Cactaceae* fue considerada dentro de las *Centrospermae*, aunque para la mayoría de taxónomos constituía un Orden distinto de las *Opuntiales* o *Cactales*.

En algunos casos este orden era ubicado en relación cercana a las *Centrospermae*, pero en otros se encontraba completamente separado.

Mencionan que en la mayoría de los casos se ubica a la Familia *Caryophyllaceae* dentro del Orden *Centrospermae*, pero evidencias fitoquímicas permiten discriminar los órdenes *Centrospermae* y *Caryophyllales*.

En el Orden *Centrospermae*, se incluyen las familias que contienen betacianinas (*Chenopodiaceae*, *Portulacaceae*, *Aizoaceae*, *Cactaceae*, *Nyctaginaceae*, *Phytolaccaceae*, *Stegnospermaceae*, *Basellaceae*, *Amarantheaceae* y *Didieraceae*); mientras que las que contienen antocianinas, se colocan en el Orden *Caryophyllales* (*Caryophyllaceae*, *Ilicebraceae* y *Molluginaceae*).

3.2.8. Composición química de *Opuntia ficus-indica* (tuna)

Según Abraján, (2008) dentro de la composición química de la *Opuntia ficus-indica* se encuentra un alto contenido de agua (90 al 92.5%). La *Opuntia Ficus Indica* contiene en varias proporciones, glúcidos o carbohidratos y componentes nitrogenados.

Tabla 1. Composición química de *Opuntia Ficus Indica* (tuna)

Parámetro	Contenido
Porción comestible	78 g
Energías	27 kcal
Proteínas	1.70 g
Grasas	0.30 g
Carbohidratos	5.60 g
Calcio	93 mg
Hierro	1.60 mg
Tiamina	0.03 mg
Rivoflavina	0.06 mg
Niacina	0.03 mg
Ácido ascórbico	8 mg

Contenidos en 100 g de tuna fresca. Fuente: De la Rosa y Santana, 2001.

La penca contiene alto porcentaje de proteína, sales de calcio y hierro, lo cual concluye que no son los responsables de su poder coagulante debido a las cantidades poco significativas en las que se encuentran. Se consideró que los carbohidratos son realmente los que le confieran la cualidad al biomaterial. Abraján, (2008).

3.2.9. *Opuntia ficus-indica* (tuna) como agente depurador

Según Mannise, (2012) aproximadamente hace dos siglos atrás el mucílago del nopal o tuna (*Opuntia ficus-indica*) era la mejor fuente depuradora de agua empleado por los antepasados mexicanos al ser un método de fácil utilización, completamente natural y de mínimo costo, siendo actualmente una alternativa viable en zonas privadas del servicio de agua potable.

Guzmán, (2013) con la aplicación de este tipo de coagulante vegetal se logra minimizar recursos económicos que a veces es el principal factor limitante al momento de la desinfección del agua para consumo humano. Requiere de bajas dosis de aplicación para contrarrestar los agentes que polucionan el agua y que representan una eficacia similar o superior al Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$).

Asimismo, se disminuye la turbidez y a la vez se remueven características que están directamente proporcionales a ella, como es el pH y la conductividad. Según Buttice, Stroot, y Alcantar, (2010) el coagulante presente en el mucílago de nopal o tuna muestra también un potencial bactericida, cuya aplicabilidad viene desde años atrás adaptándolas de acuerdo a su aceptabilidad.

Para Jiménez, Vargas, y Quirós, (2012) el tratamiento de agua a partir del mucílago del nopal o tuna como mecanismo neutralizante de color sobre el agua comprobaron que, en agua con alta alcalinidad y turbidez presentó un mejor resultado que en condiciones inversas sobre estas variables.

El Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$), es uno de los coagulantes que más se emplean en los procesos de tratamiento de agua para consumo humano, representando un valor económico muy elevado por la cantidad que se requiere para obtener el mejor resultado. Muchos países lo emplean sin tomar en cuenta que al ser un producto químico produce reacciones negativas en la salud humana.

Quirós Bustos, Vargas, y Jiménez, (2010) y Parra y Cedeño, (2011) corroboran que altos niveles de aluminio residual mayores a 0.110 mg/l en aguas tratadas ponen en peligro la salud de las personas en 1.5 veces mayor el riesgo de contraer la enfermedad del síndrome de Alzheimer.

Las acciones depuradoras del nopal o tuna representan una función importante al momento de implementar un tratamiento, el nopal o tuna cuenta con una acción efectiva al remover arsénico que es perjudicial para la salud del hombre, un problema en las zonas mineras donde se extrae oro.

3.2.10. Test de Jarras

Abramovich, Lura, y Vaira, (2004) para el proceso de coagulación-floculación es necesario determinar la cantidad del coagulante a agregar al agua, para ello se tiene que hacer un ensayo conocido como “Jar Test” o Test de Jarras. La prueba de jarras es un procedimiento común de laboratorio para determinar las condiciones óptimas. Este método permite realizar ajustes en las variaciones en la dosis de coagulante o polímero, alternando velocidades de mezclado a pequeña escala, con el fin de predecir el funcionamiento de una operación a mayor escala de tratamiento. Una prueba de jarras simula los procesos de coagulación y floculación que fomentan la eliminación de los coloides en suspensión y materia orgánica que puede conducir a problemas de turbidez, olor y sabor.

El aparato de prueba de jarra contiene seis remos que remueven el contenido de seis envases o vasos, mismos que deben ser de 2 litros (L), preferentemente, o de 1 L alternativamente. Se debe evitar usar vasos más pequeños, debido a la dificultad de obtener precisión en la dosificación de pequeños volúmenes de coagulantes. Un envase actúa como un control, mientras que la condición de funcionamiento puede variar entre los restantes cinco contenedores. Presenta un medidor de revoluciones por minuto

(RPM) el cual permite el control uniforme de la velocidad de mezclado en todos los contenedores Acosta, (2006).

3.3. Discusión Teórica

El agua que discurre por la naturaleza se encuentra en contacto con diferentes tipos de suelos y por lo cual se inserta diversos componentes ya sea en forma disuelta o como sólidos en suspensión, los cuales hacen que el agua no sea adecuada para los diferentes usos que se pueda necesitar, tal como describe Beltran y Rangel, (2012) en su publicación de “Modelamiento dinámico de los sólidos suspendidos totales en el humedal de libro”.

Para mitigar la problemática de la calidad del agua por sólidos suspendidos existen varias alternativas de tratamiento de aguas mediante los procesos de coagulación y floculación, y sedimentación. En algunos casos se emplea directamente la sedimentación (sin la adición de agentes coagulantes y floculantes) cuando las partículas en suspensión tienen una densidad mayor al agua, sin embargo, cuando los sólidos o coloides no sedimentan es necesario aplicar algunos coagulante y floculantes o productos que hagan la misma función a la vez, para que las partículas en suspensión aumenten su densidad y éstas pueda separarse por sedimentación logrando obtener un agua de mejor calidad.

Los agentes de coagulación y floculación se obtienen a través de síntesis química y por extracción de fuentes naturales de origen vegetal o animal, siendo éstos últimos considerados ambientalmente amigables en comparación con los agentes de síntesis debido a su biodegradabilidad Anastasakis, Kalderis, y Diamadopoulos, (2009). Los coagulantes alternativos pueden tener rendimientos iguales o incluso superiores a los de origen sintético, además tienen un valor agregado relacionado con las características de biodegradabilidad que lo convierten en una alternativa viable desde el punto de vista ambiental. Nieto Orellana y Ulloa Orellana, (2011).

Considerando que los coagulantes y floculantes provenientes de origen natural son una alternativa interesante y amigable al medio ambiente, es por la cual que la presente propuesta de investigación considera importante realizar los estudios de evaluar el efecto de la disminución de la turbidez en el agua por floculantes de la penca de Tuna con diferentes procesos de obtención de éste agente natural, los procesos a evaluar son por extracción, en las aguas del río Chonta de Cajamarca; los procesos de extracción, licuado y escurrimiento. Se considera que el mejor sería el de escurrimiento debido a que este producto no contendrá clorofila, y otros componentes que no actúan como floculantes.

3.4. Definición términos básicos

a) **Floculante:** Un floculante es una sustancia química comúnmente orgánica que aglutina sólidos en suspensión una vez efectuada su coagulación, provocando su precipitación Perez de la Cruz y Urrea Mallebrera, (2011).

b) **Coagulante:** En química de aguas, un coagulante son sales metálicas que reaccionan con la alcalinidad del agua, para producir un floculo de hidróxido del metal, insoluble en agua, que incorpore a las partículas coloidales. Perez de la Cruz y Urrea Mallebrera, (2011).

c) **Tuna:** Planta cactácea de tallos muy carnosos formados por una serie de paletas ovales con espinas que representan las hojas, flores grandes con muchos pétalos y fruto (higo chumbo o tuna) en baya de corteza verde amarillento y pulpa comestible, de sabor dulce y color anaranjado o verdoso Álvarez J y Bautista J, (1989).

d) **Test de Jarras:** La prueba de jarras es un procedimiento común de laboratorio para determinar las condiciones óptimas de funcionamiento para el agua o el tratamiento de aguas residuales. Este método permite realizar ajustes en el pH, las variaciones en la dosis de coagulante o polímero, alternando velocidades de mezclado, o la prueba de coagulante o diferentes tipos de polímeros, a pequeña escala con el fin de predecir el

funcionamiento de una operación a gran escala de tratamiento. Una prueba de jarras simula los procesos de coagulación y floculación que fomentan la eliminación de los coloides en suspensión y materia orgánica que puede conducir a problemas de turbidez, olor y sabor. Abramovich, Lura, y Vaira, (2004).

e) Turbidez: Se entiende por turbidez o turbiedad a la medida del grado de transparencia que pierde el agua o algún otro líquido incoloro por la presencia de partículas en suspensión . Cuanto mayor sea la cantidad de sólidos suspendidos en el líquido, mayor será el grado de turbidez (como el agua de Nico). En potabilización del agua y tratamiento de aguas residuales, la turbidez es considerada como un buen parámetro para determinar la calidad del agua, a mayor turbidez menor calidad. Catalán la fuente y Catalán Alonso, (1987).

f) Taxonomía: Ciencia que trata de los principios, métodos y fines de la clasificación, generalmente científica; se aplica, en especial, dentro de la biología para la ordenación jerarquizada y sistemática de los grupos de animales y de vegetales. Álvarez y Bautista, (1989).

g) Mucilago de Tuna: El mucílago es una sustancia vegetal viscosa, coagulable al alcohol. También es una solución acuosa espesa de una goma o dextrina utilizada para suspender sustancias insolubles y para aumentar la viscosidad. Los mucílagos son análogos, por su composición y sus

propiedades, a las gomas, dan con el agua disoluciones viscosas o se hinchan en ellas para formar una pseudo disolución gelatinosa. Se encuentran en las algas, semillas de lino (linaza), semillas e chía, en raíces de malva, membrillo, liquen, nopal, en ciertos hongos y en muchos otros vegetales. Proceden de las degradaciones de la celulosa, calosa, lignina y de las materias pécticas. Saenz, (2006).

4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

El proceso de obtención del coagulante-floculante de *Opuntia ficus-indica* (tuna) impacta en su efectividad para disminuir la turbidez del agua.

4.1. Operacionalización de las variables

Tabla 2. Matriz operacional de variables

Variable	Definición	Indicador	Ítems	Instrumentos
Variable Dependiente: Procesos de extracción de floculante a partir de la penca de tuna	Los procesos para obtener el floculante de la penca de Tuna.	Cantidad de floculante añadido en cada prueba.	Tres procesos de obtención: extracción, licuado y escurrimiento	Extractor. Licuadora. Escurrimiento por gravedad.
Variable Independiente: Eficiencia de remoción.	Eficiencia: es la relación de disminución de la variación de la turbidez entre la turbidez inicial.	Eficiencia del floculante extraído	Porcentaje de disminución de la turbidez.	Pruebas de tratamiento haciendo uso del equipo de "Test de Jarras". Se realizará la medición mediante un turbidímetro.

5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación al presente proyecto es experimental, porque se desarrolla un nuevo proceso y genera conocimientos prácticos resolviendo el problema del contenido de sólidos suspendidos en el agua. El enfoque de investigación es cuantitativo debido a que los resultados provienen de la medición y permite la experimentación, con los cuales se deducirá para una generalización hacia toda la población.

La dimensión temporal de la investigación será de tipo longitudinal prospectivo, debido a que se realizará varias pruebas en un periodo de tres meses.

5.1. Unidad de análisis, muestra, universo

a. Unidad de análisis.

La unidad de análisis se considera a cada prueba que se realiza en el equipo de Jar-test con los productos obtenidos de cada proceso de extracción, considerando como factores la concentración del producto, el producto usado, la velocidad de agitación.

b. Muestra

La evaluación se realizará a los productos extraídos de la penca de Tuna mediante la aplicación a una porción del agua superficial extraída del río Chonta.

c. Universo

Turbidez ya que el agente floculante extraído de la penca de Tuna aplicado al agua disminuirá.

5.2. Método de investigación

Para entender el efecto que produce los productos de la Tuna en el agua, usaremos un enfoque deductivo – experimental, debido a que obtendremos conclusiones a partir de los resultados de cada experimento realizado a cada producto. Si los tres productos generan el mismo efecto estaremos generalizando de un caso particular a general.

Para el desarrollo de esta investigación se tomaran muestras de agua del río Chonta cuyas coordenadas son (779671.61 E, 9210097.40 S con una elevación de 2691 m) en su estado natural, en total se utilizaran 50 litros de agua, las cuales se tomaran en baldes de plástico de 20 litros, lo cual se debe homogenizar para considerarlo como matriz única. Se realizara la medición de la turbidez inicial. Ver ANEXO B (Panel

fotográfico – Foto N°01 y N°02), Ver ANEXO C (Imágenes satelitales – Foto N°13)

Del compósito de los 50 litros se tomaran 500 ml para cada unidad experimental, a cada unidad se debe variar los siguientes factores: producto extraído de cada proceso, concentración del producto, agitación, turbidez. Ver ANEXO B (Panel fotográfico – Foto N° 03).

Se realizara la medición de variable de salida: Turbidez final, para determinar la eficiencia y la medición de variables adicionales por cada unidad: pH, Conductividad. Ver ANEXO B (Panel fotográfico – Foto N°04).

Para la obtención del mucilago de la tuna (coagulante – floculante natural), se empleará como materia prima a las pencas de la tuna, para la cual primero se realizará la recolección de las pencas, luego las pencas serán lavadas con agua de caño. Posteriormente se retirarán las espinas, y se realizara otro lavado con agua. Ver ANEXO B (Panel fotográfico – Foto N° 05).

Para obtener el mucilago de la tuna, se realizará 3 procesos, por extracción, licuado y escurrimiento. En el proceso de extracción se cortará la penca en partes pequeñas para poder colocarlos en el extractor, una vez realizada la extracción se procederá a tamizarla en una malla de plástico

de manera que se eliminará la fibra y se obtendrá solamente el mucilago. Ver ANEXO B (Panel fotográfico – Foto N°06).

En el proceso de licuado, se cortará la penca en trozos pequeños para poder molerlos en una licuadora de alta velocidad, habiendo realizado la molienda, se procederá a tamizarla en una malla de plástico de manera que se eliminará la fibra y se obtendrá solamente el mucilago. Ver ANEXO B (Panel fotográfico – Foto N°07).

En el proceso de escurrimiento, se cortará la penca por la parte central, separándola en dos, la misma que se dejará de forma inclinada durante 24 horas, permitiendo el escurrimiento del mucilago. Ver ANEXO B (Panel fotográfico – Foto N°08).

Finalizada la obtención del mucilago a través de los 3 procesos y recolección de las muestras de agua, estas se trasladarán al laboratorio ImnoDevel S.A.C. con la finalidad de determinar la agitación, concentración, turbidez. Conductividad y ph. Mediante test de jarras y pruebas estadísticas ANOVA, el cual se realizará a través de una matriz de datos. Ver ANEXO B (Panel fotográfico – Foto N° 09, N°10, N°11 y N°12).

5.3. Técnica de investigación

La técnica de investigación que se usará para el experimento será usar el procedimiento de “Jar-Test” para realizar las pruebas de floculación de partículas presentes en el agua. Esta prueba, según Marín Galvín, (1998) describe que:

“La estandarización del jar-test arranca como una norma ASTM norteamericana que ya fue publicada en 1980. En ella se establece que este ensayo se enfoca a la evaluación del tratamiento de un agua en orden a reducir su contenido en sólidos disueltos, sólidos en suspensión, materias coloidales y otras materias no sedimentables, mediante coagulación y posterior decantación por gravedad. Con este ensayo se puede evaluar a escala de laboratorio la reducción de color, turbidez y dureza del agua bruta investigada”.

El mismo autor refiere que: “Este ensayo consiste en la adición de dosis crecientes de coagulante y/o floculante a una serie de porciones del agua a ensayar, determinando después de un período de agitación adecuado, las características del coágulo y algunas propiedades físicas y químicas en las porciones tratadas, que permiten establecer las dosis óptimas de coagulante y/o floculante que deben añadirse al agua para su tratamiento. Los resultados obtenidos en el tratamiento de coagulación no dependen solamente de las propiedades del agua a tratar y de la dosis de coagulante y/o floculante añadidas, sino también de las características constructivas de cada planta (forma y dimensiones de los decantadores, método de adición del coagulante, sistemas de acondicionamiento del

coágulo, etc.). Los resultados que se obtengan en el ensayo de laboratorio dependen a su vez de otra serie de factores, de los cuales los más importantes son la forma y dimensiones de los recipientes y agitadores empleados, y el tiempo y la velocidad de la agitación. Por razones prácticas, es preferible uniformar el tipo de aparato agitador empleado. En cambio, la velocidad y el tiempo de agitación no pueden especificarse de un modo general, lo que obliga a efectuar en cada planta una serie de ensayos comparativos, con tiempos y velocidades variables, hasta encontrar cuales son los valores definitivos que conviene adoptar para conseguir que las dosis óptimas encontradas en el ensayo de laboratorio coincidan en lo posible con las óptimas de la planta”. Marín Galvín, (1998).

La medición del efecto del floculante de la Tuna se realizará mediante la medición de la disminución de la turbidez al añadir el floculante.

5.4. Instrumentos de investigación

Los instrumentos para el experimento se usará el equipo de “jar-test” que tiene seis agitadores, para seis pruebas en paralelo.

Medidor de Turbidez, este equipo es útil para medir el contenido de sólidos suspendidos y coloides de forma indirecta, la técnica es

considerada de medición óptica, debido que mide el traspaso de la luz a través de la muestra.

5.5. Técnicas de análisis estadístico

Para la evaluación del efecto de los productos de la Tuna como floculantes se usará las pruebas estadísticas de ANOVA (análisis de varianza) para comparar si los tres productos tienen el mismo efecto o no.

Según lo publicado en la página de Minitab describe que:

“Un análisis de varianza (ANOVA) prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. Los ANOVA evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores. La hipótesis nula establece que todas las medias de la población (medias de los niveles de los factores) son iguales mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente”.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Presentación

Se determinó dos características principales de los productos obtenidos, los carbohidratos que le dan la característica química y la densidad como característica física.

Los experimentos de uso de los diversos productos de la penca de tuna para la floculación de los sólidos suspendidos en el agua del río Chonta se desarrollaron teniendo en cuenta la combinación de los siguientes factores y para lo cual se realizaron mediciones a las respuestas de turbidez, pH y Conductividad por cada unidad experimental:

Tabla 3. Factores y respuestas de cada unidad experimental

Productos	Factores		Respuestas
	Agitación	Concentración	Mediciones obtenidas
P1: Licuado.	20 RPM	0.25 mL/0.5 L	Turbidez
P2: Ecurrimiento.	40 RPM	0.50 mL/0.5 L	pH
P3: Extracción	60 RPM 80 RPM	0.75 mL/0.5 L	Conductividad

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados se detallan en el anexo A (Resultados de Laboratorio N° 01).

6.2. Tratamiento de datos obtenidos en los experimentos

El tratamiento de datos se realizó haciendo uso del Minitab con las siguientes herramientas:

- Análisis de varianza de un solo factor de forma individual a las mediciones de las respuestas (Turbidez Final, pH, Conductividad), incluyendo la turbidez inicial, para verificar la variabilidad de las mediciones.
- Gráfica de efectos principales para evaluar qué factores contribuyen en un cambio significativo en la disminución de la turbidez.
- Gráfica de valores individuales y agrupados que nos sirve para evaluar cuál es la combinación más óptima de los factores para disminuir la turbidez en el agua.
- Gráfica descriptiva haciendo uso del Excel, para comparar la turbidez inicial y la turbidez final, con la finalidad de determinar la mejor combinación del proceso de floculación.

6.3. Análisis e interpretación

6.3.1. Resultados de las características de análisis de varianza (Anova de un solo factor) para evaluar la turbidez inicial

Las características reportados por el laboratorio de Innodel S.A.C. se muestran en la tabla N° 04

Tabla 4. Características de carbohidratos

Muestra	Carbohidratos (%)	± U (%)	Densidad (g/mL)	± U (mg/L)
P1: Licuado	5.13	0.3	1.0158	0.003
P2: Ecurrido	5.26	0.3	1.0016	0.003
P3: Extracto	5.05	0.3	1.0177	0.003

Fuente: Minitab 18.

Los resultados se obtuvieron mediante el método colorimétrico del fenol-sulfúrico, por lo cual podemos decir que respecto a los carbohidratos no existe alguna variación significativa entre cada uno de los productos obtenidos, debido a que se encuentran dentro de su incertidumbre. Para el caso de densidad si podemos ver que varían una respecto a otra, siendo el producto del proceso de escurrimiento el que tiene la menor densidad. Es decir, el proceso físico hace cambiar las características físicas, más se percibe un cambio significativo en característica no las químicas.

6.3.2. Resultados del análisis de varianza (Anova de un solo factor) para evaluar la turbidez inicial

Los resultados obtenidos mediante el Minitab se muestran a continuación:

Tabla 5: Análisis de Varianza de un solo factor Turbidez inicial

Método					
Hipótesis nula	Todas las medias son iguales				
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales				
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$				
Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.					
Información del factor					
Factor	Niveles				
Producto	3	P1: Licuado	P2: Esgurrimiento	P3: Extracción	
Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Producto	2	0.105	0.05248	1.07	0.348
Error	68	3.3317	0.049		
Total	70	3.4366			

Fuente: Minitab 18.

Tabla 6: Análisis de Varianza - Resumen de medias turbidez inicial

Resumen del modelo			
		R-cuad.	R-cuad.
S	R-cuad.	(ajustado)	(pred)
0.221348	3.05%	0.20%	0.00%
Medias			
Producto	N	Media	Desv.Est. IC de 95%
P1: Licuado	24	55.5083	0.202 (55.4182; 55.5985)
P2: Esgurrimiento	23	55.6	0.2393 (55.5079; 55.6921)
P3: Extracción	24	55.5333	0.222 (55.4432; 55.6235)
Desv.Est. agrupada = 0.221348			

Fuente: Minitab 18.

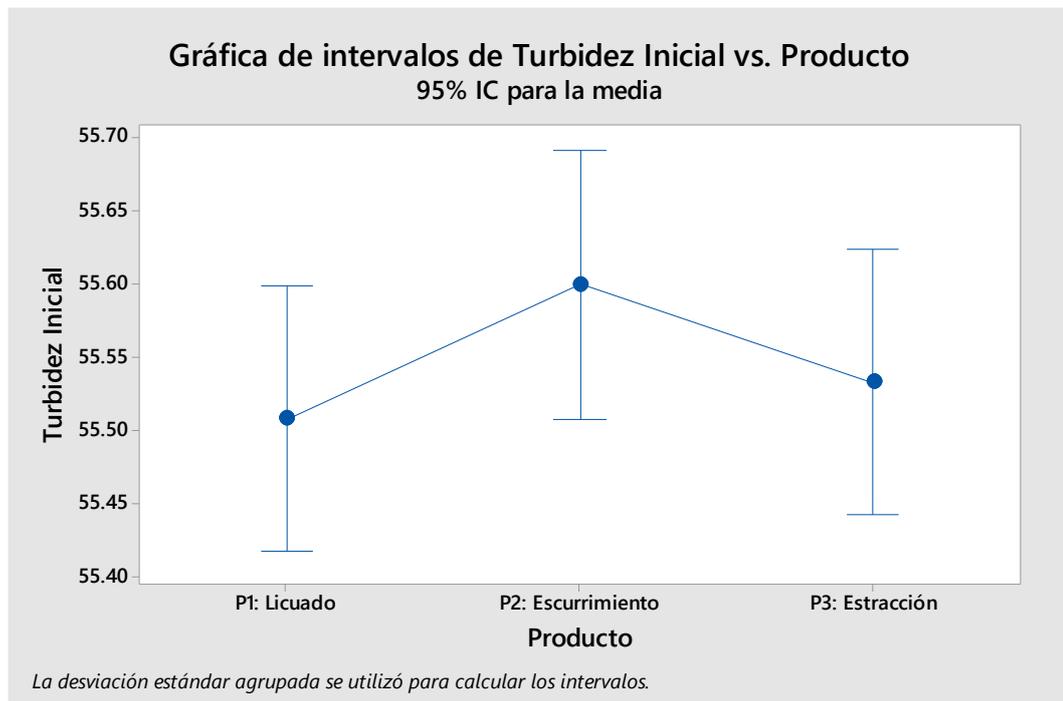


Figura 2: Intervalos de la turbidez inicial

Fuente: Minitab 18.

De acuerdo las tablas 4 y 5, y la figura 3 podemos considerar que no existe variabilidad significativa entre los datos de turbidez inicial, debido a que el valor de p es 0.348 (>0.05), así como también el R -cuad es 3.05% ($<5\%$), por lo que podemos considerar los experimentos iniciaron con las mismas condiciones de calidad del agua.

6.3.3. Resultados del análisis de varianza (Anova de un solo factor) para evaluar la turbidez final

Los resultados obtenidos mediante el Minitab se muestran a continuación:

Tabla 7. Análisis de Varianza de un solo factor turbidez final

Método					
Hipótesis nula	Todas las medias son iguales				
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales				
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$				
Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.					
Información del factor					
Factor	Niveles				
Producto	3	P1: Licuado	P2: Escurrimiento	P3: Extracción	
Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Producto	2	8617	4308.54	130.84	0
Error	68	2239	32.93		
Total	70	10856			

Fuente: Minitab 18.

Tabla 8. Análisis de Varianza - Resumen de medias turbidez final

Resumen del modelo				
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)	
5.73849	79.37%	78.77%	77.53%	
Medias				
Producto	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
P1: Licuado	24	41.15	5.21	(38.81; 43.49)
P2: Escurrimiento	23	15.539	4.197	(13.151; 17.927)
P3: Extracción	24	36.2	7.31	(33.86; 38.54)
Desv.Est. agrupada = 5.73849				

Fuente: Minitab 18.

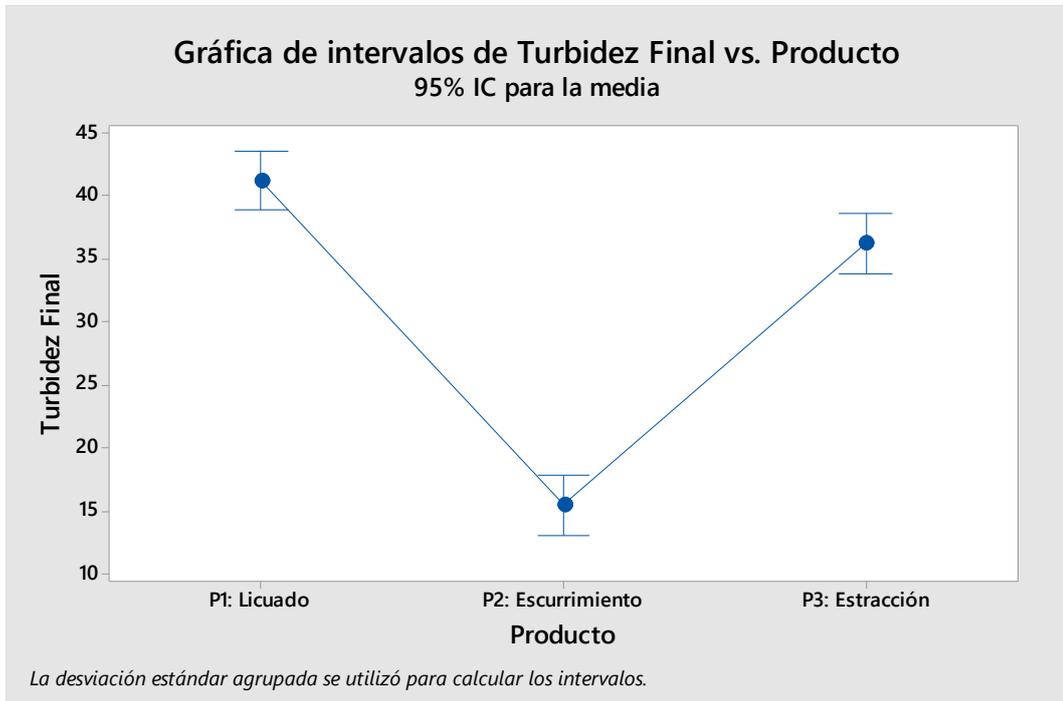


Figura 3. Intervalos de la turbidez final

Fuente: Minitab 18.

De acuerdo las tablas 6 y 7, y la figura 4 podemos considerar que si existe variabilidad significativa entre los datos de turbidez final, debido a que el valor de p es 0.00 (<0.05), así como también el R-cuad es 79.37% ($>5\%$). Es decir que los procesos de obtención del mucilago influyen en la remoción de la turbidez, por lo cual consideramos que el producto obtenido mediante el proceso de escurrimiento (P2), es el que mejor remueve.

**6.3.4. Resultados del análisis de varianza (Anova de un solo factor)
para evaluar el pH.**

Los resultados obtenidos mediante el Minitab se muestran a continuación:

Tabla 9. Análisis de Varianza de un solo factor pH

Método					
Hipótesis nula	Todas las medias son iguales				
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales				
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$				
Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.					
Información del factor					
Factor	Niveles				
Producto	3	P1: Licuado	P2: Ecurrimiento	P3: Extracción	
Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Producto	2	0.000504	0.000252	0.26	0.775
Error	68	0.067079	0.000986		
Total	70	0.067583			

Fuente: Minitab 18.

Tabla 10. Análisis de Varianza - Resumen de medias pH

Resumen del modelo			
		R-cuad.	R-cuad.
S	R-cuad.	(ajustado)	(pred)
0.0314079	0.75%	0.00%	0.00%

Medias				
Producto	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
P1: Licuado	24	7.59042	0.03	(7.57762; 7.60321)
P2: Escurrimiento	23	7.59	0.03317	(7.57693; 7.60307)
P3: Extracción	24	7.59583	0.03106	(7.58304; 7.60863)

Desv.Est. agrupada = 0.0314079

Fuente: Minitab 18.

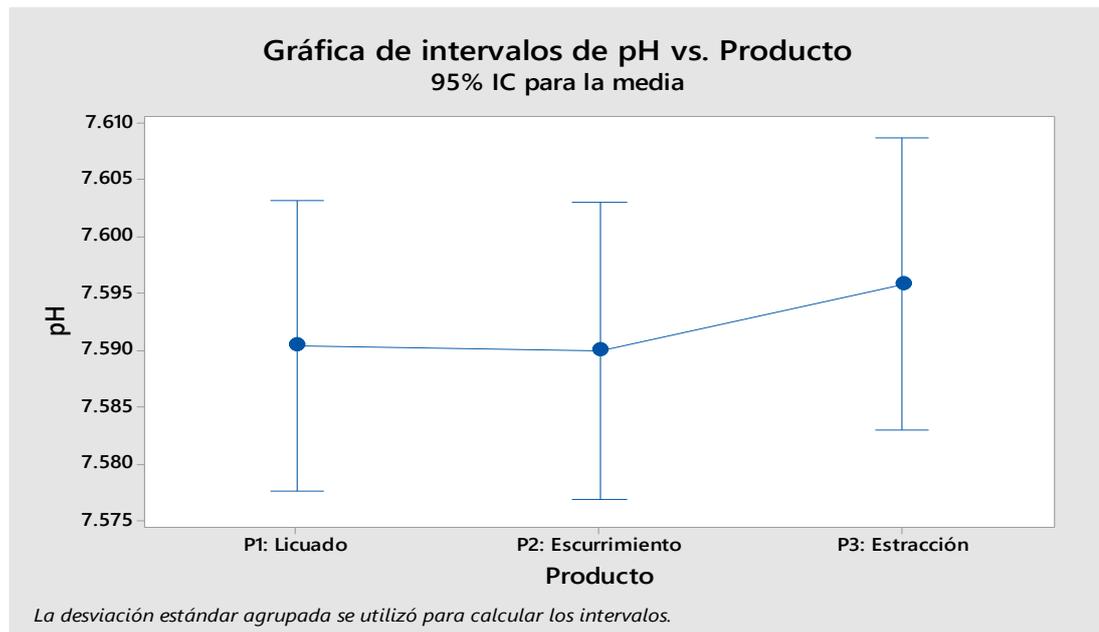


Figura 4. Intervalos del pH

Fuente: Minitab 18.

De acuerdo las tablas 8 y 9, y la figura 5 podemos considerar que no existe variabilidad significativa entre los datos de pH, debido a que el valor de p es 0.775 (>0.05), así como también el R-cuad es 0.75% ($<5\%$). Entonces podemos decir que las condiciones de desarrollo del experimento se han mantenido en igualdad de condiciones.

6.3.5. Resultados del análisis de varianza (Anova de un solo factor) para evaluar la conductividad

Los resultados obtenidos mediante el Minitab se muestran a continuación:

Tabla 11. Análisis de Varianza de un solo factor conductividad

Método					
Hipótesis nula	Todas las medias son iguales				
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales				
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$				
Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.					
Información del factor					
Factor	Niveles				
Producto	3	P1: Licuado	P2: Ecurrimiento	P3: Extracción	
Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Producto	2	51.74	25.87	0.77	0.467
Error	68	2283.8	0.000986		
Total	70	2335.55	33.59		

Fuente: Minitab 18.

Tabla 12. Análisis de Varianza - Resumen de medias conductividad

Resumen del modelo				
		R-cuad.	R-cuad.	
S	R-cuad.	(ajustado)	(pred)	
5.79529	2.22%	0.00%	0.00%	
Medias				
Producto	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
P1: Licuado	24	412.75	5.51	(410.39; 415.11)
P2: Ecurrimiento	23	414.83	5.76	(412.41; 417.24)
P3: Extracción	24	413.5	6.1	(411.14; 415.86)
Desv.Est. agrupada = 5.79529				

Fuente: Minitab 18.

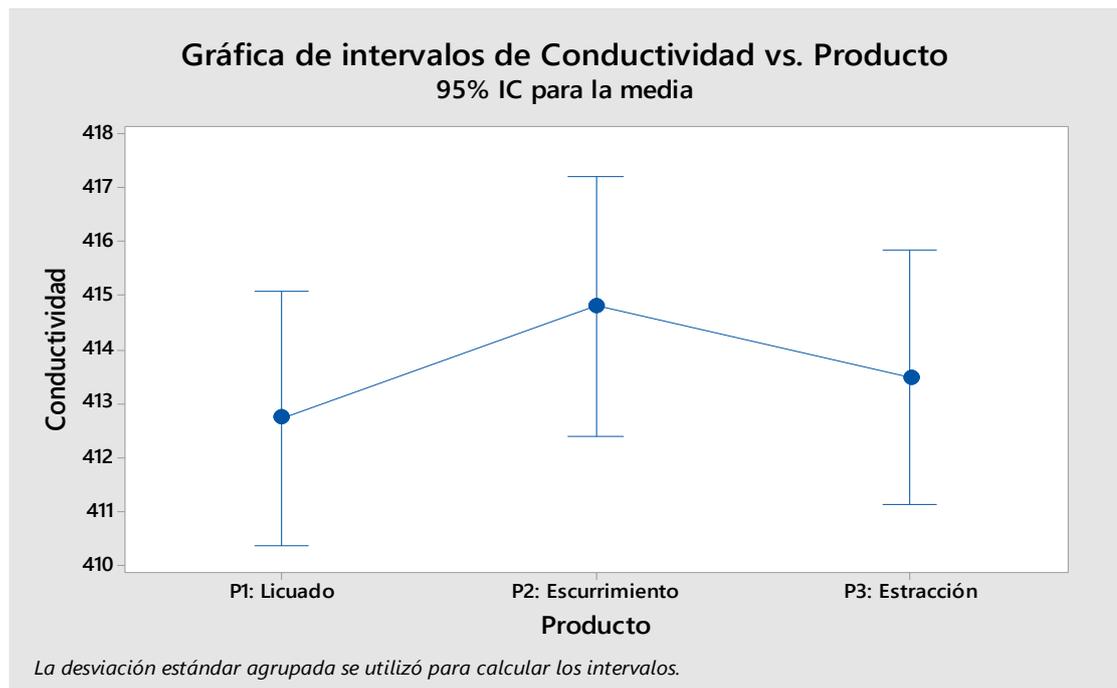


Figura 5. Intervalos de Conductividad

Fuente: Minitab 18.

De acuerdo las tablas 10 y 11, y la figura 6 podemos considerar que no existe variabilidad significativa entre los datos de Conductividad, debido a que el valor de p es 0.467 (>0.05), así como también el R-cuad es 2.22% ($<5\%$).

6.3.6. Evaluación de influencia de factores mediante gráfico de efectos principales.

Según la gráfica 7 podemos observar que el que tiene mayor efecto en los experimentos son los productos, seguido de la agitación que tiene un efecto intermedio, sin embargo la concentración observamos que su efecto es mínimo, es decir se trabajó en un rango óptimo.

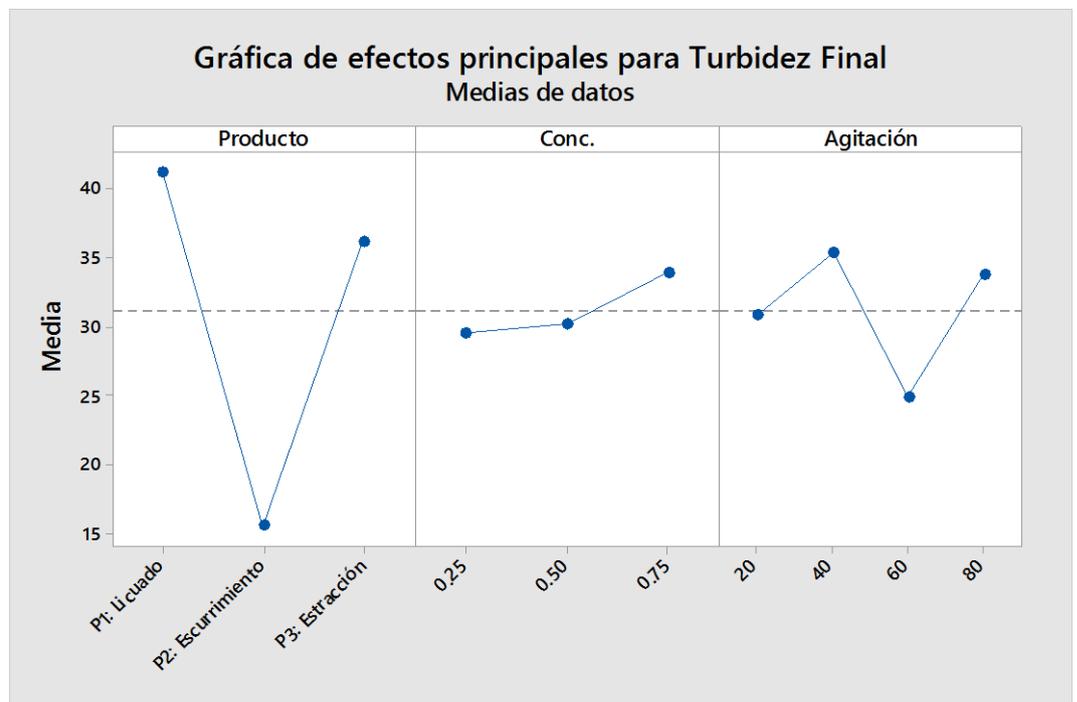


Figura 6. Influencia de factores turbidez final

Fuente: Minitab 18.

6.3.7. Análisis de valores individuales con gráficas descriptivas en Minitab y Excel.

En las gráficas 8 (Minitab) y 9 (Excel) podemos ver que la combinación más óptima para la disminución de la turbidez es: Producto 2 de escurrimiento, a una con una agitación de 40 RPM a una concentración 0.50mL/0.5L (1 mL/L).

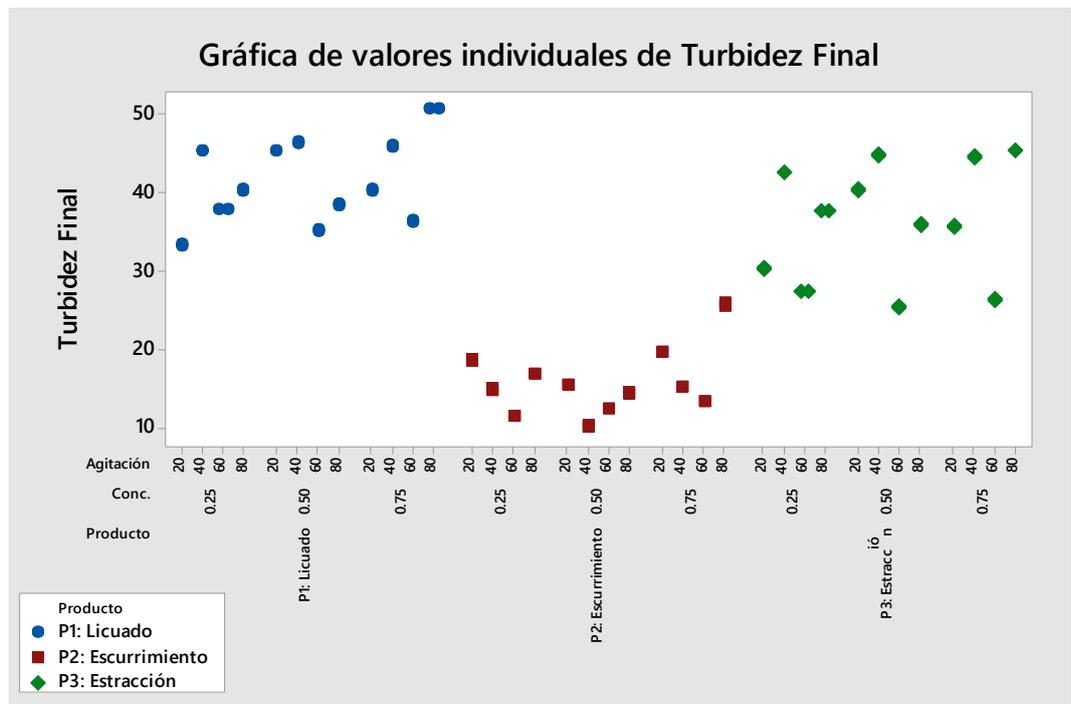


Figura 7. Valores individuales turbidez final

Fuente: Minitab 18.

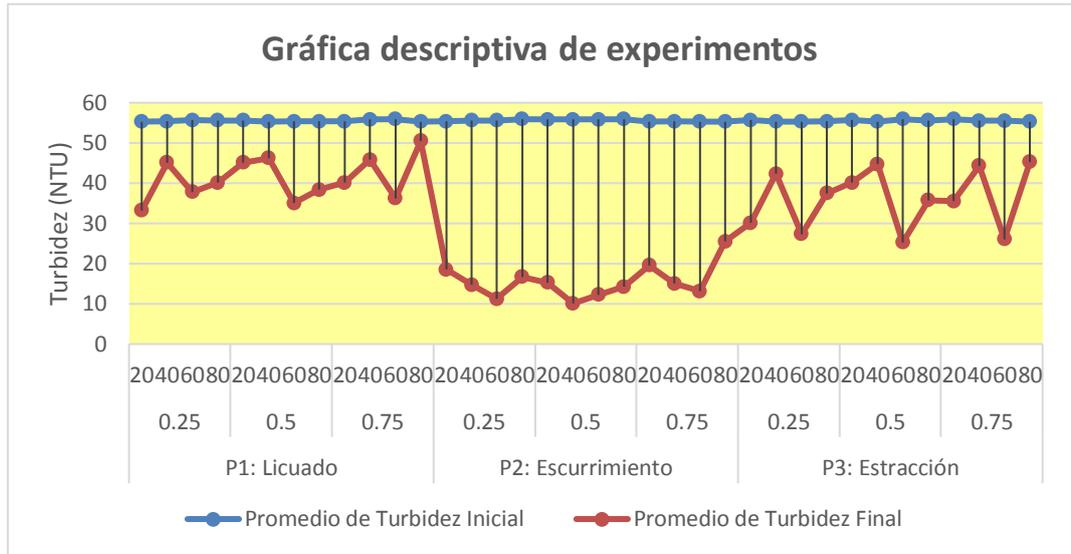


Figura 8. Gráfica descriptiva de experimentos

Fuente: Minitab 18.

Los resultados obtenidos permitieron concluir que el mucilago obtenido de la penca de tuna si influye en la remoción de la turbidez.

Tabla 13. Efecto en la disminución de la turbidez en el agua por floculantes de *Opuntia ficus - indica* (Tuna) mediante el proceso de extracción.

Producto	Concentración	Agitación	Conclusión
Mucilago de <i>Opuntia ficus – indica</i> (Tuna), mediante proceso de escurrimiento.	0.50 ml / 0.5 L	40 RPM	EL mucilago obtenido mediante el proceso de escurrimiento se logró a través del escurrimiento por gravedad de la penca de tuna, Turbidez inicial del agua 55 NTU al agregar el mucilago se obtuvo valores mínimos de hasta 10 NTU, pH inicial de 7.64 a un valor mínimo de 7.54 y a una conductividad inicial de 420 a un valor mínimo de 405, Disminuyendo la turbidez en un 82 %. Los productos obtenidos mediante los procesos de licuado y extracción no tuvieron la misma eficiencia que el proceso de escurrimiento.

Fuente: Elaboración propia.

Comparando los resultados obtenidos, con otros 2 proyectos de investigación se determina lo siguiente:

Tabla 14. “Tratamiento ecológico, una alternativa sustentable para la purificación de aguas contaminadas destinada al riego de cultivos en Arequipa”

Nombre	Producto	Concentración	Agitación	Conclusión
“Tratamiento ecológico, una alternativa sustentable para la purificación de aguas contaminadas destinada al riego de cultivos en Arequipa”	<i>Opuntia ficus – indica</i> macerado en agua	20 ml / 0.25 L	50 RPM	EL mucilago se obtuvo mediante el proceso de maceramiento se cortó la penca en pedazos pequeños en 20 litros de agua, Turbidez inicial del agua 38.9 NTU al agregar el mucilago se obtuvo valores mínimos de hasta 18.34 NTU, pH inicial de 7.22 a un valor mínimo de 7.11, Disminuyendo la turbidez en un 53 %.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. “Utilización del mucilago de tuna (*Opuntia ficus – indica*) en el mejoramiento de la calidad del agua de consumo, en la comunidad de Pusir grande, provincia del Carchi”

Nombre	Producto	Concentración	Agitación	Conclusión
“Utilización del mucílago de tuna (<i>Opuntia ficus – indica</i>) en el mejoramiento de la calidad del agua de consumo, en la comunidad de Pusir grande , provincia del Carchi ”	<i>Opuntia ficus – indica</i> macerado en agua	0.25 ml / 0.5 L	100 RPM	EL mucilago se obtuvo mediante el proceso de maceramiento se cortó la penca en pedazos pequeños en 20 litros de agua, Turbidez inicial del agua 111.24 NTU al agregar el mucilago se obtuvo valores mínimos de hasta 21.97 NTU, pH inicial de 8.77 a un valor mínimo de 8.70, Disminuyendo la turbidez en un 78 %.

Fuente: Elaboración propia.

Para la utilización del mucilago de *Opuntia ficus- indica* (tuna), en volúmenes de agua de 1 m³, la concentración es la siguiente:

Tabla 16. Utilización de mucílago a volumen de 1000 L.

Volumen (agua)	Concentración (mucílago)	Turbidez inicial (agua)
1 m³	1L	55 NTU

Fuente: Elaboración propia.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- El proceso de obtención del coagulante-floculante de *Opuntia ficus-indica* (*tuna*) impacta en su efectividad para disminuir la turbidez del agua, debido al cambio en las características físicas. Siendo el más efectivo el proceso de escurrimiento.
- Las características químicas de los productos no determinan la efectividad como floculante o coagulante para el caso de los productos obtenidos de la *Opuntia ficus-indica* (*tuna*); lo que si interfiere son las características físicas como es la densidad.
- Usando una velocidad de 40 rpm y una dosis de 0.50 mL como velocidad de agitación los flóculos generados se esparcieron en un área más grande, propiciando el contacto de estos con un número mayor de partículas coloidales, por tanto, este régimen de agitación favoreció la clarificación del agua.
- El floculante-coagulante natural del proceso de escurrimiento fue más eficiente en la disminución de la turbidez a comparación de los procesos de licuado y extracción.

7.2. Recomendaciones

- Se recomienda preparar la solución de tuna el mismo día en el que se vaya a realizar los procesos de coagulación, puesto que la planta tiende a oxidarse, además el coagulante debe ser refrigerado para su conservación.
- Buscar una alternativa para estabilizar el coagulante obtenido mediante el proceso de escurrimiento, con la finalidad de poder industrializar el producto.
- Realizar investigaciones donde se aplique el coagulante de tuna para remover turbidez en aguas crudas con turbidez inicial superiores a 100 NTU.
- Realizar la promoción ante diferentes entidades locales, provinciales y nacionales la utilización de coagulantes naturales para el mejoramiento y tratamiento de las aguas destinadas al riego de cultivos.
- Utilizar como abono vegetal o alimentación animal el residuo descartado de la extracción del mucílago de tuna, debido que es de alta humedad y elevado contenido de materia orgánica.

8. LISTA DE REFERENCIAS

- Abramovich, B., Lura, M., y Vaira, S. (2004). *Acción de distintos coagulantes para la eliminación de Cryptosporidium spp. en el proceso de potabilización del agua*. Argentina: Revista argentina de microbiología.
- Acosta, L. (2006). *Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación*. España: Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal.
- Almendárez, N. (2004). *Comprobación de la efectividad del coagulante (cochifloc) en aguas del lago de Managua "Piedras Azules"*. Nicaragua.
- Álvarez, J., y Bautista, J. (1989). *Sistemática de la tuna cultivada en el Perú*. Perú: I curso de plantación y manejo de tunales y propagación de cochinilla en las cuencas altas andinas del Perú.
- Anónimo. (2011). Monografía del Nopal y la Tuna. *Financiera Rural, Vivir Mejor*, 1-15.
- Beale, I. (2013). Penca Forrajera o Tunal Forrajero (*Opuntia ficus indica*). *Revista de Divulgación Técnica Agrícola y Agroindustrial*, 1-7.
- Beltrán, J., y Rangel, J. (2012). *Modelación dinámica de los sólidos suspendidos totales en el humedal jaboque*. Bogota.
- Bernal Pacora, L., y Oyola Velásquez, M. (2001). Optimización de floculante natural de tuna en la clarificación de aguas superficiales del distrito de Santa Rosa de Pallasca. *Investigación Científica*.
- Catalán la fuente, J., y Catalán Alonso, J. M. (1987). *Ríos. Caracterización y calidad de sus aguas*. Barcelona.
- Díaz, A., Rincón, N., Escorihuela, A., Fernández, N., y Chacín, E. (1999). A preliminary evaluation of turbidity removal by natural coagulants indigenous to Venezuela. *Bioquímica de procesos*, 391-395.
- Espino Díaz, M., Ornelas Paz, J., y Matínez Telles, M. (2010). Development and characterization of edible films based on mucilage of *Opuntia ficus indica* (L.). *Journal of Food Science*, 347-352.

- García , B. (2007). “*Metodología de extracción in situ de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial Aplicación en países en vías de desarrollo*”. Valencia: Director: Dr. José Miguel Arnal Arnal. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Valencia.
- Griful Ponsati, E., y Canela Campos, M. (2002). *Gestión de la Calidad*. Barcelona: Edicions UPC.
- Gutiérrez Cortez, E., y Rojas Molina, I. (2011). Condiciones de proceso de extracción de mucílago de nopal deshidratado. *Producción de nopal y maguey*, 285.
- Guzmán, L. (2013). Reducción de la Turbidez del Agua Usando Coagulantes naturales. *Actualidad y Divulgación Científica*, 253-262.
- Guzmán, L., Tarón, A., y Núñez, A. (2007). *Utilización del polvo de semilla de cañafístula (cassia fistula) como agente coagulante natural en el tratamiento de agua potable [tesis]*. . Cartagena..
- Jiménez, J., Vargas, M., y Quirós, N. (2012). *Evaluación de la tuna (Opuntia cochenillifera) para la remoción del color en agua potable*. Tecnología en Marcha.
- Kelderman, P., & Kruis, G. (2001). *Laboratory Course Aquatic Chemistry and its Applications in Environmental Engineering*. Holanda: International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering..
- Manahan, S. (2007). *Introducción a la Química Ambiental*. Mexico: Reverté S. A.
- Mannise, R. (2012). *Ecocosas*. (M. c. agua, Editor) Obtenido de <http://ecocosas.com/eco-ideas/metodo-centenario-y-sustentable-para-purificar-agua-el-nopal/>
- Marín Galvín, R. (1998). *"Jar-test" en el tratamiento de aguas: Una valiosa herramienta*. Córdoba: Empresa Municipalde Aguas de Córdoba S.A.
- Martínez García , J., y Gonzáles Silgado, L. E. (2012). *EVALUACIÓN DEL PODER COAGULANTE DE LA TUNA (Opuntia ficus indica)*. Cartagena.
- Miller, S., yFugate, E. (2008). Toward Understanding the Efficacy and Mechanism of Opuntia spp. as a Natural Coagulant for Potential Application in Water Treatment. . *Environmental Science & Technology*, 1-6.
- Miller, S., Fugate, E., & Zimmerman, J. (2008). *Toward understanding the efficacy and mechanism of Opuntia spp. as a natural coagulant for potential application in water treatment*. Environmental Science & Technology.

- Morejón Díaz, B. (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.* Ecuador.
- Olivero Verbel, R. (2013). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica**. *Produccion más Limpia*, 19-27.
- Parra, Y., y Cedeño, M. (2011). Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de *Opuntia wentiana*. *Ciencias Exactas, Naturales y Agropecuarias*, 27-33.
- Quirós Bustos, N., Vargas, M., y Jiménez, J. A. (2010). *Extracción y análisis de polímeros obtenidos a partir de varios productos naturales, para ser usados como potenciales floculantes en el tratamiento de agua para consumo humano.* Costa Rica: CIPA Centro de Investigación en Protección Ambiental. ..
- Rodríguez Gonzáles, S., Martínez Flores, H., Omelas Nuñez, J., y Garnica Romo, M. (2009). Optimización de la extracción del mucílago del Nopal . *Congreso nacional de biotecnología y bioingeniería.*
- Rodríguez, J., Lugo, I., Rojas, A., y Malaver, C. (2007). Evaluación del proceso de la coagulación para el diseño de una planta potabilizadora. . *Umbral Científico* , 8-16.
- Saenz, C. (2006). Utilización agroindustrial del nopal. *Servicios Agrícolas de la FAO*, 113.
- Sánchez Ortiz, A., y Matsumoto, T. (2012). Evaluación del desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de ILHASolteira (SP) por lagunas facultativas primarias. *Ingeniería y desarrollo*, 23-29.
- Sánchez Ruiz, E. (2005). *Seis Sigma, filosofía de gestión de la calidad: estudio teórico y su posible aplicación en el Perú.* Piura - Perú: Tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial y de Sistemas.
- Sepulveda , J., y Graham, B. (2007). Aerobic metabolic rates of swimming juvenile mako sharks. *isurus oxyrinchus*, 53.
- Solis, R. (2012). Mezclas con Potencial Coagulante para Clarificar Aguas Superficiales. *les. Introducción a la Contaminación Ambiental*, 229-236.

- Tamayo y Tamayo, M. (2004). *El Proceso de la Investigación Científica: Incluye evaluación y administración de proyectos de investigación*. Mexico: Limusa.
- Vásquez, O. (1994). *Extracción de coagulantes naturales del nopal y aplicación en la clarificación de aguas superficiales [tesis]*. Monterrey.
- Villabona, A., Paz, C., y Martínez, J. (2013). Caracterización de la *Opuntia ficus indica* para su uso como coagulante natural. *Revista colombiana de biotecnología*.
- WordPress. (2018). *Tratamiento de Agua*. Obtenido de <http://www.tratamientodelagua.com.mx/teoria-de-sedimentacion/>
- Zhang, J., Luo, Y., y Yang, H. (2006). A preliminary study on cactus as coagulant in water treatment. *Bioquímica de procesos*, 730-733.

ANEXO A

RESULTADOS DE

LABORATORIO

Hora	Fecha	Producto	Conc. (mL/L)	Agitación	Turbidez Inicial	Turbidez Final	pH	Conductividad
09:00	08/05/2018	P1: Licuado	0.25	20	55.3	33.3	7.57	409
09:20	08/05/2018	P2: Escurrimiento	0.25	20	55.4	18.4	7.59	405
09:40	08/05/2018	P3: Estracción	0.25	20	55.7	30.1	7.59	418
10:00	08/05/2018	P1: Licuado	0.5	20	55.6	45.2	7.61	418
10:20	08/05/2018	P2: Escurrimiento	0.5	20	55.8	15.2	7.62	420
10:40	08/05/2018	P3: Estracción	0.5	20	55.7	40.1	7.55	422
11:00	08/05/2018	P1: Licuado	0.75	20	55.4	40.2	7.57	409
11:20	08/05/2018	P2: Escurrimiento	0.75	20	55.3	19.6	7.57	407
11:40	08/05/2018	P3: Estracción	0.75	20	55.9	35.6	7.59	413
12:00	08/05/2018	P1: Licuado	0.25	40	55.4	45.1	7.57	407
12:20	08/05/2018	P2: Escurrimiento	0.25	40	55.6	14.6	7.55	423
12:40	08/05/2018	P3: Estracción	0.25	40	55.3	42.4	7.6	423
03:00	08/05/2018	P1: Licuado	0.5	40	55.3	46.3	7.62	407
03:20	08/05/2018	P2: Escurrimiento	0.5	40	55.8	10.2	7.54	417
03:40	08/05/2018	P3: Estracción	0.5	40	55.3	44.6	7.61	405
04:00	08/05/2018	P1: Licuado	0.75	40	55.8	45.7	7.62	409
04:20	08/05/2018	P2: Escurrimiento	0.75	40	55.4	15.1	7.54	409
04:40	08/05/2018	P3: Estracción	0.75	40	55.5	44.3	7.55	415
05:00	08/05/2018	P1: Licuado	0.25	60	55.7	37.8	7.56	412
05:20	08/05/2018	P2: Escurrimiento	0.25	60	55.6	11.3	7.64	411
05:40	08/05/2018	P3: Estracción	0.25	60	55.3	27.3	7.56	408
06:00	08/05/2018	P1: Licuado	0.5	60	55.4	35.1	7.61	417
06:20	08/05/2018	P2: Escurrimiento	0.5	60	55.8	12.3	7.58	421
06:40	08/05/2018	P3: Estracción	0.5	60	55.9	25.3	7.59	423
09:00	09/05/2018	P1: Licuado	0.75	60	55.9	36.3	7.63	405
09:20	09/05/2018	P2: Escurrimiento	0.75	60	55.3	13.2	7.64	415
09:40	09/05/2018	P3: Estracción	0.75	60	55.5	26.2	7.62	410
10:00	09/05/2018	P1: Licuado	0.25	80	55.6	40.1	7.6	408
10:20	09/05/2018	P2: Escurrimiento	0.25	80	55.9	16.6	7.62	406
10:40	09/05/2018	P3: Estracción	0.25	80	55.4	37.5	7.58	411
11:00	09/05/2018	P1: Licuado	0.5	80	55.4	38.3	7.6	413
11:20	09/05/2018	P2: Escurrimiento	0.5	80	55.9	14.1	7.62	420
11:40	09/05/2018	P3: Estracción	0.5	80	55.6	35.8	7.56	409
12:00	09/05/2018	P1: Licuado	0.75	80	55.3	50.5	7.58	415
12:20	09/05/2018	P2: Escurrimiento	0.75	80	55.3	25.4	7.59	415
12:40	09/05/2018	P3: Estracción	0.75	80	55.3	45.2	7.6	408
03:00	09/05/2018	P1: Licuado	0.25	20	55.3	33.1	7.64	422
03:20	09/05/2018	P2: Escurrimiento	0.25	20	55.4	18.6	7.62	413
03:40	09/05/2018	P3: Estracción	0.25	20	55.7	30.2	7.64	405
04:00	09/05/2018	P1: Licuado	0.5	20	55.6	45.1	7.6	414
04:20	09/05/2018	P2: Escurrimiento	0.5	20	55.8	15.3	7.55	420
04:40	09/05/2018	P3: Estracción	0.5	20	55.7	40.2	7.6	410
05:00	09/05/2018	P1: Licuado	0.75	20	55.4	40.1	7.56	410
05:20	09/05/2018	P2: Escurrimiento	0.75	20	55.3	19.5	7.58	409
05:40	09/05/2018	P3: Estracción	0.75	20	55.9	35.5	7.64	416
06:00	09/05/2018	P1: Licuado	0.25	40	55.4	45.2	7.59	416
06:20	09/05/2018	P2: Escurrimiento	0.25	40	55.6	14.8	7.63	409
06:40	09/05/2018	P3: Estracción	0.25	40	55.3	42.3	7.61	422
09:00	10/05/2018	P1: Licuado	0.5	40	55.3	46.1	7.55	410
09:20	10/05/2018	P2: Escurrimiento	0.5	40	55.8	10	7.54	409
09:40	10/05/2018	P3: Estracción	0.5	40	55.3	44.8	7.6	419
10:00	10/05/2018	P1: Licuado	0.75	40	55.8	45.9	7.57	414
10:20	10/05/2018	P2: Escurrimiento	0.75	40	55.4	15	7.57	415
10:40	10/05/2018	P3: Estracción	0.75	40	55.5	44.4	7.62	414
11:00	10/05/2018	P1: Licuado	0.25	60	55.7	37.8	7.54	408
11:20	10/05/2018	P2: Escurrimiento	0.25	60	55.6	11.2	7.56	417
11:40	10/05/2018	P3: Estracción	0.25	60	55.3	27.3	7.58	416
12:00	10/05/2018	P1: Licuado	0.5	60	55.4	35	7.55	421
12:20	10/05/2018	P2: Escurrimiento	0.5	60	55.8	12.2	7.56	423
12:40	10/05/2018	P3: Estracción	0.5	60	55.9	25.2	7.55	423
03:00	10/05/2018	P1: Licuado	0.75	60	55.9	36.2	7.59	405
03:20	10/05/2018	P2: Escurrimiento	0.75	60	55.3	13.1	7.57	420
03:40	10/05/2018	P3: Estracción	0.75	60	55.5	26	7.64	412
04:00	10/05/2018	P1: Licuado	0.25	80	55.6	40.2	7.57	412
04:20	10/05/2018	P2: Escurrimiento	0.25	80	55.9	16.8	7.63	415
04:40	10/05/2018	P3: Estracción	0.25	80	55.4	37.5	7.63	408
05:00	10/05/2018	P1: Licuado	0.5	80	55.4	38.5	7.64	422
05:20	10/05/2018	P2: Escurrimiento	0.5	80	55.9	14.3	7.58	422
05:40	10/05/2018	P3: Estracción	0.5	80	55.6	35.7	7.64	406
06:00	10/05/2018	P1: Licuado	0.75	80	55.3	50.5	7.63	423
06:20	10/05/2018	P2: Escurrimiento	0.75	80	55.3	25.7	7.62	409
06:40	10/05/2018	P3: Estracción	0.75	80	55.3	45.3	7.55	408

Figura 9. Resultados de Laboratorio

ANEXO B

PANEL

FOTOGRAFICO



Figura 10. Foto 01 Recolección de muestras de agua del río Chonta



Figura 11. Foto 02 Compósito de 50 litros de Agua

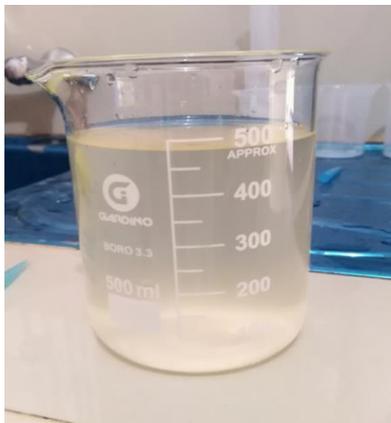


Figura 12. Foto 03 se coloca 500 ml de agua y conductividad inicial.

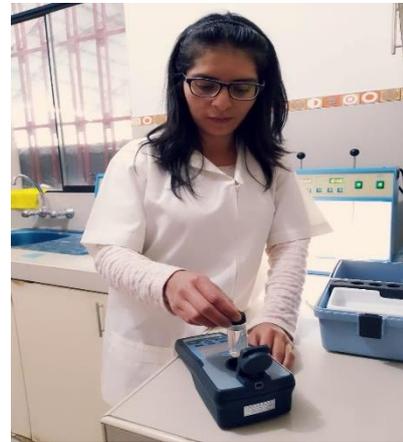


Figura 13. Foto 04 medición de turbidez, ph del río en un beaker de la misma medida.



Figura 14. Foto 05 recolección de pencas de mucílago.



Figura 15. Foto 6 proceso de extracción del tuna y eliminación de espinas



Figura 16. Foto 07 proceso de licuado del mucilago.



Figura 17. Foto 08 proceso de escurrimiento del mucilago.



Figura 18. Foto 09 obtención del mucilago de los 3 procesos.



Figura 19. Foto 10 agregando el mucilago a los beaker para la prueba de jarras.



Figura 20. Foto 11 Prueba de test de jarras



Figura 21. Foto 12 efecto del mucilago en el agua del río.

ANEXO C

IMÁGENES

SATELITALES



Figura 22. Foto 13 Ubicación del río Chonta - Cajamarca