



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA DISMINUCIÓN DE LA TURBIDEZ EN EL PROCESO DE FLOCULACIÓN UTILIZANDO UN FLOCULANTE COMERCIAL Y LA PALETA DE TUNA”**

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero Civil**

**Autor:**

Verónica Milagros Godoy Briones

**Asesor:**

Ing. Roger Cerquín Quispe

Cajamarca – Perú

2018

## **APROBACIÓN DE LA TESIS**

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por la Bachiller **Verónica Milagros Godoy Briones**, denominada:

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA DISMINUCIÓN DE LA TURBIDEZ EN EL  
PROCESO DE FLOCULACIÓN UTILIZANDO UN FLOCULANTE COMERCIAL Y  
LA PALETA DE TUNA”**

---

Ing. Roger Cerquín Quispe  
**ASESOR**

---

Dr. Ing. Orlando Aguilar Aliaga  
**JURADO**  
**PRESIDENTE**

---

M. Cs. Ing. Irene Ravines Azañero  
**JURADO**

---

Mg. Ing. María Salomé De la Torre Ramirez  
**JURADO**

## DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a mi Madre, quien estuvo a mi lado brindándome su apoyo y la fortaleza para llegar a cumplir mis metas y nunca decayó a pesar de los momentos difíciles.

A mi familia por ser mi soporte y el motivo de superación de cada día y a la persona amada por darme la fuerza necesaria para seguir adelante.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios ya que gracias a Él he podido lograr cumplir todos mis objetivos trazados, a mi familia por su apoyo incondicional en cada momento de mi vida, por ser parte de mi formación en valores y hacer de mí una persona de bien.

A la UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE por darme la oportunidad de cumplir mis metas y objetivos profesionales, además de formarme con ética y valores profesionales, de esta manera poder culminar con éxito mi carrera profesional.

## INDICE DE CONTENIDOS

<b>APROBACIÓN DE LA TESIS.....</b>	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS .....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xi</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>12</b>
1.1. Realidad problemática .....	12
1.2. Formulación del problema.....	12
1.3. Justificación.....	13
1.4. Limitaciones .....	13
1.5. Objetivos .....	14
1.5.1. <i>Objetivo general</i> .....	14
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	14
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>15</b>
2.1. DEFINICIÓN:.....	18
2.2. LÍMITE DE TURBIDEZ DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO: .....	19
2.3. FACTORES:.....	20
2.4. IMPORTANCIA: .....	20
2.5. MEDICIÓN DE LA TURBIDEZ:.....	21
2.6. DEFINICIÓN:.....	21
2.8. PROCESO.....	21
2.9. TIPOS DE FLOCULACIÓN.....	22
2.10. FACTORES:.....	22
2.11. DEFINICIÓN:.....	23
2.12. MECANISMO DE FUNCIONAMIENTO: .....	23
2.13. FLOCULANTE CATIONICO SÓLIDO:.....	23
2.13.1. <i>Descripción</i> .....	23
2.13.2. <i>Aplicación</i> :.....	24
2.13.3. <i>Beneficios</i> : .....	25
2.14. DEFINICIÓN:.....	25
2.15. MECANISMO DE LA COAGULACIÓN .....	27
2.15.1. <i>Compresión de la doble capa</i> .....	27

2.15.2.	<i>Adsorción y neutralización de cargas.</i>	27
2.15.3.	<i>Atrapamiento de partículas en un precipitado.</i>	28
2.15.4.	<i>Adsorción y puente.</i>	28
2.16.	OBJETIVO DE LA COAGULACIÓN.	29
2.17.	MODELOS DE COAGULACIÓN	29
2.18.	COAGULANTES UTILIZADOS	29
2.19.	FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COAGULACIÓN	30
2.19.1.	<i>INFLUENCIA DEL Ph</i>	30
2.19.2.	<i>INFLUENCIA DE LAS SALES DISUELTAS</i>	31
2.19.3.	<i>INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DEL AGUA</i>	31
2.19.4.	<i>INFLUENCIA DE LA DOSIS DEL COAGULANTE</i>	31
2.19.5.	<i>INFLUENCIA DE MEZCLA</i>	32
2.19.6.	<i>INFLUENCIA DE LA TURBIEDAD</i>	33
2.20.	ETAPAS O FASES DE LA COAGULACIÓN	33
2.21.	TIPOS DE COAGULACIÓN	34
2.22.	DEFINICIÓN:	35
2.23.	TEST DE JARRAS	35
2.23.1.	<i>Definición</i>	35
2.23.2.	<i>Objetivo</i>	36
2.23.3.	<i>Materiales y equipos necesarios</i>	36
2.23.4.	<i>Preparación de solución de coagulantes y polielectrolitos para los ensayos de pruebas de jarras.</i>	37
2.23.5.	<i>OBTENCIÓN DE RESULTADOS</i>	38
2.24.	CONCEPTO	39
2.25.	IDENTIFICACION DE LA ESPECIE	39
2.26.	ORIGEN	39
2.27.	DISTRIBUCION GEOGRAFICA	39
2.28.	CONDICIONES	40
2.29.	IMPORTANCIA Y USOS	40
2.30.	PRODUCCION	41
2.31.	DESCRIPCION BOTANICA	41
2.32.	ANTECEDENTES BIOLOGICOS Y COMPORTAMIENTO ECOLOGICO	42
2.33.	CAPACIDAD DE REGENERACION NATURAL	42
2.34.	SUSCEPTIBILIDAD A DAÑOS Y ENFERMEDADES	42
2.35.	SILVICULTURA Y MANEJO	43
2.36.	DEFINICIÓN:	47
2.37.	CARACTERÍSTICAS	47
2.38.	RIESGOS	47
2.39.	MÉTODO DE ANÁLISIS	48
<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA</b>		<b>49</b>
3.1.	Operacionalización de variables	49
3.2.	Diseño de investigación	49
3.3.	Unidad de estudio	49
3.4.	Población	49
3.5.	Muestra (muestreo o selección)	49
3.6.	Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos	50

3.6.1. <i>Para recolectar datos</i> .....	50
3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos .....	52
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS</b> .....	<b>53</b>
<b>CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN</b> .....	<b>64</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>65</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>66</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>67</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>69</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de ECOPOL CS 600 .....	24
Tabla 2: Clasificación del agua según su comportamiento en la coagulación.....	35
Tabla 3: Operacionalidad de variable .....	49
Tabla 4: Prueba N°01-Remoción de la Turbidez haciendo uso del floculante Natural Paleta de Tuna en diferentes dosificaciones y con 50 RPM .....	53
Tabla 5: Prueba N°02 – Remoción de la Turbidez haciendo uso del floculante natural Paleta e Tuna en diferentes dosificaciones y con 60 RPM. ....	54
Tabla 6: Prueba N°03 – Remoción de la Turbidez haciendo uso del floculante natural Paleta e Tuna en diferentes dosificaciones y con 80 RPM. ....	55
Tabla 7: Prueba N°01 – Remoción de la Turbidez haciendo uso del floculante comercial – ECOPOL CS 600 en diferentes dosificaciones y con 50 RPM.....	56
Tabla 8: Prueba N°02 – Remoción de la Turbidez haciendo uso del floculante comercial – ECOPOL CS 600 en diferentes dosificaciones y con 60 RPM.....	57
Tabla 9: Prueba N°03 – Remoción de la Turbidez haciendo uso del floculante comercial – ECOPOL CS 600 en diferentes dosificaciones y con 80 RPM.....	58
Tabla 10: Comparación de la Turbidez Final utilizando Floculante Natural (Paleta de tuna) y un floculante comercial ECOPOL CS 600, con 50 RPM. ....	59
Tabla 11: Comparación de la Turbidez Final Utilizando Floculante Natural (Paleta de tuna) y un floculante comercial ECOPOL CS 600, con 60 RPM. ....	61
Tabla 12: Comparación de la Turbidez Final Utilizando Floculante Natural (Paleta de tuna) y un floculante comercial ECOPOL CS 600, con 80 RPM. ....	62
Tabla 13: Obtención del floculante natural – Paleta de Tuna.....	63
Tabla 14: Obtención del floculante natural – Paleta de Tuna.....	63
Tabla 15: 3 pruebas de Remoción de la Turbidez haciendo uso del floculante natural (PALETA DE TUNA) en diferentes dosificaciones y con diferentes revoluciones por minuto. ....	70
Tabla 16: 3 pruebas de Remoción de la Turbidez haciendo uso del floculante comercial (ECOPOL CS 600) en diferentes dosificaciones y con diferentes revoluciones por minuto. ....	70
Tabla 17: Ensayo de los tres valores obtenidos del floculante natural – Paleta de Tuna .	71
Tabla 18: PH obtenido del agua en solución .....	71



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1: Remoción de la Turbidez - Paleta de Tuna .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Gráfica 2: Remoción de la Turbidez - Paleta de Tuna .....	54
Gráfica 3: Remoción De la Turbidez – Paleta de Tuna.....	55
Gráfica 4: Remoción de la Turbidez - ECOPOL CS 600.....	56
Gráfica 5: Remoción de la Turbidez - ECOPOL CS 600.....	57
Gráfica 6: Remoción de la Turbidez - ECOPOL CS 600.....	58
Gráfica 7: Comparación de la Turbidez Final Utilizando Floculante Natural (Paleta de tuna) y un floculante comercial ECOPOL CS 600.....	60
Gráfica 8: Comparación de la Turbidez Final utilizando Floculante Natural (Paleta de tuna) y un floculante comercial ECOPOL CS 600.....	61
Gráfica 9: Comparación de la Turbidez Final Utilizando Floculante Natural (Paleta de tuna) y un floculante comercial ECOPOL CS 600.....	62
Gráfica 10: Comparación de la Turbidez Final Utilizando Floculante Natural (Paleta de tuna) y un floculante comercial ECOPOL CS 600.....	62

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal realizar un análisis comparativo de la disminución de la turbidez del agua en el proceso de floculación utilizando un floculante comercial y la paleta de tuna, para la purificación de agua. La presente investigación describe la experimentación en laboratorio. Esta experimentación comprende el aplicar la paleta de tuna (floculante natural) y el COPOL CS 600 (floculante comercial) para realizar el análisis físico de agua del Río “San Lucas” (Sector Urubamba).

Al evaluar el proceso de floculación utilizando el floculante comercial (ECOPOL CS 600) obtenemos que la turbidez disminuye hasta 10.3 NTU, con una dosificación de 8mg/600 ml en 60 RPM y el floculante natural (Paleta de Tuna) disminuye la turbidez a 3.34 NTU con una dosificación de 10 mg/600ml en 50 RPM, además se cree conveniente analizar el Ph obteniendo un pH de 7 (neutro) y pH de 8 (básica o alcalina), estando dentro del rango normal (6.5 – 8.5) lo cual es favorable, y permitirá que el resto de contaminantes se purifiquen de manera más rápida, además se pudo concluir que la paleta de tuna por ser un producto natural es más recomendable que un floculante comercial siendo la paleta de Tuna el floculante que permite que la apariencia física del agua sea mejor que el que nos brinda el floculante comercial que en este caso es el ECOPOL CS 600.

## ABSTRACT

The present research work has the main objective of making a comparative analysis of the decrease of water turbidity in the flocculation process using a commercial flocculant and the tuna palette, for water purification. The present investigation describes laboratory experimentation. This experimentation involves applying the tuna palette (natural flocculant) and COPOL CS 600 (commercial flocculant) to perform the physical water analysis of the "San Lucas" River (Urubamba Sector).

When evaluating the flocculation process using the commercial flocculant (ECOPOL CS 600) we obtain that the turbidity decreases up to 10.3 NTU, with a dosage of 8mg / 600 ml at 60 RPM and the natural flocculant (Tuna Palette) decreases the turbidity at 3.34 NTU It is also considered convenient to analyze the Ph obtaining a pH of 7 (neutral) and pH of 8 (basic or alkaline), being within the normal range (6.5 - 8.5) which is favorable, and allow the rest of pollutants to be purified more quickly, it was also possible to conclude that the tuna palette as a natural product is more advisable than a commercial flocculant being the Tuna palette the flocculant that allows the physical appearance of water is better than the one provided by the commercial flocculant, which in this case is the ECOPOL CS 600.

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Realidad problemática**

En el mundo entero, el problema del agua se ha convertido en una de las preocupaciones más grandes para todos los habitantes, ya que millones de personas no tienen acceso al agua potable y según Silladona a fin de siglo se estima que más de un 80% de los habitantes puede que no dispongan suministros de agua potable.

En el Perú el problema que se presenta es el crecimiento desmesurado de la población el que ha complicado el abastecimiento de agua a todo el país, además es importante conocer los factores que agrandan este problema como, la falta de conciencia en la utilización despreocupada del recurso hídrico, la deforestación y el calentamiento global, lo que genera que el problema sea cada vez más grande, por otro lado el agua de los ríos y quebradas presentan turbidez, agua que podría ser tratada y utilizada para diversos fines.

En Cajamarca ha crecido la demanda de agua potable rápidamente, por lo que es importante recalcar que el agua en esta ciudad en épocas de lluvia presentan un alto nivel de turbidez en los ríos y quebradas, sobre todo en la zona rural, agua que se utiliza para el riego de las plantas, para el consumo de los animales y en algunos casos el agua que llega a ciertas plantas de tratamiento, este caso se presentó en épocas de lluvia en el distrito de los Baños del Inca, ya que una parte de los usuarios obtenían agua turbia, por lo cual es importante evitar que la turbidez del agua no llegue hasta el consumidor ya que puede causar grandes daños, enfermedades y pérdidas económicas.

### **1.2. Formulación del problema**

¿En cuánto disminuye la turbidez del agua utilizando la paleta de tuna a diferencia de utilizar un floculante comercial?

### 1.3. Justificación

La justificación de esta investigación se basa en que cuando se encuentra en el agua partículas de tipo coloidal o en solución, se debe realizar un tratamiento mediante filtración rápida para su remoción.

La falta de información sobre el uso de plantas naturales como floculantes han evitado el desarrollo de las zonas rurales en cuanto a la prevención de enfermedades ya que las plantas de tratamiento sólo funcionan para la zona urbana. Por esto se tomó la iniciativa de analizar cuánto disminuye la turbidez del agua mediante la aplicación de paleta de tuna como floculante a diferencia de utilizar un floculante comercial, siendo este proceso sencillo y de forma económica, el cual ayudará a mejorar la calidad de vida de la población en las zonas rurales.

El tema de investigación tiene un gran valor y relevancia para la carrera de ingeniería civil ya que la carrera no solo debe ocuparse en el desarrollo en obras de infraestructura sino en otros aspectos como es el tratamiento de las aguas en las zonas rurales, siendo el objetivo principal de la carrera de ingeniería civil mejorar la calidad de vida de la población, pero es importante tomar esto en cuenta en las zonas rurales, ya que es donde hay mayor necesidad de este recurso natural en épocas de lluvias excesivas que provocan que el agua se llene de partículas que no permita ser consumida.

Este trabajo permite que los estudiantes de ingeniería civil puedan tener mayor criterio en temas como la que indico en esta investigación para dar un mejor desarrollo en la calidad de vida de la población y poder atender las necesidades básicas y las de mayor importancia.

### 1.4. Limitaciones

- El presente estudio está orientado principalmente en realizar el análisis comparativo de la disminución de la turbidez del agua en el proceso de floculación utilizando un floculante comercial y la paleta de tuna, por lo cual, la principal limitación para desarrollar el proyecto de mejora se basa en contar con el recurso natural, que es la paleta de la tuna, ya que hay que encontrarla en lugares fuera de la ciudad.

A pesar de esta limitación es importante realizar el proyecto ya que ayuda a mejorar la calidad de agua en las zonas rurales con el tratamiento de agua y abastecimiento a la población, siendo la paleta de tuna un floculante económico que permite la clarificación del agua.

- Una limitación importante es la falta de equipos para realizar los ensayos para analizar la disminución de la turbidez del agua con la paleta de tuna como floculante, por lo que se realizó el ensayo con un solo tipo de agua con ambos tipos de floculantes mediante una prueba de test de jarras.

A pesar de esta limitación es importante analizar de qué manera ayuda la paleta de tuna como un floculante, además de dar a conocer que con este recurso el tratamiento del agua es más económico, natural y saludable.

## **1.5. Objetivos**

Como en todo proyecto es importante señalar los objetivos tenemos los siguientes:

### **1.5.1. Objetivo general**

- Comparar la disminución de la turbidez del agua en el proceso de floculación utilizando un floculante comercial y la paleta de tuna.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

1. Evaluación de la utilización de la paleta de tuna como floculante en el agua.
2. Evaluación de la utilización de un floculante comercial en el agua.
3. Comparar la calidad de agua utilizando la paleta de tuna como floculante y un floculante artificial.
4. Efectuar el análisis Físico del agua.
5. Evaluar el ph del agua resultante.

---

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### a) Antecedentes

Entre los antecedentes más relevantes se ha encontrado la siguiente información, que servirá como referencia para nuestro estudio:

- **Tesis**, “Optimización de Floculante Natural de Tuna *Opuntia ficus indica* en la clarificación de las aguas superficiales del distrito de Santa Rosa provincia de Pallasca”, la que tuvo como objetivo determinar la proporción óptima entre seis formulaciones de floculante natural de tuna *Opuntia ficus indica* en la clarificación de las aguas superficiales de las acequias del poblado de Miraflores – Distrito de Santa Rosa – Provincia de Pallasca. Metodología: El estudio de diseño experimental, movilizó la variable independiente para evaluar su efecto en la variable dependiente, se llevó a cabo durante los meses de enero a marzo del 2011, considerando un muestreo de tipo probabilístico aleatorio, las muestras de agua se recolectaron de diferentes puntos de acequias, de 05 a 06 metros paralelos a la línea de acequias, las mismas que representaron el área más utilizada para el consumo directo. Se realizaron procedimientos químicos para el análisis y lectura en laboratorio, con técnicas especializadas en tratamiento y monitoreo de las aguas en los grupos experimental y control. Los resultados mostraron valores turbidimétricos bajos, medios, altos y muy altos a razón de una referencial de 200 ppm usados por los pobladores en su tratamiento casero y de uso doméstico, siendo la F1–350 ppm y F2-300ppm las de mejores en clarificación y las menores a 200 ppm resultaron con mayor turbidez que el patrón referencial de sulfato ferroso usando a razón de 50 ppm. Como conclusión tenemos que estadísticamente por lo que es la proporción óptima del floculante natural de tuna en la clarificación de las aguas superficiales, representando entonces, una estrategia que debe ser colocada como alternativas para la conservación, preservación y utilización de las aguas; así mismo el monitoreo pertinente de la Universidad San Pedro a fin de coordinar acciones de carácter multisectorial en la Región Santa y liderar un proyecto social de tecnologías limpias. (Loida Pacora Bernal, Margarita Velásquez Oyola, Benigno Miñano Calderón, María Guarniz Flores, 2011)

- **Trabajo de investigación**, “ Establecer los parámetros tecnológicos para la obtención de un nuevo tipo de clarificante natural elaborado a partir de la penca de tuna ( *opuntia ficus indica* l. Miller)”, el cual tiene como objetivos obtener un clarificante a partir de la penca de tuna, determinar la adecuada proporción a utilizar en el proceso

de precipitación para la obtención del gel de tuna, determinar la temperatura óptima de secado para el gel de tuna, determinar el porcentaje adecuado de clarificante a utilizar en la elaboración de un producto determinado; plantea que dado que la penca de tuna contiene sustancias como fibra soluble de naturaleza viscosa que pueden ser utilizadas con fines industriales. Es posible obtener y aprovechar el mucilago de la penca de tuna para utilizarlo como insumo o aditivo (clarificante) e la industria de bebidas, llegando a la conclusión que el rendimiento del producto obtenido fue el 3% con relación a la cantidad inicial de la materia prima y se logró determinar los parámetros tecnológicos óptimos para obtener el producto deseado. (Laura Sano Violeta, Jaime Zavala Christian J., 2010)

- **Tesis de grado en ingeniería agroforestal**, “Evaluación de la eficiencia de la utilización de semillas de moringa oleífera como una alternativa de biorremediación en la purificación de aguas superficiales del Caño Cola de Pato ubicado en el sector rural del municipio de Acacias”, La investigación encausada hacia opciones de tratamiento de aguas superficiales con base en la utilización de coagulantes naturales en procesos de depuración y purificación, se hace necesaria teniendo en cuenta las condiciones socio-económicas y políticas actuales de nuestro país, para el análisis del tema de investigación se tomaron dos (2) muestras de agua de la fuente denominada Cola de pato en el sector correspondiente a la UNAD; la primera muestra fue para determinar las características físico-químicas y microbiológicas de la fuente hídrica en su estado natural y la segunda muestra fue la del agua de la fuente una vez después de realizado el procedimiento de bioremediación para la clarificación mediante la utilización de semillas de Moringa Oleífera; las muestras fueron enviadas al laboratorio para ser analizadas y de donde se obtuvieron los resultados que nos permitan establecer la eficiencia del sistema de purificación de aguas con semillas de Moringa, propuesto para este proyecto, mediante la comparación de los parámetros analizados entre los que posee la fuente hídrica Cola de pato sin tratamiento y los obtenidos una vez realizado el tratamiento; a través de un cuadro comparativo donde se especifica el porcentaje de remoción cuantificable de los parámetros requeridos para hacer de esta agua aptas para el consumo humano(dependiendo del contenido microbiológico) y/o para otros usos agroindustriales por ejemplo, o para el tratamiento de aguas de acueductos. Como resultado fundamental de este trabajo se encuentra, la determinación de la eficiencia del uso de las semillas de *Moringa oleífera*, en el proceso de 15 clarificación y purificación de aguas superficiales en la fuente Cola de pato del sector de la UNAD perteneciente al área rural del municipio de Acacias, para verificar



así la posibilidad de un producto coagulante estable capaz de sustituir el Sulfato de Aluminio y el Cloruro Férrico, utilizados tradicionalmente en las Plantas de Potabilización o Tratamiento de Agua (PTAP) de las regiones de nuestro país. (Germán Ricardo Melo Vargas, Fabio Arbey Turriago Ríos, 2012).

• **Tesis de grado en ingeniería Química**, “Evaluación del poder coagulante de la tuna (*Opuntia ficus indica*) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas”, Mediante esta investigación cuantitativa experimental se evaluó la capacidad que tiene un polvo obtenido a partir de la Tuna (*Opuntia ficus indica*) para remover turbidez y color presente en aguas crudas. En el presente texto se presentan los aspectos más sobresalientes de este trabajo, como las operaciones empleadas en la elaboración del agente coagulante, al cual se le determinó su densidad a granel, pH, contenido de carbohidratos y proteínas. Es importante resaltar, que para convertir las pencas de Tuna en un polvo coagulante color marfil, basto con someterlas a ciertos cambios físicos, usando operaciones unitarias como remoción de cutícula, secado, triturado, tamizado y extracción de pigmentos. Por otro lado, también se muestran los datos recopilados durante las pruebas de jarra realizadas en los laboratorios de Energías Limpias y Medio ambiente del programa de Ingeniería Química, los cuales están ubicados en la sede Piedra de Bolívar de la Universidad de Cartagena. Luego de ser tabulada y graficada esta información sirvió para calcular la eficiencia (actividad coagulante) de este polvo; además se compararon estas medidas finales de turbidez y color con los valores mínimos aceptados por las normativas vigentes en Colombia (Decreto 1575 del 2007). La muestra de agua cruda utilizada es los ensayos de jarra, se tomó del Canal del Dique, a la altura del corregimiento Puerto Badel jurisdicción de Arjona – Bolívar. Los resultados obtenidos permitieron concluir, que bajo las condiciones manejadas durante las pruebas, se logró remover la turbidez y el color en porcentajes significativos, utilizando solo pequeñas dosis del coagulante natural. Altas velocidades de agitación incrementaron la remoción de impurezas, no obstante las bajas velocidades de agitación generaron flóculos más grandes y compactos. (Jasser Martínez García, Luis Enrique Gonzales Silgado, 2012).

• **Paper**, “Utilización de Tuna (*Opuntia Ficus-indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas”, En la clarificación del agua potable se utilizan productos químicos como el sulfato de aluminio para remover materia coloidal y sustancias orgánicas, por lo que en esta investigación se evaluaron las propiedades que tiene la tuna *Opuntia Ficus-indica* y el alumbre en la clarificación de las aguas del río

Magdalena en Magangué, departamento de Bolívar (Colombia); como coagulante. Finalmente, se demostró la eficiencia que tiene el mucílago extraído de la tuna como coagulante natural. En aguas poco turbias como esta, la velocidad de agitación tiene incidencia en la acción del clarificante, ya que este logra llegar hasta las partículas más dispersas aumentando la eficiencia del proceso de clarificación. Mediante esta investigación se demostró la eficiencia que tiene el mucílago extraído de la tuna como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas, la velocidad de agitación tiene incidencia en la acción del coagulante ya que este logra llegar hasta las partículas más dispersas aumentando la eficiencia del proceso de clarificación. (Rafael Enrique Olivero Verbel, 2014)

## b) Bases teóricas

### LA TURBIDEZ DEL AGUA

#### 2.1. DEFINICIÓN:

Se define como la propiedad óptica de una muestra para disipar y absorber la luz en vez de transmitirla en línea recta. En el caso del agua, esta es causada por las partículas coloidales como la arcilla, minerales, algas, diminutas partes de materia orgánica e inorgánica, plancton y microorganismos. Partículas como estas le proporcionan color aparente al agua. En términos matemáticos, la turbidez se puede definir como el logaritmo natural de la disminución de la intensidad luminosa, al pasar un rayo de luz a través de un medio de espesor  $l$ , así:

$$t = \frac{1}{l} \ln \left( \frac{I}{I_0} \right) \quad \dots \text{Ec. 01}$$

(Arboleda, 1992)

La turbidez es una medida de la cantidad de partículas en suspensión en el agua. Las algas, los sedimentos en suspensión, la materia orgánica y los contaminantes pueden enturbiar el agua. Según la OMS (Organización Mundial para la Salud), la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 NTU, y estará idealmente por debajo de 1 NTU. Las partículas en suspensión difunden la luz solar y absorben calor lo cual puede causar un aumento en la temperatura y una reducción de la luz para la fotosíntesis de las algas. La turbidez debida a sedimentos en suspensión puede indicar una erosión natural o artificial. Los sedimentos en suspensión pueden obstruir las branquias de los peces. Cuando el sedimento precipita, puede dañar los

lechos de grava y enterrar los huevos de los peces y s insectos bénticos. El sedimento puede transportar contaminantes, patógenos y nutrientes. (www.waterboards.ca.gov/water\_issues/programs/swamp, s.f.)

La turbiedad es originada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra finamente dividida, etc.). La distribución de las partículas en el agua de acuerdo con su tamaño. La turbiedad es causada por las partículas que forman los sistemas coloidales; es decir, aquellas que por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado. (OPS/CEPIS/05.167. UNATSABAR, 2005)

**Figura 1: Agua turbia en el Río San Lucas - Sector Urubamba**



**Fuente: Elaboración propia**

## **2.2. LÍMITE DE TURBIDEZ DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO:**

Según la OMS (Organización Mundial para la Salud), la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 2 NTU, y estar idealmente por debajo de 1 NTU.

Los sistemas filtrantes, de las plantas de tratamiento del agua para consumo humano deben asegurar que la turbidez no supere 1 NTU\* (0.6NTU para filtración convencional o directa) en por lo menos 95% de las muestras diarias de cualquier mes. A partir del 1 de enero de 2002, en los estándares de los EEUU, la turbidez no debe superar 1 NTU, y no debe superar 0.3 en 95% de las muestras diarias de cualquier mes. Artículo principal: Calidad del agua para uso potable (<https://es.wikipedia.org/wiki/Turbidez>, 2018)

### 2.3. FACTORES:

#### Factores naturales

- Algas y nutrientes excesivos
- Sedimento suspendido de la erosión y el transporte de sedimento
- El clima estacional, eventos de tormentas
- Se determinará la morfología local de la corriente si los sedimentos están depositados o erosionados. ([www.waterboards.ca.gov/water\\_issues/programs/swamp](http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp), s.f.)

#### Factores humanos

- La erosión debido a la eliminación de la vegetación ribereña, a los cambios en la morfología de la corriente, o a los modelos del flujo de la corriente.
- Carga excesiva de nutrientes y crecimiento de algas. ([www.waterboards.ca.gov/water\\_issues/programs/swamp](http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp), s.f.)

### 2.4. IMPORTANCIA:

La turbiedad es de importante consideración en las aguas para abastecimiento público por tres razones:

- **Estética:** Cualquier turbiedad en el agua para beber, produce en el consumidor un rechazo inmediato y pocos deseos de ingerirla y utilizarla en sus alimentos.
- **Filtrabilidad:** La filtración del agua se vuelve más difícil y aumenta su costo al aumentar la turbiedad.
- **Desinfección:** Un valor alto de la turbidez, es una indicación de la probable presencia de materia orgánica y microorganismos que van a aumentar la cantidad de cloro u ozono que se utilizan para la desinfección de las aguas para abastecimiento de agua potable.

El límite máximo permisible en el agua potable es de 10 NTU (unidades de turbidez nefelométricas) (<http://arturobola.tripod.com/turbi.htm>, 1994)

## 2.5. MEDICIÓN DE LA TURBIDEZ:

La turbidez se mide en Unidades Nefelométricas de turbidez, o Nephelometric Turbidity Unit (NTU). El instrumento usado para su medida es el nefelómetro o turbidímetro, que mide la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua. (<https://es.wikipedia.org/wiki/Turbidez>, 2018)

## FLOCULACIÓN

### 2.6. DEFINICIÓN:

Es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado. Es un paso del proceso de potabilización de aguas de origen superficial y del tratamiento de aguas servidas domésticas, industriales y de la minería. ([http://es.wikibooks.org/wiki/Ingeniería de aguas residuales/ tratamiento físico – químico](http://es.wikibooks.org/wiki/Ingeniería_de_aguas_residuales/tratamiento_físico_–_químico))

### 2.7. OBJETIVO PRINCIPAL:

Es reunir a las partículas desestabilizadas para formar aglomeraciones de mayor peso y tamaño que sedimentan con mayor eficiencia ( Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente, 1997)

### 2.8. PROCESO

El proceso de floculación es precedido por la coagulación, por eso se suele hablar de los procesos de floculación. Estos facilitan la retirada de las sustancias en suspensión y de las partículas coloidales:

La **coagulación** es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo llamado coagulante el cual, hace que las partículas tiendan a unirse entre sí.

La **floculación** es la aglomeración de partículas desestabilizadas en microfloculos y después en los floculos más grandes que tienden a depositarse en el fondo de los recipientes construidos para este fin, denominados sedimentadores.

([http://es.wikibooks.org/wiki/Ingeniería de aguas residuales/ Tratamiento físico-químico](http://es.wikibooks.org/wiki/Ingeniería_de_aguas_residuales/Tratamiento_físico-químico))

## 2.9. TIPOS DE FLOCULACIÓN

### • Floculación Pericinética

Está producido por el movimiento natural de las moléculas del agua y esta inducida por la energía térmica, este movimiento es conocido como el movimiento browniano. (Cárdenas, 2000)

### • Floculación Ortocinética

Se basa en las colisiones de las partículas debido al movimiento del agua, el que es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico. Después que el agua es coagulada es necesario que se produzca la aglomeración de los microfloculos; para que esto suceda se produce primero la floculación pericinética luego se produce la floculación ortocinética. (Cárdenas, 2000)

## 2.10. FACTORES:

### a) Coagulación previa lo más perfecta posible.

### b) Agitación lenta y homogénea.

La floculación es estimulada por una agitación lenta de la mezcla puesto que así se favorece la unión entre los floculos. Un mezclado demasiado intenso no interesa porque rompería los floculos ya formados.

### c) Temperatura del agua.

La influencia principal de la temperatura en la floculación es su efecto sobre el tiempo requerido para una buena formación de floculos.

Generalmente, temperaturas bajas dificultan la clarificación del agua, por lo que se requieren periodos de floculación más largos o mayores dosis de floculante.

### d) Características del agua.

El agua que contiene poca turbiedad coloidal es, frecuentemente, de floculación más difícil, ya que las partículas sólidas en suspensión actúan como núcleos para la formación inicial de floculos.

### e) Tipos de floculantes.

Según su naturaleza, los floculantes pueden ser:

- **Minerales:** por ejemplo la sílice activada. Se le ha considerado como el mejor floculante capaz de asociarse a las sales de aluminio. Se utiliza sobre todo en el tratamiento de agua potable.
- **Orgánicos:** son macromoléculas de cadena larga y alto peso molecular, de origen natural o sintético. Los floculantes orgánicos de origen natural se obtienen a partir de productos naturales.

([http://es.wikibooks.org/wiki/Ingeniería\\_de\\_aguas\\_residuales/Tratamiento físico-químico](http://es.wikibooks.org/wiki/Ingeniería_de_aguas_residuales/Tratamiento_físico-químico))

## **FLOCULANTE**

### **2.11. DEFINICIÓN:**

Un **floculante** es una sustancia química comúnmente orgánica que aglutina sólidos en suspensión una vez efectuada su coagulación, provocando su precipitación. Por ejemplo el polímero de acrilamida, es el polímero más empleado para floculación. Ordinariamente el proceso de floculación sucede a la coagulación que se realiza con un coagulante como el alumbre que es un grupo de compuestos químicos, formado por dos sales combinadas en proporciones definidas una de las sales es el sulfato de aluminio o el sulfato de amonio. (<https://es.wikipedia.org/wiki/Floculante>, 2017)

### **2.12. MECANISMO DE FUNCIONAMIENTO:**

El mecanismo subyacente es de tipo electromagnético a nivel molecular. De esta manera el floculante ejerce aquí una alteración en la carga eléctrica a nivel iónico de las partículas haciendo que estas se atraigan entre si y formen juntas una partícula más grande y pesada que por ende se hunde quedando depositada en el fondo junto a las otras. (<https://es.wikipedia.org/wiki/Floculante>)

### **2.13. FLOCULANTE CATIONICO SÓLIDO:**

#### **2.13.1. Descripción**

La serie ECOPOL CS está centrada en polímeros sólidos con un alto peso molecular, base poliacrilamida y diferentes densidades de carga. Estos productos actúan como acelerantes en la formación de flóculos, generalmente en sistemas de flotación, y como agentes de separación de agua en lodos, mejorando los procesos de deshidratación de fangos como centrifugas y filtros banda entre otros. (SERVYECO, 2017)



**Tabla 1: Características de ECOPOL CS 600**

PRODUCTOS	ECOPOL CS 600	ECOPOL CS 620	ECOPOL CS 640	ECOPOL CS 610
Aspecto	Polvo Blanco	Polvo Blanco	Polvo Blanco	Polvo Blanco
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0.75	0.75	0.80	0.75
Viscosidad (0.1 % cP)	120-140	80-100	160-180	160-180
Ph (0.5%)	3,0 -5,0	3,0 - 5,0	2,5 - 4,5	3,0 - 5,0
Peso Molecular	Alto	Alto	Muy Alto	Muy Alto
Densidad de carga	Media	Media	Alta	Alta

**Fuente: Gestión integral del agua SERVYECO, 2018**

### 2.13.2. Aplicación:

#### 2.13.2.1. Selección:

Estos polielectrolitos catiónicos sólidos se utilizan comúnmente para dos aplicaciones distintas. Por un lado, se emplean en procesos físico-químicos de tratamiento de aguas residuales como acelerantes de la formación de flóculos, generalmente en sistemas de flotación. Por otro lado, se utilizan en la mejora de los procesos de separación de fangos en sistemas de deshidratación, como en centrifugas o filtros prensa. (SERVYECO, 2017)

#### 2.13.2.2. Dosificación:

Este tipo de producto se presenta en polvo y se aplica en una solución acuosa (0.1%). Para esta preparación, el producto sólido se añade lentamente al agua en agitación. Tras un periodo de maduración, la mezcla está lista para ser dosificada mediante bombeo. (SERVYECO, 2017)

#### 2.13.2.3. Control:

Generalmente, el control de la eficiencia de un producto floculante está directamente relacionado con la velocidad de formación del flóculo y con el aspecto de éste. Tras su dosificación, el tamaño del flóculo formado en el agua residual debe cambiar rápidamente, aumentando de manera constante hasta alcanzar un valor máximo. Además, la separación del agua se hace más evidente, siendo muy visible tras recoger una muestra con todos los productos dosificados. (SERVYECO, 2017)



### **2.13.3. Beneficios:**

#### **2.13.3.1. Técnicos:**

La serie ECOPOL CS incluye una familia de polímeros catiónicos de alto peso molecular y diferentes densidades de carga. De esta manera consigue abarcar muy diversas aguas residuales y fangos generados provenientes de sectores industriales específicos o depuradoras urbanas, ofreciendo una solución personalizada en cada caso. El elevado peso molecular de sus productos favorece los procesos de entrecruzamiento de los sólidos suspendidos a través de la cadena polimérica. Por su parte, distintas densidades de carga permiten seleccionar el tratamiento óptimo que neutralice eficientemente los contraiones presentes en el agua residual. (SERVYECO, 2017)

#### **2.13.3.2. Económicos:**

La serie ECOPOL CS constituye un amplio grupo de productos floculantes con diferentes propiedades físico-químicas intrínsecas, capaz de proporcionar el tratamiento óptimo en cada caso y reducir así los recursos necesarios para la correcta depuración o reutilización del agua residual y deshidratación de fangos generados. Esto repercute directamente en la reducción del coste del tratamiento, el incremento del tiempo de vida de las instalaciones, la supresión de los recursos humanos necesarios y la limitación de los residuos generados. El alto grado de materia activa minimiza el coste por m<sup>3</sup> de agua tratada. (SERVYECO, 2017)

## **COAGULACIÓN**

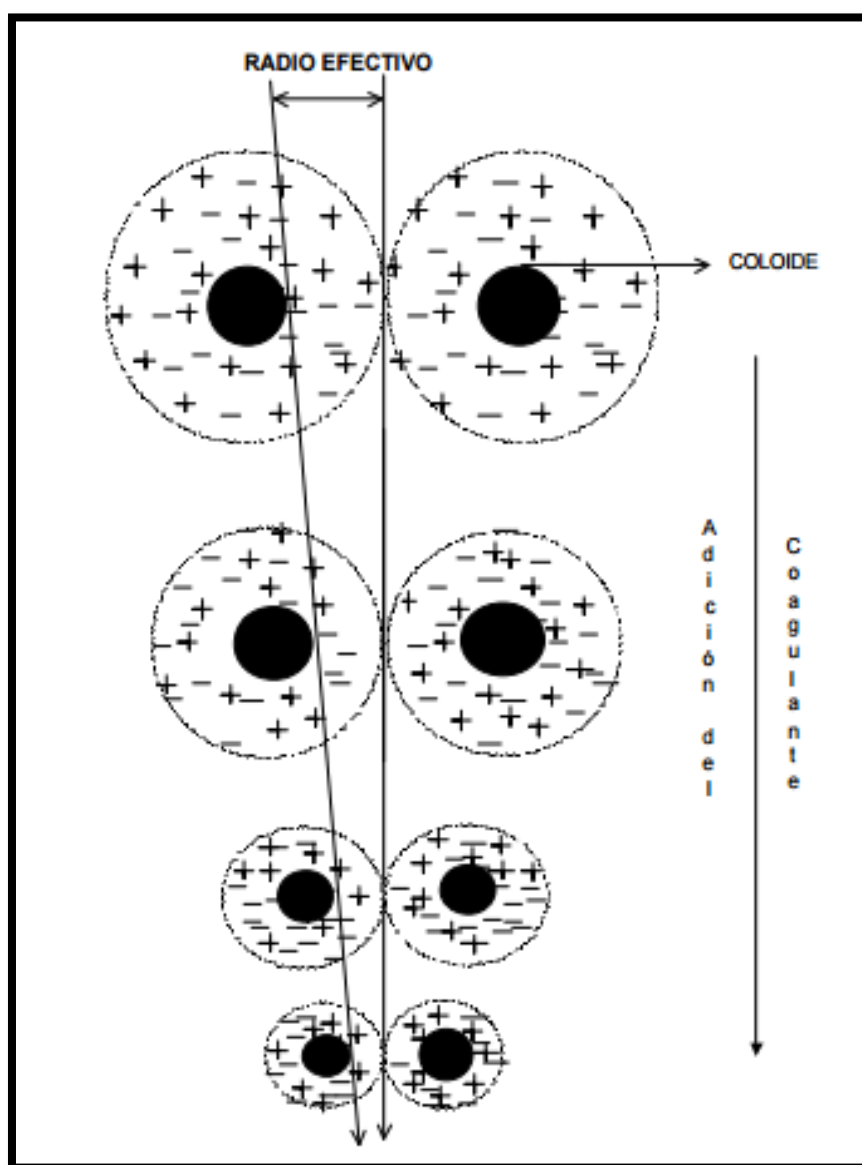
### **2.14. DEFINICIÓN:**

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado. Las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas de la superficie del coloide permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos. La coagulación es el tratamiento más eficaz pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado. Es igualmente el método universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados al menor costo, en comparación con otros métodos.

El proceso de coagulación mal realizado también puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua y representa gastos de operación no justificadas. Por lo

tanto que se considera que la dosis del coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de decantación y que es imposible de realizar una clarificación, si la cantidad de coagulante está mal ajustada. Las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide, permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos. La adición de un coagulante neutraliza las cargas, produciendo un colapso de la "nube de iones" que rodean los coloides de modo que puedan aglomerarse. (Cárdenas, 2000)

**Figura 2: Coagulación**



Fuente: Cárdenas, 2000.

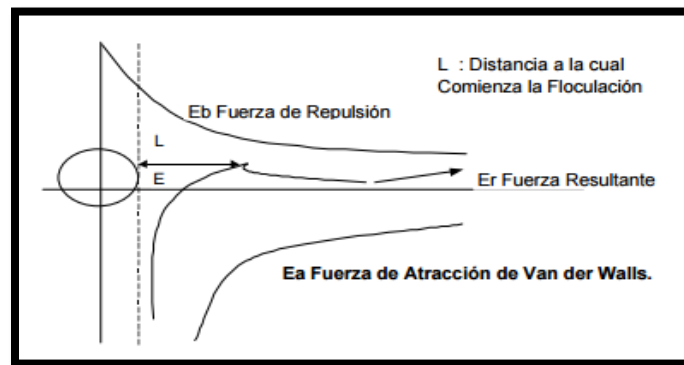
## 2.15. MECANISMO DE LA COAGULACIÓN

La desestabilización se puede obtener por los mecanismos fisicoquímicos siguientes:

### 2.15.1. Compresión de la doble capa

Cuando se aproximan dos partículas semejantes, sus capas difusas interactúan y generan una fuerza de repulsión, cuyo potencial de repulsión está en función de la distancia que los separa y cae rápidamente con el incremento de iones de carga opuesta al de las partículas, esto se consigue sólo con los iones del coagulante. (Cárdenas, 2000)

**Figura 3: Fuerzas de atracción y Repulsión**



Fuente: Cárdenas, 2000

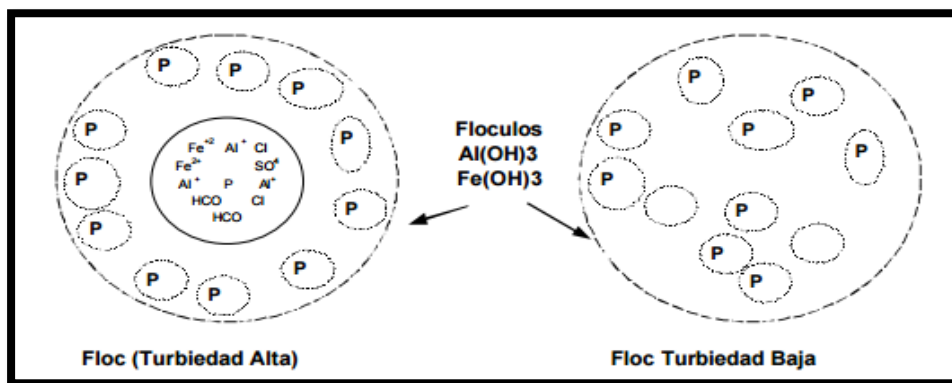
### 2.15.2. Adsorción y neutralización de cargas.

Las partículas coloidales poseen carga negativa en su superficie, estas cargas llamadas primarias atraen los iones positivos que se encuentran en solución dentro del agua y forman la primera capa adherida al coloide. El potencial en la superficie del plano de cizallamiento es el potencial electrocinético – potencial ZETA, este potencial rige el desplazamiento de coloides y su interacción mutua. Después de la teoría de la doble capa la coagulación es la considerada como la anulación del potencial obtenido por adición de productos de coagulación – floculación, en la que la fuerza natural de mezcla debido al movimiento browniano no es suficiente requiriéndose una energía complementaria necesaria; por ejemplo realizar la agitación mecánica o hidráulica. Cuando se adiciona un exceso de coagulante al agua a tratar, se produce a la restabilización de la carga de la partícula; esto se puede explicar debido a que el exceso de coagulante son absorbidos en la superficie de la partícula, produciendo una carga invertida a la carga original. (Cárdenas, 2000)

### 2.15.3. Atrapamiento de partículas en un precipitado.

Las partículas coloidales desestabilizadas, se pueden atrapar dentro de un floc, cuando se adiciona una cantidad suficiente de coagulantes, habitualmente sales de metales trivalente como el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ , o Cloruro Férrico  $FeCl_3$ , el floc está formado de moléculas de  $Al(OH)_3$  o de  $Fe(OH)_3$ . La presencia de ciertos aniones y de las partículas coloidales acelera la formación del precipitado. Las partículas coloidales juegan el rol de anillo durante la formación del floc; este fenómeno puede tener una relación inversa entre la turbiedad y la cantidad de coagulante requerida. En otras palabras, una concentración importante de partículas en suspensión puede requerir menor cantidad de coagulante. (Cárdenas, 2000)

**Figura 4: Atrapamiento de las Partículas en un Floc**

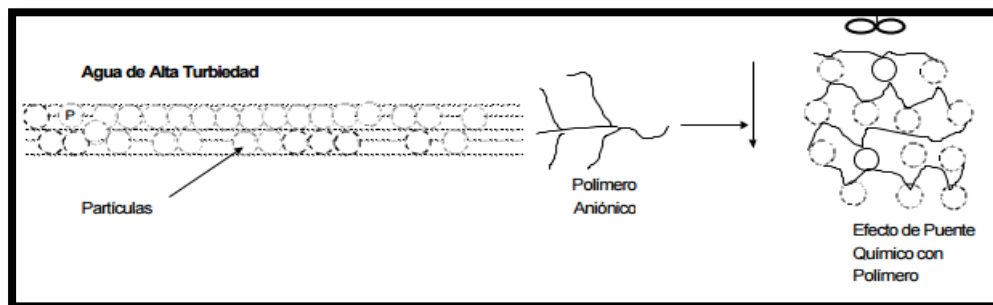


Fuente: Cárdenas, 2000

### 2.15.4. Adsorción y puente.

En cualquier caso, se obtiene el tratamiento más económico utilizando un polímero aniónico, cuando las partículas están cargadas negativamente. Este fenómeno es explicado por la teoría del "puente". Las moléculas del polímero muy largas contienen grupos químicos que pueden absorber las partículas coloidales. La molécula de polímero puede así absorber una partícula coloidal en una de sus extremidades, mientras que los otros sitios son libres para absorber otras partículas. Por eso se dice que las moléculas de los polímeros forman el "puente" entre las partículas coloidales. (Cárdenas, 2000)

**Figura 5: Efecto de Puente de las partículas en Suspensión**



Fuente: Cárdenas, 2000

## 2.16. OBJETIVO DE LA COAGULACIÓN.

El objetivo principal de la coagulación es desestabilizar las partículas coloidales que se encuentran en suspensión, para favorecer su aglomeración; en consecuencia se eliminan las materias en suspensión estables; la coagulación no solo elimina la turbiedad sino también la concentración de las materias orgánicas y los microorganismos. (Cárdenas, 2000)

## 2.17. MODELOS DE COAGULACIÓN

- **ORTO CINÉTICO**, el cual es promovido por agitación externa principalmente. Influye partículas de tamaño superior al micrón y tiene relación con los gradientes de velocidad del líquido.
- **PERICINÉTICO**, Se diferencia del primero en que su fuente de agitación es interna. Principalmente importarán el movimiento browniano y la sedimentación Su efecto es principalmente sobre partículas de tamaño inferior a 1 micrón. (Cárdenas, 2000)

## 2.18. COAGULANTES UTILIZADOS

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

Los principales coagulantes utilizados para desestabilizar las partículas y producir el floc son:

- a) Sulfato de Aluminio.
- b) Aluminato de Sodio.

- c) Cloruro de Aluminio.
- d) Cloruro Férrico.
- e) Sulfato Férrico.
- f) Sulfato Ferroso.
- g) Polielectrolitos (Como ayudantes de floculación).

Siendo los más utilizados las sales de Aluminio y de Hierro; cuando se adiciona estas sales al agua se producen una serie de reacciones muy complejas donde los productos de hidrólisis son más eficaces que los iones mismos; estas sales reaccionan con la alcalinidad del agua y producen los hidróxidos de aluminio o hierro que son insolubles y forman los precipitados.

**ALCALINIDAD.**-Es un método de análisis, con el que se determina el contenido de bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ); carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) e hidróxidos de un agua natural o tratada. La alcalinidad tiene relación con el pH del agua. (Cárdenas, 2000)

## 2.19. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COAGULACIÓN.

Es necesario tener en cuenta los siguientes factores con la finalidad de optimizar el proceso de coagulación:

- pH.
- Turbiedad.
- Sales disueltas.
- Temperatura del agua.
- Tipo de coagulante utilizado.
- Condiciones de Mezcla.
- Sistemas de aplicación de los coagulantes.
- Tipos de mezcla y el color.

La interrelación entre cada uno de ellos permiten predecir cuáles son las cantidades de los coagulantes a adicionar al agua. (Cárdenas, 2000)

### 2.19.1. INFLUENCIA DEL Ph

El pH es una medida de la actividad del ion hidrógeno en una solución, y es igual a:

$$\text{Ph} = -\log \{H^+\}$$

El pH es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua.

El rango de pH es función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza del agua a tratar; si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto la dosis requerida es alta. (Cárdenas, 2000)

### **2.19.2. INFLUENCIA DE LAS SALES DISUELTAS**

Las sales contenidas dentro del agua ejercen las influencias siguientes sobre la coagulación y floculación:

- Modificación del rango de pH óptimo.
- Modificación del tiempo requerido para la floculación.
- Modificación de la cantidad de coagulantes requeridos.
- Modificación de la cantidad residual del coagulante dentro del efluente. (Cárdenas, 2000)

### **2.19.3. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DEL AGUA**

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

### **2.19.4. INFLUENCIA DE LA DOSIS DEL COAGULANTE**

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

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

- Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microfloculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación muy bajas, por lo tanto la turbiedad residual es igualmente elevada.
- La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación; se determina mediante los ensayos de pruebas de jarra. (Cárdenas, 2000).

### 2.19.5. INFLUENCIA DE MEZCLA

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

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

La mezcla rápida se efectúa para la inyección de productos químicos dentro de la zona de fuerte turbulencia, una inadecuada mezcla rápida conlleva a un incremento de productos químicos. (Cárdenas, 2000)

#### ▪ Tipos de Mezcla

Las unidades para producir la mezcla pueden ser:

- Mezcladores Mecánicos:
  - Retromezcladores (agitadores)
- Mezcladores Hidráulicos:
  - Resalto Hidráulico: Canaleta Parshall y Vertedero Rectangular
  - En línea: Difusores (tuberías y canales) Inyectores, etc.(Cárdenas, 2000)



### 2.19.6. INFLUENCIA DE LA TURBIEDAD

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

La turbiedad del agua superficial es gran parte debido a partículas de lodos de sílice de diámetros que varían entre 0.2 a 5  $\mu\text{m}$ . La coagulación de estas partículas es muy fácil de realizar cuando el pH se mantiene dentro del rango óptimo. La variación de la concentración de las partículas permite hacer las siguientes predicciones:

- Para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante, con el que se obtiene la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima.
- Cuando la turbiedad aumenta se debe adicionar la cantidad de coagulante no es mucho debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es muy elevada; por lo que la coagulación se realiza con facilidad; por el contrario cuando la turbiedad es baja la coagulación se realiza muy difícilmente, y la cantidad del coagulante es igual o mayor que si la turbiedad fuese alta.
- Cuando la turbiedad es muy alta, conviene realizar una pre sedimentación natural o forzada, en este caso con el empleo de un polímero aniónico. (En la Planta de la Atarjea, se realiza este último, en época de alta turbiedad).
- Es siempre más fácil coagular las aguas de baja turbiedad y aquellas contaminadas por desagües domésticos industriales, porque requieren mayor cantidad de coagulante que los no contaminados. (Cárdenas, 2000)

### 2.20. ETAPAS O FASES DE LA COAGULACIÓN

El proceso de coagulación se desarrolla en un tiempo muy corto (casi instantáneo), en el que se presenta las siguientes etapas.

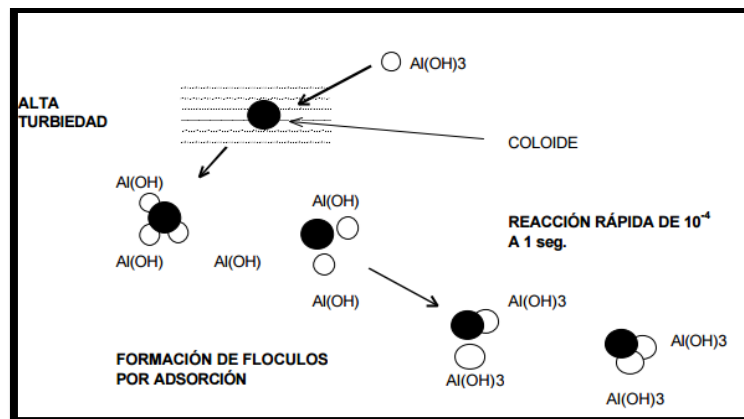
- Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión.
- Formación de Compuestos químicos poliméricos.
- Adsorción de cadenas poliméricas por los coloides.
- Adsorción mutua de coloides. - Acción de barrido. (Cárdenas, 2000)

## 2.21. TIPOS DE COAGULACIÓN

Se presentan dos tipos básicos de coagulación: Por Adsorción y Por barrido.

- a) **Coagulación Por Adsorción.-** Se presenta cuando el agua presenta una alta concentración de partículas al estado coloidal; cuando el coagulante es adicionado al agua turbia los productos solubles de los coagulantes son absorbidas por los coloides y forman los flóculos en forma casi instantánea. (Cárdenas, 2000)

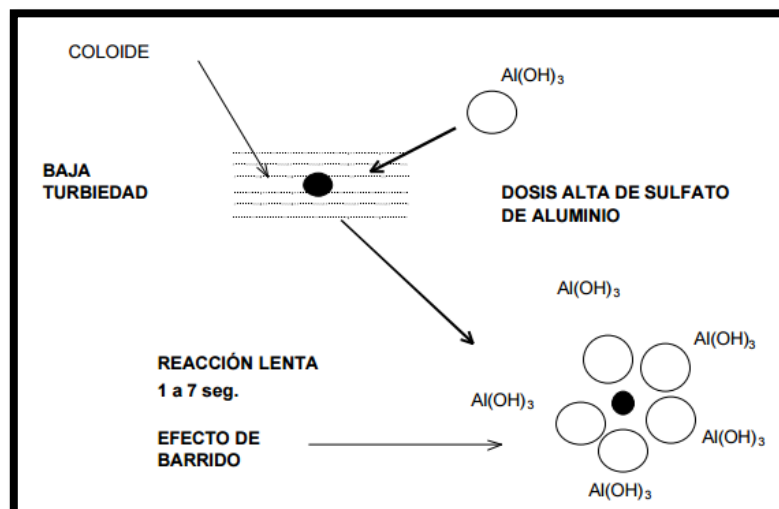
**Figura 6: Coagulación Por Adsorción**



Fuente: Cárdenas, 2000

- b) **Coagulación por Barrido.-** Este tipo de coagulación se presenta cuando el agua es clara (presenta baja turbiedad) y la cantidad de partículas coloides es pequeña; en este caso las partículas son entrampadas al producirse una sobresaturación de precipitado de sulfato de aluminio o cloruro férrico. (Cárdenas, 2000)

**Figura 7: Coagulación por Barrido.**



Fuente: Cárdenas, 2000

**Tabla 2: Clasificación del agua según su comportamiento en la coagulación**

Tipo de agua	Tipo de coagulación	Requerimiento
1. Baja concentración de Coloides, baja alcalinidad.	Formación de precipitado. Floc de barrido	Alta dosis de coagulantes. Adición de alcalinidad o partículas, o ambas.
2. Baja concentración de Coloides, alta alcalinidad.	Formación de precipitado. Floc de barrido	Alta dosis de coagulantes. Adición de partículas.
3. Alta concentración de Coloides, baja alcalinidad.	Adsorción de polímeros metálicos positivos, en la superficie de los coloides (pH 4 a 7)	Dosis de coagulantes incrementa con concentración de partículas, adición de alcalinidad.
4. Alta concentración de Coloides, alta alcalinidad.	Adsorción de polímeros, metálicos positivos y precipitaciones de hidróxidos (pH > 7)	Dosis de coagulantes incrementa con concentración de partículas.

**Fuente: Elaboración propia, 2018**

## **FLOCULADORES**

### **2.22. DEFINICIÓN:**

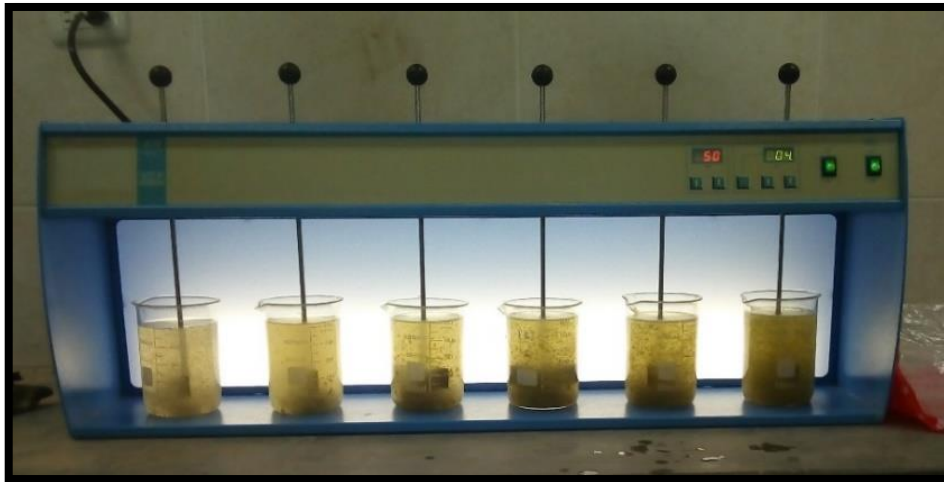
Después que el coagulante ha sido uniformemente difundido en la masa de agua cruda, se requiere un período de acondicionamiento, con el fin que los micro flóculos formados puedan aumentar de tamaño. Esto se consigue por medio de una agitación suave del agua tendiente a que las partículas entren en contacto y se adhieran unas a otras, dando origen al flóculo sedimentable. Lo ideal para la formación del flóculo es una agitación moderada continua decreciente, ya que el flóculo se hace más frágil a medida que crece. (UTN, 2005)

### **2.23. TEST DE JARRAS**

#### **2.23.1. Definición**

Es un procedimiento común de laboratorio para determinar las condiciones óptimas de funcionamiento para el agua o 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. (sAsA, 2013)

**Figura 08 Coagulación Por Barrido.**



**Fuente: Elaboración propia**

El equipo de prueba de jarra (Figura 2.8) contiene seis remos que remueve el contenido de seis envases de 600 ml, un envase actúa como un control, mientras que las condiciones de funcionamiento puede variar entre los restantes cinco contenedores. Un medidor de RPM en la parte superior central del dispositivo permite el control uniforme de la velocidad de mezclado en todos los contenedores. (sAsA, 2013)

### **2.23.2. Objetivo**

Determinar las variables físicas y químicas de los procesos de coagulación; floculación y sedimentación; tales como: selección del coagulante; selección del pH óptimo; gradientes y tiempos de mezcla rápida y floculación y correlación de las velocidades de sedimentación y la eficiencia de remoción. (Cárdenas, 2000)

### **2.23.3. Materiales y equipos necesarios**

- Agitador Múltiple o Floculador, equipo provisto de 6 agitadores planos; tiene como elementos adicionales vasos de 2 litros de capacidad, de forma cuadrada con una tubería de 4 mm de diámetro, para la extracción de muestra.
- Un turbidímetro.
- Un pHmetro.
- Materiales necesarios para medir la alcalinidad.(Cárdenas, 2000)

#### **2.23.4. Preparación de solución de coagulantes y polielectrolitos para los ensayos de pruebas de jarras.**

El método que se describe a continuación es el que se utiliza en las Pruebas de Jarra que a diario realiza el:

##### **a) Sulfato de Aluminio Solución al 10% (solución madre)**

Se obtiene a partir de la muestra de Sulfato de Aluminio que se encuentra almacenado en los tanques; para la preparación se tiene en cuenta la densidad del Sulfato de Aluminio que es = 1.32 gr./c.c. . Se toma 76 ml. de la muestra de Sulfato de aluminio y se coloca en una fiola de 1,000 ml. Y se procede a enrasar con agua Filtrada. Esta solución tiene una duración de 15 días; después del cual se desecha y se prepara otra nueva solución con el mismo procedimiento. Esta solución debe ser conservado en un recipiente de color oscuro y debe tener una etiqueta en el que se indiquen: la concentración; fecha de preparación y fecha de vencimiento. (Cárdenas, 2000)

##### **b) Sulfato de Aluminio Solución al 1%**

Esta solución se obtendrá tomando una alícuota de 10 ml. de la solución Madre de sulfato de aluminio solución al 10 %, se coloca en una fiola de 100ml. luego se enrasa con agua filtrada, se agita y se deja reposar unos 5 minutos antes de utilizarla. Esta solución se prepara diariamente, la que es utilizada en las pruebas de jarra; la solución residual se desecha. (Cárdenas, 2000)

##### **c) Sulfato de Aluminio Granular al 10 % (solución madre)**

Se obtiene a partir de una muestra de Sulfato de Aluminio Granular que se encuentra en los almacenes de las Plantas; se pesa 10gr. De muestra de Sulfato de Aluminio granular, en una balanza analítica debidamente calibrada. Se coloca en un recipiente y se procede a disolver con agua filtrada agitando vigorosamente; se coloca en una fiola de 100ml. y se enrasa con agua Filtrada. Esta solución tiene una duración de 15 días después del cuál es desechado. (Cárdenas, 2000)

##### **d) Sulfato de Aluminio Granular al 1%**

La Solución se obtendrá tomando una alícuota de 10ml. de la Solución Madre de Sulfato de Aluminio Granular al 10% y se coloca en una fiola de 100ml. luego se enrasa con agua filtrada, se agita y se deja reposar unos 5 minutos antes de utilizarla. Esta solución se preparará diariamente luego se desecha. (Cárdenas, 2000)

**e) Cloruro Férrico 10 % (solución madre)**

Se obtiene a partir de la muestra de Cloruro Férrico que se deposita en los tanques de almacenamiento de las plantas. Para la preparación se tendrá en cuenta la densidad del Cloruro Férrico que es =1.43 gr./cc. Se toma 70ml. de la muestra de Cloruro Férrico y se coloca en una fiola de 1,000. Y se procede a enrasar con agua Filtrada. Esta Solución tendrá una duración de 15 días a los cuales se desecha y se prepara otra con el mismo procedimiento. (Cárdenas, 2000)

**f) Cloruro Férrico 1%**

La solución se obtendrá tomando una alicuota de 10 ml. de la Solución Madre de Cloruro Férrico al 10%; se coloca en una fiola de 100ml., luego se enrasa con agua filtrada, se agita y se deja reposar unos 5 minutos antes de utilizarla. Esta solución se prepara diariamente, que luego de ser utilizada se desecha. (Cárdenas, 2000)

**g) Solución de Polímero Catiónico al 0.1%**

La muestra se obtiene a partir de la muestra de Polímero Catiónico que se extrae de los cilindros almacenados en las Plantas. Se pesa en la Balanza Analítica 0.5 gr. De la muestra de Polímero y se coloca en un vaso con agua y se va agitando hasta obtener una solución uniforme; luego vaciar en la fiola de 500ml. y enrasar con agua Filtrada. De esta solución se toman los volúmenes a utilizar en las pruebas de jarras; el tiempo de conservación es no más de una semana. (Cárdenas, 2000)

**h) Solución de Polímero Aniónico al 0.1 %**

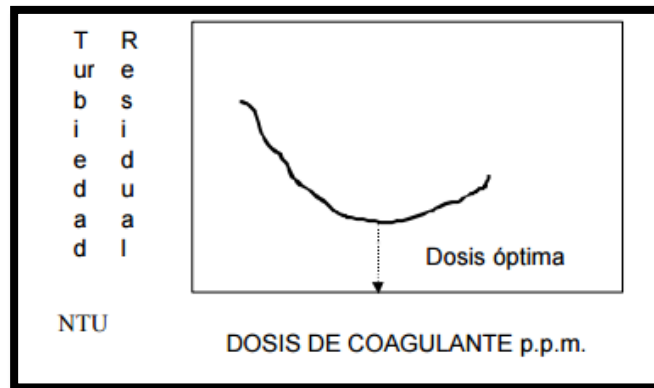
Se pesa en la Balanza Analítica 1gr. De la muestra de Polímero (extraída del punto de almacenamiento) y se coloca en un vaso con agua, se procede a disolver con agua filtrada utilizando un equipo de agitación magnética (en caso de no contar con este equipo se puede realizar manualmente) hasta que la solución se encuentre homogénea y luego se coloca en la fiola de 1000 ml., luego enrasa con agua filtrada. Esta Solución es la que se utiliza en los ensayos y tiene un tiempo de duración no mayor de 1 semana. (Cárdenas, 2000)

**2.23.5. OBTENCIÓN DE RESULTADOS**

Por lo general este ensayo se realiza para la determinación de la dosis óptima de los coagulantes y floculantes; donde los resultados de turbiedad obtenidos en las diferentes jarras para dosis variables de coagulantes son graficados; colocando los valores de turbiedad en el eje “Y” y la dosis en el eje “X”. La dosis óptima se obtiene

en el punto de inflexión, que es el punto más bajo de la curva, tal como podemos observar en la siguiente. (Cárdenas, 2000)

**Figura 09 Coagulación Por Barrido.**



**Fuente: Cárdenas, 2000.**

## **PALETA DE TUNA**

### **2.24. CONCEPTO**

La paleta de tuna es un vegetal conocido por otros nombres como nopal o chumbera y es además una planta utilizada para diferentes fines medicinales. La paleta de tuna también actúa depurando el organismo y eliminando los residuos y toxinas del cuerpo. Regula la concentración de glucosa en sangre, lo cual reduce la necesidad de consumir alimentos ricos en azúcares y es antioxidante, ya que contiene vitaminas C y E, que mejora el metabolismo celular y lipídico. (Brako L. y Zarucchi J. , 1993), (Reynel C. y León J. , 1990)

### **2.25. IDENTIFICACION DE LA ESPECIE**

**Nombre científico:** Opuntia ficus-indica (L.) Miller.

**Nombre común:** “Tuna” (Perú, Chile, Argentina, México)

**Sinónimo:** Cactus ficus-indica L.

**Familia:** Cactácea , (Brako L. y Zarucchi J. , 1993), (Reynel C. y León J. , 1990).

### **2.26. ORIGEN**

Es una especie originaria de la estribación oeste de los Andes, entre Perú y Bolivia. (Brako L. y Zarucchi J. , 1993) (Reynel C. y León J. , 1990)

### **2.27. DISTRIBUCION GEOGRAFICA**

Habita en las zonas desérticas de EE.UU., México y América del Sur, en Perú y Bolivia. En el Perú se encuentra en la región Andina, donde se desarrolla en forma espontánea

y abundante. También se encuentra en la costa, en forma natural y bajo cultivo. (Brako L. y Zarucchi J. , 1993), (Reynel C. y León J. , 1990).

## 2.28. CONDICIONES

Las condiciones del habitat natural y de las localidades donde la especie ha sido cultivada exitosamente son:

- **Variables climáticas:** Se desarrolla bien con temperaturas entre 12 a 34°C, con un rango óptimo de 11 a 23°C y con una precipitación promedio entre 400 a 800 mm.
- **Variables edáficas:** Se desarrolla en suelos sueltos, arenosos calcáreos en tierras marginales y poco fértiles, superficiales, pedregosos, caracterizándole una amplia tolerancia edáfica; sin embargo, los suelos altamente arcillosos y húmedos no son convenientes para su cultivo.
- **Variables topográficas:** Crece desde el nivel del mar hasta los 3.000 msnm. Su mejor desarrollo lo alcanza entre los 1.700 a 2.500 msnm. (Brako L. y Zarucchi J. , 1993) , (Reynel C. y León J. , 1990).

## 2.29. IMPORTANCIA Y USOS

El fruto posee un valor nutritivo superior al de otras frutas en varios de sus componentes. 100 g de la parte comestible posee 58 a 66 unidades calóricas, 3 g de proteínas, 0,20 de grasas, 15,50 de carbohidratos, 30 de calcio, 28 de fósforo y vitaminas (caroteno, niacina, tiamina, riboflavina y ácido ascórbico). Es empleado directamente en la alimentación o para la fabricación de mermeladas y jaleas, néctar, tunas en almibar, alcoholes, vinos y colorantes. La semilla es utilizada para elaboración de aceite; la cáscara empleada como forraje y el tallo es utilizado en la producción de gomas y encurtidos forrajes. Es de gran importancia porque alberga al insecto *Dactulopius coccus*, "cochinilla del carmín". Este último es cotizado a nivel mundial por el colorante que produce la hembra. Se emplea en alimentos, en la industria cosmética y farmacéutica. Un producto adicional es el mucílago o goma, obtenible por el prensado de la penca o cladodio. Localmente, esta sustancia se utiliza mezclada al barro en el tarrajeo de viviendas rurales y también en la industria para la fabricación de películas adherentes de gran finura. (Brako L. y Zarucchi J. , 1993), (Reynel C. y León J. , 1990).



### 2.30. PRODUCCION

Una planta adulta produce un promedio de 200 frutos/año, infiriéndose que en 1 ha bien manejada, con una densidad de 1.000 plantas/ha, puede brindar una producción de 300.000 frutos/ha, a los 2 a 3 años de edad. (Brako L. y Zarucchi J. , 1993), (Reynel C. y León J. , 1990).

### 2.31. DESCRIPCION BOTANICA

Planta suculenta y carnosa. El tallo y las ramas están constituidos por pencas o cladodios con apariencia de cojines ovoides y aplanados, unidos unos a otros, pudiendo en conjunto alcanzar hasta 5 m de altura y 4 m de diámetro.

En el Perú las variedades más usuales desarrollan portes de aproximadamente 1,5 m de altura.

- La raíz es fibrosa y el sistema radicular extenso, pero poco profundas, penetrando con gran facilidad en las grietas y suelos más duros y pedregosos. Generalmente son gruesas, pero no suculentas, de tamaño y ancho variables y a menudo es proporcional al tamaño de la parte aérea. Tiene un desarrollo rápido, formando una red o malla que aprisiona el suelo evitando la erosión. No suelen presentar pelos absorbentes, cuando se encuentra en un medio edáfico con escasa humedad, mientras que en suelos húmedos si existe un abundante desarrollo de estos.
- El tallo, a diferencia de otras especies de cactáceas, está conformado por tronco y ramas aplanadas que posee cutícula gruesa de color verde de función fotosintética y de almacenamiento de agua en los tejidos.
- Las hojas caducas sólo se observan sobre tallos tiernos, cuando se produce la renovación de pencas, en cuyas axilas se hallan las aérolas de las cuales brotan las espinas, de aproximadamente 4 a 5 mm de longitud.
- Las flores son solitarias, localizadas en la parte superior de la penca, de 6 a 7 cm de longitud. Las flores se abren a los 35 a 45 días de su brotación. Sus pétalos son de colores vivos: amarillo, anaranjado, rojo, rosa. Sépalos numerosos de color amarillo claro a rojizo o blanco.
- El fruto es una baya polisperma, carnosa, de forma ovoide esférica, sus dimensiones y coloración varían según la especie; presentan espinas finas y frágiles de 2 a 3 mm de longitud. Son comestibles, agradables y dulces. (Brako L. y Zarucchi J. , 1993), (Reynel C. y León J. , 1990).

### 2.32. ANTECEDENTES BIOLÓGICOS Y COMPORTAMIENTO ECOLÓGICO

La madurez de los frutos se inicia a los 4 a 5 meses de la brotación o floración. Se caracteriza por el cambio de coloración de la pulpa, madurando ésta antes que la cáscara. La época de cosecha en el Perú ocurre entre los meses de enero y abril. (Brako L. y Zarucchi J. , 1993), (Reynel C. y León J. , 1990).

### 2.33. CAPACIDAD DE REGENERACION NATURAL

Se observa capacidad para regenerarse naturalmente, aunque dicha propiedad no permite un manejo de la especie para formar áreas importantes de aprovechamiento. (Brako L. y Zarucchi J. , 1993), (Reynel C. y León J. , 1990).

### 2.34. SUSCEPTIBILIDAD A DAÑOS Y ENFERMEDADES

La tuna es susceptible a las enfermedades siguientes:

- “**Cercosporis**”, causada por el hongo *Cercospora* sp. que se manifiesta a través de puntitos anaranjados a marrón pálido, después de 30 a 60 días se aprecia una costra circular limitada por dos anillos de diferente coloración en los bordes.
- “**Mancha plateada**”, ocasionada por el hongo *Phytophthora* sp, que producen manchas necróticas grandes de color blanco rojizas y resquebrajaduras en la epidermis de las pencas. El cladodio enfermo, puede doblarse hacia un lado, debido a que la necrosis seca tiene una consistencia de papel.
- “**Roya**”, producida por *Aecidium* sp, presentándose unas pústulas de color amarillo-naranja, las que adoptan una forma redondeada de 5 cm de diámetro.
- “**Yana pusu**”, causada por *Pseudomonas* sp, es una infección bacteriana al tejido de los cladodios, los que ingresan por los estiletes de los insectos o heridas de poda o cosecha.
- “**Erwinia**”, ocasionada por *Erwinia* sp, esta enfermedad ocasiona la muerte total de los cladodios terminales o jóvenes por pudrición, la que se inicia en el ápice y llega hasta el punto de inserción con otro cladodio para posteriormente momificarse y desprenderse.

Para el control de estas enfermedades, la práctica más usual en la eliminación de las pencas y plantas enfermas es realizando la poda y quema del material contaminado.

Con respecto a las plagas se destaca el coleóptero *Diabrotica* sp, y otros más que son "perforadores" o "barrenadores" de las pencas, cuyo daño se manifiesta en perforaciones, que muchas veces atraviesan la otra cara de la penca. (Brako L. y Zarucchi J. , 1993), (Reynel C. y León J. , 1990).

### 2.35. SILVICULTURA Y MANEJO

La propagación de la tuna se puede hacer por semilla, la que tiene un alto poder germinativo, pero su desarrollo es muy lento y alta variabilidad, por lo cual, generalmente se utiliza la reproducción asexual mediante pencas o cladodios. (Brako L. y Zarucchi J. , 1993), (Reynel C. y León J. , 1990).

Si las condiciones para la siembra no son las mejores o existe poca disponibilidad de pencas, se puede tener un vivero en el cual se propaga los cladodios o parte de cladodios en bolsas o camas almacigueras y cuando tengan aproximadamente entre nueve a doce meses, se procede a la plantación en terreno definitivo. Para la selección de las pencas, se escogen las más vigorosas, sanas, libres de plagas y enfermedades y, de ser factible, aquellas plantas que hayan mostrado buena producción de fruto y cladodios, mayores de 18 meses y con un promedio de 25 cm. Las pencas extraídas son secadas a la sombra durante 10 a 15 días, volteándolas cada 4 días para obtener un secado uniforme. (Brako L. y Zarucchi J. , 1993), (Reynel C. y León J. , 1990).

El sistema de plantación se selecciona de acuerdo a la topografía del terreno, siendo recomendable el sistema de tresbolillo, y con surcos a curvas de nivel en terrenos de laderas con el fin de mantener y conservar el suelo y el agua.

El distanciamiento varía según la fertilidad del suelo, disponibilidad de agua, tamaño y hábito de crecimiento de la variedad seleccionada y objetivo de la plantación. En terrenos de secano, el distanciamiento entre plantas varía entre 2,5 y 3 m, y entre surcos es de 3 y 4 m. Bajo condiciones de riego el distanciamiento entre plantas varía entre 2- 2,5 y 3 m, y 3 m entre surcos. En las condiciones climáticas de la sierra peruana es conveniente realizar las plantaciones en el mes de setiembre; si se posee riego se puede realizar en cualquier época del año, pero hay que tener en cuenta las bajas temperaturas que retrasarían el desarrollo de la plantación. (Brako L. y Zarucchi J. , 1993), (Reynel C. y León J. , 1990).

Los hoyos utilizados presentan las dimensiones siguientes: 40 x 40 x 40 cm y el enterrado de la penca no debe exceder las 2/3 partes de su longitud cuando es de una sola penca, y de 3/4 de la primera penca cuando se planta dos pencas unidas, debiendo

tener una inclinación aproximada de 45°. Después se procede a apisonar el terreno del hoyo para evitar la formación de bolsas de aire y problemas fitosanitarios posteriores. Normalmente, la emisión de raíces comienza a los 8 días. (Brako L. y Zarucchi J. , 1993), (Reynel C. y León J. , 1990).

Las podas de formación son las más convenientes, porque facilita las labores culturales y la cosecha de los frutos. De preferencia, las pencas están dispuestas en un plano, para lo cual se aplica la poda en palmeta, eliminando las pencas que salen del plano de distribución elegido. La selección de pencas se debe realizar después del rebrote, es decir bastante jóvenes, para evitar el debilitamiento de la planta. Siempre es bueno eliminar las pencas que crecen hacia abajo o hacia el centro en condiciones de sombra porque estas pencas no suelen producir frutos por efecto de sombra. Las podas de producción son practicadas cuando brotan un número excesivo de pencas, lo que ocurre en los meses de agosto-setiembre, siendo recomendable eliminar algunas de ellas, para mantener en equilibrio de la planta. Las podas de rejuvenecimiento son necesarias para la eliminación de las pencas viejas y enfermas y para promover el brote de nuevas y sanas. También se acostumbra realizar el denominado raleo de frutos, práctica que consiste en eliminar tempranamente los frutos más pequeños o cuando la fructificación es excesiva, pudiendo dejar 7 frutos en promedio por penca, lo que proporciona frutos de mayor tamaño, mejor calidad y mayor precio en el mercado. (Brako L. y Zarucchi J. , 1993), (Reynel C. y León J. , 1990).

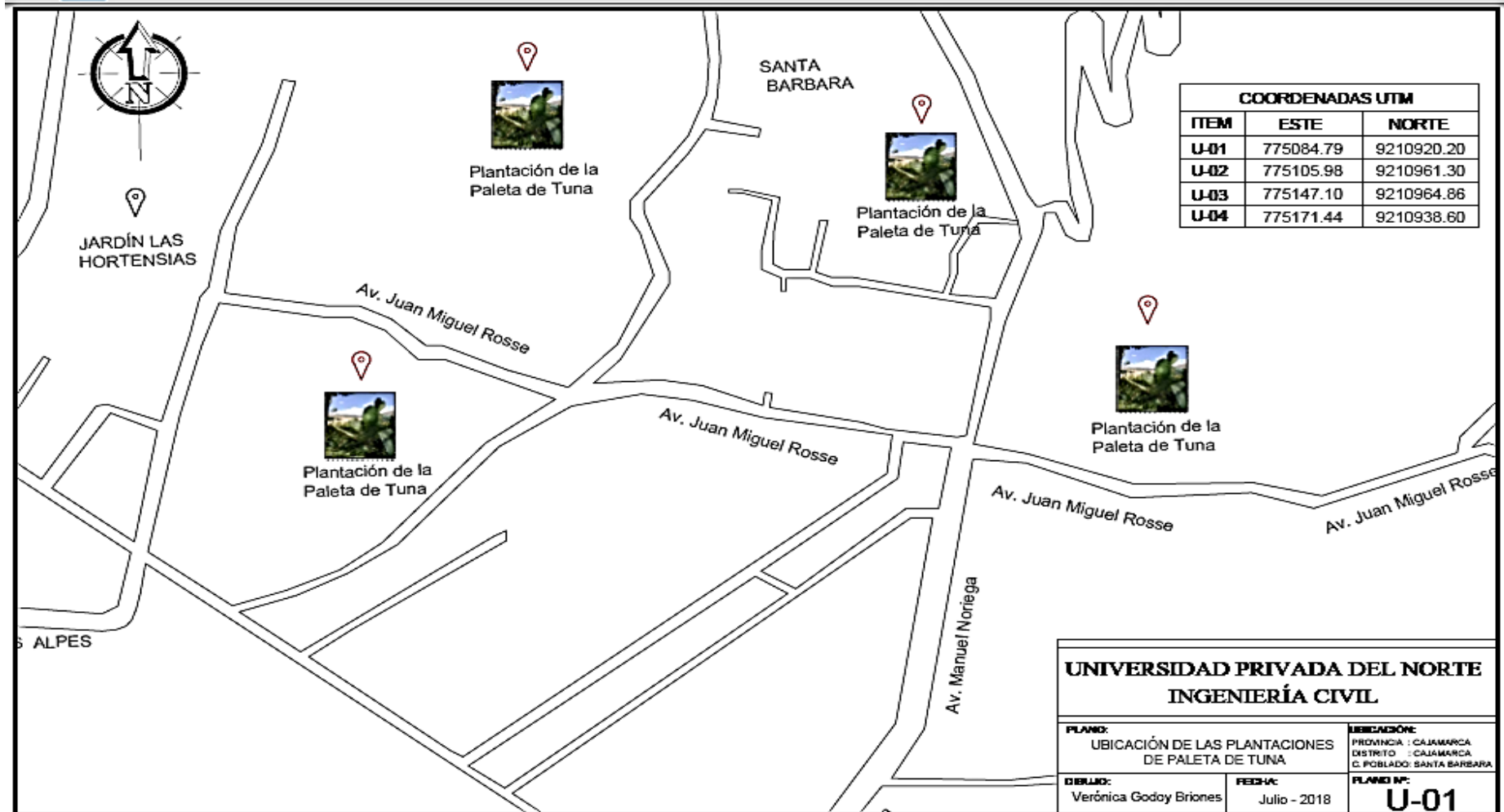
Debe aplicarse en 18 a 20 riegos con frecuencia mensual en otoño e invierno y quincenales en primavera y verano. Los riegos deben ser livianos y el agua no debe tomar contacto con el cuello de la planta para evitar problemas fitosanitarios. (Brako L. y Zarucchi J. , 1993), (Reynel C. y León J. , 1990).

También se utiliza la baba del nopal (obtenida al remojarlo en agua) como fijador para encalar paredes. Diego Rivera recubrió con baba de nopal algunos de sus murales para conservarlos. (Sierra, 2012)

Las especies no comestibles del nopal son utilizadas para producir gomas, látex, mucílago, impermeabilizantes y sustancias anticorrosivas, y como biomaterial útil para eliminar plomo del agua; por sus cualidades acústicas el tejido leñoso del tronco de los nopales maduros es usado en Japón para elaborar bocinas de equipos musicales electrónicos. (Sierra, 2012).


**2.36. Ubicación en Cajamarca.**

**Figura 10 Ubicación de las plantaciones de Paleta de Tuna.**



Fuente: Elaboración Propia, 2018

### 2.37. Ficha Técnica de la Paleta de Tuna.

	<b>FICHA TÉCNICA</b>	
	<b>PALETA DE TUNA - OPUNTIA FICUS</b>	
<b>Elaborado por:</b>	verónica Milagros Godoy Briones	
<b>Nombre Científico:</b>	<i>Opuntia Ficus</i>	
<b>Nombre común:</b>	<i>Paleta de Tuna</i>	
<b>Sinónimo:</b>	<i>Cactus Ficus</i>	
<b>Familia:</b>	<i>Cactácea</i>	
<b>Origen:</b>	<i>Oeste de Los Andes, entre Perú y Bolivia.</i>	
<b>Concepto:</b>	<i>Es un vegetal conocido por otros nombres como nopal o chumbera y es además una planta utilizada para diferentes fines medicinales</i>	
<b>Componentes en 100 g de la parte comestible:</b>	<b>Calorías:</b>	58 a 66 und.
	<b>Proteínas:</b>	3 gramos
	<b>Grasas:</b>	0.2
	<b>Carbohidratos:</b>	15.5
	<b>Calcio:</b>	30
	<b>Fósforo y vitaminas:</b>	28
<b>Producción:</b>	<b>En 2 a 3 años:</b>	1000 plantas por hectarea
<b>Condiciones:</b>	<b>Variables climáticas:</b>	11 a 23 °C
	<b>Variables edáficas:</b>	Suelos: sueltos, arenosos, poco fértiles.
	<b>Variable topográficas:</b>	Crece desde el nivel del mar hasta los 3.000 msnm. Su mejor desarrollo lo alcanza entre los 1.700 a 2.500 msnm.

Fuente: Elaboración propia, 2018

## **PH DEL AGUA**

### **2.38. DEFINICIÓN:**

El pH es el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculando el número de iones de hidrógeno presentes. Se mide en una escala que va de 0 a 14, en la que el 7 es neutro. Los valores de pH por debajo de 7 indican que una sustancia es ácida y los valores de pH por encima de 7 indican que es básica. Cuando una sustancia es neutra el número de los átomos de hidrógeno y de oxhidrilos son iguales. Cuando el número de átomos de hidrógeno (H<sup>+</sup>) excede el número de átomos del oxhidrilo (OH<sup>-</sup>), la sustancia es ácida (Ambiental, 2011).

### **2.39. CARACTERÍSTICAS**

La concentración de ión hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de calidad de las aguas naturales como residuales.

- Todas las fases del tratamiento del agua para suministro y residual, como la neutralización ácido – base, suavizado, precipitación, coagulación, desinfección y control de la corrosión, depende del pH.
- El agua residual con concentración de ión hidrógeno presenta elevadas dificultades de tratamiento con procesos biológicos y el efluente puede modificar la concentración de ión hidrógeno en las aguas naturales si ésta no se modifica antes de la evacuación de las aguas.
- A una temperatura determinada, la intensidad del carácter ácido o básico de una solución viene dada por la actividad del ión hidrógeno o pH.
- El pH de los sistemas acuosos puede medirse convenientemente con pH-metro. (Ambiental, 2011)

### **2.40. RIESGOS**

- El pH no ejerce efectos directos en los consumidores, es uno de los parámetros indicadores de la calidad del agua. Para que la desinfección con cloro sea eficaz es preferible que sea un pH inferior a 8 en valores superiores de pH 11 produce irritación ocular y agravación de trastornos cutáneos. (Ambiental, 2011).

#### **2.41. MÉTODO DE ANÁLISIS**

Es recomendable la medición in situ, de modo que no se modifique los equilibrios iónicos. Debido al transporte o una permanencia prolongada en recipientes cambia cuando es llevado al laboratorio, el método aplicado en in situ es método electrométrico

CONCENTRACIONES ESTABLECIDAS POR GUIAS INTERNACIONALES Según la EPA los valores recomendados son de 6.5 a 8.5 unidades de pH El pH recomendable: 6.5 y 9.5 según la OMS A1: según la norma peruana el pH establecido es 6-9. (Ambiental, 2011).

#### **C) Hipótesis**

La aplicación de paleta de tuna como floculante disminuye la turbidez en el mismo porcentaje que usando un floculante comercial en el proceso de floculación.



## CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

### 3.1. Operacionalización de variables

Tabla 3: Operacionalidad de variable

TIPO DE VARIABLE	VARIABLES	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES
Dependiente	Turbidez	Es una medida de la cantidad de partículas en suspensión en el agua ( <a href="http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp">www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp</a> , s.f.)	Muestras de agua	Turbidez (NTU)
Independiente	Floculación con la Paleta de tuna y un floculante comercial	Es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua. ( <a href="http://es.wikibooks.org/wiki/Ingeniería_de_aguas_residuales/tratamiento_físico_–_químico">http://es.wikibooks.org/wiki/Ingeniería de aguas residuales/tratamiento físico – químico</a> )	Dosificaciones	Medida de las cantidades de los floculantes (mg/600 ml)
			Velocidad angular en unidad de frecuencia	Medida de agitación (RPM)

Fuente: Elaboración Propia, 2018

### 3.2. Diseño de investigación

El diseño es una cuasi experimental.

### 3.3. Unidad de estudio

- Turbidez del agua

### 3.4. Población

20 muestras de agua turbia del río “San Lucas” (Sector Urubamba)

### 3.5. Muestra (muestreo o selección)

Se considera como muestra: el análisis de 20 muestras de agua turbia de 600 ml por cada muestra.

### 3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

#### 3.6.1. Para recolectar datos

##### a) Técnicas e instrumentos para recolección de datos:

Para evaluar la comparación de la disminución de la turbidez del agua en el proceso de floculación utilizando un floculante comercial y la paleta de tuna se obtuvo la solución del floculante natural (Paleta de Tuna) y se tomó una muestra de agua turbia del Río San Lucas Sector Urubamba.

##### ❖ Fuentes primarias

##### Ensayos:

##### ➤ Test de Jarras:

Para obtener la turbidez final luego de aplicar los floculantes se realizarán ensayos en el test de jarras y por medio de formatos se controlarán los datos obtenidos que se utilizará durante el ensayo del proceso de floculación, la turbidez inicial y final, el tiempo de reposo del agua tratada y la cantidad de ensayos que se fueran a realizar.

##### ➤ Medición de la Turbiedad (Turbidímetro):

Para poder medir la turbidez inicial y la turbidez final y poder relizar la comparación de la influencia de los floculante (floculante natural y floculante comercial)

##### ➤ Medición de los pesos de la paleta de tuna y ECOPOL CS 600 (Balanza):

Para poder medir el peso de la solución obtenida como floculante natural (Paleta de Tuna).

##### ➤ Medición de las dosificaciones del floculante natural ( Paleta de Tuna) y ECOPOL CS 600 (Balanza):

Para poder medir el peso de la solución obtenida como floculante natural (Paleta de Tuna).

**b) Procedimiento para recolección de datos:**

• **Para el floculante:**

1. Se recluta la Penca de Tuna, que se encuentra en los cercos.
2. Se pesa cada penca.
3. Se realiza el pelado de la penca de Tuna.
4. Se saca la pulpa (rallada) de la paleta de tuna.
5. Se pesa la cantidad de solución obtenida de cada paleta.
6. Obteniendo finalmente el polímero coagulante.

• **Para el ensayo del test de jarras:**

Los procedimientos de prueba de jarras incluyen los siguientes pasos:

- Colocar los vasos de 600 ml de bajo de cada una de las paletas de agitación.
- Se mide el peso de la solución del floculante comercial.
- Añadir el coagulante comercial (ECOPOL CS) a uno de los vasos de precipitación, luego de ser pesado.
- En los cinco vasos restantes, se coloca la paleta de tuna en diferentes cantidades (pesos en mg/l), para lo cual se anota en la hoja de datos la cantidad de coagulante que se debe añadir a cada vaso en diferentes cantidades por cada una.
- Se llena los 6 recipientes de prueba (vasos de precipitación) con la muestra de agua.
- Se coloca las paletas de agitación dentro de los vasos, se enciende el agitador y se lo deja mezclar por 1 min a una velocidad de 50 a 80 rpm en diferentes pruebas, en esta etapa de mezcla rápida ayuda a dispersar el coagulante a través de cada contenedor.
- Reducir la velocidad de agitación a 30 rpm y continúe batiendo por 15 a 20 min. Esta velocidad más lenta de mezcla ayuda a promover la formación de flóculos mediante la mejora de las colisiones de partículas que dan lugar a grandes flóculos.
- Apague los mezcladores y dejar que repose por 20 minutos, para determinar el color, el ph; la turbiedad haciendo uso del turbidímetro y un medidor de ph.

### 3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos

#### a) Método:

El método utilizado para el análisis de datos se hará por medio de un ensayo de test de jarras en dónde se colocará la solución del floculante en un recipiente de 600 ml con el agua a tratar, el cual nos brindará el resultado y confirmación de la hipótesis.

#### ➤ Instrumentos:

Para este análisis de datos se hará uso de los siguientes instrumentos:

- Microsoft Excel (Generación de gráficos y análisis de datos)
- Microsoft Word

#### ➤ Procedimiento de análisis de datos:

Para el análisis de datos se utilizará como herramientas el Microsoft Excel en donde una vez ingresados los datos se procesa por medio de graficas en barras para analizar y comparar las diferencias que obtenemos en los resultados de la turbidez final aplicando un floculante natural (Paleta de Tuna) y un floculante comercial (ECOPOL CS600).

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS

### ❖ Test de Jarras – Paleta de Tuna

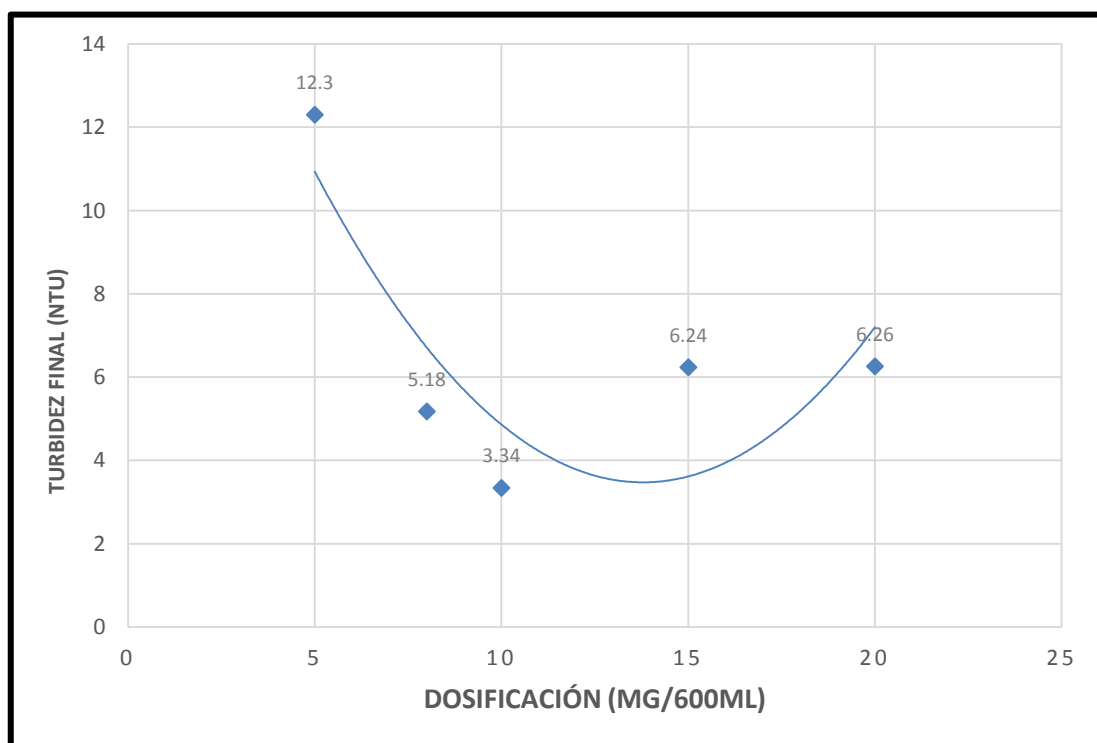
Proceso de floculación en el Test de Jarras haciendo uso del floculante Natural- Paleta de tuna obteniendo la turbidez final luego de aplicar una dosificación del floculante y tener su proceso.

**Tabla 4: Prueba N°01-Remoción de la Turbidez haciendo uso del floculante Natural Paleta de Tuna en diferentes dosificaciones y con 50 RPM**

N° Ensayo	RPM	N° Vaso de precipitación	1	2	3	4	5
1	50	Turbidez Inicial	315	315	315	315	315
		Dosificación Floculante (mg/600ml)	5	8	10	15	20
		Turbidez Final (NTU)	12.3	5.18	3.34	6.24	6.26
		<b>Dosis Óptima</b>	10				

Fuente: Elaboración propia, 2018

**Gráfica 1: Remoción de la Turbidez - Paleta de Tuna**



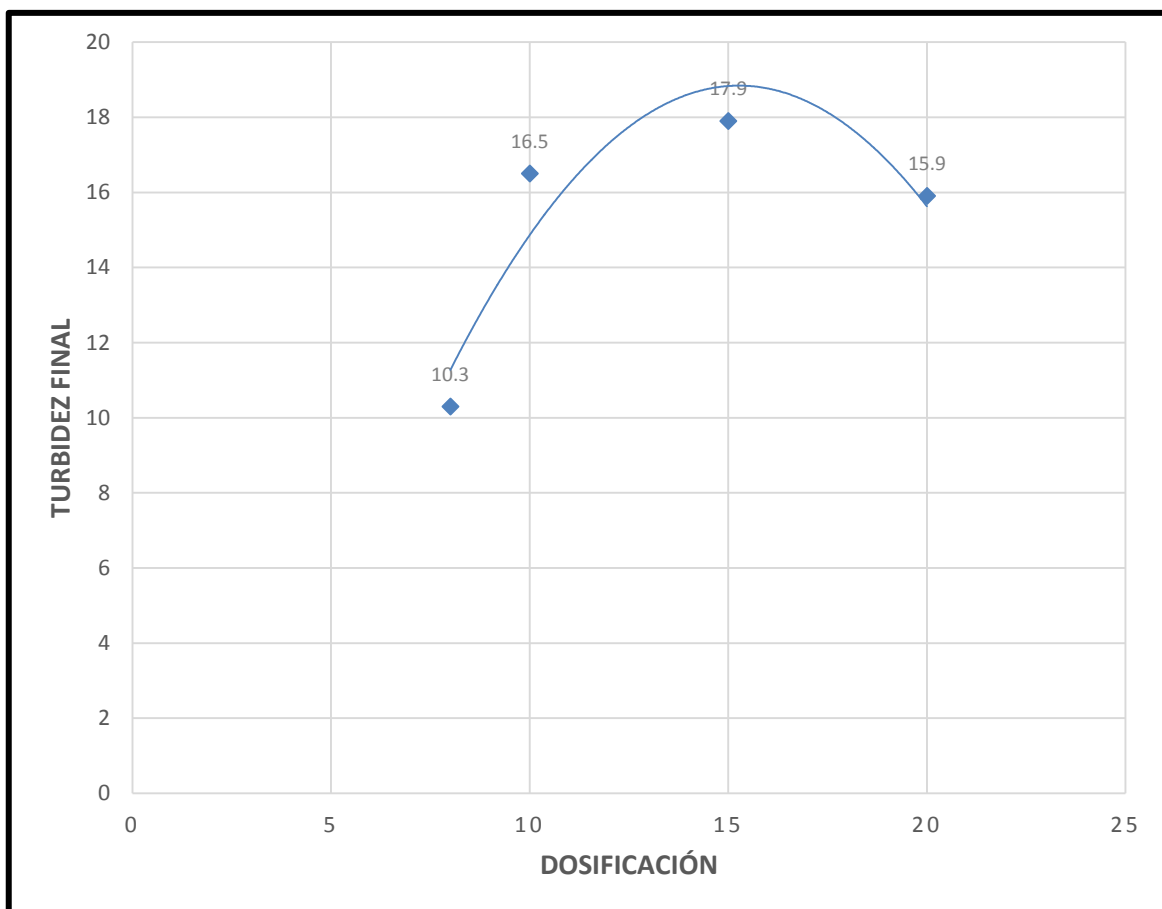
Fuente: Elaboración propia, 2018

**Tabla 5: Prueba N°02 – Remoción de la Turbidez haciendo uso del floculante natural Paleta e Tuna en diferentes dosificaciones y con 60 RPM.**

N° Ensayo	RPM	N° Vaso de precipitación	1	2	3	4	5
2	60	Turbidez Inicial	-	312	312	312	312
		Dosificación Floculante (mg/600ml)	-	8	10	15	20
		Turbidez Final (NTU)	-	4.94	11.1	6.72	10.5
		<b>Dosis Óptima</b>	8				

Fuente: Elaboración propia, 2018

**Gráfica 2: Remoción de la Turbidez - Paleta de Tuna**



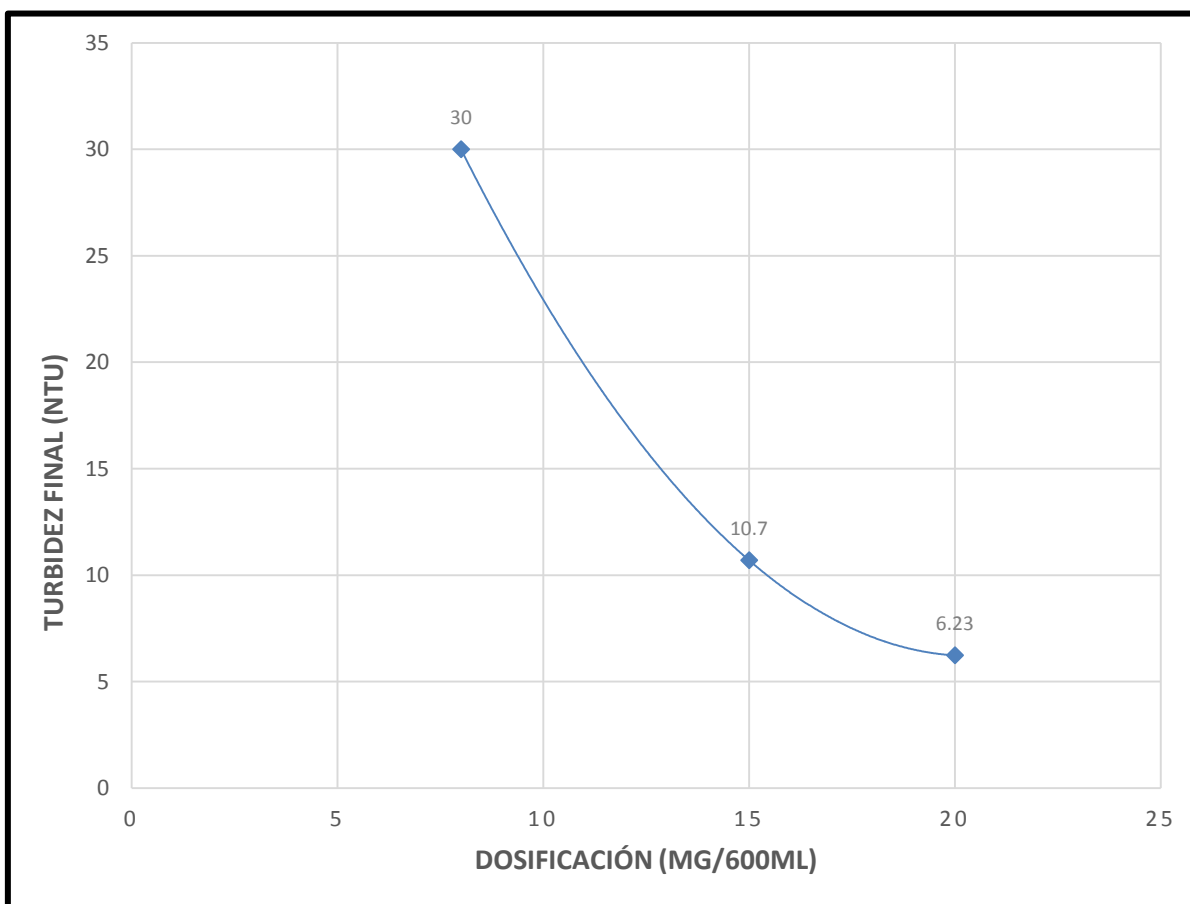
Fuente: Elaboración propia, 2018

**Tabla 6: Prueba N°03 – Remoción de la Turbidez haciendo uso del floculante natural Paleta e Tuna en diferentes dosificaciones y con 80 RPM.**

N° Ensayo	RPM	N° Vaso de precipitación	1	2	3	4	5
3	80	Turbidez Inicial	-	304	-	304	304
		Dosificación Floculante (mg/600ml)	-	8	-	15	20
		Turbidez Final (NTU)	-	30	-	10.7	6.23
		<b>Dosis Óptima</b>	20				

Fuente: Elaboración propia, 2018

**Gráfica 3: Remoción De la Turbidez – Paleta de Tuna**



Fuente: Elaboración propia, 2018

❖ **Test de Jarras – ECOPOL CS 600**

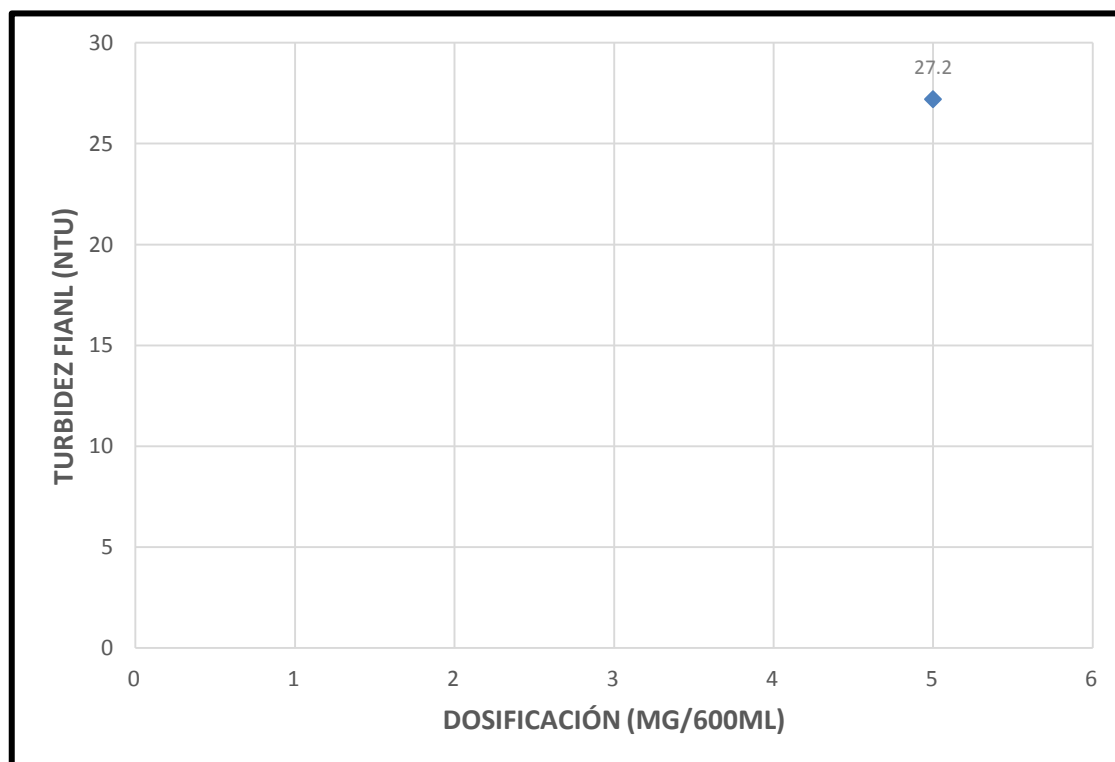
Proceso de floculación en el Test de Jarras haciendo uso del floculante comercial – ECOPOL CS 600 obteniendo la turbidez final luego de aplicar una dosificación del floculante y tener su proceso.

**Tabla 7: Prueba N°01 – Remoción de la Turbidez haciendo uso del floculante comercial – ECOPOL CS 600 en diferentes dosificaciones y con 50 RPM.**

N° Ensayo	RPM	N° Vaso de precipitación	1	2	3	4	5
1	50	Turbidez Inicial	315	-	-	-	-
		Dosificación Floculante (mg/600 ml)	5	-	-	-	-
		Turbidez Final (NTU)	27.2	-	-	-	-
		Dosis Óptima					

Fuente: Elaboración propia, 2018

**Gráfica 4: Remoción de la Turbidez - ECOPOL CS 600**



Fuente: Elaboración propia, 2018

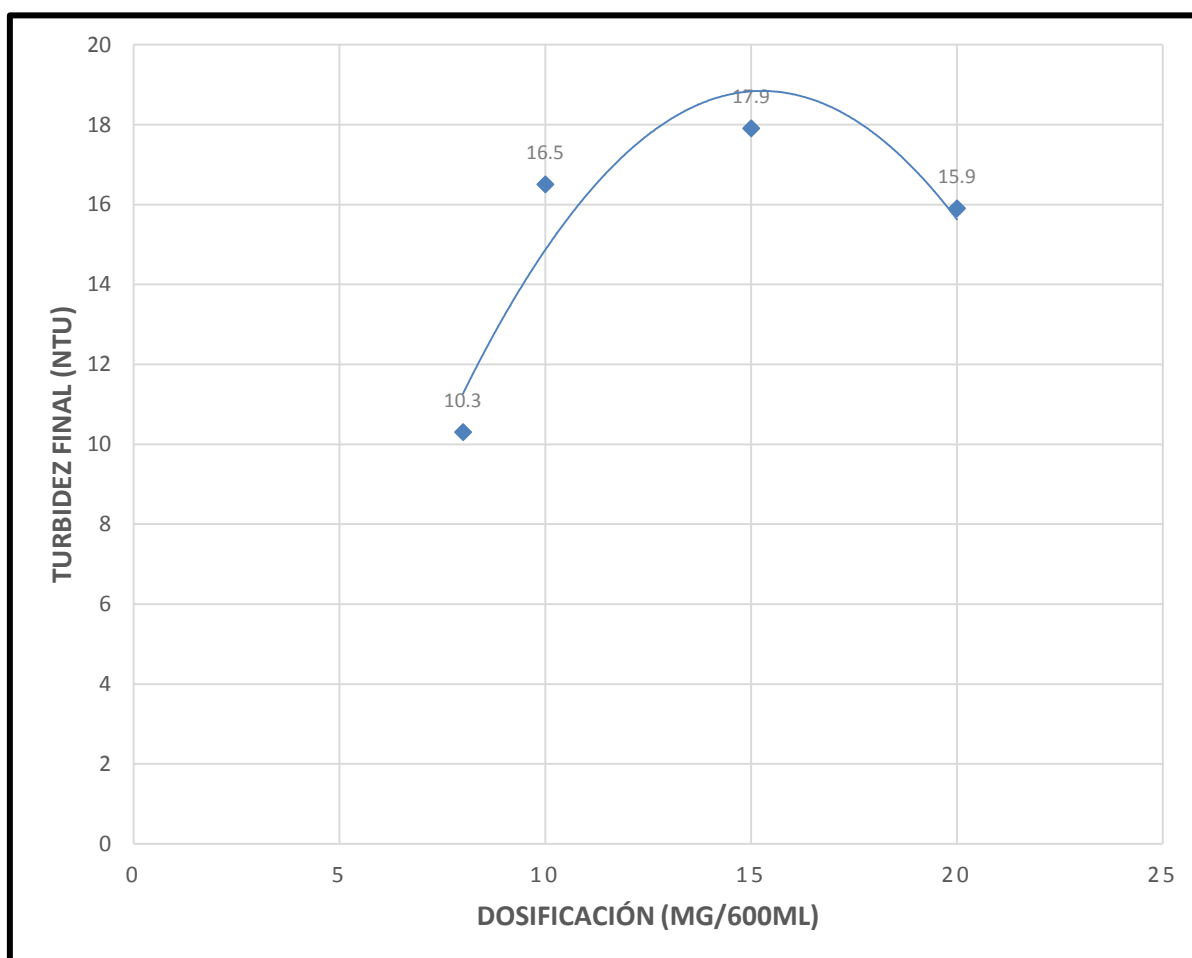


**Tabla 8: Prueba N°02 – Remoción de la Turbidez haciendo uso del floculante comercial – ECOPOL CS 600 en diferentes dosificaciones y con 60 RPM.**

N° Ensayo	RPM	N° Vaso de precipitación	1	2	3	4	5
2	60	Turbidez Inicial	-	312	312	312	312
		Dosificación Floculante (mg/600 ml)	-	8	10	15	20
		Turbidez Final (NTU)	-	10.3	16.5	17.9	15.9
		<b>Dosis Óptima</b>	<b>8</b>				

Fuente: Elaboración propia, 2018

**Gráfica 5: Remoción de la Turbidez - ECOPOL CS 600**



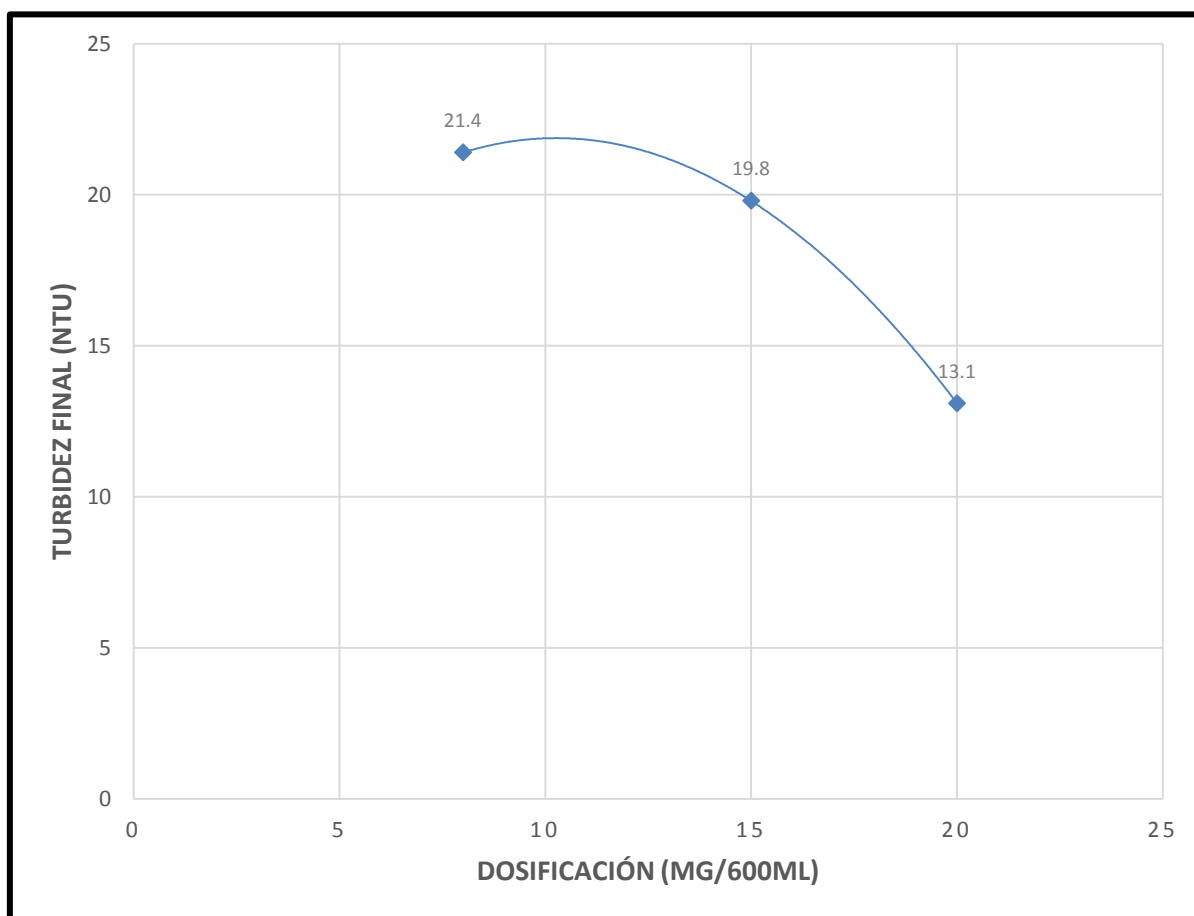
Fuente: Elaboración propia, 2018

**Tabla 9: Prueba N°03 – Remoción de la Turbidez haciendo uso del floculante comercial – ECOPOL CS 600 en diferentes dosificaciones y con 80 RPM.**

N° Ensayo	RPM	N° Vaso de precipitación	1	2	3	4	5
3	80	Turbidez Inicial	-	304	-	304	304
		Dosificación Floculante (mg/600ml)	-	8	-	15	20
		Turbidez Final (NTU)	-	21.4	-	19.8	13.1
		<b>Dosis Óptima</b>	<b>20</b>				

Fuente: Elaboración propia, 2018

**Gráfica 6: Remoción de la Turbidez - ECOPOL CS 600**



Fuente: Elaboración propia, 2018

❖ **Test de Jarras – Comparación de la Turbidez Final Utilizando Floculante Natural (Paleta de tuna) y un floculante comercial ECOPOL CS 600.**

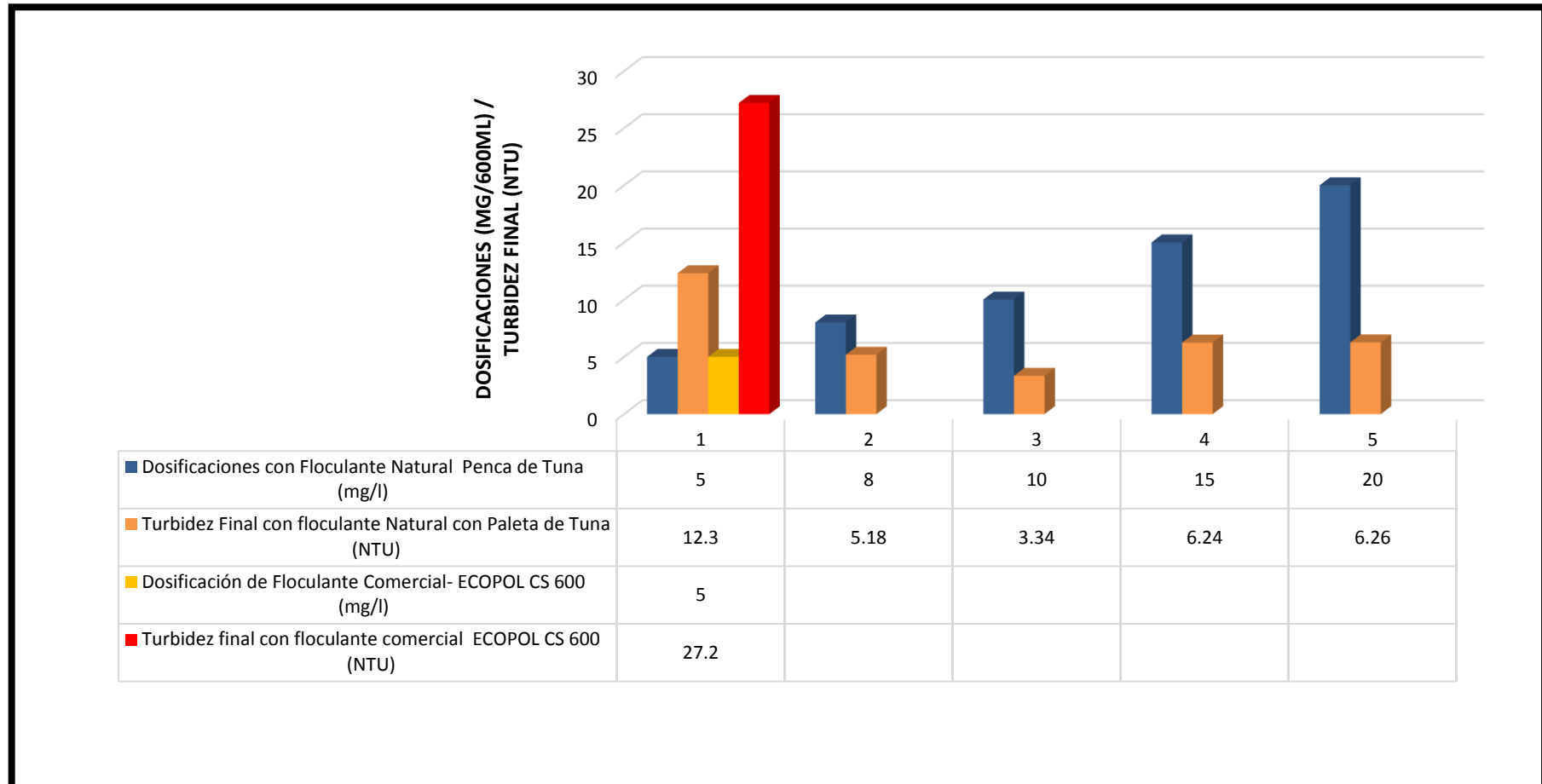
Proceso de floculación en el Test de Jarras haciendo uso del floculante Natural- Paleta de tuna y el floculante comercial ECOPOL CS 600, realizando la comparación de disminución de la turbidez final luego de aplicar una dosificación del floculante y tener su proceso.

**Tabla 10: Comparación de la Turbidez Final utilizando Floculante Natural (Paleta de tuna) y un floculante comercial ECOPOL CS 600, con 50 RPM.**

<b>FLOCULANTE NATURAL ( PENCA DE TUNA)</b>							
<b>N° Ensayo</b>	<b>RPM</b>	<b>N° Vaso de precipitación</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
1	50	<b>Turbidez Inicial</b>	315	315	315	315	315
		Dosificación Floculante (mg/600ml)	5	8	10	15	20
		Turbidez Final (NTU)	12.3	5.18	3.34	6.24	6.26
		<b>Dosis Óptima</b>	10				
<b>FLOCULANTE COMERCIAL (ECOPOL CS 600)</b>							
<b>N° Ensayo</b>	<b>RPM</b>	<b>N° Vaso de precipitación</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
1	50	<b>Turbidez Inicial</b>	315	-	-	-	-
		Dosificación Floculante (mg/600ml)	5	-	-	-	-
		Turbidez Final (NTU)	27.2	-	-	-	-
		<b>Dosis Óptima</b>					

**Fuente: Elaboración propia, 2018**

**Gráfica 7: Comparación de la Turbidez Final Utilizando Floculante Natural (Paleta de tuna) y un floculante comercial ECOPOL CS 600**



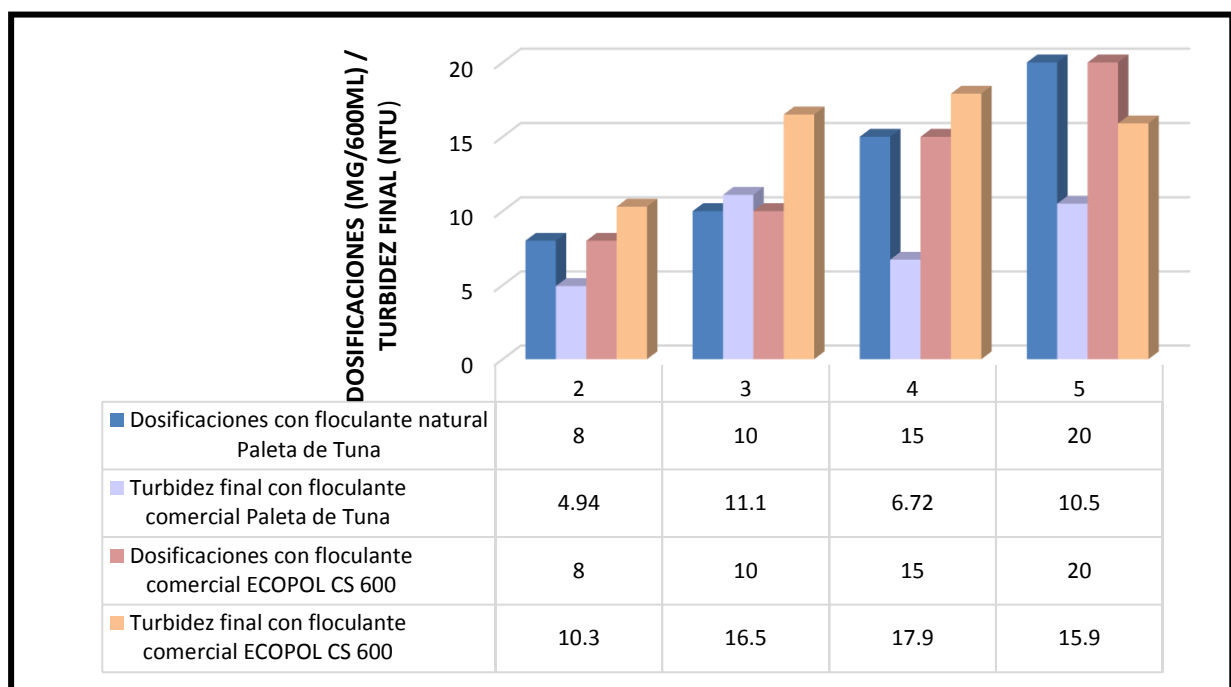
Fuente: Elaboración propia, 2018

**Tabla 11: Comparación de la Turbidez Final Utilizando Floculante Natural (Paleta de tuna) y un floculante comercial ECOPOL CS 600, con 60 RPM.**

FLOCULANTE NATURAL ( PENCA DE TUNA)							
N° Ensayo	RPM	N° Vaso de precipitación	1	2	3	4	5
2	60	Turbidez Inicial		312	312	312	312
		Dosificación Floculante (mg/600ml)		8	10	15	20
		Turbidez Final (NTU)		4.94	11.1	6.72	10.5
		Dosis Óptima	8				
FLOCULANTE COMERCIAL (ECOPOL)							
N° Ensayo	RPM	N° Vaso de precipitación	1	2	3	4	5
2	60	Turbidez Inicial		312	312	312	312
		Dosificación Floculante (mg/600ml)		8	10	15	20
		Turbidez Final (NTU)		10.3	16.5	17.9	15.9
		Dosis Óptima	8				

Fuente: Elaboración propia, 2018

**Gráfica 8: Comparación de la Turbidez Final Utilizando Floculante Natural (Paleta de tuna) y un floculante comercial ECOPOL CS 600**



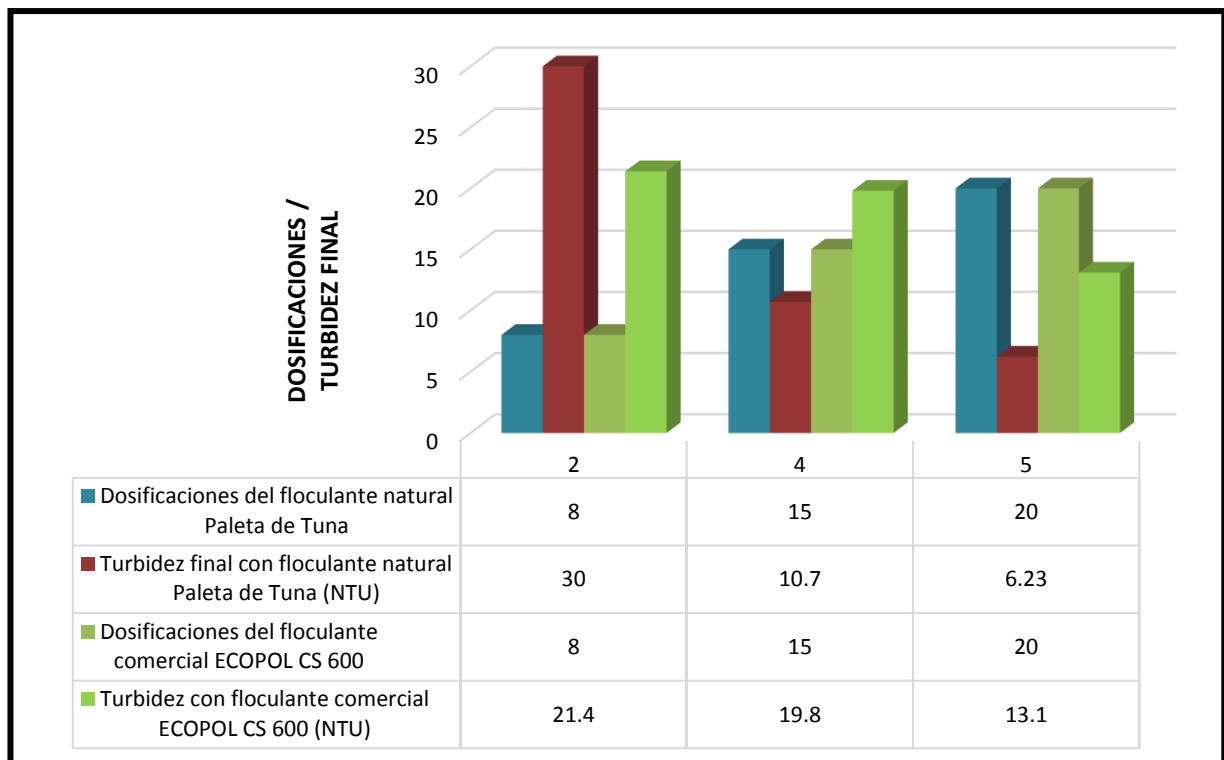
Fuente: Elaboración propia, 2018

**Tabla 12: Comparación de la Turbidez Final Utilizando Floculante Natural (Paleta de tuna) y un floculante comercial ECOPOL CS 600, con 80 RPM.**

FLOCULANTE NATURAL ( PENCA DE TUNA)							
N° Ensayo	RPM	N° Vaso de precipitación	1	2	3	4	5
2	80	Turbidez Inicial		304	-	304	304
		Dosificación Floculante (mg/600ml)		8	-	15	20
		Turbidez Final (NTU)		30	-	10.7	6.23
		Dosis Óptima	20				
FLOCULANTE COMERCIAL (ECOPOLO)							
N° Ensayo	RPM	N° Vaso de precipitación	1	2	3	4	5
2	80	Turbidez Inicial	-	304	-	304	304
		Dosificación Floculante (mg/600ml)	-	8	-	15	20
		Turbidez Final (NTU)	-	21.4	-	19.8	13.1
		Dosis Óptima	20				

Fuente: Elaboración propia, 2018

**Gráfica 9: Comparación de la Turbidez Final Utilizando Floculante Natural (Paleta de tuna) y un floculante comercial ECOPOL CS 600**



Fuente: Elaboración propia, 2018

❖ **Obtención del floculante natural – Paleta de Tuna**

Proceso en el que obtenemos las cantidades del floculante natural

**Tabla 13: Obtención del floculante natural – Paleta de Tuna**

N° Ensayo	PESO BRUTO (g)	PESO PELADO (g)	CANTIDAD DE FLOCULANTE NATURAL (g)
1	667.00	234.70	2127.00
2	445.00	246.50	1255.00
3	460.70	152.20	1263.00

Fuente: Elaboración propia, 2018

❖ **PH del agua en solución**

**Tabla 14: Obtención del Ph**

N° Ensayo	DOSIFICACIÓN	PH
1	5.00	7
	8.00	7
	10.00	7
	15.00	7
	20.00	7
2		
	8.00	8
	10.00	8
	15.00	8
	20.00	8
3		
	8.00	7
	15.00	7
	20.00	7

Fuente: Elaboración propia, 2018

## CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

Aplicando velocidades más altas de agitación mecánica (80 rpm), estas aumentaron la remoción de impurezas, y las bajas velocidades de agitación (50 rpm) generaron flóculos más grandes llegando a obtener una turbidez final de 3.34 NTU (Unidad de Turbidez Nefelométrica), disminuyendo de esta manera hasta un 90% la turbidez inicial (315 NTU), lo que concuerda con la investigación de Jasser Martinez Garcia y Luis Enrique Gonzales los cuales indican que sus resultados obtenidos permitieron concluir, que bajo las condiciones manejadas durante las pruebas, se logró remover la turbidez y el color en porcentajes significativos, utilizando solo pequeñas dosis del coagulante natural. Altas velocidades de agitación incrementaron la remoción de impurezas, no obstante las bajas velocidades de agitación generaron flóculos más grandes y compactos; Además la investigación de Loida Pacora Bernal, Margarita Velásquez Oyola, Benigno Miñano Calderón, María Guarniz Flores complementa con los resultados obtenidos en ambas investigaciones mostrando que los valores turbidimétricos bajos, medios, altos y muy altos a razón de una referencial de 200 ppm usados por los pobladores en su tratamiento casero y de uso doméstico, siendo la F1-350 ppm y F2-300 ppm las de mejores en clarificación y las menores a 200 ppm resultaron con mayor turbidez que el patrón referencial de sulfato ferroso usando a razón de 50 ppm. Por lo que tenemos que estadísticamente la proporción óptima del floculante natural de tuna en la clarificación de las aguas superficiales, representa entonces, una estrategia que debe ser colocada como alternativas para la conservación, preservación y utilización de las aguas. En base a los resultados obtenidos es importante mencionar que la paleta de tuna como floculante natural ha cumplido con los parámetros de disminución de la turbidez del agua con las dosificaciones señaladas anteriormente en un mayor porcentaje que el floculante comercial “ECOPOL CS 600”, lo que cumple con nuestra hipótesis establecida.



## CONCLUSIONES

1. Haciendo uso del floculante natural (paleta de tuna) la turbidez disminuye hasta 3.34 NTU con una dosificación de 10 mg/600ml y una velocidad de revoluciones por minuto de 50 RPM, concluyendo finalmente que la paleta de tuna es un mejor floculante dando mejores resultados.
2. Mediante el análisis del test de jarras utilizando un floculante comercial (ECOPOL CS 600) tiene una disminución de la turbidez máxima de 10.3 NTU, con una dosificación de 8 mg/600ml con una velocidad de revoluciones por minuto de 60 RPM, por lo que los resultados son mayores que los resultados que obtenemos con Paleta de Tuna.
3. Al comparar la calidad de agua utilizando la paleta de tuna como floculante y un floculante artificial (ECOPOLCS 600), obtuvimos que ambos nos dan resultados óptimos, pero la paleta de tuna por ser de estado natural es más recomendable que el ECOPOL CS 600; además, la paleta de tuna nos brinda mejores resultados en la disminución de la turbidez.
4. La apariencia física del agua después del proceso de floculación cumple con las características básicas del agua siendo incolora, inodora e insípida, además que el color oscuro por la turbidez disminuye obteniendo el agua más clara y sin impurezas.
5. Al evaluar el ph del agua en solución obtenemos que es de carácter Neutro ya que en su mayoría obtenemos un PH =7, lo que permite que la desinfección con cloro sea eficaz.

## RECOMENDACIONES

1. Usar Paleta de Tuna en filtros caseros en los sistemas rurales permitiendo innovar y mejorar en la calidad de vida de los pobladores.
2. Aplicar otras dosificaciones para que de esta manera logremos obtener mayor exactitud en los resultados, permitiendo tomar el valor adecuado para un mejor tratamiento del agua.
3. Realizar plantaciones de Paleta de Tuna para poder contar con este recurso en épocas necesarias para la aplicación en el tratamiento de aguas y evitar que por el crecimiento desmesurado de la población este recurso desaparezca.

---

## REFERENCIAS

- Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente. (1997). Manual Técnico para el mejoramiento de la calidad de agua para el consumo humano. Perú: Organización Panamericana de Salud.
- 1994, A. S. (1994). google. Obtenido de <http://arturobola.tripod.com/turbi.htm>
- Ambiental, D. G. (2011). Reglamento de la Calidad del Agua para. Lima- Perú.
- Arboleda. (1992). Teoría y práctica de la purificación del agua. Acodal.
- Bartolomé , Á., & Castro, M. (2007). Efecto de cinco variables sobre la resistencia de la albañilería. Lima.
- Brako L. y Zarucchi J. . (1993). Catálogo de las Aglos peromas y Gimnospermas del Perú. Perú.
- Cárdenas, I. Y. (2000). Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico. TRATAMIENTO DE AGUA: COAGULACIÓN FLOCULACIÓN. Lima: SEDAPAL.
- Germán Ricardo Melo Vargas, Fabio Arbey Turriago Ríos. (2012). Evaluación de la eficiencia de la utilización de semillas de Moringa Oleifera como una alternativa de Biorremediación en la purificación de aguas superficiales del Caño Cola del Pato ubicado en el sector rural del municipio de Acacias. Villavicencio: Universidad Nacional Abierta y a Distancia- UNAD.
- <http://arturobola.tripod.com/turbi.htm>. (s.f.). Obtenido de <http://arturobola.tripod.com/turbi.htm>
- <http://arturobola.tripod.com/turbi.htm>. (1994). Obtenido de <http://arturobola.tripod.com/turbi.htm>
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Floculante>. (30 de Agosto de 2017). Wikipedia. Obtenido de Wikipedia: (<https://es.wikipedia.org/wiki/Floculante>)
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Turbidez>. (25 de ENERO de 2018). <https://es.wikipedia.org/wiki/Turbidez>. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Turbidez>: <https://es.wikipedia.org/wiki/Turbidez>
- Jasser Martinez García, Luis Enrique Gonzales Silgado. (2012). Evaluación del poder coagulante de la tuna (*Opuntia ficus indica*) para la remoción de turbidez y color

en aguas crudas. Cartagena: Universidad de Cartagena .

Laura Sano Violeta, Jaime Zavala Christian J. (2010). Establecer los parámetros tecnológicos para la obtención de un nuevo tipo de clarificante natural elaborado a partir de la penca de tuna (*Opuntia Ficus indica* L. Millar). Arequipa - Perú.

Loida Pacora Bernal, Margarita Velásquez Oyola, Benigno Miñano Calderón, María Guarniz Flores. (2011). Optimización de floculante natural de tuna *Opuntia Ficus indica* en la clarificación de las agua superficiales del distrito de Santa Rosa provincia de Pallasca. Pallasca: Lpacorrab Pacora.

OPS/CEPIS/05.167. UNATSABAR, 2. (2005). Guía para el mejoramiento de la calidad del agua a nivel casero. CEPIS.

Rafael Enrique Olivero Verbel, Y. d. (2014). Utilización de Tuna ( *Opuntia ficus -indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. Colombia.

Reynel C. y León J. . (1990). Missouri Botanical Garden. Perú.

sAsA, a. (Noviembre de 2013). sena ptas mosquera. Obtenido de Google - Doc. Word:  
[https://www.google.com.pe/?gfe\\_rd=cr&ei=\\_huHV0-VEMbK8gfl2KvQAw#q=test+de+jarras+](https://www.google.com.pe/?gfe_rd=cr&ei=_huHV0-VEMbK8gfl2KvQAw#q=test+de+jarras+)

SERVYECO. (20 de JUNIO de 2017). Obtenido de <http://www.servyeco.com/politica-de-calidad.html>

Sierra, A. (2012). Medicinas alternativas y complementarias. Puebla.

UTN, I. S.-F. (2005). FLOCULADORES . En U. -I. SANITARIA, TRATAMIENTO DE LAS AGUAS (págs. 31-38). Argentina.

wikipedia. (25 de ENERO de 2018). <https://es.wikipedia.org/wiki/Turbidez>. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Turbidez>: <https://es.wikipedia.org/wiki/Turbidez>

[www.waterboards.ca.gov/water\\_issues/programs/swamp](http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp). (s.f.).

# ANEXOS

**ANEXO N° 01: Datos obtenidos en los ensayos.**

**Tabla 15: 3 pruebas de Remoción de la Turbidez haciendo uso del floculante natural (PALETA DE TUNA) en diferentes dosificaciones y con diferentes revoluciones por minuto.**

N° Ensayo	RPM	N° Vaso de precipitación	1	2	3	4	5
1	50	<b>Turbidez Inicial</b>	315	315	315	315	315
		Dosificación Floculante (mg/600ml)	5	8	10	15	20
		Turbidez Final (NTU)	12.3	5.18	3.34	6.24	6.26
		<b>Dosis Óptima</b>	10				
2	60	<b>Turbidez Inicial</b>		312	312	312	312
		Dosificación Floculante (mg/600ml)		8	10	15	20
		Turbidez Final (NTU)		4.94	11.1	6.72	10.5
		<b>Dosis Óptima</b>	8				
3	80	<b>Turbidez Inicial</b>		304		304	304
		Dosificación Floculante (mg/600ml)		8		15	20
		Turbidez Final (NTU)		30		10.7	6.23
		<b>Dosis Óptima</b>	20				

Fuente: Elaboración propia, 2018

**Tabla 16: 3 pruebas de Remoción de la Turbidez haciendo uso del floculante comercial (ECOPOL CS 600) en diferentes dosificaciones y con diferentes revoluciones por minuto.**

N° Ensayo	RPM	N° Vaso de precipitación	1	2	3	4	5
1	50	<b>Turbidez Inicial</b>	315				
		Dosificación Floculante (mg/600ml)	5				
		Turbidez Final (NTU)	27.2				
		<b>Dosis Óptima</b>					
2	60	<b>Turbidez Inicial</b>		312	312	312	312
		Dosificación Floculante (mg/600ml)		8	10	15	20
		Turbidez Final (NTU)		10.3	16.5	17.9	15.9
		<b>Dosis Óptima</b>	8				
3	80	<b>Turbidez Inicial</b>		304		304	304
		Dosificación Floculante (mg/600ml)		8		15	20
		Turbidez Final (NTU)		21.4		19.8	13.1
		<b>Dosis Óptima</b>	20				

Fuente: Elaboración propia, 2018

**Tabla 17: Ensayo de los tres valores obtenidos del floculante natural – Paleta de Tuna**

N° Ensayo	PESO BRUTO (g)	PESO PELADO (g)	CANTIDAD DE FLOCULANTE NATURAL (g)
1	667.00	234.70	2127.00
2	445.00	246.50	1255.00
3	460.70	152.20	1263.00

Fuente: Elaboración propia, 2018

**Tabla 18: PH obtenido del agua en solución**

N° Ensayo	DOSIFICACIÓN	PH
1	5.00	7
	8.00	7
	10.00	7
	15.00	7
	20.00	7
2		
	8.00	8
	10.00	8
	15.00	8
	20.00	8
3		
	8.00	7
	15.00	7
	20.00	7

Fuente: Elaboración propia, 2018



**ANEXO N° 02: Panel fotográfico**



**Foto N° 01. Observamos que la Paleta de Tuna lo encontramos en los cercos, en el centro poblado de Santa Bárbara.**



**Foto N° 02. Floculante natural en su hábitad.**





Foto N° 03. Reclutamiento del floculante natural – Paleta de Tuna (Opuntia ficus).



Foto N° 04. Valor del peso de la paleta de tuna

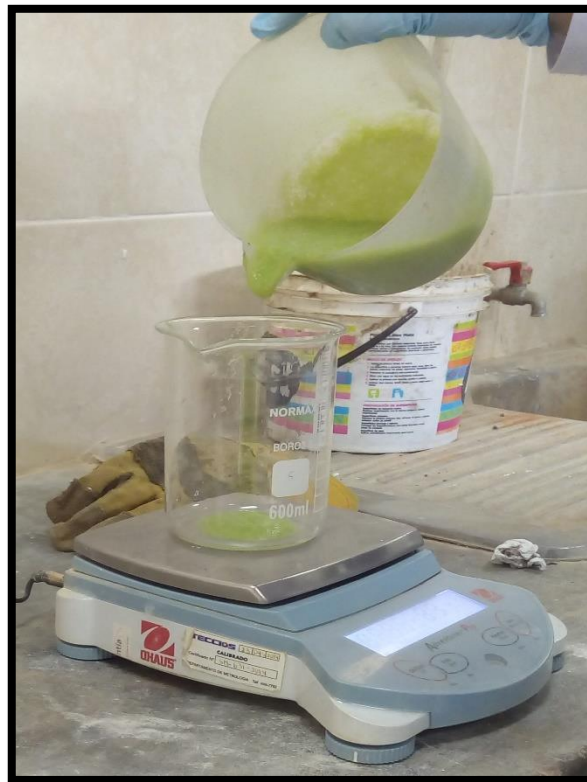


**Foto N° 05. Proceso de obtención del floculante natural.**

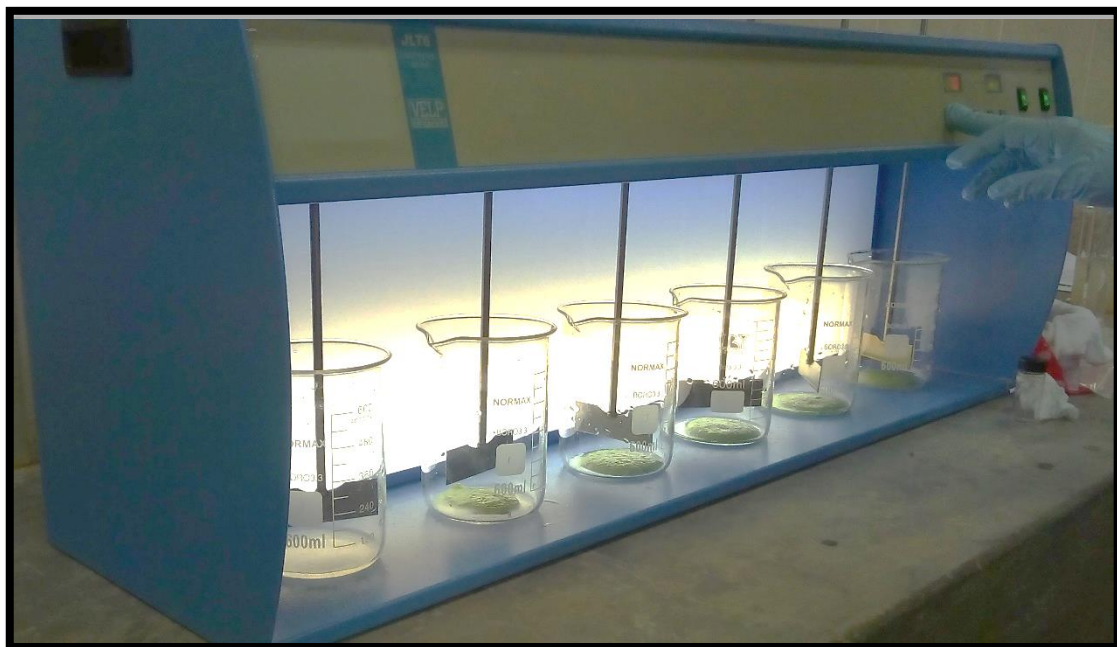


**Foto N° 06. Cantidad obtenida del floculante natural.**





**Foto N° 07. Medición de las dosificaciones (pesos) del floculante natural.**



**Foto N° 08. Colocación de los vasos de precipitación en el equipo de Test de jarras para continuar con el procedimiento de floculación.**



**Foto N° 09. Medición del peso del floculante comercial (ECOPOL CS 600).**



**Foto N° 10. El floculante comercial (ECOPOL CS 600) es disuelto en agua hasta que este tome un estado viscoso.**

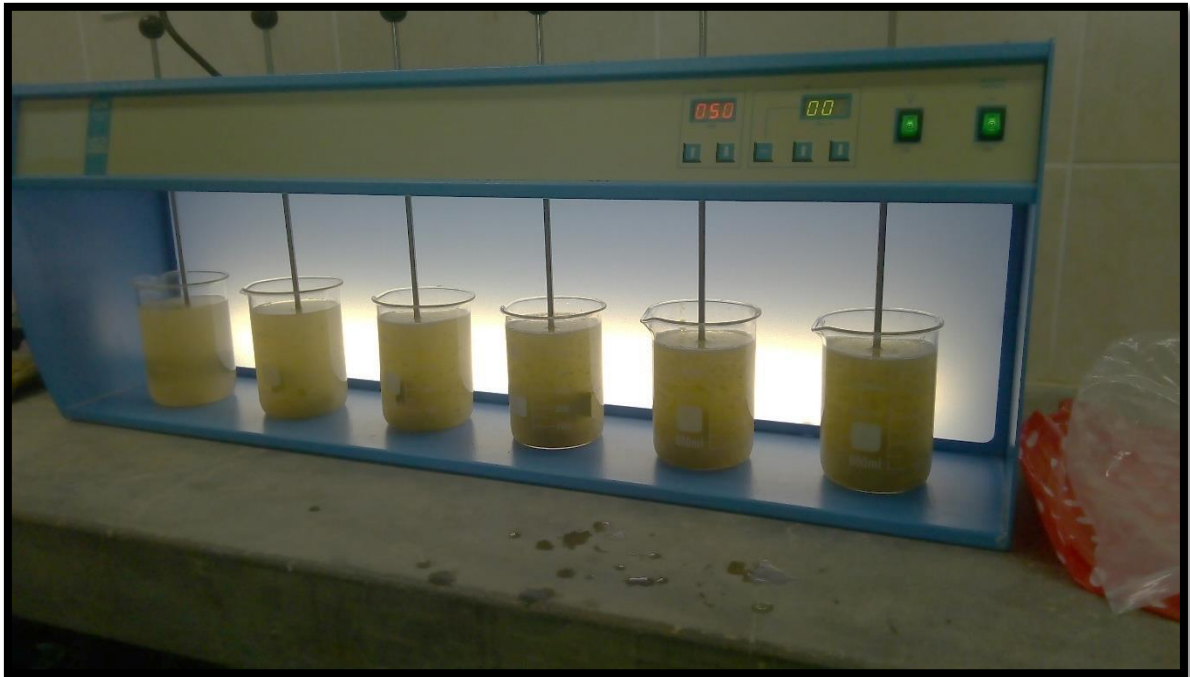


Foto N° 11. Proceso de floculación, haciendo uso del equipo de Test de jarras.

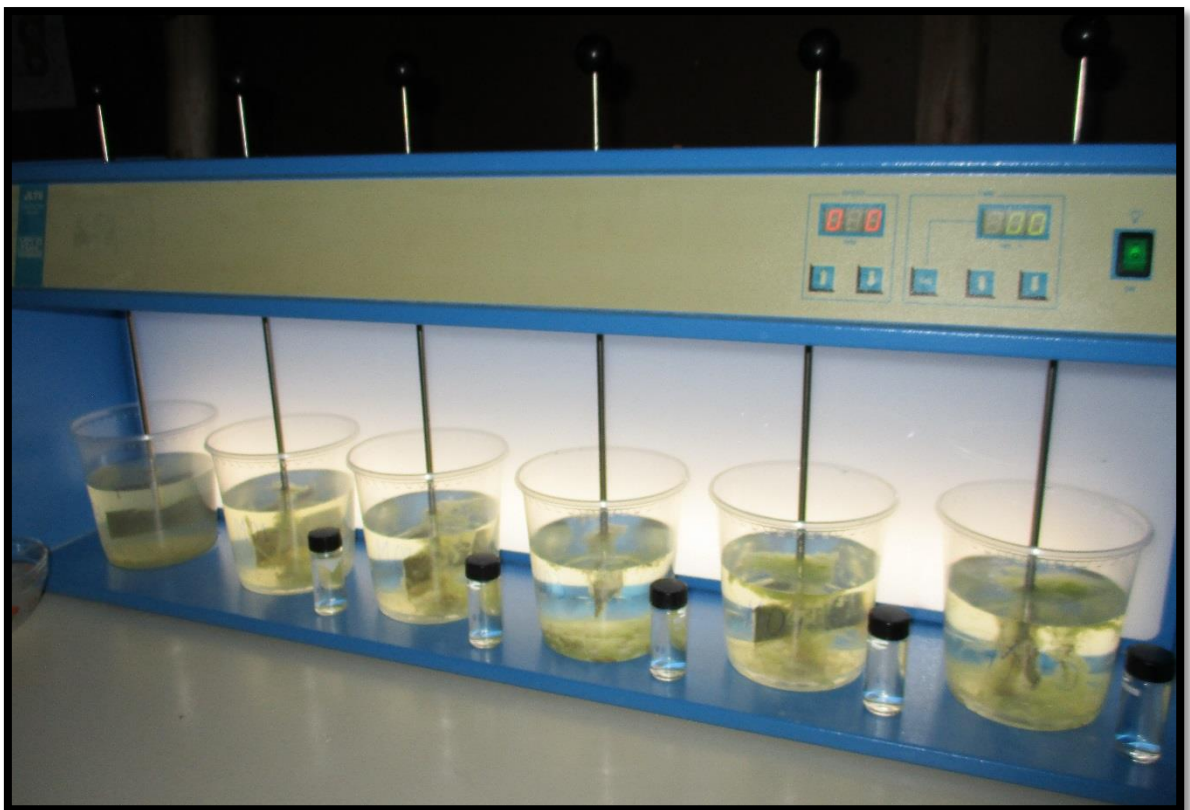


Foto N° 12. Resultados del agua turbia procesada con ambos floculantes





**Foto N° 13. Toma de la muestra del agua en solución.**



**Foto N° 14. Medición de las Unidades Nefelométricas de Turbidez en el Turbidímetro (Equipo)**



Foto N° 15. Turbidez final del agua en las 3 pruebas del primer ensayo haciendo uso la Paleta de Tuna como floculante natural.



Foto N° 16. Turbidez final del agua en las 2 pruebas restantes del primer ensayo haciendo uso la Paleta de Tuna como floculante natural.





Foto N° 17. Turbidez final del agua en las 2 pruebas del segundo ensayo haciendo uso la Paleta de Tuna como floculante natural.



Foto N° 18. Turbidez final del agua en las 2 pruebas restantes del segundo ensayo haciendo uso la Paleta de Tuna como floculante natural.





Foto N° 19. Turbidez final del agua en las 2 pruebas del tercer ensayo haciendo uso la Paleta de Tuna como floculante natural.

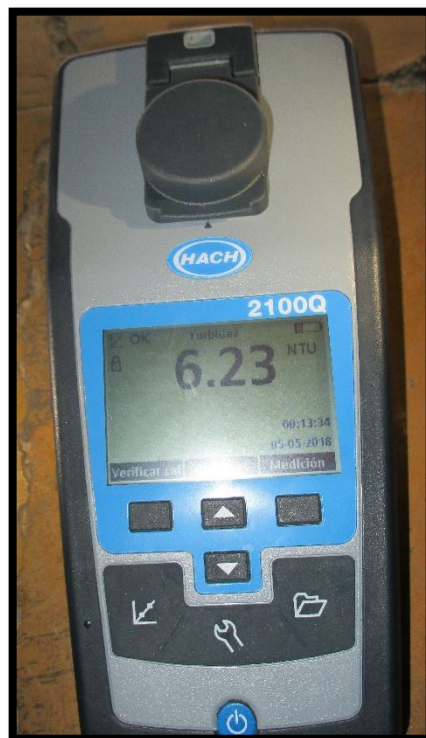


Foto N° 20. Turbidez final del agua en la última prueba del tercer ensayo haciendo uso la Paleta de Tuna como floculante natural.



Foto N° 21. Turbidez final del agua en la primera prueba del primer ensayo haciendo uso del ECOPOL CS 600 floculante comercial.



Foto N° 22. Turbidez final del agua en las 2 pruebas del segundo ensayo haciendo uso del ECOPOL CS 600 floculante comercial.



Foto N° 23. Turbidez final del agua en las 2 pruebas restantes del segundo ensayo haciendo uso del ECOPOL CS 600 floculante comercial.



Foto N° 24. Turbidez final del agua en las 2 pruebas del tercer ensayo haciendo uso del ECOPOL CS 600 floculante comercial.



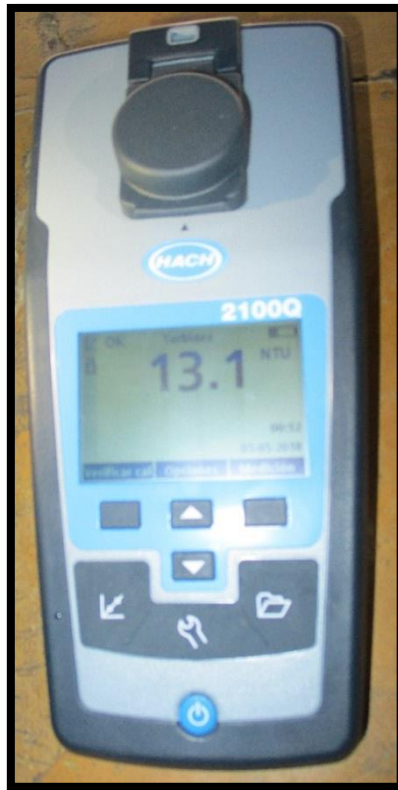


Foto N° 25. Turbidez final del agua en las 2 pruebas del tercer ensayo haciendo uso del ECOPOL CS 600 floculante comercial.

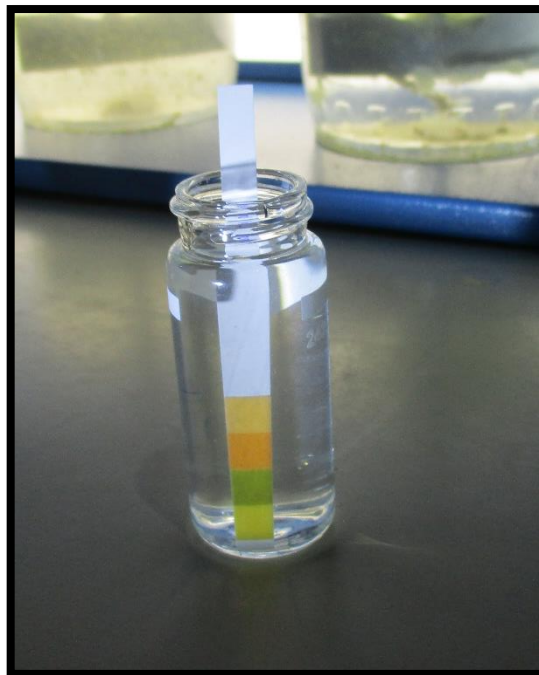
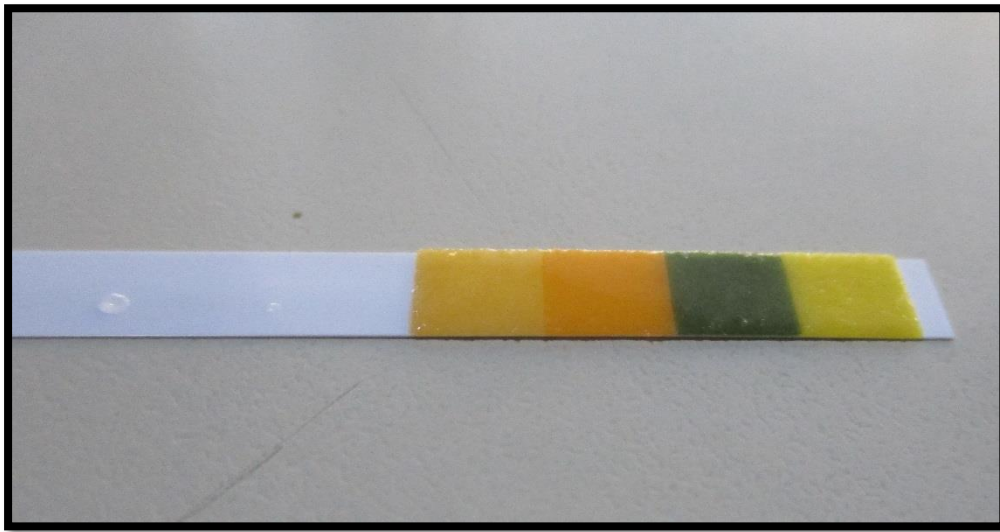
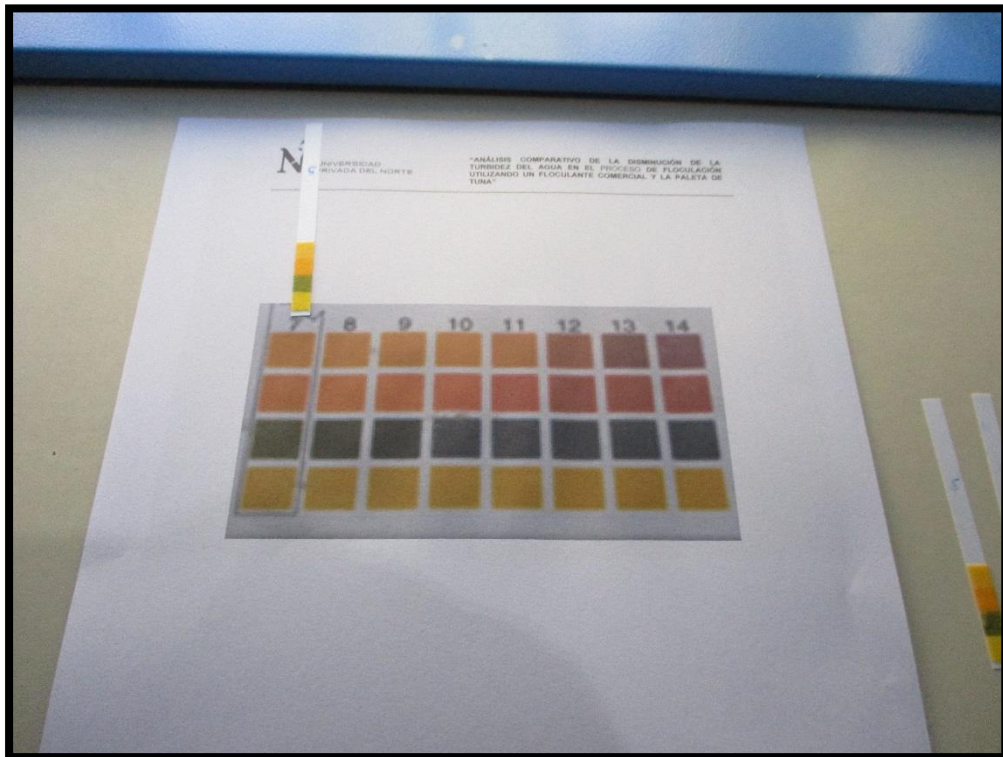


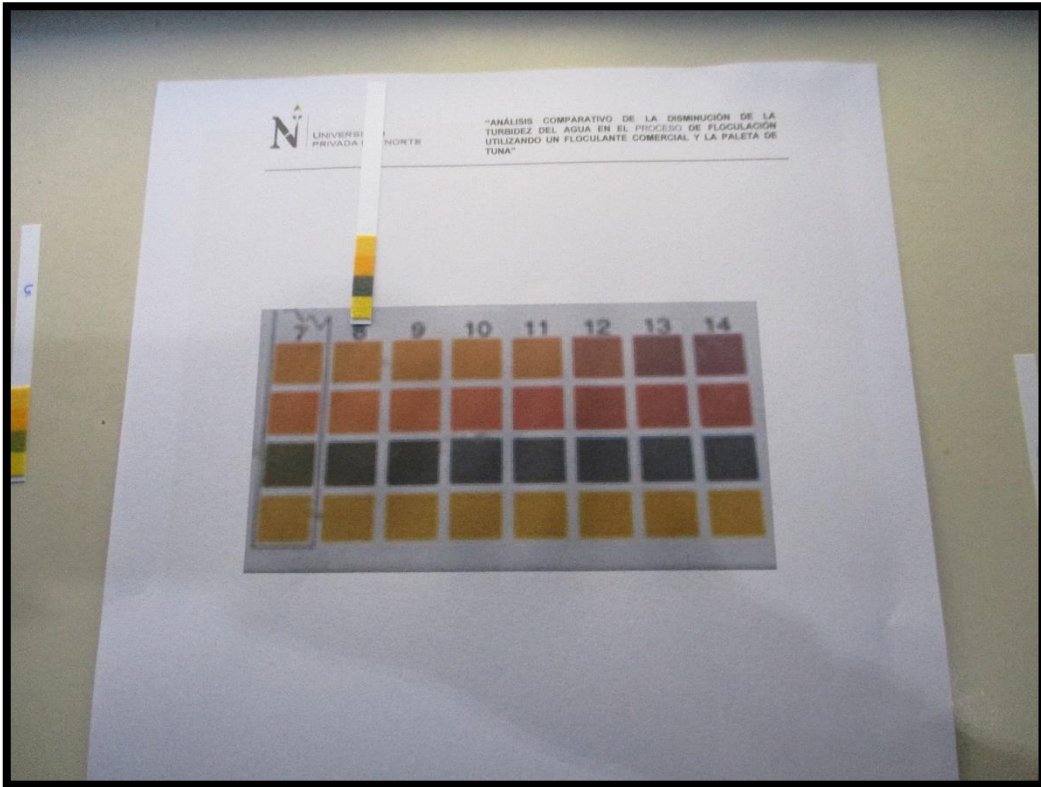
Foto N° 26. Medición del PH del agua en solución.



**Foto N° 27. Una vez tomada la muestra se deja secar.**



**Foto N° 28. Obtenemos la medida del Ph del agua en solución con un valor de 7.**



**Foto N° 29. Obtenemos la medida del Ph del agua en solución con un valor de 8.**

**ANEXO N° 03: Formatos de los ensayos.**



<b>LABORATORIO DE HIDRAULICA - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b>		<b>PROTOCOLO</b>	
<b>ENSAYO</b>	TEST DE JARRAS - FLOCULANTE NATURAL PENCA DE TUNA	CÓDIGO DEL ALUMNO: N00023759	
<b>FECHA:</b>	22 febrero del 2018	<b>HORA:</b>	09:20 a.m. - 12:10 pm
<b>PROYECTO</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA DISMINUCIÓN DE LA TURBIDEZ EN EL PROCESO DE FLOCULACIÓN UTILIZANDO UN FLOCULANTE COMERCIAL Y LA PALETA DE TUNA"		

N° Ensayo	RPM	N° Vaso de precipitación	1	2	3	4	5
1	50	Turbidez Inicial (NTU)	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00
		Dosificación Floculante (mg)	5.00	8.00	10.00	15.00	20.00
		Turbidez Final (NTU)	12.30	5.18	3.34	6.24	6.26
		Dosis Óptima (mg)	10.00				
2	60	Turbidez Inicial (NTU)		312.00	312.00	312.00	312.00
		Dosificación Floculante (mg)		8.00	10.00	15.00	20.00
		Turbidez Final (NTU)		4.94	11.10	6.72	10.50
		Dosis Óptima (mg)	8.00				
3	80	Turbidez Inicial (NTU)				304.00	304.00
		Dosificación Floculante (mg)				8.00	15.00
		Turbidez Final (NTU)				30.00	10.70
		Dosis Óptima (mg)	20.00				

**OBSERVACIONES:** Las pruebas se realizaron en vasos de precipitación de 600 ml, por lo que las dosificaciones se toman en esta relación (mg/600ml)

<b>DIRECTOR DE CARRERA</b>	<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>	<b>ASESOR</b>	<b>TESISTA</b>
Ing. Orlando Aguilar Aliaga	Tec. Víctor Cusco Minchan	Ing. Roger Cerquin Quispe	Bach. Verónica Milagros Godoy Briones
NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA
Fecha: 14/03/18	Fecha: 14/03/18	Fecha:	Fecha: 13/03/18





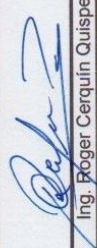
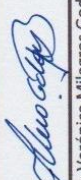
<b>LABORATORIO DE HIDRÁULICA - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b>		<b>PROTOCOLO</b>				
<b>ENSAYO</b>	TEST DE JARRAS - FLOCULANTE COMERCIAL ECOPOL CS 600				<b>CÓDIGO DEL ALUMNO: N00023759</b>	
<b>FECHA:</b>	22 de febrero del 2018				<b>HORA:</b> 09:20 a.m. - 12:10 pm	
<b>PROYECTO</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA DISMINUCIÓN DE LA TURBIDEZ EN EL PROCESO DE FLOCULACIÓN UTILIZANDO UN FLOCULANTE COMERCIAL Y LA PALETA DE TUNA"					

N° Ensayo	RPM	N° Vaso de precipitación	1	2	3	4	5
1	50	Turbidez Inicial (NTU)	315.00				
		Dosificación Floculante (mg)	5.00				
		Turbidez Final (NTU)	27.20				
		Dosis Óptima (mg)					
2	60	Turbidez Inicial (NTU)		312.00	312.00	312.00	312.00
		Dosificación Floculante (mg)		8.00	10.00	15.00	20.00
		Turbidez Final (NTU)		10.30	16.50	17.90	15.90
		Dosis Óptima (mg)	8.00				
3	80	Turbidez Inicial (NTU)		304.00		304.00	304.00
		Dosificación Floculante (mg)		8.00		15.00	20.00
		Turbidez Final (NTU)		21.40		19.80	13.10
		Dosis Óptima (mg)	20.00				

**OBSERVACIONES:** Las pruebas se realizaron en vasos de precipitación de 600 ml, por lo que las dosificaciones se toman en esta relación (mg/600ml)

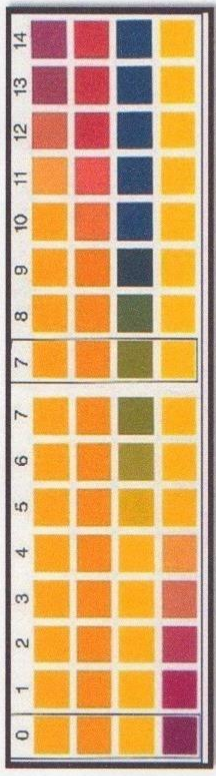
<b>DIRECTOR DE CARRERA</b>	<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>	<b>ASESOR</b>	<b>TESISTA</b>
 Ing. Orlando Aguilar Aliaga NOMBRE Y FIRMA	 Ing. Xeter Cusco Minchan NOMBRE Y FIRMA	 Ing. Roger Cerquín Quispe NOMBRE Y FIRMA	 Bach. Verónica Milagros Godoy Briones NOMBRE Y FIRMA
<b>Fecha:</b> 19/03/18	<b>Fecha:</b> 19/03/18	<b>Fecha:</b> 13/03/18	<b>Fecha:</b> 13/03/18



LABORATORIO DE HIDRÁULICA - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE			
<b>ENSAYO</b>	PROTOCOLO		CÓDIGO DEL
<b>FECHA:</b>	PH DEL AGUA EN SOLUCIÓN		ALUMNO: N00023759
	22 de febrero del 2018	HORA:	12:55 p.m.
<b>PROYECTO</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA DISMINUCIÓN DE LA TURBIDEZ EN EL PROCESO DE FLOCULACIÓN UTILIZANDO UN FLOCULANTE COMERCIAL Y LA PALETA DE TUNA"		


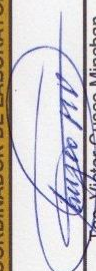
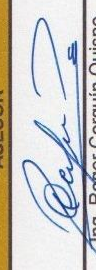

N° Ensayo	DOSIFICACIÓN (mg)	PH
1	5.00	7
	8.00	7
	10.00	7
	15.00	7
	20.00	7
2	8.00	8
	10.00	8
	15.00	8
	20.00	8
3	8.00	7
	15.00	7
	20.00	7

< 7	7	> 7
ÁCIDAS	NEUTRAS	ALCALINAS

**OBSERVACIONES:** De las soluciones de agua obtenemos que su PH es neutro.

DIRECTOR DE CARRERA	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR	TESISTA
 Ing. Orlando Aguilar Aliaga NOMBRE Y FIRMA	 Ing. Víctor Cusco Minchan NOMBRE Y FIRMA	 Ing. Roger Cerquin Quispe NOMBRE Y FIRMA	 Bach. Verónica Milagros Godoy Briones NOMBRE Y FIRMA
Fecha: 14/03/18	Fecha: 14/03/18	Fecha: 13/03/18	Fecha: 13/03/18



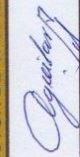
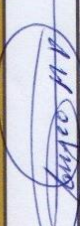


<b>LABORATORIO DE HIDRAULICA - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b>	
<b>PROTOCOLO</b>	
<b>ENSAYO</b>	<b>CÓDIGO DEL ALUMINO: N00023759</b>
<b>FECHA:</b>	<b>HORA:</b>
22 de febrero del 2018	12:30 p.m.
<b>PROYECTO</b>	
"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA DISMINUCIÓN DE LA TURBIDEZ EN EL PROCESO DE FLOCULACIÓN UTILIZANDO UN FLOCULANTE COMERCIAL Y LA PALETA DE TUNA"	

N° Ensayo	PESO BRUTO (g)	PESO PELADO (g)	CANTIDAD DE FLOCULANTE NATURAL (mg)
1	667.00	234.70	2127000.00
2	445.00	146.50	1255000.00
3	460.70	152.20	1263000.00

**OBSERVACIONES:** Para obtener mejores resultados la pulpa de la penca de tuna debe ser rallada

<b>DIRECTOR DE CARRERA</b>	<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>	<b>ASESOR</b>	<b>TESISTA</b>
 Ing. Orlando Aguilar Aliaga NOMBRE Y FIRMA	 Tec. Victor Cusco Minchan NOMBRE Y FIRMA	 Ing. Roger Cerquin Quispe NOMBRE Y FIRMA	 Bach. Verónica Milagros Godoy Briones NOMBRE Y FIRMA
<b>Fecha:</b>	<b>Fecha:</b>	<b>Fecha:</b>	<b>Fecha:</b>
14/03/18	14/03/18	13/03/18	13/03/18