



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

**“DETERMINACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN ÓPTIMA DE  
OPUNTIA PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA CRUDA DEL  
CANAL AZUCAR – RIO VERDE”**

**PROYECTO PRÁCTICO DEL EXAMEN COMPLEXIVO  
“CASO PRÁCTICO”**

**AUTOR:**

**GÓMEZ GONZÁLEZ LUIS JOSÉ**

**TUTOR:**

**ING. RAMÍREZ PALMA RICHARD IVÁN. MSc**

**La Libertad, Ecuador**

**(2021)**

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

---

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

**“DETERMINACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN ÓPTIMA DE  
OPUNTIA PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA CRUDA DEL  
CANAL AZUCAR – RIO VERDE”**

**PROYECTO PRACTICO DEL EXAMEN COMPLEXIVO  
“CASO PRÁCTICO”**

**AUTOR:**

**GÓMEZ GONZÁLEZ LUIS JOSÉ**

**TUTOR:**

**ING. RAMÍREZ PALMA RICHARD IVÁN. MSc**

**LA LIBERTAD – ECUADOR**

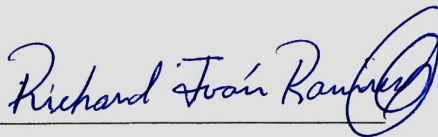
**(2021)**

# TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



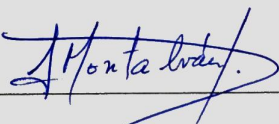
Ing. Jonny Raul Carlos Villao Borbor

DIRECTOR DE CARRERA



Ing. Richard Iván Ramírez Palma

DOCENTE TUTOR



Ing. Francisco Javier Montalván Toala

DOCENTE ESPECIALISTA



Ing. Lucrecia Cristina Moreno Alcívar

SECRETARIA DEL TRIBUNAL

*Dedico este trabajo a mi padre Celestial, quién me dio la sabiduría y la inteligencia para poder darlo por culminado, a mis padres y hermano, quienes me apoyaron en todo momento. Con mucho esfuerzo y perseverancia lo he conseguido. Y esto es por ustedes.*

# CARTA DE ORIGINALIDAD

**Ing. Jonny Raúl Carlos Villao Borbor, MSc.**  
**Director de la Carrera de Ingeniería Civil**  
**Universidad Estatal Península de Santa Elena**

Cumpliendo con los requisitos exigidos, envío a Ud. La tesina titulada, “Determinación De La Dosificación Óptima De Opuntia Para La Potabilización Del Agua Cruda Del Canal Azúcar – Río Verde”, para que se considere la Sustentación, señalando lo siguiente:

1. La investigación es original.
2. No existen compromisos ni obligaciones financieras con organismos estatales ni privados que puedan afectar el contenido, resultados o conclusiones de la presente Investigación.
3. Constatamos que la persona designada como autor es el responsable de generar la versión final de la investigación.
4. El Tutor certifica la originalidad de la investigación y el desarrollo de la misma cumpliendo con los principios éticos.

**Autor:** Gómez González Luis José

**Firma:** 

**N.º de Cédula:** 2400080657

**Correo:** luis.gomezgonzalez@upse.edu.ec – lugogo16@hotmail.com

**Tutor:** Ing. Ramírez Palma Richard Iván MSc.

**Firma:** 

**N.º de cédula:** 0912248451

**Correo:** rramirez@upse.edu.ec

# AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento primordial va dirigido a Dios, mi Padre Celestial, quien me bendijo, con sabiduría, inteligencia, salud y puso cada una de las virtudes que me llevaron hasta este momento a cumplir uno de mis más grandes sueños y objetivos.

Mi más sincero agradecimiento a mis padres y hermano, quienes con su apoyo incondicional, su mano amiga, su consejo, y su direccionamiento, he logrado ser la persona que soy, cumpliendo una gran meta.

Agradezco a toda mi familia en general, quienes de alguna u otra manera me apoyaron y motivaron a seguir adelante luchando por mis ideales.

Agradezco a mi tutor el Ing. Richard Ramírez, quien con su orientación y su amplio conocimiento impartido he logrado completar este trabajo que me tomó mucho esfuerzo.

Agradezco también a las autoridades de mi carrera, que al presentármese muchos problemas en mi proceso de titulación me supieron dar apoyo para que mi tema sea aprobado y trabajado.

Agradezco también a las autoridades de la empresa pública mancomunada AGUAPEN E.P., el gerente Ing. Edison Loaiza, y la coordinadora de calidad y ambiente la Ing. Ángela Rivas, por la oportunidad brindada de poder realizar mi estudio en las instalaciones del laboratorio de calidad de la planta potabilizadora Atahualpa.

Agradezco también a los ingenieros analistas del control de calidad y demás trabajadores de la planta potabilizadora Atahualpa quienes con su conocimiento aportaron en gran parte a este estudio, en especial al Ing. José Luis Chancay, a la Ing. Mónica Armas, al Ing Byron Suárez y al Sr. Homero León.

Es muy grato para mí agradecerles de todo corazón, y poder decir. Lo logré, lo conseguí.

# TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
CONTRAPORTADA.....	i
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	ii
CARTA DE ORIGINALIDAD.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
TABLA DE CONTENIDO.....	vi
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento Del Problema.....	2
1.2. Justificación Del Problema.....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivo Específico.....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
2.1. Fundamentación Teórica.....	5
2.2. Proceso De Potabilización Del Agua.....	6
2.2.1. Etapas del proceso de potabilización.....	7
2.3. Etapa De Coagulación – Floculación.....	9
2.4. Coagulantes Más Usados.....	12
2.4.1. Sulfato De Aluminio “Al <sub>2</sub> (So <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ”.....	12
2.4.2. Sulfato De Hierro “FeSO <sub>4</sub> ”.....	13
2.4.3. Cloruro De Hierro “FeCl <sub>3</sub> ”.....	14
2.4.4. Policloruro De Aluminio (PAC) “Al <sub>2</sub> (OH) <sub>3</sub> Cl”.....	15
2.5. Parámetros Fisico – Químicos.....	16
2.6. Opuntia.....	17

2.6.1. Breve Reseña Histórica .....	17
2.6.2. Descripción De La Opuntia.....	19
2.6.3. Características Funcionales, Ventajas Y Desventajas De La Opuntia.....	23
2.6.4. Análisis fisicoquímico de la Opuntia .....	24
2.6.5. Costo promedio de producción de Opuntia.....	25
2.6.6. Estudios Relacionados Con El Uso De La Opuntia. ....	27
<b>CAPÍTULO III: DETERMINACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN ÓPTIMA DE OPUNTIA PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA CRUDA DEL CANAL AZUCAR – RIO VERDE. ....</b>	<b>28</b>
3.1. Recolección De Muestras.....	28
3.1.1. Población.....	28
3.1.2. Muestra.....	28
3.2. Coagulante Opuntia.....	28
3.3. Pruebas .....	29
3.3.1. Prueba De Jarras.....	29
3.4. Análisis Físico-Químicos De Las Muestras.....	31
3.4.1. Turbiedad. ....	31
3.4.2. Color.....	32
3.4.3. Conductividad Eléctrica. ....	32
3.4.4. Potencial de Hidrógeno (pH). ....	33
3.4.5. Temperatura. ....	34
3.4.6. Salinidad.....	34
3.4.7. Sólidos totales disueltos. ....	34
3.5. Análisis, metodología y Resultados. ....	35
3.5.1. Parámetros Agua Cruda. ....	35
3.5.2. Requisitos Para El Agua Potable. ....	38
3.5.3. Metodología. ....	40
3.5.4. Resultados. ....	41
<b>CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>50</b>
4.1. Conclusiones .....	50
4.2. Recomendaciones.....	51
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>56</b>



## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Clasificación de los coadyuvantes. ....	10
<b>Tabla 2:</b> Clasificación de las partículas, dispersiones o disoluciones sólidas según su tamaño. ....	11
<b>Tabla 3:</b> Características funcionales de la opuntia. ....	23
<b>Tabla 4:</b> Ventajas y desventajas de la Opuntia. ....	24
<b>Tabla 5:</b> Opuntia – Análisis Físicoquímico. ....	24
<b>Tabla 6:</b> Costo de producción promedio de Opuntia por kg. ....	26
<b>Tabla 7:</b> Requisitos para el agua de consumo humano. ....	39
<b>Tabla 8:</b> Datos para obtención de la concentración del mucílago. ....	41
<b>Tabla 9:</b> Parámetros físicos-químicos iniciales del agua cruda del canal Azúcar-Río Verde . ....	42
<b>Tabla 10:</b> Parámetros físico-químicos iniciales del agua cruda del canal Azúcar-Río Verde mezclada con cloro. ....	43
<b>Tabla 11:</b> Resultados de mucílago con polímero en agua cruda. ....	43

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Proceso convencional para la potabilización del agua. ....	9
<b>Figura 2:</b> Sulfato de Aluminio. ....	13
<b>Figura 3:</b> Sulfato de hierro. ....	14
<b>Figura 4:</b> Cloruro de hierro. ....	15
<b>Figura 5:</b> Policloruro de aluminio (PAC). ....	16
<b>Figura 6:</b> Utilización de la Opuntia en el emblema de guerra Tenochtitlan. ....	18
<b>Figura 7:</b> Primeras ilustraciones del nopal u Opuntia y sus subespecies en 1536... ..	19
<b>Figura 8:</b> Plantaciones de Opuntia en hileras. ....	19
<b>Figura 9:</b> Morfología del cladodio de la opuntia. ....	21
<b>Figura 10:</b> Turbiedad mensual del agua cruda del canal Azúcar-Río Verde en el 2021. ....	36
<b>Figura 11:</b> Color mensual del agua cruda del canal Azúcar-Río Verde en el 2021..	36

<b>Figura 12:</b> pH mensual del agua cruda del canal Azúcar-Río Verde en el 2021.....	37
<b>Figura 13:</b> Conductividad eléctrica mensual del agua cruda del canal Azúcar-Río Verde en el 2021..	37
<b>Figura 14:</b> Salinidad mensual del agua cruda del canal Azúcar-Río Verde en el 2021..	38
<b>Figura 15:</b> TDS mensual del agua cruda del canal Azúcar-Río Verde en el 2021...	38
<b>Figura 16:</b> Porcentaje de remoción de turbidez en agua cruda del canal Azúcar-Río Verde.....	45
<b>Figura 17:</b> Porcentaje de remoción de color en agua cruda del canal Azúcar-Río Verde.....	45
<b>Figura 18:</b> Comparativa del valor base de turbidez en el agua cruda-cloro con el coagulante y el polímero.....	46
<b>Figura 19:</b> Comparativa del valor base del color en el agua cruda-cloro con el coagulante y el polímero.....	46
<b>Figura 20:</b> Comparativa del valor base del pH en el agua cruda-cloro con el coagulante y el polímero.....	47
<b>Figura 21:</b> Comparativa del valor base de la conductividad eléctrica en el agua cruda-cloro con el coagulante y el polímero.....	47
<b>Figura 22:</b> Comparativa del valor base de la salinidad en el agua cruda-cloro con el coagulante y el polímero.....	48
<b>Figura 23:</b> Comparativa del valor base de los sólidos totales disueltos en el agua cruda-cloro con el coagulante y el polímero.....	48
<b>Figura 24:</b> Comparativa del valor base de la temperatura en el agua cruda-cloro con el coagulante y el polímero.....	49

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Recolección de los cladodios de Opuntia.....	56
<b>Anexo 2:</b> Cladodios de opuntia peladas.....	56
<b>Anexo 3:</b> Lugar de toma de muestras de agua anexo al laboratorio de calidad de la planta potabilizadora Atahualpa.....	56

<b>Anexo 4:</b> Colocación de las muestras para el test de jarras en su respectivo equipo .	57
<b>Anexo 5:</b> Opuntia cortada y almacenada con agua destilada para extracción de mucílago.....	57
<b>Anexo 6:</b> Extracción del mucílago de opuntia.....	58
<b>Anexo 7:</b> Luis Gómez (autor) dosificando el mucílago en jeringas para el test de jarras.	58
<b>Anexo 8:</b> Equipo de medición de pH y temperatura.....	58
<b>Anexo 9:</b> Medición de color en su respectivo equipo. ....	59
<b>Anexo 10:</b> Medición de turbidez de agua potable en su respectivo equipo.....	59
<b>Anexo 11:</b> Equipo muti parámetro para salinidad, TDS, conductividad.....	59
<b>Anexo 12:</b> Agua con flocs formados a partir de opuntia junto al polímero. ....	60
<b>Anexo 13:</b> Flocs decantados a los 30 minutos de sedimentación.....	60
<b>Anexo 14:</b> Flocs en el agua cruda mezclada.....	60
<b>Anexo 15:</b> Esquema de instalaciones del sistema de abastecimiento de agua potable Aguapen E.P.....	61
<b>Anexo 16:</b> Programación del test de jarras.....	61
<b>Anexo 17:</b> Resultado del test de jarras en el primer día de prueba.....	61
<b>Anexo 18:</b> Resultado en el segundo y tercer día de prueba.....	62
<b>Anexo 19:</b> Resultados en el cuarto y quinto día de prueba.....	62
<b>Anexo 20:</b> Resultados en el sexto día de prueba. ....	62
<b>Anexo 21:</b> Criterios de calidad para aguas naturales del TULSMA. ....	63
<b>Anexo 22:</b> Criterios de calidad para el agua potable – NTE INEN 1108.....	63

“DETERMINACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN ÓPTIMA DE  
OPUNTIA PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA CRUDA DEL  
CANAL AZUCAR – RIO VERDE”

**Autor:** Gómez González Luis José

**Tutor:** Ramírez Palma Richard Iván

## RESUMEN

El estudio realizado fue enfocado a la Opuntia, al mucílago extraído a partir de esta planta, a la acción que produce en el agua que lleva el canal Azúcar - Río Verde hacia la planta potabilizadora Atahualpa, ubicada en la provincia de Santa Elena y al hallazgo de una dosis óptima como coagulante alternativo natural; siendo esta una especie cactácea, con diversos usos, incluido su manejo en la potabilización del agua para consumo y uso humano. Se consiguió el mucílago de Opuntia a partir de cladodios jóvenes de aproximadamente 1 año, cladodios de morfología gruesa y en buen estado para obtener los mejores resultados en cuanto al mucílago. Se obtuvo diversos resultados que conllevaron a tomar alternativas de dosificación, variando cada una de ellas y teniendo rangos superiores a 500 ppm e inferiores a 100 ppm, e intermedios; los resultados con el uso de la Opuntia, fueron favorables sin embargo no con la eficacia esperada debido a que las turbiedades iniciales del agua cruda son muy pequeñas. Dentro del estudio se analizó el uso de la Opuntia junto con el agua cruda, mezclada con cloro; y se le agregó polímero catión para favorecer la acción del coagulante; teniendo como resultado la dosificación óptima.

**Palabras Claves:** *Opuntia, Agua, Potabilización, Dosificación, Coagulante, Polímero.*

“DETERMINATION OF THE OPTIMAL DOSAGE OF OPUNTIA  
FOR THE PURIFICATION OF RAW WATER FROM THE CANAL  
AZUCAR – RIO VERDE”

**Author:** Gómez González Luis José

**Tutor:** Ramírez Palma Richard Iván

## **ABSTRACT**

The study carried out was focused on the Opuntia, the mucilage extracted from this plant, the action it produces on the water carried by the Azúcar - Río Verde canal to the Atahualpa water treatment plant, located in the province of Santa Elena, and the finding of an optimal dose as a natural alternate coagulant; this being a cactus species, with various uses, including its management in the purification of water for human consumption and use. Opuntia mucilage was obtained from young cladodes approximately 1 year old, cladodes with thick morphology and in good condition to obtain the best results in terms of mucilage. Various results were obtained that led to taking dosage alternatives, varying each one of them and having ranges greater than 500 ppm and less than 100 ppm, and intermediate; The results with the use of Opuntia were favorable, however, not with the expected efficacy, since the initial cloudiness of the raw water is very small. Within the study, the use of Opuntia was analyzed together with raw water, mixed with chlorine; and polymer cation was added to favor the action of the coagulant; resulting in the optimal dosage.

***Keywords: Opuntia, Water, Purification, Dosage, Coagulant, Polymer.***

# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Durante el pasar de los años y el avance de las tecnologías que conllevan a mejores estudios y experimentos, se ha tornado esencial que la calidad de uno de los elementos básicos de subsistencia para el ser humano tal como lo es el agua, tenga una certificación y una confiabilidad alta ante su uso y consumo.

El agua es considerada un elemento vital para el ser humano y por tal designación es que se la potabiliza con el fin de dar una buena calidad de vida mediante el agua pura. Como lo menciona Chávez (2018, p. 304), el agua y su calidad tienen una estrecha relación con el bienestar humano y el desarrollo sostenible de los pueblos o comunidades ya que todos estos factores se fortifican y complementan mutuamente por el mismo motivo de ser una prioridad sanitaria desde siempre. Cabe mencionar que la potabilización del agua, o la calidad del mismo ha sido un tema de mucha discusión en el transcurso de las décadas, tal es que diversos congresos se han realizado con el fin de tratar efectivamente aquella preocupación de dar una mejor calidad de vida hacia los humanos, y obteniendo esto a partir del tratamiento óptimo del agua.

Los estándares en calidad de la potabilización no llegan a alcanzar niveles altos en los países sub desarrollados, sin embargo ese esfuerzo incansable de lograr una óptima potabilización sigue intacto, esto debido a que como lo menciona Briñez, Guarnizo, and Arias (2012, p. 176) el agua es un factor determinante en las condiciones de salud y como tal, de acuerdo a su calidad puede ser preventiva o causante de diversas enfermedades hídricas muy perjudiciales para los seres humanos ya que lo que se espera es retirar y mantener el porcentaje óptimo de metales u otras sustancias y microorganismos existentes en el agua en su estado natural. Los gobiernos y las demás autoridades son los encargados de velar por sus habitantes en dar aquellas seguridades en cuanto a su salud, dando la mayor parte de beneficios proporcionando agua limpia y saludable, ya que con este accionar se reduce los niveles de riesgo ante la presencia de organismos u agentes patológicos en el agua que sean perjudiciales. Entonces como

lo asevera Jouravlev (2004, p. 6), al disminuir los niveles de riesgo en salud, los costos globales destinados para el mismo factor disminuyen, y esto conlleva a un incremento en la productividad en general por el mismo hecho de tener habitantes saludables. Como consecuencia de todo esto cabe recalcar que también causa una estabilización política a las naciones, donde existe esa problemática latente de no brindar una buena calidad de vida a sus habitantes mediante este recurso hídrico. Como lo ratifica Pullés (2014, p. 26), la OMS documenta al agua potable como imponderable para las personas, esto en todos sus ámbitos como por ejemplo para el consumo, también para su diversidad de usos, incluyendo también la higiene personal, ya que al haber pasado por ese proceso de purificación o potabilización se vuelve un recurso indispensable y seguro.

### **1.1. Planteamiento Del Problema**

El agua como recurso hídrico es fundamental en el bienestar del ser humano, por lo que conlleva a un incansable esfuerzo por conseguirla en una excelente calidad para su uso o consumo, y para llevarlo a cabo, el agua en su estado natural o dicho de otra forma, el agua cruda debe pasar por un proceso de potabilización para que sea idónea. De tal manera es que se aplica el uso de materiales químicos sintéticos tal como lo es el sulfato de aluminio que facilita el procedimiento de purificación.

El aluminio es un metal muy común y es el elemento de mayor uso en la potabilización; se lo puede encontrar en cualquier parte del ecosistema y la ingesta de este compuesto se lo atribuye a diferentes formas desde la alimentación, hasta el agua potable donde a partir de los porcentajes residuales es absorbido. Léo, Lima, Paulo, and Duarte (2009, p. 4) sostienen que el aluminio presente en las aguas de consumo humano, en un período largo pueden causar la enfermedad conocida como el Alzheimer o EA., esta enfermedad es neurodegenerativa o una alteración en las zonas nerviosas del cerebro, que si bien puede ser por causas genéticas, también puede ocurrir por una exposición a compuestos químicos tal como el mencionado; todos estos resultados fueron basados en estudios ya realizados en las décadas del 60 hasta el 80. EcoTecnologías (2019) describe que el aluminio presente en el agua potable es un peligro para la salud de los seres humanos y se basa en la investigación del experto inglés Christopher Exley,

quien hace aproximadamente hace 32 años, descubrió con experimentos que con la mínima cantidad de 0,2 mg de aluminio disuelto por cada litro de agua era más que suficiente para matar a una especie de pez llamada alevines. También demostró que con dosis no letales del compuesto, otra especie de pez llamado salmón, perdía su orientación por motivos de su ingesta. Por último, se atribuye a la presencia del aluminio en el agua como un factor causante del escándalo mundial de demencia por diálisis en la década de los 80. Otros estudios según lo destaca Matías-Cervantes, López-León, Matías-Pérez, García-Montalvo, and Results (2018) han reportado aluminio en el cerebro de enfermos del Alzheimer, así como también en personas que padecían de encefalopatías cuyo ámbito laboral estaba estrechamente relacionada a la industria del aluminio.

## **1.2. Justificación Del Problema**

Este estudio tiene como base fundamental y finalidad la determinación de una dosis óptima de la Opuntia, siendo esta una planta que ofrece diversos beneficios, que van desde la salud hasta su uso común como coagulante natural en el proceso de potabilización del agua con el fin del uso doméstico y consumo humano. A su vez se vuelve imprescindible y necesario el estudio de la Opuntia como una alternativa hacia los coagulantes realizados a partir de compuestos químicos (coagulante de base metálica como el aluminio), utilizados en la actualidad ya que al ser un producto natural este resulta amigable al medio ambiente y por supuesto aceptable en el reemplazo de los mismos. Esto se debe a que como lo deduce Verbe, Mendoza, Martínez, Camargo, and Gazabón (2014, p. 70), las elevadas concentraciones de productos químicos en el agua potable tales como las sales de aluminio y férricos, tienen consecuencias en la salud de los seres humanos.

La Organización Mundial de la Salud OMS. (1995, pp. 247, 248) asevera un valor referencial de aluminio residual en base a las guías para la calidad del agua, que es de 0,2 mg/L y menores, valores impuestos como un compromiso ante la medida y uso de las sales de aluminio. Pero a su vez resulta contraproducente ya que las normas actuales no los consideran, y se hace aludible su reemplazo con coagulantes naturales



como la Opuntia. Además la opuntia se adecúa conforme a los distintos ambientes ya sean estos áridos y por supuesto no muy fríos, por lo que tomando en cuenta el ecosistema de la provincia resulta muy factible ya que es muy fácil de cultivar y no necesita de mucha agua para su subsistencia por sus propiedades absorbentes y de retención de líquidos, lo que hace a estas plantas resistentes a las sequías y vulnerables a alto niveles de humedad. Al mencionar a la Opuntia como sustitución por aquellos productos químicos utilizados en el proceso de potabilización del agua, se analiza el beneficio tanto saludable como económico, ya que se evitan también gastos en importaciones, almacenamiento, producción y mantenimiento de los productos químicos sintéticos, obteniendo así una mejor calidad de vida para la comunidad de la provincia de Santa Elena y por lo tanto para la población ecuatoriana.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo General***

- Determinar la dosificación óptima de Opuntia para la potabilización del agua cruda del canal Azúcar – Rio verde.

#### ***1.3.2. Objetivo Específico***

- Recopilar la información científica sobre los potenciales beneficios de la utilización de la Opuntia como un coagulante natural alternativo en la potabilización del agua.
- Caracterizar el agua cruda que abastece a la planta potabilizadora Atahualpa y del agua potable que se distribuye.
- Determinar las características del agua con el uso de la Opuntia (Físico, químico).
- Determinar la dosificación óptima del mucílago de la Opuntia para la potabilización del agua cruda.

# **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

## **REFERENCIAL**

### **2.1. Fundamentación Teórica**

El agua en su estado natural contiene sustancias que pueden ser orgánicas e inorgánicas, que si bien se las puede encontrar de forma disuelta, también en forma suspendida, donde algunas son perceptibles ante el ojo humano, pero otras forman parte del elemento vital. Entonces como lo describe Méndez Novelo et al. (2018, p. 52) el agua para su uso y consumo es fundamental por ello la importancia del abastecimiento de calidad del recurso hídrico para evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales.

Uno de los mayores temas de discusión en el planeta y planteado como problemática es la adquisición del agua que sea adecuada para las personas, con el fin de su subsistencia, como bien sabemos las tres cuartas partes del planeta es agua, pero como lo afirma Jiménez Otárola (1999, p. 1) solo el 3% de ella corresponde al agua dulce, o el agua que es apta para el consumo humano. Y de manera distribuida de aquel porcentaje, el 70% corresponde a los polos; el 22% se encuentra en la superficie o en estado gaseoso y solamente el 0.01% conforma los ríos; porcentajes que son muy pequeños y van en decrecimiento contra la población que a diferencia va en aumento en todo el planeta. Es de saber que para la sociedad, los tratamientos de agua son de mucha importancia por el mismo hecho de que de esto depende la cantidad que se pueda consumir y por supuesto el bienestar y salud comunitaria. Desde la posición de Payares Ramos et al. (2020, pp. 88, 89), en Brasil, México y Colombia, se han efectuado estudios enfocados en tratamientos para la clarificación de las aguas, realizando comparativas entre coagulantes químicos sintéticos como el sulfato de aluminio y elementos de origen natural tales como las semillas de moringa, el almidón de yuca, llegaron a la determinación de que estos elementos coagulantes podrían suplir a los coagulantes químicos y brindar una ayuda en el tratamiento de las aguas

superficiales. El mismo resultado se ha visto en investigaciones sobre el uso del Nopal (*Opuntia*), verificando así su efectividad.

A juicio de Ortiz, Paz, and García (2013, p. 138), se ha buscado alternativas a estos compuestos químicos, durante la década de los setenta, en algunos países de Latinoamérica se planteó usar coagulantes naturales que fueran extraídos de especies vegetales o animales nativos. De tal manera es que con el pasar de los años se han realizado otros estudios que mencionan que el Nirmali (*Strychnos potatorum*), los granos de tostado de maíz (*Zea mays*), las curcas (piñón mexicano), la rosa de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) usados también como coagulantes naturales, proporcionan resultados que a diferencia de los productos químicos sintéticos, estos garantizan que no existan alteraciones del pH y la alcalinidad del agua que se trata.

Lédo et al. (2009, p. 4) postula que mucho antes, en décadas pasadas ya existían productos naturales que se usaban en la potabilización del agua, pero con el pasar de los años fueron surgieron los productos químicos sintéticos tales como las sales de aluminio y férricos, los coagulantes naturales usados y existentes eran de origen vegetal y mineral mismos que producen un resultado eficaz y similar al de aquellos productos químicos; mencionando que no tienen ninguna contraproducción en la salud de los seres humanos ante su uso.

## **2.2. Proceso De Potabilización Del Agua.**

El agua para su consumo y uso debe pasar por un proceso de purificación o potabilización que permita quitar o eliminar el mayor porcentaje de impurezas, microorganismo y sustancias nocivas presentes que hacen al agua un posible transmisor de enfermedades. Es muy fundamental que el agua pase por este proceso ya que el porcentaje del líquido apto para el consumo en el planeta es muy bajo y es esencial que esté al alcance de todos los seres humanos. El agua desde la posición de ACCIONA (2020) se la lleva a un proceso de purificación en una planta o conocida también como estación de tratamiento de agua potable (ETAP), lugar específico en el que se la trata y se la optimiza para la población. Los procesos pueden variar según sea la fuente de donde se la obtiene, que bien puede ser desde la superficie a partir de

ríos, lagos o reservorios de agua provenientes de diferentes fuentes como el océano sin embargo los procesos se vuelven más complejos y costosos.

### ***2.2.1. Etapas del proceso de potabilización***

El proceso convencional de potabilización se basa en un procedimiento de tratamiento físico-químico mismo que consta de 5 etapas básicas por las que se logra purificar el agua hasta en un 99%. Estas 5 etapas comprenden diferentes procedimientos que se deben llevar a cabo con el rigor adecuado. Las 5 etapas son las siguientes: captación, bombeo, pre-tratamiento, tratamiento y el bombeo al consumidor mismas que serán detalladas.

- a. Captación.** Esta etapa consiste en captar el agua cruda que se va a tratar de la fuente de la que se abastece la ETAP.
- b. Bombeo.** Como su nombre lo indica, consiste en bombear toda el agua captada hacia la planta potabilizadora, donde se efectuara el proceso correspondiente.
- c. Pre-tratamiento.** Este proceso consiste en la eliminación de partículas sólidas de tamaño grande, en esta etapa se suele colocar una reja que evite el paso de peces, ramas o rocas pero también suele suceder que en algunas ETAP llevan un sub-procedimiento basado en 4 pasos.
  - Desarenador: Se encarga de remover material sedimentable.
  - Pre-oxidación: Se realiza una oxidación del material orgánico presente en las aguas, también los metales disueltos y la remoción del olor y sabor de la misma agua.
  - Absorción: Añadidura de carbón activado, elemento que funciona en la remoción de materia o sustancias disueltas.
  - Pre-alcalinización: Adición de ceniza de soda, cal hidratada o soda cáustica, con el fin de que la alcalinidad del agua sea la adecuada antes del proceso de coagulación.

- d. Tratamiento.** Este proceso se subdivide en 6 pasos fundamentales.

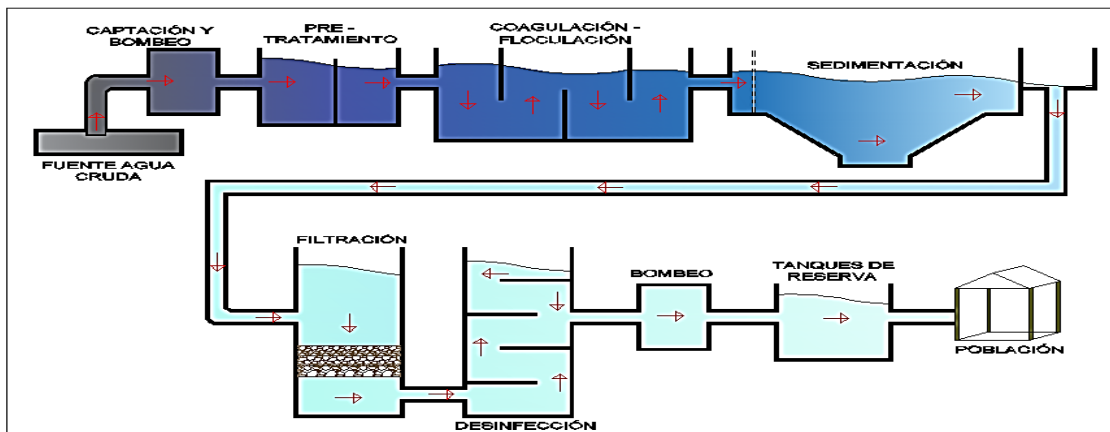
- **Coagulación:** consiste en la transportación del agua hasta la cámara donde se incorporan las sustancias como el sulfato de aluminio que neutraliza las partículas, y que a partir de una agitación intensa el coagulante tiende a mezclarse con el agua.
- **Floculación:** Se produce una agitación más lenta con la finalidad de que las partículas logren unirse tomando un mayor tamaño y peso; a esto se le llama floculo. Entonces cabe destacar que dentro de este proceso y de su antecesor se produce el ajuste del pH del agua.
- **Decantación:** En este proceso se realiza una separación mediante gravedad de las partículas que se encuentran suspendidas en el agua y que han sido transportadas durante las etapas previamente realizadas. El decantador separa las partículas más densas, aquellas partículas se quedan en el fondo y son eliminadas.
- **Filtración:** Este procedimiento consiste en la eliminación de las partículas o sedimentos que aún se encuentran en el agua, aquellas que son menos densas; y se lo logra mediante el paso del agua por un medio poroso. Durante este proceso se logra purgar el agua de toda impureza. Los filtros pueden variar según el agua que se está potabilizando y también de la ETAP.
- **Desinfección:** La desinfección como lo asegura BBVA - Banco Bilbao Vizcaya Argentaria (2021) consiste en la adición de un elemento desinfectante al agua tratada, el más usado es el cloro, pero también se suele utilizar dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), rayos ultravioletas u ozono con la finalidad de poder eliminar cualquier tipo de bacteria o virus que sea imperceptible.
- **Análisis:** Como último procedimiento en la ETAP se verifica, analiza y comprueba que el agua, cumpla con los parámetros físicos, químicos y microbiológicos acorde a aquellos impuestos mediante legislación por un país o provincia.

**e. Distribución O Bombeo Al Consumidor:** En este proceso se distribuye y bombea el agua desde la planta hacia los reservorios de agua potabilizada para finalmente, enviarla a los consumidores en la ciudad.

Es necesario mencionar la existencia de los laboratorios de control de calidad, dentro de las ETAP mismos que permiten la fiscalización del procedimiento de potabilización durante todo el proceso con la toma de muestras tal y como lo explica (Uruguay, 2021), antes de la distribución y llegada del agua potable hacia la población y los consumidores, es rigurosamente controlada por expertos químicos o profesionales analistas.

**Figura 1.**

*Proceso convencional para la potabilización del agua.*



*Nota:* Etapas que corresponden al debido proceso convencional para la transformación y la potabilización del agua cruda en el agua potable.

### 2.3. Etapa De Coagulación – Floculación.

Etimológicamente los términos coagulación y floculación, durante el pasar de los años han tenido infinidad de interpretaciones y conceptualizaciones. A criterio de INTAGRI (2021), en las últimas décadas se ha estandarizado dichos conceptos llegando a su aceptación por la comunidad científica mismo que se describen:

- Coagulación: es aquel proceso mediante el cual los componentes de una suspensión son desestabilizados.
- Floculación: es el mecanismo de unión que surge a partir de las partículas desestabilizadas, formando un elemento de mayor tamaño y densidad que son mucho más estables.

Esta etapa dentro del proceso de purificación del agua, es muy esencial ya que la eficacia de los procedimientos posteriores dependerá del porcentaje de éxito que tenga

este, destacando que no solo se lo aplica para la potabilización, sino también para la descontaminación o depuración previa a la descarga de aguas residuales a la red de alcantarillado o las fuentes receptoras como por ejemplo ríos, lagunas, pantanos o incluso el océano.

Como lo describe Aguilar (2002, p. 17) este tratamiento del agua tiene sus grandes ventajas, tales como una flexibilidad mayor en el diseño de la planta de tratamiento de aguas, también la gran posibilidad de adaptación a cualquier afluente, entonces se hace eludible destacar que esta etapa es una de las más importantes en el proceso de potabilización.

Durante la coagulación – floculación, se pretende obtener un resultado eficaz y una calidad óptima del agua o del efluente ya que mientras mejores sean sus resultados, la calidad final del agua será mucho más óptima para el uso y consumo; de tal manera es que para poder mejorar el proceso se añaden y emplean, de acuerdo a la ETAP una variedad de productos coagulantes y también productos coadyuvantes con el fin de que interfieran en la coagulación, y dar una mejora considerable en la floculación, proporcionando la capacidad de formación de flóculos mucho más grandes y de mayor densidad, favoreciendo las etapas posteriores como la sedimentación.

De acuerdo con INTAGRI (2021) los coadyuvantes son aquellas sustancias que son incorporadas directamente en otras formulaciones o soluciones, con el propósito de poder dar una mejora en la acción de un elemento, en este caso, brinda un importante apoyo a los coagulantes para poder obtener mejores resultados al momento de su operación y acción dentro del proceso. Dentro de estas sustancias podemos encontrar la siguiente clasificación.

**Tabla 1.**

*Clasificación de los Coadyuvantes.*

<b>Coadyuvantes</b>		
<b>Activadores</b>		
Tensioactivos o surfactantes	Penetrantes	Adherentes
No iónicos	Aceites	
Aniónicos	Minerales	
Anfóteros		
Polímero Catiónico		

<b>Coadyuvantes</b>			
<b>Utilitarios</b>			
Correctores de agua	Antiderivantes	Agentes de compatibilidad	Anti-espumantes
pH			
Dureza			
<b>Otros</b>			
Limpiadores	Esencias u olores	Colorantes	

*Nota:* Los coadyuvantes activadores y utilitarios sirven para aumentar la actividad biológica del ingrediente, a diferencia de los coadyuvantes utilitarios, quienes solo modifican la propiedad de la solución. Tomado de INTAGRI (2021).

La importancia de la coagulación - floculación es debido a la presencia de partículas, disoluciones o dispersiones de sólidos que se encuentran en el líquido vital; las aguas que presentan una mayor problemática en este ámbito son las de origen residual, ya que tienen una amplia variedad de dispersiones de sólidos que varían mucho de tamaño sin embargo las aguas utilizadas para la potabilización que servirán para el uso y consumo humano también presentan en ocasiones altos niveles de presencia de partículas. De esta manera es que según el grado de dispersión de esa fase sólida y según su tamaño se clasifican de la siguiente manera.

- Disoluciones verdaderas: su tamaño nominal es inferior a  $10^{-7}$  cm, por tal motivo no se la conceptualiza como un sistema sólido-líquido.
- Dispersiones groseras: su dimensión coexiste hasta  $10^{-3}$  cm.
- Dispersiones coloidales: su tamaño comprende entre los límites desde  $10^{-3}$  hasta  $10^{-6}$  cm, por tal motivo son partículas estables durante un periodo de tiempo prolongado.

**Tabla 2.**

*Clasificación de las partículas, dispersiones o disoluciones sólidas según su tamaño.*

$10^{-7}$	$10^{-3}$
Disoluciones verdaderas	Dispersiones coloidales      Dispersiones groseras

*Nota:* El tamaño de las disoluciones verdaderas, dispersiones coloidales y dispersiones groseras está basada en centímetros. Tomado de Aguilar (2002, p. 19).



Una considerable fracción de impurezas, partículas, disoluciones o dispersiones en el agua se logran separar en el procedimiento de la sedimentación, no obstante existen muchas que son exorbitantemente pequeñas como para tener en cuenta solo el proceso de sedimentación; es allí donde entra la intervención de los coagulantes en la etapa de su propio nombre, que servirá para unificar esas partículas y formar agregados o flóculos de un tamaño considerable facilitando su decantación con la finalidad de que estos dos procesos se complementen en la purificación del agua.

## **2.4. Coagulantes Más Usados.**

Dentro del proceso de potabilización del agua en las ETAP, y específicamente en la etapa de coagulación – floculación, se hace evidente y necesario el uso de elementos que por su composición sirvan de asistencia en el procedimiento para conseguir el mejor resultado en purificación y depuración, ya que como se lo menciono anteriormente; los demás procesos y la eficacia de los mismos dependerán del éxito de este.

Los coagulantes producen una reacción química en la composición de las partículas, disoluciones o dispersiones que se encuentren en el líquido vital, teniendo en cuenta que producen la separación de iones y los vuelven a unir para formar un floc más grande, con mayor peso molecular y decante con más rapidez. Como lo sostiene Parra et al. (2011, p. 28), los coagulantes que son principalmente utilizados son sustancias químicas, mismas que causan la coalescencia del material presente en el agua y que no es sedimentable. Estos pueden ser el sulfato de aluminio “ $Al_2(SO_4)_3$ ”, el sulfato de hierro “ $FeSO_4$ ”, el cloruro de hierro “ $FeCl_3$ ” entre otros. No obstante, en las estaciones de tratamiento de aguas se usa con más frecuencia el sulfato de aluminio. Se detallan los elementos y sus usos.

### **2.4.1. Sulfato De Aluminio “ $Al_2(SO_4)_3$ ”.**

Es una sal sólida de coloración blanca misma que se utiliza como agente coagulante y floculante fundamental en el tratamiento de aguas, cualquiera que sea su procedencia. Se lo puede encontrar en 3 presentaciones: molido fino, grueso y

superfino. Se caracteriza por su acción de agrupar partículas suspendidas, el incremento en la aceleración de sedimentación, y la remoción tanto del color como del sabor.

Este elemento como lo analiza Sulfúrica (2016) y Corporation (2015, p. 1) se lo puede emplear en varias industrias, desde el tratamiento de aguas que es su principal función; como también en la industria farmacéutica, papel y madera. No obstante en la opinión de Matías-Cervantes et al. (2018) el aluminio es un elemento sumamente tóxico e inflamatorio para los seres humanos ya que afecta principalmente las células cerebrales.

**Figura 2.**

*Sulfato de Aluminio*



*Nota:* Molido grueso del componente químico de sulfato de aluminio. Tomado de Chemicals (2021).

#### **2.4.2. Sulfato De Hierro “ $FeSO_4$ ”.**

Es un polvo cristalino muy semejante a la arena, que es inodoro y varía en su presentación de color desde un verde, amarillo-marrón o incluso blanco. Su uso habitual es para el tratamiento de aguas de diferente origen pero también para la elaboración de compuestos basados en hierro, fertilizantes o aditivos de uso alimentario. Sin embargo este compuesto es muy nocivo cuando se está expuesto en

un prolongado tiempo ya que como lo revela Health (2016, p. 1), este compuesto puede afectar a la piel y ojos por contacto; pulmones y garganta por inhalación. Y por exposición alta repetida puede afectar al hígado y demás órganos por su acumulación en el organismo.

**Figura 3.**

*Sulfato de Hierro.*



*Nota:* Cristales de sulfato de hierro hepta-hidratado. Tomado de Bolivar (2019)

### **2.4.3. Cloruro De Hierro “ $FeCl_3$ ”**

Este elemento conocido también como cloruro férrico, se lo encuentra en forma cristalina, con un aspecto brillante y ocasionalmente de un verde oscuro, sin embargo su coloración dependerá de la iluminación con la que se cuente para su observación.

Según lo postula LUMITOS (2021) el cloruro de hierro de manera industrial se lo usa para la depuración, limpieza y tratamiento de agua para el consumo y aguas residuales.

Su formulación permite que en un medio líquido que sea ligeramente básico ocurra una reacción con el ión hidróxido, formando así flóculos y eliminando las materias que se encuentran suspendidas. Pero al igual que los demás elementos ya analizados, este es un producto tóxico, ácido y muy corrosivo, mismo que se deben tomar muchas consideraciones ante su uso y en cualquier situación de contacto es necesaria la limpieza inmediata.

#### **Figura 4.**

*Cloruro de hierro.*



*Nota:* Cloruro ferroso tetra-hidratado. Tomado Ste (2019)

#### **2.4.4. Policloruro De Aluminio (PAC) “ $Al_2(OH)_3Cl$ ”.**

El Policloruro de aluminio o también conocido como PAC, es otro elemento que en la actualidad está siendo evaluado como una mejor alternativa hacia el sulfato de aluminio por su composición y resultado en los diferentes usos que se considera adecuado.

Kern (2021, pp. 1, 2) ratifica que este elemento es usado en una amplia gama de industrias tal y como los demás químicos pero mantiene una prioridad en el proceso de purificación de las aguas que son para el consumo humano y aguas residuales.

Este químico es de color amarillo mismo que tiene sus ventajas y desventajas dentro de sus usos; la contraparte es que necesita un almacenamiento adecuado en tanques de GRP (fabricados a base de resinas de poliéster, vidrio fibroso y relleno inorgánico) por el motivo del que es un elemento muy corrosivo. Ahora bien, dentro de sus ventajas es que tiene un menor gasto de coagulante, a diferencia de las otras sales que se usan en el mismo proceso y con las variaciones de temperatura no presenta afectaciones en su acción. A diferencia del sulfato de aluminio, el PAC cambia el color y no depende de él para su reacción y resultado óptimo.

## **Figura 5.**

*Policloruro de Aluminio (PAC)*



*Nota:* Tomado de CHIMICA (2019)

### **2.5. Parámetros Físico – Químicos.**

- **Turbiedad:** Es la capacidad que tiene el agua de perder su transparencia, ocasionado por las partículas en suspensión que estas pueden ser materia orgánica o partículas de suelos como arcillas, limos o por las disoluciones presentes en ella. Es expresado como Unidades Nefelométricas de Turbiedad y su unidad es NTU.
- **Color:** Es un parámetro físico, indicador primordial en la calidad del agua; se toma al a turbidez como la primera interferencia en la medición del color. Es necesario para conocer la cantidad o el nivel de la materia que esta presente en el agua. Es expresado Color Real y su unidad es Upt-Co.
- **Potencial de Hidrógeno (pH).** El pH es un parámetro que tiene como finalidad evaluar el nivel de acidez o de alcalinidad en una solución o fluido. Es muy importante ya que el agua debe cumplir con los requisitos normativos estipulados y así poder ofrecer calidad. Se lo conoce como pH, y su expresión son las unidades de pH.
- **Conductividad eléctrica:** Este parámetro es una medida de la conducción de una corriente eléctrica que se da debido a los iones diluidos en el agua o en un fluido. La conductividad es expresado como  $\Sigma$  y su unidad es Us/cm o microSiemens/cm.
- **Salinidad:** La salinidad como su nombre lo indica es la medida de las sales que se encuentran diluidas en el agua y está totalmente relacionada con la

conductividad ya que como lo ratifica Boards (2018, p. 1) este factor es el responsables de aquello. Se expresa como UPS y su unidad es  $^{\circ}/_{00}$ .

- **Sólidos Totales Disueltos (TDS):** Los sólidos totales disueltos son la medida de la cantidad de minerales, metales y sales disueltas en el agua, tal es el caso de que la mayoría de estaciones de tratamiento de agua potable o también conocidas como ETAP, distribuyen el agua con un leve incremento en sólidos totales disueltos, debido a las sales que usan como coagulantes tales como el sulfato de aluminio. Su expresión se denota como TDS y su unidad es en mg/L.
- **Temperatura.** Es una variante física que tiene mucha influencia en el proceso de coagulación – floculación, ya que como sostiene Andía (2000, p. 17), la transición de la temperatura en el cual su varianza es de  $\pm 1$  °C.; se produce un fenómeno conocido como corrientes de densidad, mismo que obedece a una variación de la densidad del agua afectando así a la energía cinética que invisten las partículas y que problematiza el proceso de coagulación, dándole una mayor lentitud. Tal es que el aumento o disminución de la temperatura del agua afectan en gran proporción el proceso de coagulación – floculación y sedimentación.

## **2.6. Opuntia**

La Opuntia es una planta que pertenece a las especies cactáceas, y su historia o su origen, su funcionalidad y su fisiología se detallan a continuación.

### ***2.6.1. Breve Reseña Histórica***

Los conocimientos, uso y consumo de la Opuntia se dieron en la época de la conquista Española en todo el continente americano, remontando a la llegada a la isla de La Española conocida en la actualidad como Haití y República Dominicana en el Mar Caribe, donde los habitantes del lugar expusieron a los conquistadores aquellos frutos producidos por la Opuntia o conocida también como “tuna”, nombre muy particular proveniente de la palabra “tun” en la lengua nativa de ese entonces.

Inglese (2020, p. 2) manifiesta que los primeros europeos que llegaron al continente americano observaron, notaron y apreciaron la suma importancia que tenía

esta planta en todo ámbito, ya sea este cultural, económico e incluso alimenticio. Tal era su importancia que se lo obsequiaba a los visitantes como fruta para su propio consumo. Existen registros que aseveran que los Aztecas también le dieron uso a esta planta, su importancia en aquella cultura fue por su adecuación a los estandartes de guerra del ejército quienes mostraban un águila posada sobre una planta de Opuntia y devorando una serpiente, al igual que la ciudad de México, quien en esa época el nombre de aquel imperio era Tenochtitlan y su significado venia referenciado a la Opuntia.

**Figura 6.**

*Utilización de la Opuntia en el emblema de guerra Tenochtitlan.*



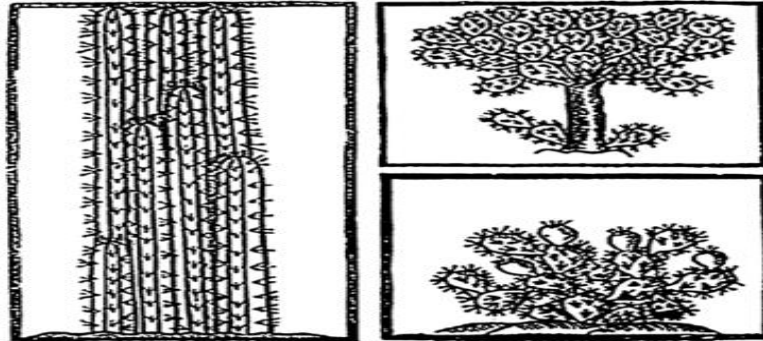
*Nota:* El nopal se lo consideraba como centro del universo en el emblema del Codice Mendoza. Tomado de Inglese (2020, p. 2)

Los conquistadores para ese entonces comenzaron a consumir los frutos del nopal, mismos que describían como todos la conocían y la ingerían con mucha satisfacción, de esa misma manera es que también según investigadores se describió de forma concisa de acuerdo a la composición y morfología de la planta en un documento escrito en 1535, y de acuerdo con este escrito se hizo conocer que la planta también crecía en islas y ciertas áreas de las Indias. El nopal tuvo varios usos y de acuerdo a la documentación también se registró algunas especies del mismo, su uso variaba desde la alimentación, la medicina, utilización para fracturas, como barrera o cerca protectora, y también como fuente de agua. Las primeras maneras de dar a conocer a la planta de nopal y de otros cactus como gráfica, se encuentran en un escrito realizado por los conquistadores Gonzalo de Oviedo y Valdés en 1536. Como lo afirma Inglese (2020, p. 4) la introducción del nopal se fue dando hacia Europa desde 1500 o mucho antes del siglo XVII, y durante el siglo XVIII, los nopales se esparcieron hasta

Sudáfrica (1772), India (1780), China (1700), e Indochina, todas las fechas son un aproximado de su inserción.

**Figura 7.**

*Primeras ilustraciones del Nopal u Opuntia y sus subespecies en 1536.*



*Nota:* Documentado en el escrito realizado por Oviedo y Valdés. Tomado de Inglese (2020, p. 3)

**2.6.2. Descripción De La Opuntia.**

La Opuntia o también Nopal, con el tiempo y la variación de ecosistemas a la que se la ha llevado a cultivar, ha producido en la planta una evolución tanto fisiológica como en la adaptación que ofrece a los distintos ambientes y ecosistemas para su subsistencia; esta planta ha desarrollado propiedades que permiten tener una mayor resistencia a ambientes que para otras plantas son muy complejos. Como lo menciona Guzmán Loayza and Chávez (2007, p. 41) se la encuentra preferentemente en zonas áridas y muy áridas, es muy común poder encontrarla en las zonas desérticas de cualquier población, lugares donde se hace evidente las propiedades físico-químicas de las que es favorecida pero también se hacen presentes en ecosistemas un tanto cálidos donde las temperaturas puedan ser en promedio de 18 a 25 grados Celsius.

**Figura 8.**

Plantaciones de Opuntia en hileras.





*Nota:* Se observa que el suelo de las plantaciones son un tanto áridos, pero la adaptación de estas plantas las hace muy beneficiosas en cualquier ambiente. Tomado (Inglese, 2020, p. 82)

**a. Sistema Radical.** La Opuntia ha desarrollado un buen sistema de supervivencia y esto incluye a sus raíces quienes le ofrecen excelentes propiedades tales como las da a conocer Inglese (2020, p. 22) y mismas que se detallan a continuación:

- La absorción rápida del líquido vital, que se encuentra en el suelo proporcionada por lluvias o escorrentías, por medio de una captación no muy común, que consiste en formación de raicillas de lluvia, raíces muy pequeñas que se forman después de unas pocas horas de llovizna y desaparecen tan rápido en cuanto seca el suelo.
- Una reducción de la evapotranspiración de la planta por las propiedades de su propia raíz al tener un potencial hídrico negativo.
- Reducción de la permeabilidad para impedir el menoscabo de agua en suelos secos.

**b. Cladodios.** Los cladodios de la Opuntia, tienen una particularidad con respecto a otras plantas, ya que son de un tamaño y forma muy peculiar, se describen como cladodios que tienen una forma estirada, alargada, o espatulada; o también como lo indica Maki-Díaz et al. (2015, p. 32), sus dimensiones entre medianas, chicas y grandes toman forma de raqueta, espatulada-estirada que llegan a mediar de entre 30 – 40 cm y con un ancho de 18 – 25 cm y en ciertos casos el largo puede ser de entre 70 – 80 cm; son de una coloración verde y contempla la formación de areolas, que contienen pelos o bozos y púas.

Una de las características más importantes del cladodio y como función principal es que son considerados potenciales resistentes a ecosistemas secos, por el motivo de su almacenamiento y retención de agua, tal es que se detalla también la función que cumple cada una de sus partes.

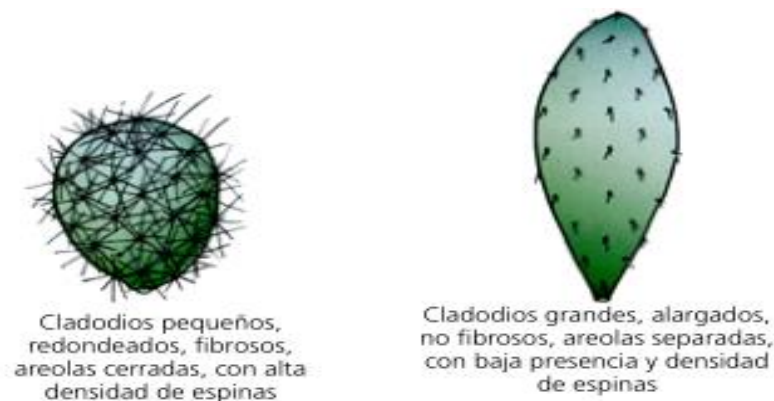
La epidermis es la capa más superficial de la planta, que al igual que las demás ofrece sus beneficios como la protección física, el mantenimiento de su integridad y la retención del agua dentro del cuerpo de la planta, pero a su vez es una barrera y una

defensa primaria para los hongos, bacterias y lesiones que puedan afectarla. Con el envejecimiento de la planta la epidermis es reemplazada por corteza.

Las areolas por su forma son ovaladas y se las puede encontrar a 2 mm debajo de la epidermis, éstas a diferencia de las plantas comunes, no desarrollan hojas, sino más bien, como lo deduce Arreola-Nava, Cuevas-Guzmán, Guzmán-Hernández, and González-Durán (2017) forman espinas o cerdas de diferentes tamaños. Como señala Inglese (2020, p. 25) no está precisada la función específica de aquellas espinas; sin embargo tienen una función muy especial y favorable tales que según estudios se ha demostrado que permiten la reducción tanto como de la temperatura del tallo y de la absorción de luz por su presencia.

**Figura 9.**

*Morfología del cladodio de la Opuntia.*



*Nota:* La Opuntia y específicamente sus cladodios han sido adaptados por el hombre a los ecosistemas a los que se los introduce. Tomado de (Inglese, 2020, p. 18)

- c. Adaptación De La Opuntia A Las Sequías.** La planta como tal es muy eficiente en cuanto a las sequías que se puedan presentar en la localidad donde se las este producción, su capacidad de retención de líquidos está certificada en base a estudios con la finalidad de su subsistencia.

Esto sucede a partir de la fluidez del agua que principalmente comienza en los cladodios jóvenes hasta los cladodios madre. Los cladodios jóvenes tienen una ventaja la cual consiste en tener un gran potencial para asimilar y obtener altos niveles de agua pero esto reduce a partir de su cuarta semana de crecimiento o de vida . Estas capacidades de retención de agua actúan como

amortiguadores, ya que permiten que el cladodio se mantenga realizando su respectiva fotosíntesis durante épocas muy secas y áridas donde las temperaturas pueden llegar a ser mayores a 25 grados Celsius.

La Opuntia al encontrarse en periodos prolongados de sequía presenta efectos adversos ocasionados por el mismo argumento. Como lo ratifica Inglese (2020, p. 35) se ha logrado demostrar que después de 3 semanas de sequías la absorción de CO<sub>2</sub> en la planta empieza a disminuir hasta un aproximado de 50 días donde cae a cero. Aproximadamente a los 90 días, la planta logra reducir la recolección de ácido que normalmente sucede en las noches esto debido al bloqueo de la transpiración, para evitar la pérdida del agua.

La apariencia de la planta, tiene un cambio significativo cuando se ha presentado a sequías muy prolongadas. Becerril and Valdivia (2006, p. 232) alude que el crecimiento de los cladodios de manera longitudinal, transversal y en grosor disminuye considerablemente, su coloración también se ve afectada ya que sus propiedades individuales declinaron durante ese tiempo. Sin embargo la rehidratación después de periodos secos muy largos puede ser un poco contraproducente ya que la planta está vulnerable y sensible; la recomendación es que su rehidratación sea regulada y dirigida hacia las raíces, o también a la materia seca orgánica que se ha acumulado, mismos que ayudan a la recuperación óptima de la planta.

*d. Temperaturas Adecuadas.* La Opuntia es una planta adaptable a los ecosistemas sin embargo, dicho con palabras de (Inglese, 2020, p. 37), las temperaturas promedio para que la planta adquiera un óptimo desempeño es en el que se tenga un clima áspero, árido y seco pero que no sea un clima que sobrepase los niveles de adaptación de la planta y no sean muy fogoso con temperaturas que puedan alcanzar valores mayores al de 25 ° Celsius ya que esto puede afectar su funcionamiento natural. Cabe mencionar también que las temperaturas muy altas y calientes, reducen en un amplio rango la obtención de carbono, por lo que se asevera un muy pobre crecimiento de la planta.

### 2.6.3. Características Funcionales, Ventajas Y Desventajas De La Opuntia

La Opuntia presenta ventajas y características que son de mucho beneficio, específicamente en el tratamiento de aguas estas características funcionales permiten tener una evidencia científica del potencial rendimiento de la planta. Cabe destacar que la Opuntia, tiene diversos usos y aplicaciones tales como el alimenticio ya sea este humano o animal, comercial, medicinal, y estético; de la misma manera es que también cuentan con muchos beneficios en estos ámbitos; este estudio se basa específicamente en el potencial que tiene como coagulante natural.

A continuación en la tabla 3 podemos observar las características y su funcionalidad con las diferentes situaciones a las que se pueda encontrar la planta.

**Tabla 3.**

*Características funcionales de la Opuntia*

Características funcionales					
	Excelente	Muy bueno	Bueno	No apta	
Temperatura promedio	18 – 23	15 – 18	10 – 15	<10	C°
Temperatura mínima	>3	>3	>3 ; <3	<-5	C°
Lluvia anual	>400	>400	200- 400	<100	mm
Suelos	Grava arenosa	Grava arenosa	Arcillo limosa	Grava arenosa	

*Nota:* Tomado de Inglese (2020, p. 34)

De igual forma, estudios ya realizados, en base a la evaluación de la Opuntia como potencial coagulante natural, permitió recopilar ventajas y desventajas de manera general en cuanto a la composición, funciones básicas de la planta,

características únicas y muy esenciales, además de las ventajas en su uso para la depuración de aguas crudas mostradas en la tabla 4.

**Tabla 4.**

*Ventajas y desventajas de la Opuntia*

<b>Ventajas</b>	
Alta absorción del agua presente en los suelos.	
Adaptación a ecosistemas secos	
Alta resistencia hidráulica y tolerancia a sequías.	Generales
Epidermis resistentes a luz solar, insectos y hongos.	
Retiene el agua en el cuerpo de la planta.	
<b>Desventajas</b>	
Porcentajes altos en remoción de turbidez de aguas crudas.	
No alterane el pH y alcalinidad de las aguas tratadas.	Coagulante
Capacidad para ajuste de conductividad eléctrica.	Natural en
Potencial Coagulante no tóxico en clarificación de aguas.	Potabilización
No requiere tratamiento previo al uso del mucílago.	

**2.6.4. Análisis fisicoquímico de la Opuntia**

La Opuntia ha sido una especie muy diversa en los usos, y aunque es poco conocida presente propiedades únicas en comparación con otras plantas que no las presentan. Por lo que ratifican diferentes autores en la tabla 5, los distintos valores que contiene la planta en cuanto a su análisis fisicoquímico de los componentes y los parámetros más importantes que pueden intervenir en su acción como coagulante natural.

**Tabla 5.**

*Opuntia – Análisis fisicoquímico*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Referencia</b>
pH	4,42	Rodríguez et al. (2007)
	4,25	Villabona et al. (2013)

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Referencia</b>
Humedad (%)	90,83	Vásquez (1994)
	90,23	Villabona et al. (2013)
Calcio (%)	2,71	Vásquez (1994)
	1,35	Rodríguez et al. (2007)
	0,27	Villabona et al. (2013)
	42,67	Vásquez (1994)
Hierro (ppm)	12,35	Rodríguez et al. (2007)
	32,55	Villabona et al. (2013)
	5,23	Vásquez (1994)
Flavonoides	10,16	Villabona et al. (2013)
	0,56	Vásquez (1994)
Saponinas	0,70	Villabona et al. (2013)

*Nota:* Parámetros medidos según diferentes autores. Tomado de López Pérez (2018, p. 29)

Diversos estudios comprueban que la composición estructural biológica de la *Opuntia* funciona como coagulante natural. López Pérez (2018, p. 30), afirma que el mucílago de la planta presenta una estructura que es ramificada en altas proporciones. También menciona que este género de planta contiene L-arabinosa, L-ramnosa, D-galactosa, y D-xilosa, y por último el ácido galacturónico, siendo el componente principal en mayores cantidades y más encontrado dentro de su composición. Considerando el argumento de Miller et al. (2008), quien tomó de la composición del mucílago de la *Opuntia*, el ácido galacturónico y se lo añadió independientemente a muestras de agua a tratar; comprobando la reducción de turbidez en el agua, con porcentajes mayores al 50 %, por lo que se hace imprescindible entender que los demás componentes naturales del mucílago contribuyan en gran parte al proceso de coagulación que tiene la planta.

### ***2.6.5. Costo promedio de producción de Opuntia.***

Teniendo en cuenta que la *Opuntia* es una planta perteneciente a la especie de las cactáceas, su producción resulta más factible que muchas de las demás especies de plantas existentes, ya que cuenta con ventajas específicas de adaptación a los diferentes

ecosistemas y climas. Desde el punto de vista de Domínguez García, Granados Sánchez, Sagarnaga Villegas, Salas González, and Aguilar Ávila (2017, pp. 1371, 1372), son muy favorables los costos de producción de la Opuntia incluyendo factores diversos que surgen; todos estos resultados están reflejados en su estudio, basado en la viabilidad económica realizando una comparativa entre dos unidades representativas en el Estado de México. Este estudio llego a la conclusión de que los precios promedios requeridos para la producción y cubrimiento de cada uno de los costos necesarios, es de aproximadamente 3,92 y 2,37 pesos mexicanos, o 0,19 y 0,12 dólares americanos para la opción 04 y 25 respectivamente. La tabla 6 nos muestra los valores que fueron analizados en referencia a los diferentes factores que pueden perturbar e intervenir en la producción de la Opuntia considerándolo como alternativa viable.

**Tabla 6.**

*Costos de producción promedio de Opuntia por Kg.*

<b>Precios requeridos para:</b>	<b>OPCIÓN</b>	<b>OPCIÓN</b>	<b>OPCIÓN</b>	<b>OPCIÓN</b>
	<b>(04)</b>	<b>(25)</b>	<b>(04)</b>	<b>(25)</b>
	Pesos mexicanos		Dólares americanos	
Precio 1: Cubir CV desembolsados	2,23	1,54	0,11	0,08
Precio 2: Producción más depreciación	2,64	1,72	0,13	0,08
Precio 3: Producción más mano de obra y gestión empresarial.	2,69	1,73	0,13	0,08
Precio 4: Producción más costo capital	2,87	1,86	0,14	0,09
Precio 5: Producción más retiros de productor	3,82	1,89	0,19	0,09
Precio 6: Producción más costos de oportunidad.	3,92	2,37	0,19	0,12
Precio 7: Producción más 20% de retorno al riesgo	4,71	2,84	0,23	0,14

*Nota:* Las opciones 04 y 25 refieren a dos unidades representativas de producción de 4 y 25 hectáreas respectivamente. Tomado de Domínguez García et al. (2017, p. 1381)

### ***2.6.6. Estudios Relacionados Con El Uso De La Opuntia.***

Diversos estudios enmarcan el uso de la Opuntia como un coagulante natural en la depuración de las aguas crudas, que servirán para el consumo y uso de los seres humanos. Fuentes et al. (2012, p. 184), realizaron un estudio con la Opuntia cochinellifera, comprobando que es un efectivo coagulante natural en la etapa de coagulación – floculación, utilizo la fuente de agua en Pueblo Viejo donde los valores de turbidez oscilaban de 20 a 80 y lo recomienda como coagulante primario.

Samame Toro (2019, p. 56) concluye en su estudio basado en una dosis adecuada de mucílago de Opuntia con la finalidad de mejorar la calidad del agua del rio la Leche en Perú, que la sustancia adquirida de la Opuntia tiene capacidades floculantes y sedimentarios, removiendo partículas en suspensión presentes en el agua cruda.

También de acuerdo con Fuentes Molina, Molina Rodríguez, and Ariza (2016, p. 50), en la investigación relacionada a los coagulantes naturales como sustitución del sulfato de aluminio, entre ellos están las algas, el almidón de yuca, la moringa oleífera, y la Opuntia Ficus Indica; se llegó a la conclusión que esta última es mucho más eficiente que las demás obteniendo porcentajes de remoción de turbidez de hasta el 98,69%.

López Pérez (2018) indica en su estudio sobre la evaluación de la Opuntia como coagulante natural en el tratamiento de aguas, que el uso del mucilago de la planta es muy efectivo tanto en aguas con altos, medios y bajos valores de turbiedad.



# **CAPÍTULO III: DETERMINACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN ÓPTIMA DE OPUNTIA PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA CRUDA DEL CANAL AZUCAR – RIO VERDE.**

## **3.1. Recolección De Muestras**

Para la recolección de muestras dentro del proyecto práctico de investigación se identifican la población y la muestra que servirán para el avance del mismo.

### ***3.1.1. Población.***

Agua cruda del reservorio San Rafael de 40 metros cúbicos de 4 metros de profundidad.

### ***3.1.2. Muestra.***

Durante 7 días se tomaron en jarras precipitadas 30 muestras simples de 1000 ml o bien 1 litro de agua cruda al día, del lugar de toma de muestra anexo al laboratorio de control de calidad de la planta potabilizadora Atahualpa. (Ver anexo 3), mismas que fueron analizadas durante el proceso

## **3.2. Coagulante Opuntia.**

Para obtener el coagulante o mucílago de la Opuntia, se recolecto cladodios de la planta, mismos que se obtuvieron en el sector de la rotonda de la parroquia San José de Ancón, en la provincia de Santa Elena.

Para la obtención del coagulante se tomó el siguiente procedimiento:

- Se tomó los cladodios de la Opuntia y se procedió a lavarlos, para quitar la suciedad o impurezas que puedan tener por su exposición al ambiente.
- Una vez limpios se procedió a quitar las espinas y las cutículas presentes en cada uno de los cladodios. Teniendo en cuenta que se debe tener mucho cuidado en este procedimiento ya que las espinas son muchas veces microscópicas. Se quitó la epidermis, y las capas más externas del cladodio, separando así el parénquima.
- Se cortó en trozos pequeños de aproximadamente 2 a 5 cm. Y tomando 500 gramos del material limpio (parénquima), se lo colocó en un vaso precipitado, para así dejarlo reposar por aproximadamente 48 horas junto con 200 ml de agua destilada. Pasado el tiempo necesario se lo enrasa por un cernidero, o se extrae el mucílago de la planta mediante una jeringa que luego servirá para el estudio.

### **3.3. Pruebas**

Para el análisis y la determinación de la dosificación óptima de Opuntia, se necesita un ensayo que es básico y necesario, tal y como lo expresa Andía (2000, p. 39), quien menciona que la prueba más representativa en la determinación de dosis de coagulantes y floculantes según su comportamiento, tales que permiten obtener resultados a escalas mínimas se denomina “prueba de jarras”.

#### ***3.3.1. Prueba De Jarras***

La prueba de jarras es un procedimiento que sirve de simulación para los procesos de coagulación – floculación que se producen en las ETAP, esta prueba se la realiza a escalas de laboratorio, donde se optimizan las dosis de coagulante a usar de acuerdo a la varianza de turbiedad que se produce en el agua que se analiza con la finalidad de obtener estándares de calidad óptimos en el agua. Como plantea Andía (2000, p. 39), la finalidad de esta prueba es encontrar las variables físicas y químicas, de las etapas de coagulación, floculación y sedimentación dentro del proceso de

potabilización de agua. Teniendo en cuenta los tiempos de mezcla que se necesitan, tanto para la mezcla del coagulante como para la sedimentación de los flocs y correlacionando todo esto con el porcentaje de remoción.

El instrumento que se utilizó es la prueba de jarras de marca PHIPPS & BIRD, con este equipo se puede obtener la dosis adecuada de un coagulante, dentro del proceso de floculación – coagulación.

Los materiales y equipos usados son los siguientes:

- Agitador de laboratorio
- Vasos precipitados.
- Pipeta o Jeringas.
- Cintas para identificación de dosis aplicadas.
- Franelas o toallas pequeñas.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- Se colocó en cada jarra 1000 ml de agua cruda, tomadas del lugar de toma de muestras, anexo al laboratorio de calidad de la planta potabilizadora Atahualpa, este lugar sirve para el control y toma de muestras durante todo el proceso.
- Se corrobora que todas las jarras estén centradas, antes de comenzar con el proceso.
- Se programó la prueba de jarras para que utilizara, una velocidad rápida de 200 rpm, durante 1 minuto, posterior una agitación semi rápida de 80 rpm durante 8 minutos, prontamente una agitación media de 60 rpm por el mismo tiempo de 8 minutos, y una agitación lenta de 50 rpm durante 5 minutos, destacando que esta es la agitación usada en la ETAP Atahualpa, una vez hecho la programación, se le da inicio al test.
- Con la ayuda de las jeringas, se tomaron las dosis adecuadas del coagulante natural (Opuntia) y se los añadió a los vasos de precipitación que contenían el agua cruda, en el transcurso de las pruebas, también se utilizó polímero que fue dosificado con las mismas jeringas. Cuando el test o la prueba culminó, se dejó reposar las muestras por

aproximadamente 30 min, para que los flóculos formados, decanten o sedimenten al fondo del vaso.

### **3.4. Análisis Físico-Químicos De Las Muestras.**

El análisis físico – químico es un parámetro esencial para la ratificación del acatamiento de las normas vigentes en la calidad del agua. Las cuantificaciones analizadas son las siguientes.

#### ***3.4.1. Turbiedad.***

La turbiedad se midió de acuerdo a los instrumentos y equipos con los que cuenta el laboratorio de calidad de agua de la planta potabilizadora Atahualpa.

El instrumento que se usó para la medición de la turbiedad de las muestras es el Turbidímetro, marca HACH modelo TL2350.

Los materiales usados fueron los siguientes:

- Toallas (para secar el recipiente de medición)
- Pipeta o jeringa.
- Frasco lavador
- Agua destilada
- Celda de 30 ml.

El proceso es el siguiente:

- Se calibra el equipo asegurándose que funcione correctamente. Se toma una muestra de agua y se la coloca en la celda que tiene el turbidímetro que es de aproximadamente 30 ml.
- Se limpia el recipiente con una toalla, preferible de un material que no suelte partículas, procurando que el recipiente quede lo más pulcro.
- Se coloca la muestra en el turbidímetro, y se esperan las lecturas. El equipo que se usa tiene una calibración muy óptima, misma que al hacer

las lecturas de turbiedad, provee de 5 lecturas, y como resultado final toma la media para un resultado más preciso.

### **3.4.2. Color.**

Para la medición del color del agua. Se utilizó el especto-fotómetro marca HACH modelo DR 3900

Los materiales que se utilizaron son los siguientes:

- Vaso precipitado
- Pipeta o jeringa.
- Agua destilada.
- Toallas
- Celda cuadrada de 10 ml.

El procedimiento que se llevo a cabo para poder realizar el ensayo correspondiente es el siguiente.

- Se verifica que el equipo esté funcionando correctamente y se procede a seleccionar el parámetro que se desea medir, en este caso, se selecciona el color.
- Se procede a encerar el equipo mediante la utilización de agua destilada.; misma que es colocada en la celda cuadrada de 10 ml y se procede a limpiar el recipiente; con el fin de que quede muy pulcro antes de la medición por el instrumento.
- Una vez encerado el equipo, se procede a colocar la muestra de agua tratada con la jeringa; y se procede a tomar lectura después de su estabilización.

### **3.4.3. Conductividad Eléctrica.**

Para la conductividad eléctrica se empleó el equipo multi parámetro de marca HQ40d.

Se usaron materiales tales como:

- Agua destilada
- Vasos precipitados.
- Frasco lavador.
- Toallas (para secar el electrodo)

El procedimiento es el siguiente:

- Se calibro el equipo
- Se lava los electrodos con bastante agua destilada para encerarlo, y luego se procede a secar con una franela o toalla.
- Posteriormente se coloca los electrodos en los vasos precipitados con el agua tratada para poder tomar lectura una vez estabilizada.

#### ***3.4.4. Potencial de Hidrógeno (pH).***

Para la medición del pH, se utilizó el instrumento o equipo conocido como pHmetro waterproof marca LIFT modelo OAKTON ECOTestr pH2+

De entre los materiales usados están los siguientes:

- Vasos precipitados.
- Agua destilada
- Pipeta o jeringa.
- Toallas.

El procedimiento necesario para poder realizar la medición del potencial de hidrógeno (pH) es el siguiente:

- De las muestras de agua que se van a analizar se toma una cantidad en un vaso precipitado con la ayuda de una pipeta o jeringa.
- Se lava los electrodos con bastante agua destilada para que quede encerada la medición, y luego se procede a secar con una toalla
- Se coloca el pHmetro, en la muestra de agua que se va analizar y se procede a tomar la lectura cuando esta haya alcanzado su estabilización.

### ***3.4.5. Temperatura.***

La temperatura es un parámetro que se mide con diferentes instrumentos, en este caso se realizó directamente del equipo de medición de pH, tomando el mismo procedimiento.

### ***3.4.6. Salinidad***

Se empleó el equipo multi-parámetro de marca HQ40d.

Se usaron materiales tales como:

- Agua destilada
- Vasos precipitados.
- Frasco lavador.
- Toallas (para secar el electrodo)

El procedimiento es el siguiente:

- Se lava los electrodos con agua destilada para que quede encerado el equipo, y luego se procede a secar con una toalla. Posteriormente se coloca los electrodos en los vasos precipitados con el agua tratada para poder tomar lectura una vez estabilizada.

### ***3.4.7. Sólidos totales disueltos.***

En la medición de los sólidos totales disueltos se empleó el equipo multi parámetro de marca HQ40d.

Se usaron materiales tales como:

- Agua destilada
- Vasos precipitados.
- Frasco lavador.
- Toallas (para secar el electrodo)

El procedimiento es el siguiente:

- Después de la calibración se procede a lavar los electrodos con bastante agua destilada para que quede encerado el equipo y su medición, y después se procede a secar con una toalla.
- Posteriormente se coloca los electrodos en los vasos precipitados con el agua tratada para poder tomar lectura una vez estabilizada. Las lecturas suelen tomar algunos minutos para poder estabilizarse por ello su importancia en la limpieza del mismo.

### **3.5. Análisis, metodología y Resultados.**

Los análisis se basan en los datos obtenidos en la investigación, la metodología es la que se uso para la obtención de los resultados que se detallaran a continuación.

#### ***3.5.1. Parámetros Agua Cruda.***

El agua cruda para uso y consumo humano, deben ser superficiales o subterráneas pero deben ser aguas que no hayan sido potencialmente contaminadas ya que al tener valores muy altos en los parámetros de calidad se necesitan procesos más complejos de potabilización en donde aumentan los costos de producción. En este caso la provincia de Santa Elena se abastece de agua mediante la empresa pública mancomunada Aguapen E.P. mismo que potabiliza el fluido proveniente del canal Azúcar – Rio Verde, que tiene su fuente en el rio Daule, en la provincia del Guayas. Sin embargo este canal antes de llegar a la planta potabilizadora de agua Atahualpa, pasa por una serie de presas o reservorios construidos, ubicados en diversas comunidades de la provincia, tales como; Chongon y El Azúcar. Todo este proceso de traslado del agua cruda, produce una sedimentación natural por el mismo hecho del cambio de superficies de reserva y transporte, ocasionando así un decrecimiento en la turbiedad.

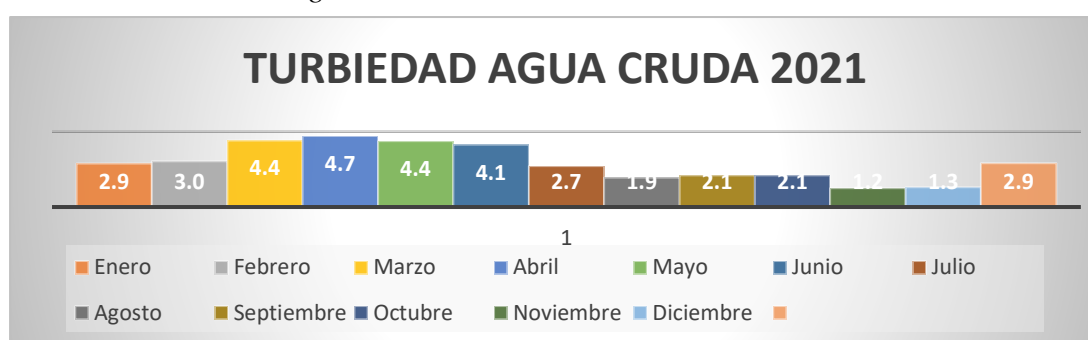
Los valores de turbiedad inicial en el rio Daule como lo menciona Torres (2017) oscilan entre los 100 NTU en épocas de verano y en épocas lluviosas tienden a incrementar desde 500 hasta 1500, y ciertas épocas hasta 3000 NTU, en cambio los



valores iniciales con los que llega el agua hacia el reservorio de agua cruda San Rafael en la provincia de Santa Elena, oscilan entre 1,2 y 4,7 NTU marcando así una notable diferencia entre los procesos que se llevan a cabo para la purificación del agua. Estos datos están representados en la figura 10, donde nos muestra el nivel de variación mensual en un año, desde Enero hasta Diciembre del 2021; de los parámetros de turbidez del agua cruda que ingresa al reservorio de la planta potabilizadora, dando por confirmado el hecho de que el agua que se usa tiene valores que cumplen con la norma para el agua en estado natural.

**Figura 10.**

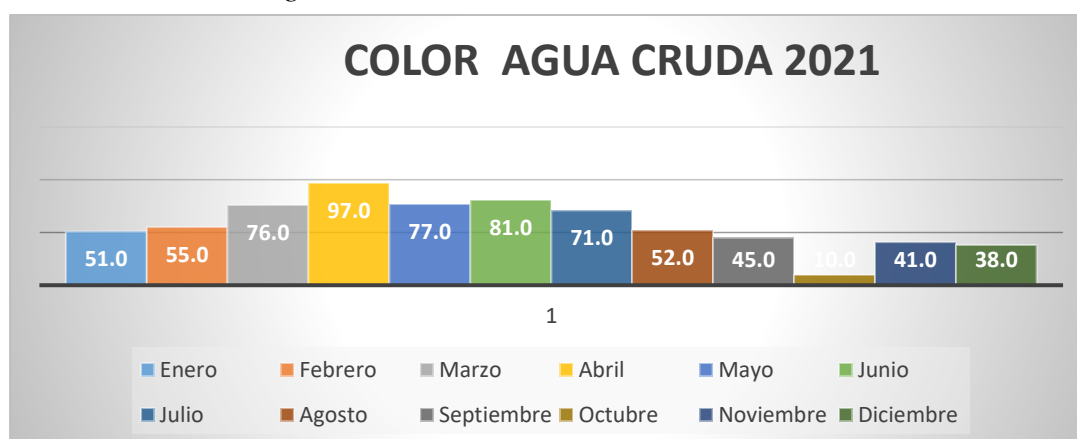
*Turbiedad mensual del agua cruda del canal Azúcar - Río Verde en el 2021.*



Los valores del color en el agua cruda oscilan desde 10 hasta 97 Upt-Co en todo un año, valores muy ínfimos comparado con aguas que son de otra procedencia, tales como la que se potabiliza en la provincia del Guayas, e incluso el agua que llega a los reservorios del Azúcar y Chongón. Destacando y teniendo en cuenta que los valores del color del agua en la planta en su mayoría llegan a 0 después de haber pasado por el proceso de purificación. El figura 11 muestra los resultados en el año 2021.

**Figura 11.**

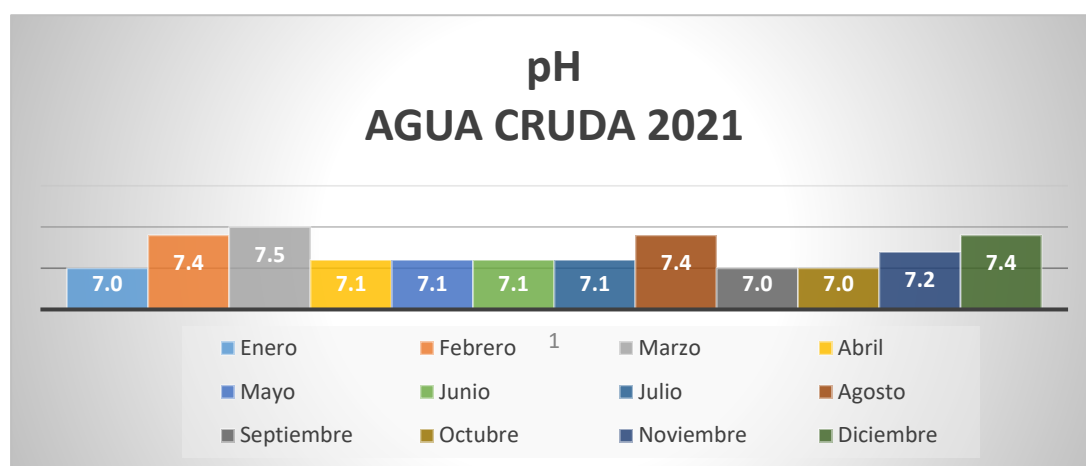
*Color mensual del agua cruda del canal Azúcar – Río Verde en el 2021.*



En las figuras 12 y 13, encontramos los valores mensuales en medición de pH que oscilana entre 7 hasta 7,5 unidades de pH, encontrando su máximo en el mes de marzo y la conductividad eléctrica, que están en un promedio de 270 Us/cm, con valores máximos en los meses de abril hasta junio y con el mínimo en el mes de enero y son tomados con la finalidad de realizar el control que es escencial para la calidad del agua en el proceso de potabilización.

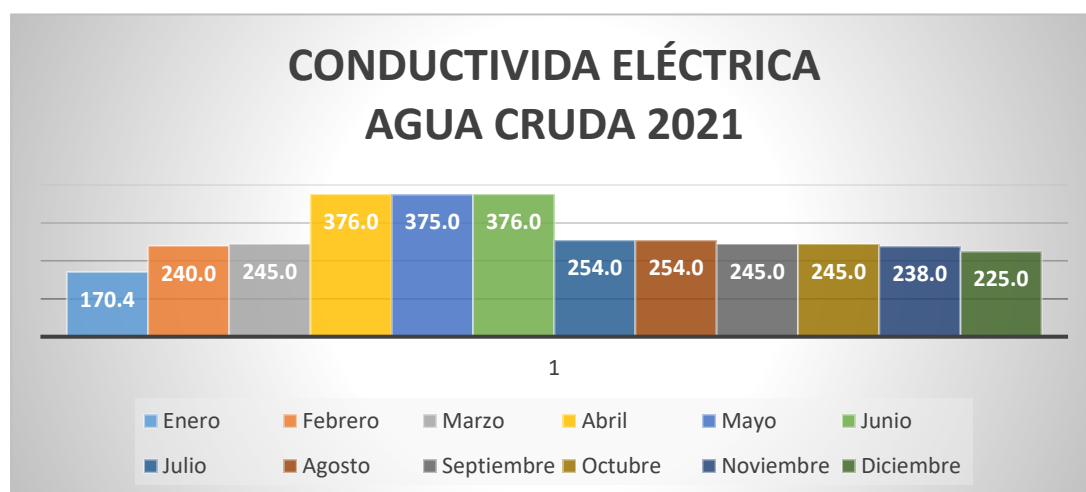
**Figura 12.**

*pH mensual del agua cruda del canal Azúcar – Río Verde en el 2021*



**Figura 13.**

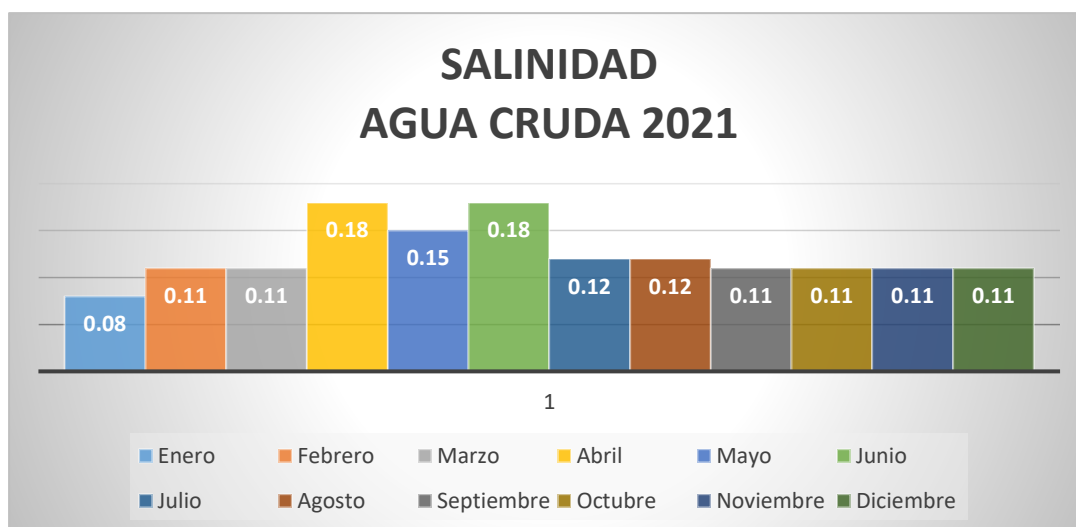
*Conductividad eléctrica mensual del agua cruda del canal Azúcar – Río Verde en el 2021*



Los valores de salinidad en el agua cruda oscilan entre 0,08 hasta 0,18<sup>0</sup>/00 y sólidos totales disueltos en promedio tienen 127 mg/L, y todos estos valores se mantienen en todo el año y no incrementan representativamente. Estos datos están reflejados en las figuras 14 y 15.

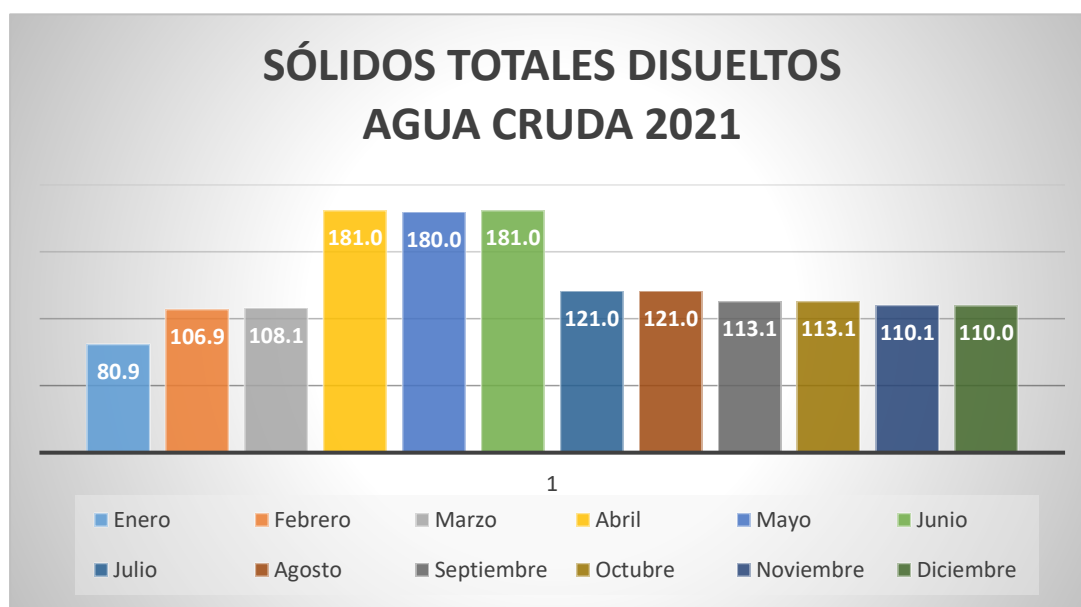
**Figura 14.**

*Salinidad mensual del agua cruda del canal Azúcar – Rio Verde en el 2021*



**Figura 15.**

*TDS mensual del agua cruda del canal Azúcar – Rio Verde en el 2021*



### ***3.5.2. Requisitos Para El Agua Potable.***

La calidad del agua se mide a través de los parámetros y es el indicador que marca la confiabilidad de que el producto, en este caso el agua, esta lista para ser distribuida a la comunidad y población que se abastece por la planta Atahualpa. Se debe tomar en cuenta que estos parámetros deben cumplir con las normas existentes

para la calidad de agua que servirá para el consumo y uso de los seres humanos por lo que se hace imprescindible su medición y control.

El INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización), tiene una tabla en la que muestra los valores permisibles que pueden obtenerse en laboratorio de control de calidad del agua; estos parámetros están regidos al porcentaje máximo permitido ya que al incrementarse cualquiera de ellos, hace de las aguas, no aptas para el consumo del ser humano.

Aguapen E.P. distribuye el líquido vital con una purificación óptima ya que cumple la normativa actual vigente y en uso que es la NTE INEN 1108, en su sexta revisión en el Abril del 2020; donde en los parámetros como turbidez se obtiene en promedio al año valores tales como 0,31 NTU y color verdadero 1,8 Upt-Co respectivamente.

De igual manera los requisitos fundamentales para el agua potable tales como pH se mantiene en un rango de 7, valor aceptable para el estipulado por la norma, también el cloro libre residual obtiene valores intermedios al solicitado que oscilan entre 0,4 a 1,2. La medición de este parámetro es muy importante ya que de él depende la calidad del agua. La tabla 7 nos muestra algunos de los parámetros que se miden en planta para el control respectivo y sus respectivos valores permisibles.

**Tabla 7.**

*Requisitos para el agua de consumo humano.*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite permitido</b>
Cloro libre residual	mg/L	0,3 a 1,5
Color aparente	Upt-Co	15
Nitratos (como NO <sub>3</sub> )	mg/L	50
Nitritos (como NO <sub>2</sub> )	mg/L	3
Turbiedad	NTU	5
pH	Unidades de pH	6,5 a 8,0

*Nota:* Algunos de los parámetros necesarios e indispensables en el agua potable. La norma no toma en cuenta parámetros como salinidad, conductividad o TDS. Tomado de INEN (2020, pp. 2, 5)

### **3.5.3. Metodología.**

La metodología utilizada es la experimental, que consistió en tomar 6 muestras de un litro de agua cruda en un vaso precipitado, para luego de lo cual se agregó respectivamente los siguientes volúmenes de mucílago fresco extraído con 48 horas de anterioridad; a la primera 5.35 ml, a la segunda 4.46 ml, a la tercera 3.57 ml, a la cuarta 2.68 ml, a la quinta 1.78 ml y a la sexta 0.89 ml con una agitación de 200 rpm, 80 rpm, 60 rpm y 50 rpm en 1, 8, 8 y 5 minutos respectivamente. Cabe destacar que la adición del mucílago fue inmediata, es decir en el primer minuto del test de jarras.

El segundo y tercer día de pruebas, se trabajó con 6 muestras de agua cruda de 1 litro cada una, a las que se les agregó los siguientes volúmenes de 2.68 ml de mucílago, 2.5 ml, 2.32 ml, 2.14 ml, 1.96 ml, y 1.78 ml respectivamente a las mismas velocidades de agitación.

El cuarto y quinto día se trabajó variando las dosis de mucílago de Opuntia, en 6 muestras de 1 litro de agua cruda y mezclada con cloro, a las que se les añadió 1.34 ml de mucílago, 1.25 ml, 1.16 ml, 1.07 ml, 0.98 ml, y 0.89 ml respectivamente.

El sexto día se utilizó 6 muestras de 1000 ml de agua cruda y 6 muestras de 1000 ml de agua cruda mezclada con cloro, se agregó a la primera 0.62 ml del mucílago de Opuntia a una concentración del 22%, a la segunda 0.54 ml, a la tercera 0.45 ml, 0.36 ml a la cuarta, 0.27 ml a la quinta, y 0.18 ml a la sexta muestra, durante el test de jarras se le adicionó 0,4 ml de polímero catión a todas las muestras.

El séptimo día se usaron las 6 muestras de 1000 ml de agua cruda y 6 muestras de agua cruda mezclada con cloro de 1000 ml, se adicionó los siguientes volúmenes de mucílago al 22% de concentración; a la primera 0.07 ml, a la segunda 0.09 ml, a la tercera 0.11 ml, 0.12 ml a la cuarta, 0.14 ml a la quinta, y 0.16 ml a la sexta muestra. Encontrando así la dosificación óptima con 0,09 ml de mucílago de Opuntia, que se le atribuye altos porcentajes de remoción de turbidez y color. La adición del cloro es el pre-tratamiento que se le da al agua cruda con la finalidad de eliminar bacterias u

organismos presentes en el agua. La pre cloración que se realiza se basa en un procedimiento de la adición del cloro por medio de gas y que se encuentra con un porcentaje de concentración de 0,4 mg/L.

### 3.5.4. Resultados.

- a. **Concentración del coagulante.** Para poder obtener este parámetro se utilizó los pesos iniciales y finales de los elementos usados como lo son los cladodios de la Opuntia, detallándolo de la siguiente manera en la tabla 8:

**Tabla 8.**

*Datos para obtención de la concentración del mucílago.*

Peso cladodios Opuntia	664,7	gr.
Peso residuo (cáscara)	164,68	gr.
Peso inicial (Opuntia pelada)	500	gr.
Peso final residuos	477,58	gr.
Volúmen agua destilada	200	ml.
Peso mucílago extraído	22,42	gr.

Entonces la concentración es:

$$\text{Concentración} = \frac{22,42 \text{ gr}}{200 \text{ ml}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ gr}} \times \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}} = 112100 \text{ ppm}$$

La concentración usada fue de 112000 ppm para la prueba de jarras, que mediante el balance de masas, se determinó el volumen del coagulante.

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

Dónde:

- $V_1$ : volumen que se quiere conocer.
- $V_2$ : volumen de la muestra de agua cruda.
- $C_2$ : ppm a usar durante la prueba de jarras.
- $C_1$ : ppm encontrada a partir de la concentración.

Despejando:

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{600 * 1000}{112000}$$

$$V_1 = 5,36 \text{ ml}$$

Este es uno de los volúmenes que se usó en las jeringas y que fue añadido dentro de las jarras con agua cruda, durante el test de jarras.

**b. Parámetros iniciales.** Se midió los parámetros iniciales del agua cruda para poder establecer la comparativa y eficacia del coagulante, mismos que se encuentran en la tabla 9.

**Tabla 9.**

*Parámetros físico - químicos iniciales del agua cruda del canal Azúcar – Rio Verde.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Turbidez	1,60	NTU
pH	7,20	Unidades de pH
Color	39,00	Upt-Co
Temperatura	24,60	°C
Conductividad eléctrica	216,40	Us/cm
Salinidad.	0,10	‰
Sólidos totales disueltos	101,80	mg/L

Los valores fueron tomados antes de dar inicio a la prueba o test de jarras, ya que se necesita conocer los datos base. Sin embargo en planta se usa el agua cruda mezclada para conocer su comportamiento.

Los parámetros iniciales del agua cruda mezclada con cloro, se muestran en la tabla 10. Y al observarlos, podemos notar que el cloro, actúa y tiene su acción en la remoción del color, y pH del agua, pero le añade un porcentaje más de turbidez, conductividad, salinidad y TSD, al ser un elemento mineral que se adiciona al agua cruda.

**Tabla 10.**

*Parámetros físico - químicos iniciales del agua cruda del canal Azúcar – Rio Verde mezclada con cloro.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Turbidez	1,94	NTU
pH	6,93	Unidades de pH
Color	35,00	Upt-Co
Temperatura	22,70	°C
Conductividad eléctrica	295,00	Us/cm
Salinidad.	0,14	‰
Sólidos totales disueltos	141,30	mg/L

*c. Dosificación Óptima de Opuntia.*

Los resultados de la dosificación en las 6 muestras de agua se reflejan en la tabla 11. Donde la mayor reducción de los parámetros físico químicos del agua se dieron con 10 ml de mucílago fresco al 22 % de concentración en 1000 ml de agua cruda mezclada con cloro, a la misma que se le añadió polímero catión a una concentración de 0.5% y con dosificaciones de 0,4 ml.

El polímero es un producto que como lo indica Ltd (2020) sirve para la absorción y neutralización de electrones, es decir que ayuda al elemento activo de coagulación, y da un resultado más óptimo y eficaz en cuanto a la floculación y sedimentación que se puede producir en un fluido, dándole mayor peso a los flocs que se forman.

También es un producto sin ninguna reacción adversa a los seres humanos ya que no es tóxico, a diferencia de los elementos químicos sintéticos usados tales como el sulfato de aluminio o el Policloruro de aluminio, o elementos que contengan sales de hierro y aluminio, por ello se justifica el amplio uso y aplicación de elementos coadyuvantes como el mencionado (polímero catión) en el proceso de potabilización, depuración y tratamiento del agua.



**Tabla 11.***Resultados de mucilago con polímero en agua cruda.*

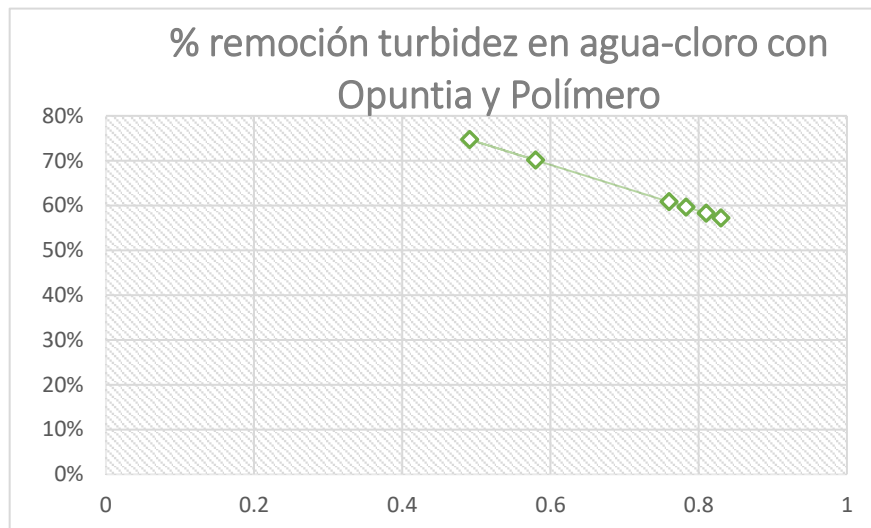
Jarra	Dosis Coagulante						Turb.	Color	Temp	Salin.	TSD	Cond.	
	OPUNTIA			Polímero								Eléct.	pH
	ppm	Cc	ml	ppm	Cc	ml							
A. cruda + Cloro	8	22%	0,07	0,2	0,05	0,40	0,50	1,00	24,10	0,10	103,90	217,90	6,69
A. cruda + Cloro	10	22%	0,09	0,2	0,05	0,40	0,49	0,00	24,50	0,10	103,80	216,80	6,75
A. cruda + Cloro	12	22%	0,11	0,2	0,05	0,40	0,78	4,00	23,10	0,10	104,70	216,90	6,82
A. cruda + Cloro	14	22%	0,12	0,2	0,05	0,40	0,76	5,00	24,00	0,10	104,30	217,40	6,82
A. cruda + Cloro	16	22%	0,14	0,2	0,05	0,40	0,81	5,00	24,30	0,10	105,00	217,80	6,88
A. cruda + Cloro	18	22%	0,16	0,2	0,05	0,40	0,83	4,00	24,20	0,10	104,90	217,54	6,94

La dosificación óptima entonces se logra encontrar en 10 ppm, ya que los valores finales de todos los parámetros muestran una disminución considerable, constatando que la acción coagulante floculante con la mezcla de estos productos fue eficiente.

La figura 16 representa el porcentaje de remoción de turbidez en el agua cruda que alcanzan estos productos; por lo que se hace aludible obtenerles mediante el valor inicial y el final; teniendo así resultados del 75% de remoción con un valor final de 0,49 NTU, que pertenece a la dosificación de 10 ppm o 0.09 ml de Opuntia, siendo esta la remoción más alta alcanzada.

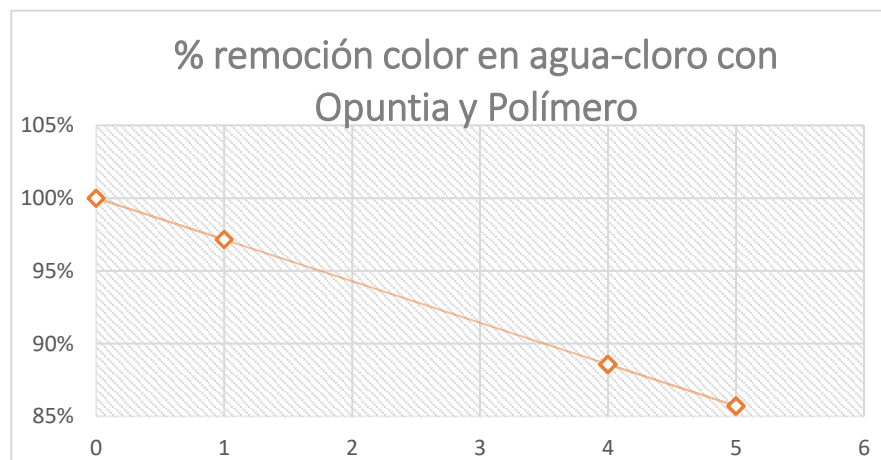
**Figura 16.**

*Porcentaje de remoción de turbidez en agua cruda del canal Azúcar – Rio Verde.*



**Figura 17.**

*Porcentaje de remoción de color en agua cruda del canal Azúcar – Rio Verde.*



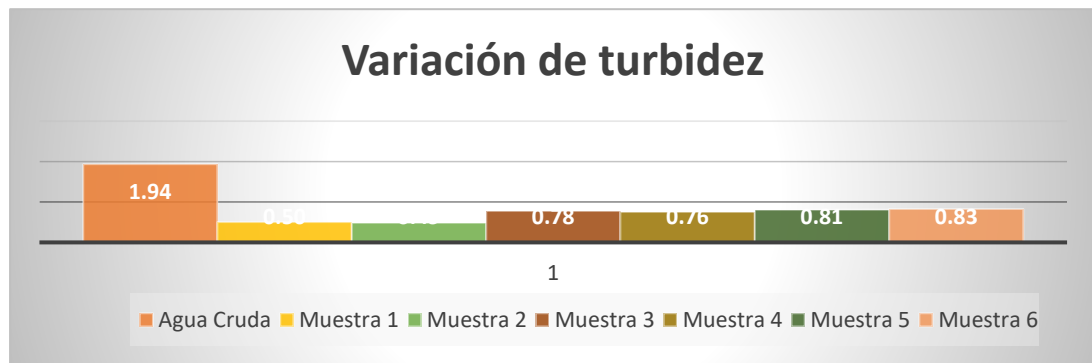
La figura 17 representa el porcentaje de remoción de color en el agua cruda; obteniendo valores del 100% de remoción con un resultado final de 0, que pertenece a la dosificación de 10 ppm con 0.09 ml de mucílago de Opuntia y 0,4 ml de polímero, siendo esta la remoción más alta alcanzada.

Con el uso de estas dosificaciones los resultados en cuanto al pH, salinidad, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, mantienen una tendencia al decrecimiento. La temperatura en todos los casos mantuvo una tendencia al

crecimiento, debido a la agitación en todo el test de jarras que aproximadamente tomó 22 minutos.

**Figura 18.**

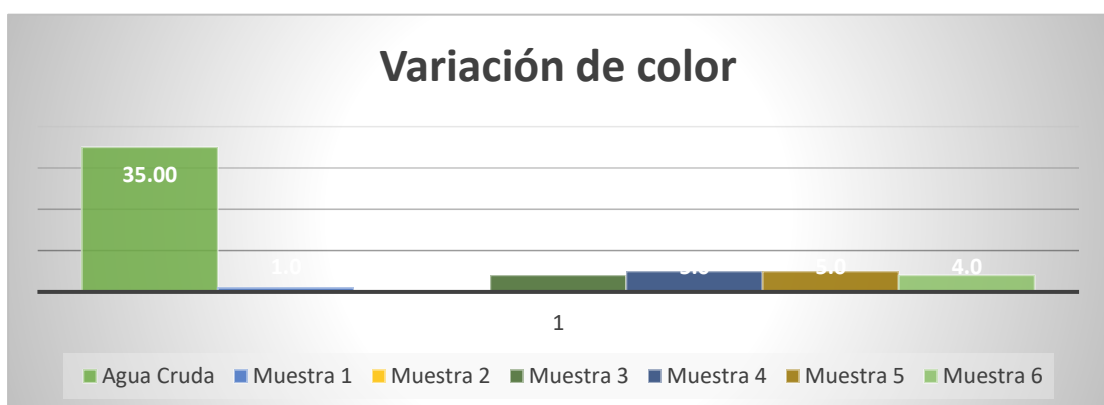
*Comparativa del valor base de la turbidez en el agua cruda – cloro con el coagulante y el polímero*



El figura 18, muestra la varianza de turbidez que se ve reflejado en las seis muestras con diferentes dosis de coagulante añadidas. La norma NTE INEN 1108 estipula un valor máximo de turbidez de 5 NTU para agua potable, y constatando el valor obtenido con la opuntia y el polímero siendo este de 0,49 NTU que pertenece a la dosficion de 10 ppm, es notable que con los procedimientos posteriores alcanzara niveles muy ínfimos a los solicitados por la norma. Cabe destacar que el agua cruda incluso ya cumple con este parámetro por lo niveles de turbidez inicial por lo que se hace aún más factible el uso del producto natural como lo es el mucílago de Opuntia para el reemplazo de los productos químicos sintéticos.

**Figura 19.**

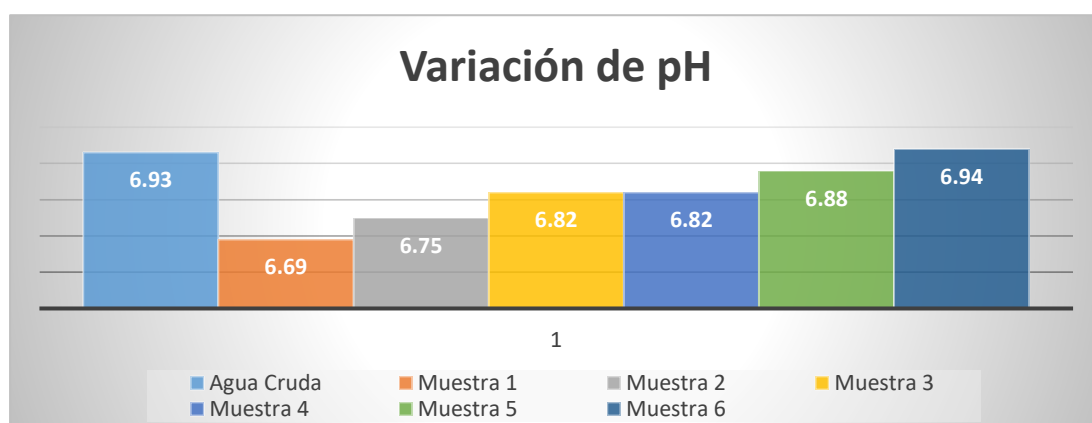
*Comparativa del valor base del color en el agua cruda – cloro con el coagulante y el polímero*



La figura 19, representa la variación del color del agua en las muestras con diferentes dosis de coagulante. La norma NTE INEN 1108 estipula también un valor máximo del color de 15 Upt-Co para agua potable, obteniendo un resultado de 0 con la dosificación óptima.

**Figura 20.**

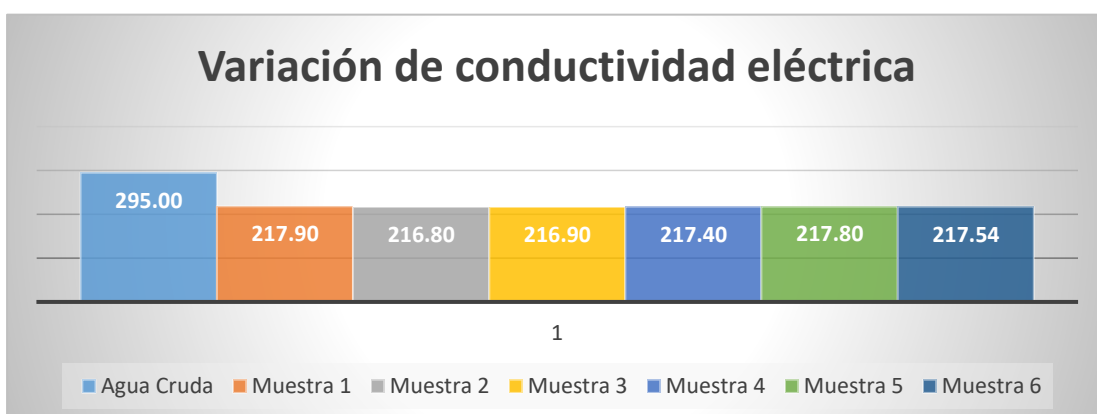
*Comparativa del valor base del pH en el agua cruda - cloro con el coagulante y el polímero*



El valor del pH inicial es de 6.93 unidades de pH y con el uso de la Opuntia junto al polímero tiende al decrecimiento a partir de la muestra 5 donde el valor es de 6.88, obteniendo la mayor reducción con la dosis de 0,07 ml con un valor de 6,69. El rango permisible del pH para el agua potable estipulado en la norma NTE INEN 1108, va de 6,5 a 8; comprobando así que los valores son óptimos para el pH del agua.

**Figura 21.**

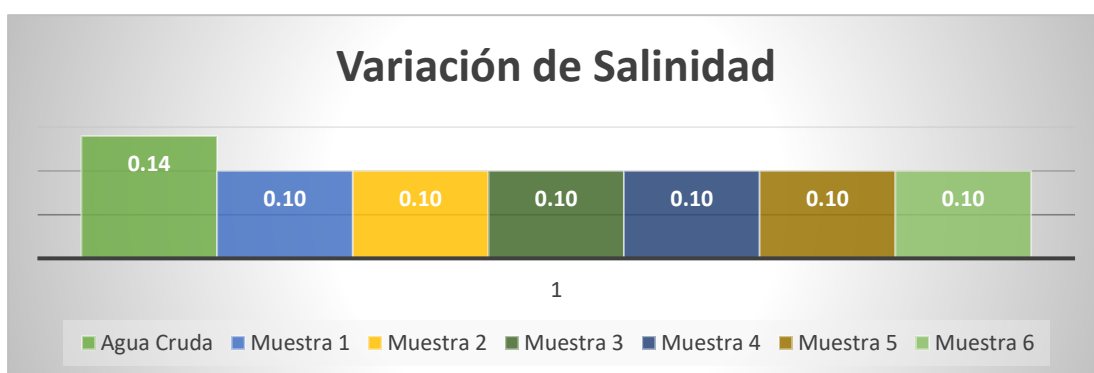
*Comparativa del valor base de la conductividad eléctrica en el agua cruda - cloro con el coagulante y el polímero.*



La conductividad eléctrica tiene un valor base promedio de 295 Us/cm en Enero del presente año, y aplicándole la dosis óptima de Opuntia junto al polímero se obtuvo una reducción del parámetro de hasta el 26%, con valores que en promedio son de 217.5 Us/cm. La variación del parámetro es notable en las seis muestras del agua cruda mezclada con cloro, donde a medida que se aumenta la dosificación del mucílago de Opuntia y manteniendo la dosificación del polímero, el resultado reduce pero en un porcentaje menor; la dosis correcta se dio en la muestra 2, que corresponde a la dosificación de 10 ppm o 0,09 de mucílago

**Figura 22.**

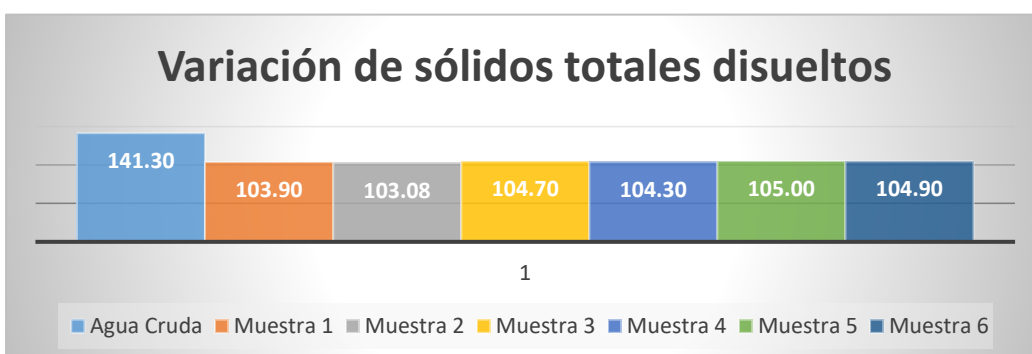
*Comparativa del valor inicial de la salinidad en el agua cruda - cloro con el coagulante y el polímero*



El valor base promedio de la salinidad durante los días de prueba es de 0,14 UPS, el resultado con el mucílago de Opuntia redujo un 40% la salinidad hasta obtener 0,10 UPS, por ello la disminución de la conductividad de igual manera.

**Figura 23.**

*Comparativa del valor base de los sólidos totales disueltos en el agua cruda - cloro con el coagulante y el polímero*

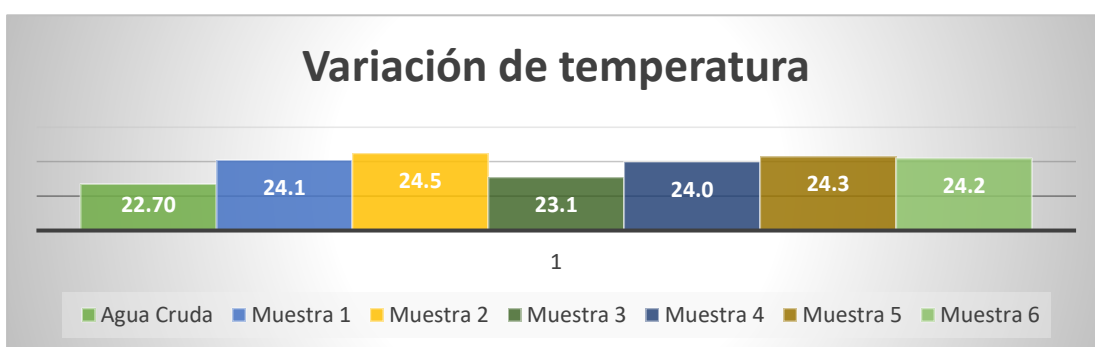


La norma vigente NTE INEN 1108 no estipula un valor máximo permisible para TDS, sin embargo desde la posición de Sigler and Bauder (2017), existe un valor máximo permisible que es de 500 mg/L estipulado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) para el agua que es para el consumo humano. Es así que se comprueba que los valores son aptos para la calidad del agua.

El valor de sólidos totales disueltos (TDS) base promedio en los días de prueba fue de 141.30 mg/L, y al añadirle el mcílago de Opuntia junto al polímero se obtuvo una reducción del 27% con valores de 103 mg/L.

**Figura 24.**

*Comparativa del valor base de la temperatura en el agua cruda - cloro con el coagulante y el polímero*



La temperatura inicial promedio tiene alrededor de 22,7 °C y tiene un incremento de 2°C aproximadamente, y esto solo depende de la agitación del test de jarras, por lo que se hace inevitable su consideración, teniendo en cuenta que para el uso de los coagulantes, se hace importante su óptima dosificación.

## **CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y**

### **RECOMENDACIONES**

Este estudio tiene mucha importancia en varios sectores que competen a los 3 cantones de la provincia de Santa Elena, ya que ofrece alternativas de potabilización del agua hacia la empresa mancomunada Aguapen E.P. mediante un producto que es de origen natural y a su vez eficiente en el resultado de purificación. Este estudio tiene sus fortalezas en que se encontró a la Opuntia como un elemento que por su composición muestra acciones de coagulante, y esto también conlleva a considerar a todas las especies cactáceas, ya que en su mayoría, tienen las mismas características funcionales y biológicas, diferenciándolas por su estructura fisiológica. De entre las debilidades se tiene que al ser un producto de origen natural y vegetal tiende a oxidarse con facilidad y con el pasar de los días el mucílago extraído muestra señales de fermentación y descomposición. El análisis de los resultados puede conllevar a un exhaustivo cambio en la manera de potabilización en cuanto a productos coagulantes, y la importancia del mismo es que dentro del país y de la provincia no existe un registro del estudio de coagulantes naturales con el fin de la depuración de las aguas para el consumo humano. Este trabajo también conlleva al comportamiento del coagulante junto a un polímero catión y junto al cloro que se añade al agua cruda, obteniendo resultados muy favorables en su actuación. Los posibles trabajos, serían conocer el impacto macro, micro económico y financiero del uso de la Opuntia, y la producción de la misma planta para su uso específico en la extracción del mucílago como coagulante natural en la potabilización del agua; también un estudio en el cual se base en encontrar la manera más eficaz de extracción del mucílago y así aprovechar los componentes activos sin añadir materia orgánica al agua.

#### **4.1. Conclusiones**

Se demostró que la Opuntia tiene como ventaja la reducción de turbidez del 75% y 100% del color respectivamente, también reduce el pH, salinidad, sólidos totales

disueltos (TSD) y conductividad eléctrica, como desventaja podemos decir que la opuntia se degrada rápidamente perdiendo su poder coagulante al cabo de 3 días.

Se concluye que el agua cruda de la que se abastece la planta potabilizadora Atahualpa cumple con todos los requisitos estipulados en la normativa TULSMA, ente que estipula los parámetros permisibles para las aguas naturales que han de ser potabilizadas de forma convencional.

Se concluye que el agua potable distribuida a la población cumple con los parámetros estipulados en la norma NTE INEN 1108 vigente actualmente. Teniendo como resultado valores muy reducidos a los permisibles.

La opuntia puede ser contraproducente en aguas con turbidez inferiores a 3 NTU, ya que al ser un producto natural, con dosis inadecuadas adiciona materia orgánica, aumentando turbidez, color, pH, salinidad, sólidos totales disueltos (TDS) y conductividad eléctrica. También la opuntia sola en aguas con turbidez menor a 3 NTU no forman flocs que floculen y decanten con un tiempo menor a 30 minutos (tiempo necesario en planta) por lo que necesita de un coadyuvante de floculación como lo es el polímero catión que tuvo una remoción de turbidez del 75% y color 100% respectivamente y siendo notable su eficacia en su uso para la potabilización de las aguas, sean residuales o para consumo.

Se concluye que para el agua cruda del canal Azúcar – Río Verde, que proporciona el líquido vital para la provincia de Santa Elena, necesita una dosis de 10ppm con 0,09 ml de mucílago de Opuntia por cada litro de agua, junto con 0,4 ml de polímero catión con una concentración del 0,05%, para remover aproximadamente el 75% y 100% de turbidez y color respectivamente, considerando que esto conlleva a la disminución de los demás parámetros.

## **4.2. Recomendaciones**

Se recomienda el uso de un conservante para el mucílago de Opuntia extraído, ya que a los 3 o 4 días comienza a presentar señales de fermentación y esto puede afectar los resultados en cuanto a medición de parámetros y su acción como coagulante.



También se recomienda que durante la extracción del mucílago, se deje reposar a una temperatura de aproximadamente 22°C, y que esté cerrado herméticamente, para que el mucílago obtenido sea el más óptimo.

Es recomendable seguir el estudio del impacto económico y de salud en los seres humanos, basado en el reemplazo de los coagulantes químicos usados, con el coagulante natural de Opuntia.

## REFERENCIAS

1. ACCIONA. (2020). POTABILIZACIÓN DEL AGUA Retrieved from [https://www.accion.com/es/tratamiento-de-agua/potabilizacion/?\\_adin=0745234464](https://www.accion.com/es/tratamiento-de-agua/potabilizacion/?_adin=0745234464)
2. Aguilar, M. I. (2002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación*: Editum.
3. Andía, Y. (2000). TRATAMIENTO DE AGUA - COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN.
4. Arreola-Nava, H. J., Cuevas-Guzmán, R., Guzmán-Hernández, L., & González-Durán, A. J. R. m. d. b. (2017). Opuntia setocarpa, una especie nueva de nopal del occidente de México. 88(4), 792-797.
5. BBVA - Banco Bilbao Vizcaya Argentaria, S. A. (2021). ¿Qué es el proceso de potabilización del agua y cuáles son sus fases? Retrieved from <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-proceso-de-potabilizacion-del-agua-y-cuales-son-sus-fases/>
6. Becerril, G. A., & Valdivia, C. B. P. J. R. F. M. (2006). Alteraciones fisiológicas provocadas por sequía en nopal (*Opuntia ficus-indica*). 29(3), 231-237.
7. Boards, W. J. C. D. o. W. Q. R. d. h. w. w. c. g. w. i. p. s. d. s. p. (2018). Folleto Informativo conductividad eléctrica/salinidad.
8. Bolivar, G. (2019). Sulfato de hierro ( $FeSO_4$ ): estructura, propiedades, síntesis. Retrieved from <https://www.lifeder.com/sulfato-de-hierro/>
9. Briñez, K. J., Guarnizo, J. C., & Arias, S. A. J. F. N. d. S. P. E. e. p. l. s. p. d. l. c. (2012). Calidad del agua para consumo humano en el departamento del Tolima. 30(2), 7.
10. Chávez, J. A. V. J. R. p. d. m. e. y. s. p. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. 35, 304-308.
11. Chemicals, B. (2021). Sulfato de Aluminio. Retrieved from <https://betanzamchemicals.com/producto/sulfato-de-aluminio/>
12. CHIMICA, A. (2019). POLICLORURO DE ALUMINIO.
13. Corporation, S. Y. D. S. A. d. C. V. u. f. d. P. Q. (2015). Sulfato de Aluminio.
14. Domínguez García, I. A., Granados Sánchez, M. d. R., Sagarnaga Villegas, L. M., Salas González, J. M., & Aguilar Ávila, J. J. R. m. d. c. a. (2017). Viabilidad económica y financiera de nopal tuna (*Opuntia ficus-indica*) en Nopaltepec, Estado de México. 8(6), 1371-1382.
15. EcoTecnologías, A. v. (2019). El sulfato de aluminio en el agua es un peligro. Retrieved from <https://www.agua-viva.info/blog/el-sulfato-de-aluminio-en-el-agua-es-un-peligro-n22>
16. Fuentes, L., Mendoza, I., Díaz, P., Fernández, Y., Zambrano, A., & Villegas, Z. J. B. d. C. d. I. B. (2012). Potencial coagulante de la tuna *Opuntia cochinellifera* (L.) Mill.(Cactaceae) en aguas para consumo humano. 46(2), 173-187.

17. Fuentes Molina, N., Molina Rodríguez, E. J., & Ariza, C. P. J. P. L. (2016). Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> para clarificación de aguas. *11*(2), 41-54.
18. Guzmán Loayza, D., & Chávez, J. J. R. d. l. S. Q. d. P. (2007). Estudio bromatológico del cladodio del nopal (*Opuntia ficus-indica*) para el consumo humano. *73*(1), 41-45.
19. Health, N. H.-N. Y. D. o. (2016). Sulfato Ferroso
20. INEN. (2020). NTE INEN 1108. AGUA PARA CONSUMO HUMANO. REQUISITOS. *Sexta revisión*.
21. Inglese, P. (2020). Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal. In: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
22. INTAGRI. (2021). Coadyuvantes para Potencializar el Rendimiento de los Plaguicidas. Retrieved from <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/coadyuvantes-para-potencializar-el-rendimiento-de-los-plaguicidas>
23. Jiménez Otárola, F. J. W. C. V., número 2, , páginas 4-6. (1999). Agua dulce: un enfoque de la situación centroamericana.
24. Jouravlev, A. (2004). *Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI*: CEPAL.
25. Kern. (2021). POLICLORURO DE ALUMINIO (PAC). 1, 2.
26. Lédo, P. G., Lima, R. F., Paulo, J., & Duarte, M. A. J. I. t. (2009). Estudio comparativo de sulfato de aluminio y semillas de *Moringa oleífera* para la depuración de aguas con baja turbiedad. *20*(5), 3-12.
27. López Pérez, M. (2018). Evaluación del uso de la cactácea *Opuntia ficus-indica* como coagulante natural para el tratamiento de aguas.
28. Ltd, S. I. P. C. C. (2020). El Polímero Cationico Flocculante. Retrieved from <https://www.iropolymer.com/sp/Water/Cationic-Polymer-Flocculant.htm>
29. LUMITOS. (2021). Cloruro de hierro (III). Retrieved from [https://www.quimica.es/enciclopedia/Cloruro\\_de\\_hierro\\_%28III%29.html](https://www.quimica.es/enciclopedia/Cloruro_de_hierro_%28III%29.html)
30. Maki-Díaz, G., Peña-Valdivia, C. B., García-Nava, R., Arévalo-Galarza, M. L., Calderón-Zavala, G., & Anaya-Rosales, S. J. A. (2015). Características físicas y químicas de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) para exportación y consumo nacional. *49*(1), 31-51.
31. Matías-Cervantes, C. A., López-León, S., Matías-Pérez, D., García-Montalvo, I. A. J. J. o. N., & Results, N. P. (2018). El aluminio empleado en el tratamiento de aguas residuales y su posible relación con enfermedad de Alzheimer. *3*(2), 139-143.
32. Méndez Novelo, R. I., Pacheco Ávila, J. G., Castillo Borges, E. R., Cabrera Sansores, S. A., Del Rosario Vázquez Borges, E., & Cabañas Vargas, D. M. (2018). Calidad microbiológica de pozos de abastecimiento de agua potable en Yucatán, México.
33. Miller, S. M., Fugate, E. J., Craver, V. O., Smith, J. A., Zimmerman, J. B. J. E. s., & technology. (2008). Toward understanding the efficacy and mechanism of *Opuntia* spp. as a natural coagulant for potential application in water treatment. *42*(12), 4274-4279.
34. OMS., O. (1995). *Guías para la calidad del agua potable*: Organization of American States, General Secretariat.

35. Ortiz, Á. V., Paz, I. C., & García, J. M. J. R. C. d. B. (2013). Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. *15*(1), 137-144.
36. Parra, Y., Cedeño, M., García, M., Mendoza, I., González, Y., & Fuentes, L. J. R. (2011). Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de *Opuntia wentiana* (Britton & Rose)/(Cactaceae). *1*(1), 27-33.
37. Payares Ramos, P., Rodiño Argüello, J., Villadiego Lorduy, J., Rodríguez González, K., Cortecero Bossio, A., & Garzón Barrero, N. (2020). Coagulante natural de tuna (*Opuntia ficus indica*) para la potabilización de agua.
38. Pullés, M. R. J. R. C. C. B. (2014). Microorganismos indicadores de la calidad del agua potable en Cuba. *45*(1), 25-36.
39. Samame Toro, Y. Y. (2019). Dosis óptima del mucílago de *Opuntia ficus-indica* para mejorar la calidad del agua del río la Leche, Lambayeque.
40. Sigler, A., & Bauder, J. J. O. d. W. E. E. e. e. A. d. P. h. r. w. c. e. P. w. e. A. p. T. (2017). Alcalinidad, pH, y sólidos disueltos totales. *20*, 2012-2011.
41. Ste, M. (2019). Cloruro ferroso ( $\text{FeCl}_2$ ): estructura, usos, propiedades. Retrieved from <https://www.lifeder.com/cloruro-ferroso/>
42. Sulfúrica, I.-I. (2016). Sulfato de Aluminio.
43. Torres, K. (2017). La turbiedad en el río Daule se analiza cada 15 minutos. *El Telégrafo*.
44. Uruguay, O. S. d. E. (2021). Etapas del Proceso de Potabilización. Retrieved from <http://www.ose.com.uy/agua/etapas-del-proceso-de-potabilizacion>
45. Verbe, R. E. O., Mendoza, Y. d. R. A., Martínez, I. D. M., Camargo, D. P. C., & Gazabón, L. E. M. J. A. I. e. I. (2014). Utilización de Tuna (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. *11*(1), 70-75.

## ANEXOS

### Anexo 1.

*Recolección de los cladodios de Opuntia.*



### Anexo 2.

*Cladodios de Opuntia peladas.*



### Anexo 3.

*Lugar de toma de muestras de agua anexo al laboratorio de calidad de la planta potabilizadora Atahualpa.*



### Anexo 4.

*Colocación de las muestras para el test de jarras en su respectivo equipo.*



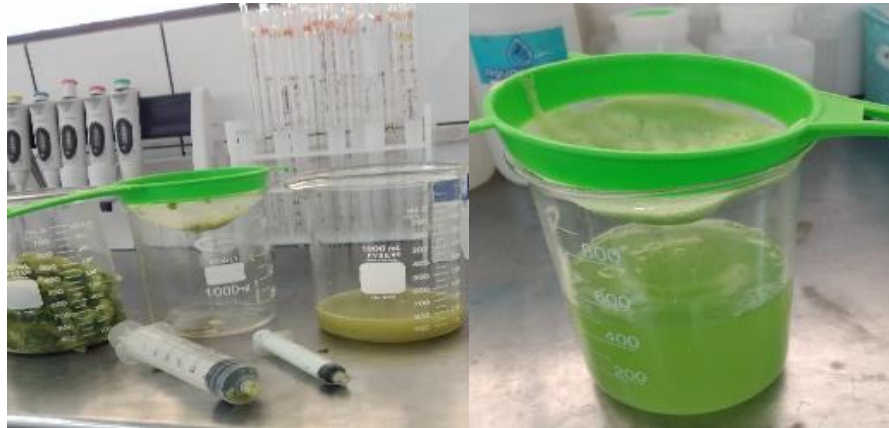
### Anexo 5.

*Opuntia cortada y almacenada con agua destilada para extracción de mucílago*



**Anexo 6.**

*Extracción del mucílago de Opuntia*



**Anexo 7.**

*Luis Gómez (autor) dosificando el mucílago en jeringas para el test de jarras.*



**Anexo 8.**

*Equipo de medición de pH y temperatura.*



**Anexo 9.**

*Medición de color en su respectivo equipo.*



**Anexo 10.**

*Medición de turbidez de agua potable en su respectivo equipo.*



**Anexo 11.**

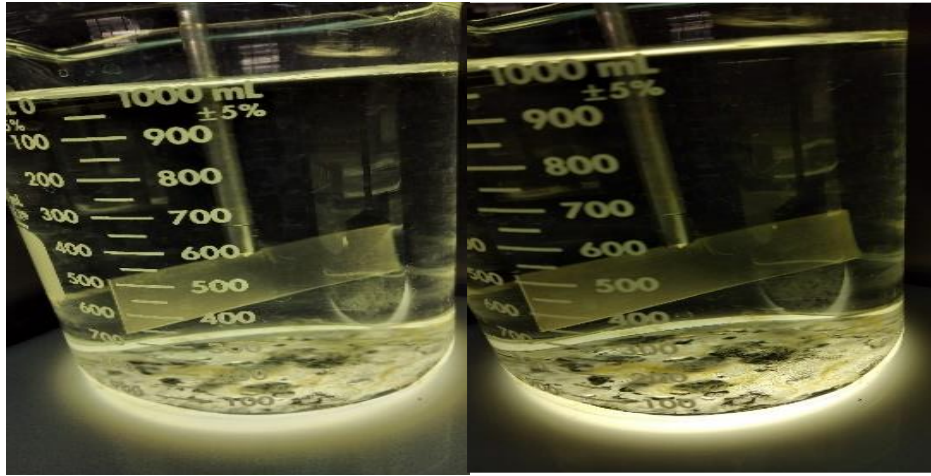
*Equipo multi parámetro, para salinidad, TDS, conductividad.*





**Anexo 12.**

Agua con flocs formados a partir de Opuntia junto al polímero.



**Anexo 13.**

Flocs decantados a los 30 minutos de sedimentación.



**Anexo 14.**

Flocs en el agua curda mezclada.





### Anexo 18.

Resultados en el segundo y tercer día de prueba

Jarra	Dosis de Coagulante			Turbidez	Color	Temp.	Salinidad	S. Totales Disueltos	Cond. Eléctrica	pH final	NTE INEN 1108
	OPUNTIA										
	ppm	cc	ml	NTU	Upt-Co	°C	‰	mg/l	Us/cm	u. de pH	
Agua Cruda 1	300	22%	2,68	4,20	83	24,8	0,13	138,90	228,50	7,54	CUMPLE
Agua Cruda 2	280	22%	2,50	4,04	81	24,9	0,13	138,30	227,40	7,46	CUMPLE
Agua Cruda 3	260	22%	2,32	4,01	75	25	0,13	138,10	226,60	7,48	CUMPLE
Agua Cruda 4	240	22%	2,14	3,68	73	25	0,13	137,40	225,10	7,40	CUMPLE
Agua Cruda 5	220	22%	1,96	3,58	68	25	0,12	137,20	225,13	7,39	CUMPLE
Agua Cruda 6	200	22%	1,78	3,34	62	25,1	0,12	136,20	225,01	7,30	CUMPLE

### Anexo 19.

Resultados en el cuarto y quinto día de prueba.

Jarra	Dosis de Coagulante			Turbidez	Color	Temp.	Salinidad	S. Totales Disueltos	Cond. Eléctrica	pH final	NTE INEN 1108
	OPUNTIA										
	ppm	cc	ml	NTU	Upt-Co	°C	‰	mg/l	Us/cm	u. de pH	
Agua Cruda 1	150	22%	1,34	3,01	52	24,8	0,11	135,60	224,10	7,54	CUMPLE
Agua Cruda 2	140	22%	1,25	2,74	51	24,9	0,11	135,30	224,20	7,46	CUMPLE
Agua Cruda 3	130	22%	1,16	2,56	48	25	0,11	135,20	224,30	7,48	CUMPLE
Agua Cruda 4	120	22%	1,07	2,45	46	25	0,11	134,70	223,80	7,40	CUMPLE
Agua Cruda 5	110	22%	0,98	2,26	46	25	0,10	134,30	223,40	7,39	CUMPLE
Agua Cruda 6	100	22%	0,89	2,08	46	25,1	0,10	133,50	223,20	7,30	CUMPLE

### Anexo 20.

Resultados en el sexto día de prueba.

Jarra	Dosis de Coagulante			Polímero	Turbidez	Color	Temp.	Salinidad	S. Totales Disueltos	Cond. Eléctrica	pH final	NTE INEN 1108		
	OPUNTIA													
	ppm	cc	ml	ppm	cc	ml	NTU	Upt-Co	°C	‰	mg/l		Us/cm	u. de pH
Agua Cruda	70	22%	0,62	0,2	0,05	0,40	1,94	45,0	25,10	0,14	139,20	219,30	7,45	CUMPLE
Agua Cruda	60	22%	0,54	0,2	0,05	0,40	1,84	44,0	25,20	0,14	138,50	219,30	7,37	CUMPLE
Agua Cruda	50	22%	0,45	0,2	0,05	0,40	1,75	42,0	25,30	0,13	138,60	218,60	7,43	CUMPLE
Agua Cruda	40	22%	0,36	0,2	0,05	0,40	1,73	42,0	25,00	0,13	137,40	218,40	7,32	CUMPLE
Agua Cruda	30	22%	0,27	0,2	0,05	0,40	1,69	41,0	25,60	0,11	136,40	218,20	7,44	CUMPLE
Agua Cruda	20	22%	0,18	0,2	0,05	0,40	1,64	41,0	25,00	0,11	136,10	218,20	7,21	CUMPLE

## Anexo 21.

Criterios de calidad para aguas naturales del TULSMA.

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Arsénico	As	mg/l	0,1
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	1000
Bario	Ba	mg/l	1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro	CN	mg/l	0,1
Cobre	Cu	mg/l	2
Color	Color real	Unidades de Platino-Cobalto	75
Cromo hexavalente	Cr 6	mg/l	0,05
Fluoruro	F	mg/l	1,5
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	4
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO5	mg/l	2
Hierro total	Fe	mg/l	1,0
Mercurio	Hg	mg/l	0,006
Nitratos	NO3	mg/l	50,0
Nitritos	NO2	mg/l	0,2
Potencial Hidrógeno	pH	unidades de pH	6-9
Plomo	Pb	mg/l	0,01
Selenio	Se	mg/l	0,01
Sulfatos	SO4 2	mg/l	500
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,2
Turbiedad	Unidades nefelométricas de turbiedad	UNT	100,0

## Anexo 22.

Criterios de calidad para agua potable – NTE INEN 1108

Parámetro	Unidad	Limite permitido
Arsénico	mg/L	0,01
Cadmio	mg/L	0,003
Cloro libre residual	mg/L	0,3 a 1,5
Cobre	mg/L	2
Color aparente	Upt-Co	15
Cromo (cromo total)	mg/L	0,05
Fluoruro	mg/L	1,5
Mercurio	mg/L	0,006
Nitratos (como NO <sub>3</sub> )	mg/L	50
Nitritos (como NO <sub>2</sub> )	mg/L	3
Plomo	mg/L	0,01
Turbiedad	NTU	5
pH	Unidades de pH	6,5 a 8,0
Coliformes fecales	Número/100 mL	Ausencia
Cryptosporidium	Número de ooquiste / mL	Ausencia
Giardia	Número de quistes/mL	Ausencia