



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA GELATINA DE  
HUESOS BOVINOS Y EL QUITOSANO DE CAMARÓN  
COMO COAGULANTES PARA LA CLARIFICACIÓN DEL  
AGUA  
TRABAJO EXPERIMENTAL**

Trabajo de titulación presentado como requisito para la  
obtención del título de  
**INGENIERA AMBIENTAL**

**AUTOR  
AURA NATHALY SALVATIERRA PONCE**

**TUTOR  
DRA. TAMARA BORODULINA**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**2021**



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**APROBACIÓN DEL TUTOR**

Yo, **DRA. TAMARA BORODULINA**, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **ESTUDIO COMPARATIVO DE LA GELATINA DE HUESOS BOVINOS Y EL QUITOSANO DE CAMARÓN COMO COAGULANTES PARA LA CLARIFICACIÓN DEL AGUA**, realizado por la estudiante **AURA NATHALY SALVATIERRA PONCE**; con cédula de identidad N°**0951590884** de la carrera INGENIERÍA AMBIENTAL, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Dra. Tamara Borodulina

Guayaquil, 29 de octubre del 2021



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: **“ESTUDIO COMPARATIVO DE LA GELATINA DE HUESOS BOVINOS Y EL QUITOSANO DE CAMARÓN COMO COAGULANTES PARA LA CLARIFICACIÓN DEL AGUA”**, realizado por la estudiante **AURA NATHALY SALVATIERRA PONCE**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

---

Oce. Leila Zambrano Zavala  
**PRESIDENTE**

---

Ing. Karla Crespo León  
**EXAMINADOR PRINCIPAL**

---

Ing. Diego Arcos Jácome  
**EXAMINADOR PRINCIPAL**

---

Dra. Tamara Borodulina  
**EXAMINADOR SUPLENTE**

Guayaquil, 28 de octubre del 2021

### **Dedicatoria**

Esta tesis está dedicada a mis padres Guillermo y Aura, que a lo largo del camino me han apoyado incondicionalmente, quienes con paciencia y esfuerzo han sabido inculcar en mi valentía y empeño para alcanzar mis metas.

A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me han acompañado a lo largo del todo el proceso.

Finalmente, a mis amigos y enamorado por la paciencia y motivación brindada, que me ofrecieron en todo momento para alcanzar este logro.

### **Agradecimiento**

Gracias a la Universidad Agraria del Ecuador por permitirme convertirme en un profesional y a cada maestro que fue parte de este proceso integral.

### **Autorización de Autoría Intelectual**

Yo **AURA NATHALY SALVATIERRA PONCE**, en calidad de autora del proyecto realizado, sobre **“ESTUDIO COMPARATIVO DE LA GELATINA DE HUESOS BOVINOS Y EL QUITOSANO DE CAMARÓN COMO COAGULANTES PARA LA CLARIFICACIÓN DEL AGUA.”** para optar el título de INGENIERA AMBIENTAL, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autora me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 26 de octubre del 2021

**AURA NATHALY SALVATIERRA PONCE**

**C.I. 0951590884**

## Índice general

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| Portada .....                                      | 1  |
| APROBACIÓN DEL TUTOR .....                         | 2  |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....      | 3  |
| Dedicatoria.....                                   | 4  |
| Agradecimiento .....                               | 5  |
| Autorización de autoría intelectual.....           | 6  |
| Índice general .....                               | 7  |
| Índice de tablas .....                             | 10 |
| Índice de figuras.....                             | 11 |
| Resumen .....                                      | 12 |
| Abstract.....                                      | 13 |
| 1. Introducción .....                              | 14 |
| 1.1 Antecedentes del problema.....                 | 15 |
| 1.2 Planteamiento y formulación del problema ..... | 17 |
| 1.2.1 Planteamiento del problema.....              | 17 |
| 1.2.2 Formulación del problema.....                | 18 |
| 1.3 Justificación de la investigación .....        | 18 |
| 1.4 Delimitación de la investigación .....         | 19 |
| 1.5 Objetivo general .....                         | 21 |
| 1.6 Objetivos específicos.....                     | 21 |
| 1.7 Hipótesis .....                                | 21 |
| 2. Marco teórico.....                              | 22 |
| 2.1 Estado del arte.....                           | 22 |
| 2.2 Bases teóricas .....                           | 24 |

|                                                                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.1 Potabilización del agua.....                                                                                                                                                     | 24 |
| 2.2.2 Parámetros básicos del agua.....                                                                                                                                                 | 26 |
| 2.2.3 Parámetros volumétricos en el agua.....                                                                                                                                          | 27 |
| 2.3 Marco legal.....                                                                                                                                                                   | 28 |
| 2.3.1 Constitución de la República del Ecuador.....                                                                                                                                    | 28 |
| 2.3.2 Código Orgánico Ambiental .....                                                                                                                                                  | 29 |
| 2.3.3 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, usos.....                                                                                                                                     | 30 |
| 2.3.4 Acuerdo Ministerial 097-A .....                                                                                                                                                  | 32 |
| 3. Materiales y métodos .....                                                                                                                                                          | 34 |
| 3.1 Enfoque de la investigación .....                                                                                                                                                  | 34 |
| 3.1.1 Tipo de investigación.....                                                                                                                                                       | 34 |
| 3.1.2 Diseño de investigación .....                                                                                                                                                    | 34 |
| 3.2 Metodología .....                                                                                                                                                                  | 35 |
| 3.2.1 Variables .....                                                                                                                                                                  | 35 |
| 3.2.2 Tratamientos.....                                                                                                                                                                | 35 |
| 3.2.3 Diseño experimental .....                                                                                                                                                        | 36 |
| 3.2.4 Recolección de datos.....                                                                                                                                                        | 36 |
| 3.2.5 Análisis estadístico .....                                                                                                                                                       | 41 |
| 4. Resultados .....                                                                                                                                                                    | 43 |
| 4.1 Parámetros fisico-químicos (pH, sólidos suspendidos totales, turbidez y color) en la muestra inicial y después con el tratamiento más efectivo para la clarificación del agua..... | 43 |
| 4.1.1 Parámetros fisico-químicos del agua del Río Guayas (Puerto Santa Ana)                                                                                                            |    |



|                                                                                                                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4.1.2 Parámetros físico-químicos del agua con ajuste en la turbidez previo al tratamiento.....</b>                                                                  | <b>44</b> |
| <b>4.2 Influencia de las dosis de dos bio-coagulantes (gelatina de huesos bovinos y quitosano) en la turbidez residual e interacciones entre dichas variables.....</b> | <b>45</b> |
| <b>4.2.1 Evaluación de parámetros fisicoquímicos con el tratamiento más efectivo para la clarificación del agua.....</b>                                               | <b>53</b> |
| <b>4.3 Propuesta de remoción de turbidez utilizando un bio-coagulante como método eco-alternativo para la clarificación de las aguas. ....</b>                         | <b>55</b> |
| <b>5. Discusión .....</b>                                                                                                                                              | <b>59</b> |
| <b>6. Conclusiones.....</b>                                                                                                                                            | <b>63</b> |
| <b>7. Recomendaciones.....</b>                                                                                                                                         | <b>65</b> |
| <b>8. Bibliografía.....</b>                                                                                                                                            | <b>66</b> |
| <b>9. Anexos .....</b>                                                                                                                                                 | <b>74</b> |
| <b>9.1 Anexo 1. Diagrama de propuesta de remoción de turbidez utilizando un bio-coagulante como método eco-alternativo para la clarificación de las aguas .....</b>    | <b>74</b> |
| <b>9.2 Anexo 2. Tabla de matrices .....</b>                                                                                                                            | <b>75</b> |
| <b>9.3 Anexo 3. Figuras complementarias del diseño factorial.....</b>                                                                                                  | <b>77</b> |

**Índice de tablas**

|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Coordenadas del área en la cual se va a realizar la investigación .....                                                             | 20 |
| Tabla 2. Tratamientos con tres factores .....                                                                                                | 36 |
| Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos en muestras de agua del Río Guayas (Puerto Santa Ana) .....                                               | 43 |
| Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos de aguas antes del tratamiento .....                                                                      | 44 |
| Tabla 5. Resultados del diseño factorial.....                                                                                                | 47 |
| Tabla 6. Análisis de la varianza.....                                                                                                        | 48 |
| Tabla 8. Resumen de las condiciones óptimas para el tratamiento de aguas del Río Guayas (Puerto Santa Ana) .....                             | 53 |
| Tabla 9. Parámetros fisicoquímicos de aguas del Río Guayas (Puerto Santa Ana) con turbidez de 180 UNT tratadas con quitosano (12 mg/L) ..... | 53 |

## Índice de figuras

|                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Ubicación del lugar de muestreo en el Puerto Santa Ana en el Río Guayas<br>.....                                                                   | 20 |
| Figura 2. Áreas de muestreo en el Puerto Santa Ana mediante Google Earth (2021)<br>.....                                                                     | 38 |
| Figura 3. Gráfica de probabilidad de prueba de normalidad 95% .....                                                                                          | 45 |
| Figura 4. Prueba de homogeneidad de varianzas: turbidez final vs. Tipo de<br>coagulante; dosis de coagulante .....                                           | 46 |
| Figura 5. Gráfica normal de efectos estandarizados .....                                                                                                     | 49 |
| Figura 6. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados .....                                                                                                 | 50 |
| Figura 7. Gráfica de efectos principales para turbidez final.....                                                                                            | 51 |
| Figura 8. Gráfica de cubos medias ajustadas de turbidez final .....                                                                                          | 52 |
| Figura 9: Diagrama de propuesta de remoción de turbidez utilizando un bio-<br>coagulante como método eco-alternativo para la clarificación de las aguas..... | 74 |
| Figura 10. Resumen del diseño.....                                                                                                                           | 77 |
| Figura 11. Método de Homogeneidad u homocedasticidad .....                                                                                                   | 77 |
| Figura 12. Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones<br>estándar .....                                                                  | 77 |
| Figura 13. Prueba de Bartlet .....                                                                                                                           | 77 |
| Figura 14. Regresión factorial coeficientes codificados.....                                                                                                 | 78 |
| Figura 15. Análisis de varianza .....                                                                                                                        | 78 |

## Resumen

En este trabajo de titulación se presentó el estudio comparativo de la gelatina de huesos bovinos y el quitosano de camarón como coagulantes para la clarificación del agua en el puerto Santa Ana en la ciudad de Guayaquil, se usó un diseño experimental que permitió estudiar diversas variables para determinar su efecto en la remoción de turbidez, cabe destacar que las dosis de coagulante que se aplicaron se seleccionaron de valores reportados como eficientes por otros investigadores para quitosano (Fuentes, Contreras y Perozo, 2008) y para gelatina de huesos bovinos (Fuentes, Aguilar, Caldera y Mendoza, 2014). Las muestras de agua con alta turbidez se recolectaron en el Río Guayas en el puerto Santa Ana ; este diseño experimental fue completamente al azar, previo a la aplicación de los tratamientos con los bio-coagulantes: gelatina de huesos bovinos y quitosano, las muestras de agua para la turbidez inicial de 20 UNT presentaron 7,37 unidades de pH, 21,89 mg/L de SST y 17,5 UC Pt-Co; mientras que, para la turbidez inicial de 180 UNT registraron valores de 7,395 unidades de pH, 51,6 mg/L de SST y 57,5 UC Pt-Co. El análisis factorial demostró que los factores tipo de coagulante, dosis de coagulante y turbidez inicial tienen efectos significativos en la turbidez final, las condiciones óptimas de tratamiento obtenidas en la gráfica de cubos reflejaron como tipo de coagulante al quitosano, una dosis de 12 mg/L y una turbidez inicial del agua a tratar correspondiente a 180 UNT, resultando como mejores corridas la 7 y la 13, las cuales permitieron obtener una turbidez promedio de 0,265 UNT que cumplió con el valor establecido por la OMS (< 5 UNT).

**Palabras claves:** Coagulantes, turbidez, color, UNT, bio-coagulantes

### **Abstract**

In this titration work, the comparative study of bovine bone gelatin and shrimp chitosan as coagulants for water clarification in the “Santa Ana” port in the city of Guayaquil was presented, an experimental design was used that will study variables to determine their effect on the removal of turbidity, it should be noted that the doses of coagulant that were applied were selected from values reported as efficient by other researchers for chitosan (Fuentes, Contreras and Perozo, 2008) and for gelatin from bovine bones (Fuentes, Aguilar, Caldera and Mendoza, 2014). The water samples with high turbidity were collected in the Guayas River in the “Santa Ana” port; This experimental was designed completely randomized, prior to the application of the treatments with the bio-coagulants: bovine bone gelatin and chitosan, the water samples for the initial turbidity of 20 NTU before 7.37 pH units, 21.89 mg / L SST and 17.5 UC Pt-Co; while, for the initial turbidity of 180 NTU, values of 7,395 pH units, 51.6 mg / L of SST and 57.5 UC Pt-Co were registered. The factor analysis showed that the coagulant factors, coagulant dose and initial turbidity effects have significant effects on the final turbidity, the optimal treatment conditions obtained in the graph of cubes reflected as type of coagulant to chitosan, a dose of 12 mg / L and an initial turbidity of the water to be treated corresponding to 180 NTU, resulting as best runs 7 and 13, which allowed obtaining an average turbidity of 0.265 NTU that met the value established by the WHO (<5 NTU).

**Keywords:** Coagulants, turbidity, color, UNT, bio-coagulants

## 1. Introducción

El agua es un recurso imprescindible para los seres vivos, de su potabilización depende la vida y salud de las personas, por ello se la debe someter a procesos físico-químicos que utilizan coagulantes y floculantes sintéticos, como el sulfato de aluminio y polímeros sintéticos que se los utiliza para promover la remoción de turbiedad y color (Ojeda, 2012).

El crecimiento de la población y el desarrollo industrial han multiplicado los problemas de contaminación del agua tanto de procedencia superficial como subterránea. La contaminación del agua es producida principalmente por vertimiento de aguas servidas, basura, relaves mineros y productos químicos, por ello, se requieren diversos procesos para desinfectarla y hacerla apta para consumo humano (Chulluncuy, 2011).

La turbiedad ha sido una característica ampliamente aplicada como criterio de calidad de agua, tanto en las fuentes de abastecimiento como en los procesos de potabilización y sistemas de distribución (Montoya, Loaiza y Torres, 2011).

En el método más convencional se emplean sustancias químicas como: sales de aluminio, cloruro férrico, sulfato ferroso que sirve para eliminar la turbidez de las aguas, sin embargo, se ha demostrado que el uso continuo de estos productos causa varios problemas a la salud humana, uno de estos problemas es el síndrome de Alzheimer (Chinchu, 2018).

Los coagulantes naturales representan una alternativa a los productos químicos empleados tradicionalmente en la potabilización de las aguas y en el tratamiento de aguas residuales; una de estas alternativas es el uso del quitosano obtenido de las cáscaras del camarón que según varios estudios ha demostrado que puede remover el 60% de turbidez, color, sólidos, hidrocarburos y DQO presentes en

aguas residuales industriales y aguas sintéticas con alta turbidez (Caldera et al., 2015).

Además, otra alternativa inocua es el uso de la gelatina obtenida de los huesos de ganado bovino, que en aguas sintéticas de 180 UNT puede remover hasta un 70% de turbidez demostrando una efectividad considerable (Fuentes y Caldera, 2014).

El objetivo de esta investigación es comparar la gelatina de huesos bovinos y el quitosano como coagulantes naturales, ya que es importante conocer alternativas rentables de bajo costo que sean rentables para la clarificación de aguas mediante un análisis experimental.

### **1.1 Antecedentes del problema**

El mayor impacto sobre la salud pública se da a través de los sistemas de abastecimiento de agua; la alteración de las características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas de la fuente de abastecimiento incide directamente sobre el nivel de riesgo sanitario presente en el agua (Organización Panamericana de la Salud, 2002), el cual se define como el riesgo de transportar agentes contaminantes que puedan causar enfermedades de origen hídrico al hombre y los animales o alterar el normal desempeño de las labores dentro del hogar o la industria (Sabogal, 2000).

En la mayoría de los países en desarrollo, el riesgo microbiológico es bastante marcado principalmente asociado a un inadecuado saneamiento, lo que se ratifica en la Agenda 21 de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y desarrollo que afirma que aproximadamente 80% de todas las enfermedades y más de una tercera parte de las defunciones en estos países tienen por causa el consumo de agua contaminada (Torres, Hernán y Patiño, 2009).

Según la UNESCO, 748 millones de personas no usan una fuente de agua potable óptima y 2.5 billones de personas no usan una instalación de saneamiento para tratar el agua. Además, no todos los que utilizan instalaciones mejoradas han considerado sus derechos; por ejemplo, se estima que 1.800 millones de personas beben agua contaminada con *Escherichia coli*, un indicador de contaminación fecal (UNESCO, 2015).

Este problema es crítico en Bangladesh, más del 80% de las personas carecen de agua limpia y segura; la condición de las aguas superficiales de la región de Dhaka que es la capital, se ha contaminado mucho debido a la descarga indiscriminada de desechos no tratados de curtiembres, textiles y otras industrias, desechos municipales en cuerpos de agua, sistema de drenaje deficiente, aumento de la población e invasión urbana, y erosión de la orilla del río (Asrafuzzaman, Fakhruddin y Hossain, 2011).

Por lo antes expresado, los países en desarrollo y los países de tercer mundo se enfrentan a problemas con el suministro del agua debido a que tienen recursos financieros limitados, además la calidad del agua de los ríos no es del todo segura, debido a las partículas suspendidas; estas partículas suspendidas pueden aumentar en temporadas de lluvia, erosión del suelo, entre otros factores; y por consiguiente, también aumenta la necesidad de productos químicos para el tratamiento del agua (Asrafuzzaman, et al.,2011).

Con respecto a la situación actual de Ecuador, la contaminación de los recursos hídricos y la degradación de los ecosistemas asociados a ellos son dos de los más grandes problemas que afectan al desarrollo sostenible. Incide en esta situación, el crecimiento poblacional y su creciente demanda de agua, la falta de cumplimiento de normas y la ausencia de aplicación de sanciones rigurosas a los causantes de



impactos ambientales adversos. La calidad del agua se ve alterada por: 1) el vertimiento de aguas residuales, 2) la disposición final de residuos sólidos, y, 3) agroquímicos y nutrientes que por escorrentía se desplazan hacia los cuerpos de agua (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2012).

Según la comisión Económica para América Latina y el Caribe (2012) afirma que Ecuador, así como otras partes del mundo, presenta un déficit en la potabilización del agua, lo que puede llegar a representar grandes problemas de salud para las personas.

## **1.2 Planteamiento y formulación del problema**

### **1.2.1 Planteamiento del problema**

Guayaquil es la ciudad más poblada de la república del Ecuador, una ciudad que pertenece a la costa ecuatoriana donde uno de sus atractivos importantes es el río Guayas que a través de sus recorridos muestra la historia de lo antiguo y moderno, rodeando al puerto Santa Ana que se ha convertido en el nuevo ícono turístico del Guayaquil moderno asentado en las faldas del cerro del Carmen y cerro Santa Ana junto al Río Guayas (Macas, 2016).

El Río Guayas soporta contaminación de aire, suelo y del agua, debido a la incidencia de diversos factores, siendo algunos de ellos: la falta de tratamiento de aguas residuales, el lanzamiento de desechos sólidos, la polución por la circulación vehicular, la contaminación industrial. El incremento de contaminación de las aguas del río, causará que muchas poblaciones asentadas en sus márgenes, se vean afectadas no solo económicamente, sino también en su salud (Solano, 2009).

El agua cruda proveniente de fuentes naturales contiene partículas coloidales que generan turbidez debido a sedimentos y nutrientes, los cuales no precipitan fácilmente y deben ser removidos (Fuentes, Contreras y Perozo, 2008).

Por esta razón, la clarificación del agua, entendida como el retiro de materiales sólidos y coloidales, es fundamental en el proceso de potabilización del agua que incluye las fases de coagulación, donde se adicionan sustancias para causar la coalescencia del material suspendido no sedimentable y partículas coloidales del agua (Parra, Cedeño y Mendoza, 2011).

Para el tratamiento de las aguas convencionalmente se utilizan productos químicos que son perjudiciales para el ser humano y para el ambiente, algunos estudios indican que existen coagulantes de origen animal. Un ejemplo es el quitosano, el cual podría ser una alternativa viable para el tratamiento de agua para el consumo humano, dado que no produce grandes sedimentos, no origina aluminio residual y es un material biodegradable compatible con el medioambiente (Rodríguez et al., 2015).

Otro coagulante natural de origen animal es la gelatina obtenida de los huesos de ganado bovino. La gelatina porcina ha sido utilizada de manera efectiva como coagulante-floculante, debido a su contenido de colágeno parcialmente degradado (Piazza y García, 2010).

### **1.2.1 Formulación del problema**

¿Cuál es la eficiencia de dos bio-coagulantes (gelatina de huesos bovinos y quitosano de camarón) en la remoción de turbidez de muestras de agua provenientes del Río Guayas, en el puerto Santa Ana?

### **1.3 Justificación de la investigación**

Las aguas contaminadas sin un previo tratamiento llegan a ser nocivas para el ser humano; por este motivo es indispensable la potabilización; ya que de este depende la vida y la salud de las personas.

El agua de todas las fuentes debe tener de alguna manera un tratamiento antes del consumo y distribución. Se utilizan varios métodos en especial los coagulantes y floculantes sintéticos, muchos de estos productos químicos son dañinos para el ser humano.

Actualmente se buscan alternativas rentables y amigables con el ambiente para el proceso de clarificación del agua, una de estas alternativas es utilizar coagulantes naturales. Estos se pueden encontrar con facilidad y en abundancia; se han identificado coagulantes de origen vegetal y de origen animal que son multifuncionales y biodegradables (Asrafuzzaman, et al., 2011).

El quitosano como coagulante natural de origen animal representa una alternativa rentable para remover más del 76% de turbidez, color, sólidos e hidrocarburos presentes en las aguas residuales industriales y aguas sintéticas con alta turbidez; además no afecta al pH de las aguas (Caldera et al, 2015).

Por otro lado, se ha demostrado la efectividad de una suspensión gelatinosa de huesos bovinos para la clarificación de aguas con alta turbidez (100-180 UNT), pudiéndose utilizar como coagulante primario en aguas destinadas al consumo humano, dado que los valores de remoción de turbidez superaron el 70% (Fuentes y Caldera, 2014).

Por esta razón esta investigación se realizará para estudiar y comparar opciones viables, de bajo costo, fácil adquisición y que no sean perjudiciales ni para el ambiente ni para el ser humano.

#### **1.4 Delimitación de la investigación**

- **Espacio:** El área de investigación será en el Puerto Santa Ana en el Río Guayas ubicado en la ciudad de Guayaquil en la provincia del Guayas, con

un área de 40.831,22 m<sup>2</sup> con coordenadas que se observan en la tabla 1 a continuación:

**Tabla 1. Coordenadas del área en la cual se va a realizar la investigación**

| (X)       | (Y)        |
|-----------|------------|
| 624943.54 | 9759332.82 |
| 625059.16 | 9759365.39 |
| 625207.50 | 9759107.83 |
| 625104.22 | 9759047.83 |

Coordenadas del área de investigación  
Salvatierra, 2021

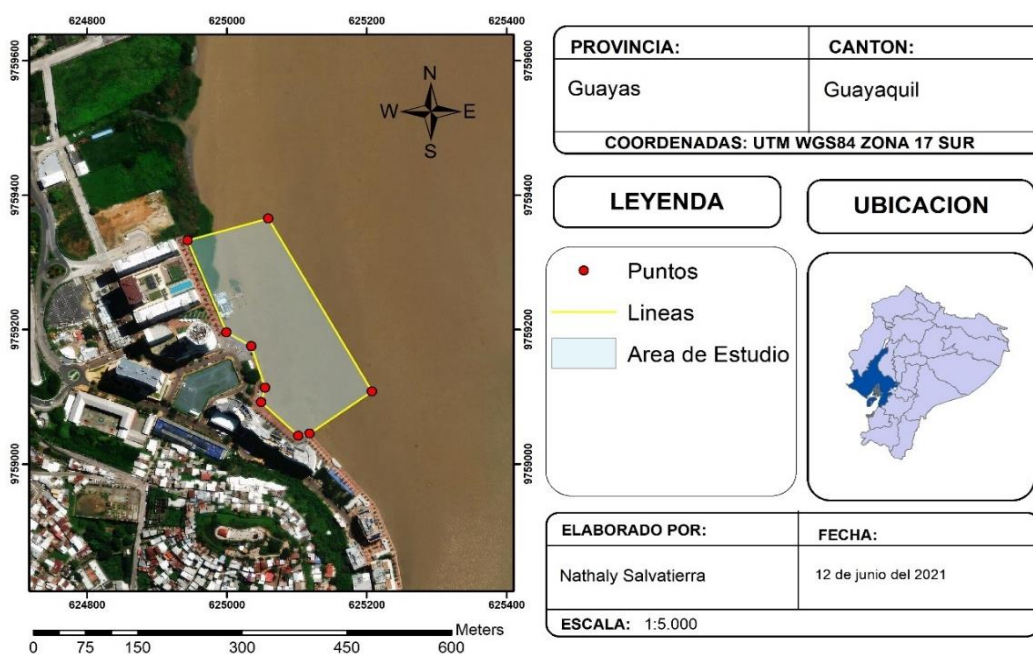


Figura 1. Ubicación del lugar de muestreo en el Puerto Santa Ana en el Río Guayas Salvatierra, 2021

- **Tiempo:** El desarrollo de este trabajo de investigación tiene una duración de aproximadamente seis (6) meses.
- **Población:** Los beneficiarios de esta investigación conforman una población de 4.121 personas, la cual se tomó en función del número estimado de

habitantes que viven en el sitio, basados en datos del censo 2010 (Acaro, 2018).

### **1.5 Objetivo general**

Comparar la eficiencia de dos bio-coagulantes (gelatina de huesos bovinos y quitosano de camarón) para la remoción de turbidez en aguas del Río Guayas en el Puerto Santa Ana.

### **1.6 Objetivos específicos**

- Determinar los parámetros físico-químicos (pH, sólidos suspendidos totales, turbidez y color) en la muestra inicial y después con el tratamiento más efectivo para la clarificación del agua.
- Comprobar la influencia de las dosis de dos bio-coagulantes (gelatina de huesos bovinos y quitosano) en la turbidez residual e identificar las interacciones entre dichas variables, mediante análisis factorial.
- Elaborar una propuesta de remoción de turbidez, utilizando un bio-coagulante, con base a los resultados obtenidos, como método eco-alternativo para la clarificación de las aguas.

### **1.7 Hipótesis**

El quitosano de camarón presenta mayor eficiencia como coagulante para la clarificación del agua que la gelatina de huesos bovinos.

## 2. Marco teórico

### 2.1 Estado del arte

Un estudio realizado por Fuentes, Aguilar, Caldera y Mendoza (2014) demostró que, la aplicación de gelatina de huesos bovinos es efectiva como coagulante natural en el proceso de clarificación de aguas; obteniendo para valores de turbidez inicial correspondientes a 50, 60, 80 y 90 UNT, porcentajes de remoción de 93,8% y 98,6% después del proceso de filtración. La turbiedad en las aguas tratadas fue removida de manera significativa consiguiendo resultantes bastantes importantes para la disminución de turbidez.

Rodríguez y Gallego (2019) realizaron un estudio en el cual se evaluó al quitosano como coagulante natural para la clarificación de efluentes piscícolas y en el sistema de circulación acuícola, mediante el método de jar-test donde se aplicaron dosis de quitosano de 3, 6, 9, 12 y 15 mg/L. Se analizó el efecto estadístico de las dosis de quitosano en la eliminación de la turbidez, sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos suspendidos volátiles (SSV) del agua. Se encontró efecto del quitosano sobre la turbidez, dosis de 9 mg/L logró remociones del 88% y valores de 3.9 NTU (con error < 0.05).

En otro estudio, Trujillo et al. (2014) analizaron la remoción de turbiedad en agua proveniente de una fuente natural, mediante coagulación/floculación, usando almidón de plátano. Plantearon un diseño experimental factorial aleatorio de cuatro factores variables, a saber: pH, dosis de coagulante, velocidad de mezcla rápida y velocidad de mezcla lenta. Realizaron pruebas de jarras para determinar los valores óptimos de dichos factores. El almidón de plátano mostró ser adecuado como ayuda de floculación, aunque presentó una sedimentación lenta. La mejor eficiencia de remoción de turbiedad la obtuvieron para los siguientes valores de los factores:

pH de 5, 50:50 porcentaje en peso de la combinación sulfato de aluminio/almidón de plátano, velocidad de mezcla rápida de 150 rpm, velocidad de mezcla lenta de 20 rpm.

En una investigación realizada por Fuentes, Rodríguez y Ariza (2016) se estudiaron coagulantes naturales como un sustituto del aluminio para la clarificación de aguas; se evaluaron los siguientes coagulantes naturales: *Moringa oleifera*, *Cactus opuntia*, algas marinas y almidón de yuca. Se obtuvo que los coagulantes naturales más eficientes en este estudio fueron *Cactus opuntia* con un 98,69% y *Moringa oleifera* con un 98,32%, logrando las mejores remociones de turbiedad en comparación con los otros coagulantes naturales.

En la Universidad del Zulia (Venezuela) se realizó un estudio para la evaluación del quitosano como coagulante natural alternativo para el tratamiento de aguas con alta turbidez, los resultados demostraron que el quitosano como coagulante es una alternativa para remover más del 60% de turbidez, color, sólidos, hidrocarburos y DQO presentes en aguas residuales industriales y aguas sintéticas con alta turbidez (Caldera et al., 2015).

Por otra parte, Pérez y López (2017) realizaron una investigación para determinar la eficiencia de remoción de la turbiedad del río Rímac, mediante la coagulación y floculación con goma de tara (*Caesalpinia spinosa*). Para ello, utilizaron un diseño Factorial de  $2^4$  que equivale a 16 experimentos, analizando cuatro factores: pH, dosis de coagulante, velocidad de mezcla rápida y velocidad de mezcla lenta, y una variable dependiente que es la turbiedad, la metodología empleada para determinar los valores óptimos fue la prueba de jarras. Pudieron concluir que las variables significativas para la remoción de turbiedad fueron la dosis del coagulante, pH, mezcla rápida y lenta en las siguientes concentraciones,

2% de  $(Al_2SO_4)_3$ , y una dosis óptima de 5 mL; la goma de tara a una concentración de 0,1% y una dosis de 10 mL. La aplicación del diseño factorial fue a un nivel de significancia del 5%.

Almazán et al. (2018) realizaron un estudio para evaluar el poder clarificante del mucílago de penca de tuna para el proceso de potabilización de aguas turbias; consistió en agregar mucílago de penca de tuna a matrices acuosas en diferentes formas como: mucílago licuado, mucílago en polvo y polvo de extracto de mucílago obteniendo resultados significativos en la remoción de turbidez mayores al 96%, siendo el más eficiente el mucílago de penca de tuna licuado; y el desempeño de los clarificantes naturales fue mejor que el del sulfato de aluminio.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Potabilización del agua**

#### **2.2.1.1 Coagulación**

Los coagulantes son materiales químicos que se adicionan al agua para lograr la descarga de todas las partículas coloidales dando origen a la formación de medios más grandes (flóculos), que sedimentan más rápidamente (Pradilla, 2010). En los productos coagulantes se pueden distinguir dos grandes grupos:

##### *2.2.1.1.1 Coagulantes inorgánicos*

Son los más utilizados en el tratamiento de aguas residuales debido a su bajo costo, buen rendimiento, disponibilidad y efectividad, tienen la capacidad de trabajar como coagulantes y floculantes. Entre los más utilizados están: sulfato de aluminio, sulfato ferroso y cloruro férrico, entre otros. Estos productos químicos son muy efectivos y tienen una capacidad muy alta en coagulación floculación, sin embargo, resultan nocivos para la salud del hombre y el medio ambiente (Bravo, 2017).



#### *2.2.1.1.2 Coagulantes orgánicos*

Son considerados como un potencial, ya que al ser biodegradables no generan daños y resultan amigables con el medio ambiente, a diferencia de los coagulantes químicos o inorgánicos que resultan nocivos (Cedeño y Sacoto, 2019).

En este grupo se encuentran polímeros de origen natural, estos son compuestos orgánicos biológicos, entre los cuales se encuentran la celulosa, el almidón, extractos vegetales, extracto de algas (alginatos), quitosano y ciertas gomas (Aguilar, Sáez, Lloréns, Soler y Ortuño, 2002).

#### **2.2.1.2 Floculación**

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. Estos flóculos inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar (Cárdenas, 2000).

#### **2.2.1.3 Sedimentación**

Separación de un líquido clarificado de una suspensión más concentrada por la acción de la gravedad. Este proceso puede dividirse en sedimentación simple o normal y clarificación. La primera remueve las partículas mayores y más pesadas del sedimento. La clarificación, en cambio, separa del agua las partículas floculadas más pequeñas y livianas (Zerbatto, 2012).

#### **2.2.1.4 Filtración**

La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso. En

general, es la operación final de clarificación que se realiza en una planta de tratamiento de agua (Vargas, 2004).

#### **2.2.1.5 Desinfección**

La desinfección es una operación de importancia incuestionable para el suministro de agua potable. La destrucción de microorganismos patógenos es una operación fundamental que muy frecuentemente se realiza mediante productos químicos reactivos (Zerbatto, 2012).

### **2.2.2 Parámetros básicos del agua**

#### **2.2.2.1 Potencial de hidrógeno**

Desde una aproximación simplificada, el pH puede definirse como una medida que expresa el grado de acidez o basicidad de una solución en una escala que varía entre 0 y 14. La acidez aumenta cuando el pH disminuye. Una solución con un pH menor a 7 se dice que es ácida, mientras que si es mayor a 7 se clasifica como básica. Una solución con pH 7 será neutra (Yanesl, 2018).

#### **2.2.2.2 Color**

El color en el agua resulta de la presencia en solución de diferentes sustancias como iones metálicos naturales, humus y materia orgánica disuelta. La expresión color se debe considerar que define el concepto de “color verdadero”, esto es, el color del agua de la cual se ha eliminado la turbiedad (Severiche, Castillo y Acevedo, 2013).

#### **2.2.2.3 Turbiedad**

La turbidez se define como la falta de transparencia en el agua debido a la presencia de sólidos disueltos en ella. La turbidez es un indicador del material suspendido que puede ser originado por los sedimentos provenientes de las

cuencas hidrográficas o vertidos domésticos e industriales; se mide en Unidades Nefelométricas de Turbiedad, NTU (Fosalba y Goyenola, 2007).

#### **2.2.2.4 Sólidos suspendidos totales**

Los sólidos suspendidos totales, cumplen una función como indicador, ya que su presencia disminuye el paso de la luz a través del agua, evitando su actividad fotosintética en el humedal; lo cual es importante para la producción de oxígeno (Duque y Ardila, 2014).

### **2.2.3 Parámetros volumétricos en el agua**

#### **2.2.3.1 Alcalinidad**

La alcalinidad de un agua es su capacidad para neutralizar ácidos y constituye la suma de todas las bases titulables. El valor medido puede variar significativamente con el pH del punto final utilizado. La alcalinidad es la medida de una propiedad agregada del agua y solamente puede interpretarse en términos de sustancias específicas cuando se conoce la composición de la muestra (Pérez, León y Delgadillo, 2013).

#### **2.2.3.2 Acidez**

La acidez de un agua es su capacidad cuantitativa para reaccionar con una base fuerte hasta un pH designado. Por tanto, su valor puede variar significativamente con el pH final utilizado en la valoración. Se puede deber a la presencia entre otros, de dióxido de carbono no combinado, de ácidos minerales o de sales de ácidos fuertes y bases débiles (Severiche, Castillo y Acevedo, 2013).

#### **2.2.3.3 Dureza**

La dureza, debido a la presencia de sales disueltas de calcio y magnesio mide la capacidad de un agua para producir incrustaciones. Afecta tanto a las aguas domésticas como a las industriales, siendo la principal fuente de depósitos e

incrustaciones en calderas, intercambiadores de calor, tuberías, etc. (Pérez et al., 2013).

## 2.3 Marco legal

### 2.3.1 Constitución de la República del Ecuador

#### TÍTULO II: Derechos

##### Capítulo Segundo: Derechos del Buen Vivir

##### Sección primera: Agua y Alimentación

**Art 12.-** El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.

**Art. 14.-** Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

##### Sección Segunda: Ambiente Sano

**Art. 15.-** El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

##### Sección Séptima: Salud

**Art. 32.-** La salud es un derecho que garantiza el Estado, cuya realización se vincula al ejercicio de otros derechos, entre ellos el derecho al agua, la alimentación, la educación, la cultura física, el trabajo, la seguridad social, los ambientes sanos y otros que sustentan el buen vivir

##### Capítulo séptimo: Derechos de la naturaleza

**Art. 71.-** La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza.

**Art. 72.-** La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados.

**Art. 73.-** El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales.

#### Título VII: Régimen Del Buen Vivir

##### Capítulo Primero: Inclusión y Equidad

##### Sección segunda: Salud

**Art. 361.-** El Estado ejercerá la rectoría del sistema a través de la autoridad sanitaria nacional, será responsable de formular la política nacional de salud, y normará, regulará y controlará todas las actividades relacionadas con la salud, así como el funcionamiento de las entidades del sector.

**Art.404.-** El patrimonio natural del Ecuador único e invaluable comprende, entre otras, las formaciones físicas, biológicas y geológicas cuyo valor desde el punto de vista ambiental, científico, cultural o paisajístico exige su protección, conservación, recuperación y promoción. Su gestión se sujetará a los principios y garantías consagrados en la Constitución y se llevará a cabo de acuerdo al ordenamiento territorial y una zonificación ecológica, de acuerdo con la ley.

**Capítulo Segundo:** Biodiversidad y Recursos Naturales

**Sección sexta:** Agua

**Art. 411.-** El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua.

**Art. 412.-** La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico.

### 2.3.2 Código Orgánico Ambiental

**Título I,** Objeto, Ámbito y fines

**Art 1. -** Este Código tiene por objeto garantizar el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, así como proteger los derechos de la naturaleza para la realización del buen vivir o sumak kawsay. Las disposiciones de este Código regularán los derechos, deberes y garantías ambientales contenidos en la Constitución, así como los instrumentos que fortalecen su ejercicio, los que deberán asegurar la sostenibilidad, conservación, protección y restauración del ambiente, sin perjuicio de lo que establezcan otras leyes sobre la materia que garanticen los mismos fines.

**Título II,** De los derechos, deberes y principios ambientales, Art 5, Literal 4.- La conservación, preservación y recuperación de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico.

**Literal 6.-** La prevención, control y reparación integral de los daños ambientales.

**Art. 6.- Derechos de la naturaleza. -** Son derechos de la naturaleza los reconocidos en la constitución, los cuales abarcan el respeto integral de su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos, así como la restauración.

**Art.7.- Deberes comunes del estado y las personas, Literal 1. –** respetar los derechos de la naturaleza y utilizar los recursos naturales, los bienes tangibles e intangibles asociados a ellos, de modo racional y sostenible.

**Literal 4.-** prevenir, evitar y reparar de forma integral los daños y pasivos ambientales y sociales.

**Literal 5.-** informar, comunicar o denunciar ante la autoridad competente cualquier actividad contaminante que produzca o pueda producir impactos o daños ambientales.

**Art 9.- Principios ambientales, Literal 4.-** quien realice o promueva una actividad que contamine o que lo haga en el futuro, deberá incorporar a sus costos de producción todas las medidas necesarias para prevenirla, evitarla o reducirla. Asimismo, quien contamine estará obligado a la reparación integral y

43 la indemnización a los perjudicados, adoptando medidas de compensación a las poblaciones afectadas y al pago de las sanciones que correspondan.

**Capítulo V**, Calidad de los componentes abióticos y estado de los componentes bióticos, Art. 190.- las actividades que causen riesgos o impactos ambientales en el territorio nacional deberán velar por la protección y conservación de los ecosistemas y sus componentes bióticos y abióticos, de tal manera que estos impactos no afecten a las dinámicas de las poblaciones y la regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos, o que impida su restauración.

### 2.3.3 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, usos.

**Título I:** Disposiciones Preliminares

**Capítulo I:** De los Principios

**Art. 1.-** Naturaleza jurídica. Los recursos hídricos son parte del patrimonio natural del Estado y serán de su competencia exclusiva, la misma que se ejercerá concurrentemente entre el Gobierno Central y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, de conformidad con la Ley. El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida, elemento vital de la naturaleza y fundamental para garantizar la soberanía alimentaria.

**Art. 2.-** Ámbito de aplicación. La presente Ley Orgánica regirá en todo el territorio nacional, quedando sujetos a sus normas las personas, nacionales o extranjeras que se encuentren en él.

**Art. 3.-** Objeto de la Ley. El objeto de la presente Ley es garantizar el derecho humano al agua, así como regular y controlar la autorización, gestión, preservación, conservación, restauración, de los recursos hídricos, uso y aprovechamiento del agua, la gestión integral y su recuperación, en sus distintas fases, formas y estados físicos, a fin de garantizar el *sumak kawsay* o buen vivir y los derechos de la naturaleza establecidos en la Constitución.

**Art.12.-** Protección, recuperación y conservación de fuentes. – el estado, los sistemas comunitarios, juntas de agua potable y juntas de riego, los consumidores y usuarios, son corresponsables en la protección, recuperación y conservación de las fuentes de agua y del manejo de páramos, así como la participación en el uso y administración de las fuentes de agua que se hallen en sus tierras, sin perjuicio de las competencias generales de la Autoridad Única del Agua de acuerdo con lo previsto en la Constitución y en esta Ley.

**Título II:** Recursos Hídricos

**Capítulo II:** Institucionalidad y Gestión de los Recursos Hídricos

**Sección primera:** Sistema Nacional Estratégico y Autoridad Única del Agua

**Art 21.-** Agencia de Regulación y Control del Agua La Agencia de Regulación y Control del Agua, ejercerá la regulación y control de la gestión integral e integrada de los recursos hídricos, de la cantidad y calidad de agua en sus fuentes y zonas de recarga, calidad de los servicios públicos relacionados al sector agua y en todos los usos, aprovechamientos y destinos del agua.

**Sección Segunda:** Planificación Hídrica

**Art. 35.-** Principios de la gestión de los recursos hídricos. La gestión de los recursos hídricos en todo el territorio nacional se realizará de conformidad con los siguientes principios: La cuenca hidrográfica constituirá la unidad de planificación y gestión integrada de los recursos hídricos; La planificación para

la gestión de los recursos hídricos deberá ser considerada en los planes de ordenamiento territorial de los territorios comprendidos dentro de la cuenca hidrográfica, la gestión ambiental y los conocimientos colectivos y saberes ancestrales; La gestión del agua y la prestación del servicio público de saneamiento, agua potable, riego y drenaje son exclusivamente públicas o comunitarias; La prestación de los servicios de agua potable, riego y drenaje deberá regirse por los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad. La participación social se realizará en los espacios establecidos en la presente Ley y los demás cuerpos legales expedidos para el efecto.

**Art. 36.-** Deberes estatales en la gestión integrada. El Estado y sus instituciones en el ámbito de sus competencias son los responsables de la gestión integrada de los recursos hídricos por cuenca hidrográfica. En consecuencia, son los obligados a: Promover y garantizar el derecho humano al agua; Regular los usos, el aprovechamiento del agua y las acciones para preservarla en cantidad y calidad mediante un manejo sustentable a partir de normas técnicas y parámetros de calidad; Conservar y manejar sustentablemente los ecosistemas marino costeros, altoandinos y amazónicos, en especial páramos, humedales y todos los ecosistemas que almacenan agua; Promover y fortalecer la participación en la gestión del agua de las organizaciones de usuarios, consumidores de los sistemas públicos y comunitarios del agua, a través de los consejos de cuenca hidrográfica y del Consejo Intercultural y Plurinacional del Agua; y, Recuperar y promover los saberes ancestrales, la investigación y el conocimiento científico del ciclo hidrológico.

#### **Sección Cuarta:** Servicios Públicos

**Art 37.-** Servicios Públicos Básicos La provisión de agua potable comprende los procesos de captación y tratamiento de agua cruda, almacenaje y transporte, conducción, impulsión, distribución, consumo, recaudación de costos, operación y mantenimiento. La certificación de calidad del agua potable para consumo humano deberá ser emitida por la autoridad nacional de salud.

#### **Sección Sexta:** Gestión Comunitaria del Agua

**Art 44.-** Deberes y atribuciones de las juntas administradoras de agua potable 4. Participar con la Autoridad Única del Agua en la protección de las fuentes de abastecimiento del sistema de agua potable, evitando su contaminación.

### **Título III:** Derechos, garantías y obligaciones

#### **Capítulo I:** Derecho Humano al Agua

**Art.57.-** El derecho humano al agua es el derecho de todas las personas a disponer de agua limpia, suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal y doméstico en cantidad, calidad, continuidad y cobertura. Forma parte de este derecho el acceso al saneamiento ambiental que asegure la dignidad humana, la salud, evite la contaminación y garantice la calidad de las reservas de agua para consumo humano.

#### **Capítulo II:** Derecho a la Igualdad y No Discriminación

**Art 61.-** Derecho a la igualdad y no discriminación en el acceso al derecho humano al agua. Todas las personas ejercerán el derecho humano al agua en condiciones de igualdad.

**Art. 64.-** Conservación del agua. La naturaleza o Pacha Mama tiene derecho a la conservación de las aguas con sus propiedades como soporte esencial para todas las formas de vida. En la conservación del agua, la naturaleza tiene derecho a: a) La protección de sus fuentes, zonas de captación, regulación,

recarga, afloramiento y cauces naturales de agua, en particular, nevados, glaciares, páramos, humedales y manglares. b) El mantenimiento del caudal ecológico como garantía de preservación de los ecosistemas y la biodiversidad. e) La restauración y recuperación de los ecosistemas por efecto de los desequilibrios producidos por la contaminación de las aguas y la erosión de los suelos.

#### **Capítulo VI: Garantías Preventivas**

##### **Sección Segunda: Objetivos de Prevención y Control de la Contaminación del Agua**

**Art. 79.-** Objetivos de prevención y conservación del agua. - La Autoridad Única del Agua, la Autoridad Ambiental Nacional y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, trabajarán en coordinación para cumplir los siguientes objetivos: a) Garantizar el derecho humano al agua para el buen vivir o *sumak kawsay*, los derechos reconocidos a la naturaleza y la preservación de todas las formas de vida, en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación; b) Preservar la cantidad del agua y mejorar su calidad; c) Controlar y prevenir la acumulación en suelo y subsuelo de sustancias tóxicas, desechos, vertidos y otros elementos capaces de contaminar las aguas superficiales o subterráneas; d) Controlar las actividades que puedan causar la degradación del agua y de los ecosistemas acuáticos y terrestres con ella relacionados y cuando estén degradados disponer su restauración; e) Prohibir, prevenir, controlar y sancionar la contaminación de las aguas mediante vertidos o depósito de desechos sólidos, líquidos y gaseosos; compuestos orgánicos, inorgánicos o cualquier otra sustancia tóxica que alteren la calidad del agua o afecten la salud humana, la fauna, flora y el equilibrio de la vida; f) Garantizar la conservación integral y cuidado de las fuentes de agua delimitadas y el equilibrio del ciclo hidrológico; y, g) Evitar la degradación de los ecosistemas relacionados al ciclo hidrológico.

**Art. 80.-** Vertidos: prohibiciones y control. Se consideran como vertidos las descargas de aguas residuales que se realicen directa o indirectamente en el dominio hídrico público. Queda prohibido el vertido directo o indirecto de aguas o productos residuales, aguas servidas, sin tratamiento y lixiviados susceptibles de contaminar las aguas del dominio hídrico público. Es responsabilidad de los gobiernos autónomos municipales el tratamiento de las aguas servidas y desechos sólidos, para evitar la contaminación de las aguas de conformidad con la ley.

#### **2.3.4 Acuerdo Ministerial 097-A**

##### **Reforma al Texto Unificado Legislación Secundaria Medio Ambiente (TULSMA).**

##### **Anexo 1: Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes al recurso agua.**

##### **Numeral 3. Principios básicos**

**3.1.** El proceso de control de la contaminación del recurso hídrico se basa en el mantenimiento de la calidad del mismo para la preservación de los usos asignados a través del cumplimiento de la respectiva norma de calidad, según principios que se indican en el presente documento.

**3.2.** Las municipalidades dentro de su límite de actuación y a través de las entidades prestadoras de servicios de agua potable y saneamiento (EPS) de



carácter público o delegadas actualmente al sector privado, serán las responsables de prevenir, controlar o solucionar los problemas de contaminación de agua potable y alcantarillado para lo cual deberán realizar los respectivos planes maestros o programas de control de la contaminación.

**3.3.** Para el control de la contaminación de los cuerpos de agua de cualquier tipo, de acuerdo a la actividad regulada, el sujeto de control debe entre otras realizar las siguientes actividades: desarrollo del plan de manejo ambiental, en el que se incluya el tratamiento de sus efluentes previo a la descarga, actividades de control de la contaminación por escorrentía pluvial y demás actividades que permitan prevenir y controlar posibles impactos ambientales. Adicionalmente la autoridad ambiental podrá solicitar al regulado el monitoreo de la calidad del cuerpo de agua.

### **5.1.2 Criterios de calidad de aguas para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, y en aguas marinas y de estuarios.**

**5.1.2.1** Se entiende por uso del agua para preservación de la vida acuática y silvestre, su empleo en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas asociados, sin causar alteraciones en ellos, o para actividades que permitan la reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies bioacuáticas en cualquiera de sus formas, tal como en los casos de pesca y acuicultura.

**5.1.2.2** Los criterios de calidad para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuario.

### **2.3.5 Ley de Gestión Ambiental**

**Art. 33.-** Establecen como instrumentos de aplicación de las normas ambientales los siguientes: parámetros de calidad ambiental, normas de efluentes y emisiones, normas técnicas de calidad de productos, régimen de permisos y licencias administrativas, evaluaciones de impacto ambiental, listados de productos contaminantes y nocivos para la salud humana y el medio ambiente, certificaciones de calidad ambiental de productos y servicios y otros que serán regulados en el respectivo reglamento.

**Art. 40.-** Toda persona natural o jurídica que, en el curso de sus actividades empresariales o industriales estableciere que las mismas pueden producir o están produciendo daños ambientales a los ecosistemas, está obligada a informar sobre ello al Ministerio del ramo o a las instituciones del régimen seccional autónomo. La información se presentará a la brevedad posible y las autoridades competentes deberán adoptar las medidas necesarias para solucionar los problemas detectados. En caso de incumplimiento de la presente disposición, el infractor será sancionado con una multa de veinte a doscientos salarios mínimos vitales generales.

### **3. Materiales y métodos**

#### **3.1 Enfoque de la investigación**

##### **3.1.1 Tipo de investigación**

Se desarrolló una investigación experimental con un nivel de conocimiento explicativo, de acuerdo a esta, se estudiaron variables relacionadas con la eficiencia de las coagulantes gelatinas de huesos bovinos y quitosano derivado del camarón.

##### **3.1.2 Diseño de investigación**

En esta investigación se usó un diseño experimental que permitió estudiar diversos factores en la investigación. Se midieron diferentes variables para determinar su efecto en la remoción de turbidez. Cabe destacar que las dosis de coagulante que se aplicaron se seleccionaron de valores reportados como eficientes por otros investigadores para quitosano (Fuentes, Contreras y Perozo, 2008).

Además, la dosis del coagulante fue seleccionada también para la gelatina de huesos bovinos (Fuentes, Aguilar, Caldera y Mendoza, 2014).

Del mismo modo, los valores de turbidez inicial obedecen a que los niveles de turbidez del agua en el Río Guayas, indicados por los investigadores, se ubican en niveles bajos para los puentes “5 de junio” y “El Velero” (1,79-8,99 UNT) (Carangui y Pólit, 2017).

En cambio, valores altos fueron detectados en los puentes “Gómez Rendón” (169-173 UNT) (Rodríguez-Villacis et al., 2017).

Asimismo, se reportaron valores altos en “Albán Borja”, “Miraflores” y “Urdesa” con turbiedades de 167 UNT, 174 UNT y 117 UNT respectivamente (Mariscal-Santi et al., 2018).

El diseño de la investigación fue acorde a las necesidades del tipo de proyecto.

### **3.2 Metodología**

Para el presente trabajo de investigación se consideraron las siguientes variables.

#### **3.2.1 Variables**

Según el tipo de investigación, se incluyen las variables.

##### **3.2.1.1 Variable independiente**

- Tipo de coagulante: gelatina de huesos bovinos y quitosano (Factor A).
- Dosis del coagulante: 12 mg/L y 24 mg/L (Factor B).
- Turbidez inicial: niveles de 20 UNT y 180 UNT (Factor C).

##### **3.2.1.2 Variable dependiente**

La variable dependiente es la función respuesta o resultado en relación a la variable independiente. Por ejemplo, la variable dependiente se grafica en el eje y del plano cartesiano. En este caso, la variable dependiente fue:

- Turbidez residual (después de filtrar).

#### **3.2.2 Tratamientos**

En cuanto a este aspecto, se describen los factores, niveles y combinación de ellos que se aplicaron. Se consideraron ocho (8) tratamientos, ya que se estudiaron tres (3) factores con dos (2) niveles cada uno:  $2^3: 2 \times 2 \times 2 = 8$ . Los tratamientos fueron los que se muestran en la Tabla 2. Estos tratamientos tuvieron dos repeticiones y en total se efectuaron 16 experimentaciones.

Factor A: Tipo de coagulante. Niveles: gelatina de huesos bovinos y quitosano.

Factor B: Dosis del coagulante. Niveles: 12 mg/L y 24 mg/L.

Factor C: Turbidez inicial. Niveles: 20 UNT y 180 UNT.

**Tabla 2. Tratamientos con tres factores**

| EXPERIMENTO | FACTORES O VARIABLES INDEPENDIENTES |                                     |                              |
|-------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
|             | FACTOR A<br>Tipo de<br>coagulante   | FACTOR B<br>Dosis del<br>coagulante | FACTOR C<br>Turbidez inicial |
| 1           | Gelatina                            | 12 mg/L                             | 20 UNT                       |
| 2           | Quitosano                           | 12 mg/L                             | 20 UNT                       |
| 3           | Gelatina                            | 24 mg/L                             | 20 UNT                       |
| 4           | Quitosano                           | 24 mg/L                             | 20 UNT                       |
| 5           | Gelatina                            | 12 mg/L                             | 180 UNT                      |
| 6           | Quitosano                           | 12 mg/L                             | 180 UNT                      |
| 7           | Gelatina                            | 24 mg/L                             | 180 UNT                      |
| 8           | Quitosano                           | 24 mg/L                             | 180 UNT                      |

Descripción de tratamientos con tres factores.  
Salvatierra, 2021

### 3.2.3 Diseño experimental

Las muestras de agua con alta turbidez se recolectaron en el Río Guayas en el puerto Santa Ana dentro de las coordenadas establecidas (Tabla 1) que consta con un área de 40.831,22 m<sup>2</sup>, este diseño fue completamente al azar (DCA), debido a que las muestras de agua a tratar se asignaron de forma aleatoria en cada tratamiento.

### 3.2.4 Recolección de datos

#### 3.2.4.1 Recursos

Para el desarrollo de esta investigación se utilizaron recursos materiales como:

- Recipientes
- Muestras de agua del Río Guayas
- Gelatina de huesos bovinos
- Coagulante tipo quitosano de camarón
- Vasos de precipitado
- Cilindros graduados o jeringas
- Pipetas
- Cajas de Petri

- Embudos
- Papel de filtro
- Soporte para filtración
- Agua destilada o convencional para efectuar diluciones
- Espátulas
- Material bibliográfico

#### *3.2.4.1.1 Equipos*

- Balanza analítica
- Equipo de jarras
- Turbidímetro

#### *3.2.4.1.2 Recursos tecnológicos*

Los recursos tecnológicos a utilizar serán software, tales como:

- Microsoft Word
- Microsoft Excel
- Microsoft Project
- Minitab 19
- Google Chrome

#### **3.2.4.2 Métodos y técnicas**

##### *3.2.4.2.1 Recolección de muestras*

Las muestras de agua del Río Guayas se recolectaron, conservaron y transportaron tomando en consideración las técnicas, procedimientos y normas de recepción de muestras del laboratorio que refiere el INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1998).

La zona de muestreo se dividió en cuatro áreas: una al inicio, dos en el área intermedia y otra en el extremo final (Figura 2). Los sitios específicos se

determinaron por medio de posicionamiento geográfico mediante un GPS portátil. El acceso a las áreas para recolectar las muestras se logró mediante embarcaciones pequeñas.

Las muestras de agua se recolectaron en las cuatro áreas para garantizar la aleatoriedad, de acuerdo a las normas establecidas por el INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013), a 1 m de profundidad y a 50 m de la orilla para lograr la mayor homogeneidad de las muestras.



Figura 2. Áreas de muestreo en el Puerto Santa Ana mediante Google Earth (2021)  
Salvatierra, 2021

La recolección de las muestras de agua en el Río Guayas se realizó en recipientes con capacidad de 20 L y fue en forma aleatoria en las diversas áreas indicadas y con una frecuencia semanal durante un mes.

#### 3.2.4.2.2 Procedimientos

Las muestras de agua del Río Guayas se caracterizaron fisicoquímicamente mediante la medición de los parámetros pH, sólidos suspendidos totales (SST), turbidez y color, antes de la aplicación de los tratamientos y después de la fase de

clarificación con el tratamiento más efectivo. Para la medición del pH se aplicó el método potenciométrico, utilizando un potenciómetro o pH metro para ello.

Los sólidos suspendidos totales se determinaron mediante análisis gravimétrico y filtración al vacío. Se calcularon los sólidos suspendidos totales (SST) mediante la ecuación:

$$\frac{mg}{L} SST = \frac{(A - B)1000}{Vol. muestra (mL)}$$

A: masa final del papel de filtro + residuo seco

B: masa del papel de filtro

La turbidez se midió con un turbidímetro, usando el método nefelométrico. El color se determinó mediante un colorímetro, aplicando el método denominado colorimétrico, para este propósito se siguieron los procedimientos establecidos en el Método Estándar (APHA, AWWA, WEF, 2017).

Se realizaron diferentes ensayos según las diferentes variables y niveles a estudiar (Tabla 2). Cada ensayo comprendió la preparación de muestras a partir de la recolección del agua del Río Guayas, a las cuales, cuando fue necesario, se le efectuaron diluciones con agua para ajustar la turbidez a los valores iniciales requeridos, es decir, para llegar a los niveles de 20 UNT y 180 UNT.

Las muestras de agua con valores iniciales de turbidez en estudio se colocaron en vasos de precipitado hasta alcanzar 1 L de capacidad, los cuales se ubicaron en el equipo de jarras y se agregaron por separado las dosis de 12 mg/L o 24 mg/L para cada coagulante (huesos bovinos y quitosano) para simular el proceso de clarificación mediante el método de prueba de jarras, ya que es un método estandarizado (coagulación, floculación y sedimentación) que ocurre en una planta de tratamiento.

La prueba de jarras se efectuó en un equipo que permite agitar la mezcla agua-coagulante y se programó en revoluciones por minuto (rpm). Dicha prueba comprendió la mezcla rápida (100 rpm) durante un minuto, la mezcla lenta (30 rpm) durante 20 minutos y la sedimentación (0 rpm) durante 30 minutos. Cada coagulante se adicionó al iniciar el primer minuto de la mezcla rápida en el equipo de jarras.

Las pruebas se realizaron por duplicado, según el orden arrojado por el software Minitab 19 y después de cada experimento, se midió la turbidez residual (después de la filtración) mediante el método nefelométrico. Posteriormente, se calculó la remoción mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de Remoción} = \frac{\text{Turbidez inicial} - \text{Turbidez final}}{\text{Turbidez inicial}} * 100$$

Por otra parte, la preparación de los coagulantes se realizó a partir de metodologías reportadas por otros autores. El coagulante de la gelatina de huesos bovinos se preparó, según lo señalado por Fuentes, Aguilar, Caldera y Mendoza (2014), donde primero se adquirieron los huesos de ganado bovino, se limpiaron y se eliminó la carne adherida a estos, se separó la parte interna (médula) y se dejó reposar durante 25 minutos en un vaso de precipitado con agua para facilitar el desangramiento. Luego, se pesó la muestra de médula y se colocó en un vaso de precipitado completando con agua hasta 100 mL, se sometió a agitación y calentamiento (50-70 °C) durante 30 minutos. Se dejó en reposo durante 20 minutos, al cabo de los cuales se diferenciaron tres fases (grasosa, aceitosa y acuosa). La fase acuosa se filtró y se usó como coagulante. Se midieron las masas para establecer la concentración inicial, de modo que a la masa inicial de médula (40 g) se le restó la masa retenida en el papel de filtro (39,21 g) para obtener la masa disuelta (0,79 g), y se midió el volumen que quedó (20,1 mL); así se determinó



la concentración del coagulante (3,93 % m/v) y se realizaron los cálculos necesarios para obtener los volúmenes correspondientes a 12 mg/L y 24 mg/L:

$$\frac{100 \text{ mL}}{3,93} * \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} * 12 \text{ mg} = 0,3 \text{ mL}$$

$$\frac{100 \text{ mL}}{3,93 \text{ g}} * \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} * 24 \text{ mg} = 0,6 \text{ mL}$$

Los volúmenes calculados se añadieron a las muestras de agua para realizar los tratamientos. En cuanto al quitosano, este se adquirió en un expendio comercial de Guayaquil y se preparó a las concentraciones requeridas (12 mg/L y 24 mg/L); al quitosano se le midió directamente su masa, según las proporciones requeridas, ya que está listo para aplicar, luego se disolvieron 0,6 gramos de quitosano en 100 mL de una solución de ácido acético 0,1 M para obtener una concentración al 0,6 % m/v, de la cual se midieron 2 mL y 4 mL que correspondieron a 12 y a 24 mg, respectivamente; volúmenes que al adicionarse al vaso del equipo de jarras contentivo de 1 L de agua, representaron las ppm o mg/L del coagulante. Los cálculos se efectuaron de la siguiente manera:

$$\frac{100 \text{ mL}}{0,6 \text{ g}} * \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} * 12 \text{ mg} = 2 \text{ mL}$$

$$\frac{100 \text{ mL}}{0,6 \text{ g}} * \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} * 24 \text{ mg} = 4 \text{ mL}$$

### 3.2.5 Análisis estadístico

Para la presente investigación se empleó el software Minitab 19 que permitió realizar el análisis factorial a fin de poder identificar los factores variables con mayor efecto en la remoción de turbidez y las interacciones entre los factores variables que se produjeron al emplear los coagulantes: gelatina de huesos bovinos y quitosano.

Con el software Minitab 19 se realizó el diseño factorial con tres factores o variables y dos niveles. Los factores o variables estudiados fueron: tipo de coagulante, dosis de coagulante y turbidez inicial. La variable respuesta fue la turbidez final o residual. Los datos correspondientes a los factores se transfirieron en el software para obtener el diseño factorial, luego se agregaron los datos correspondientes a la turbidez residual que se obtuvo con los experimentos.

Se analizaron los supuestos de normalidad y homogeneidad u homocedasticidad. Para la prueba de normalidad, mediante el mismo software se estableció la aceptación de la hipótesis nula para confirmar la normalidad, donde  $p > 0,05$ . Con respecto a la prueba de homogeneidad, se efectuó el ANOVA con la prueba de igualdad de varianzas, donde este supuesto se cumple siempre y cuando  $p > 0,05$ .

Después de verificar el cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad, se ejecutó el análisis factorial, mediante el cual se obtuvieron dos gráficos de efectos: una gráfica normal de los efectos y un diagrama de Pareto. La primera gráfica representó los efectos significativos y los no significativos. La segunda ayudó a interpretar los efectos significativos. Al observar significancia en un factor principal, pero también interactuando con otro u otros factores, se seleccionó la interacción para realizar las interpretaciones (Trujillo et al., 2014).

Se analizaron e interpretaron cada uno de los efectos principales y los tipos de interacción que se presentaron, tomando como base, las gráficas y el ANOVA que se obtuvieron por medio del análisis factorial.

## 4. Resultados

### 4.1 Parámetros físico-químicos (pH, sólidos suspendidos totales, turbidez y color) en la muestra inicial y después con el tratamiento más efectivo para la clarificación del agua.

#### 4.1.1 Parámetros físico-químicos del agua del Río Guayas (Puerto Santa Ana)

En la Tabla 3 se presenta los parámetros físicos-químicos del agua del Río Guayas antes del proceso de tratamiento que se detallan a continuación:

**Tabla 3. Parámetros físico-químicos en muestras de agua del río Guayas (Puerto Santa Ana)**

| ÁREAS      | Turbidez inicial (UNT) | pH           | SST (mg/L)   | Color (UC Pt-Co) |
|------------|------------------------|--------------|--------------|------------------|
| INICIAL    | 180,10                 | 7,41         | 52,22        | 58,75            |
|            | 180,02                 | 7,42         | 51,67        | 61,25            |
| $\bar{X}$  | <b>180,06</b>          | <b>7,41</b>  | <b>51,95</b> | <b>60,00</b>     |
| INTERMEDIA | 197,88                 | 7,42         | 59,16        | 69,37            |
|            | 196,10                 | 7,427        | 58,81        | 67,50            |
| $\bar{X}$  | <b>196,99</b>          | <b>7,427</b> | <b>58,98</b> | <b>68,43</b>     |
| FINAL      | 207,97                 | 7,417        | 61,12        | 78,75            |
|            | 204,75                 | 7,382        | 60,67        | 77,50            |
| $\bar{X}$  | <b>206,36</b>          | <b>7,40</b>  | <b>60,89</b> | <b>78,12</b>     |
| $\bar{X}$  | <b>198,59</b>          | <b>7,41</b>  | <b>58,80</b> | <b>71,38</b>     |

Valores de los parámetros físico-químicos en muestras de agua del río Guayas (Puerto Santa Ana), antes del ajuste de turbidez. Salvatierra, 2021

Las muestras de agua recolectadas en el Río Guayas (puerto Santa Ana) (Tabla 3), reflejan turbiedades entre 172,3 y 209,7 UNT, valores de pH que se encuentran entre 7,33 y 7,58, Sólidos Suspendidos Totales (SST) que varían desde 50,66 hasta 62,18 mg/L y el color se ubica en un intervalo de 55 a 80 UC Pt-Co. Al promediar los valores de las dos repeticiones realizadas en las diferentes áreas muestreadas,

se obtienen los siguientes resultados promedio: 198,590 UNT (turbidez), 7,413929 (pH), 58,802 mg/L (SST) y 71,384 UC Pt-Co (color). En este caso, los resultados obtenidos se observa que los parámetros que cumplen con la normativa establecida son el pH y el color (Ministerio del Ambiente, 2015).

#### 4.1.2 Parámetros físico-químicos del agua con ajuste en la turbidez previo al tratamiento

En la Tabla 4 se presentan los parametros fisico-químicos del agua fueron sometidos a un proceso de disolucion mediante agua destilada con el proposito de ajustar los niveles de turbidez, lo que se puede constatar a continuación:

**Tabla 4. Parámetros físico-químicos de aguas antes del tratamiento**

| Turbidez inicial (UNT) | pH                  | SST (mg/L)            | Color (UC Pt-Co)      |
|------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| 20                     | 7,41                | 22,63                 | 20,00                 |
| $\bar{X}$              | 7,33<br><b>7,37</b> | 21,15<br><b>21,89</b> | 15,00<br><b>17,50</b> |
| 180                    | 7,39                | 52,52                 | 60,00                 |
|                        | 7,40                | 50,68                 | 55,00                 |
| $\bar{X}$              | <b>7,39</b>         | <b>51,60</b>          | <b>57,50</b>          |

Valores de los parámetros físicoquímicos del agua antes del tratamiento. Salvatierra, 2021

Previo a la realización de los experimentos, las muestras de agua se acondicionaron a los valores de turbidez requeridos y se midieron los parámetros pH, SST y color. Para ambos valores de turbidez inicial considerados, el pH y el color cumplen con lo reglamentado. En cuanto a la turbidez ajustada, la de 20 UNT también cumple con el límite previsto de 100 UNT (Ministerio del Ambiente, 2015).

Los SST no se consideran en las normativas.

Posterior a la aplicación de los tratamientos, se especificarán los parámetros físico-químicos para el tratamiento que resulte más efectivo en la clarificación del agua del Río Guayas (Puerto Santa Ana).

#### 4.2 Influencia de las dosis de dos bio-coagulantes (gelatina de huesos bovinos y quitosano) en la turbidez residual e interacciones entre dichas variables.

En el Figura 3 se detalla la prueba de normalidad que se realizó con el software Minitab versión 19, lo cual se observa a continuación:

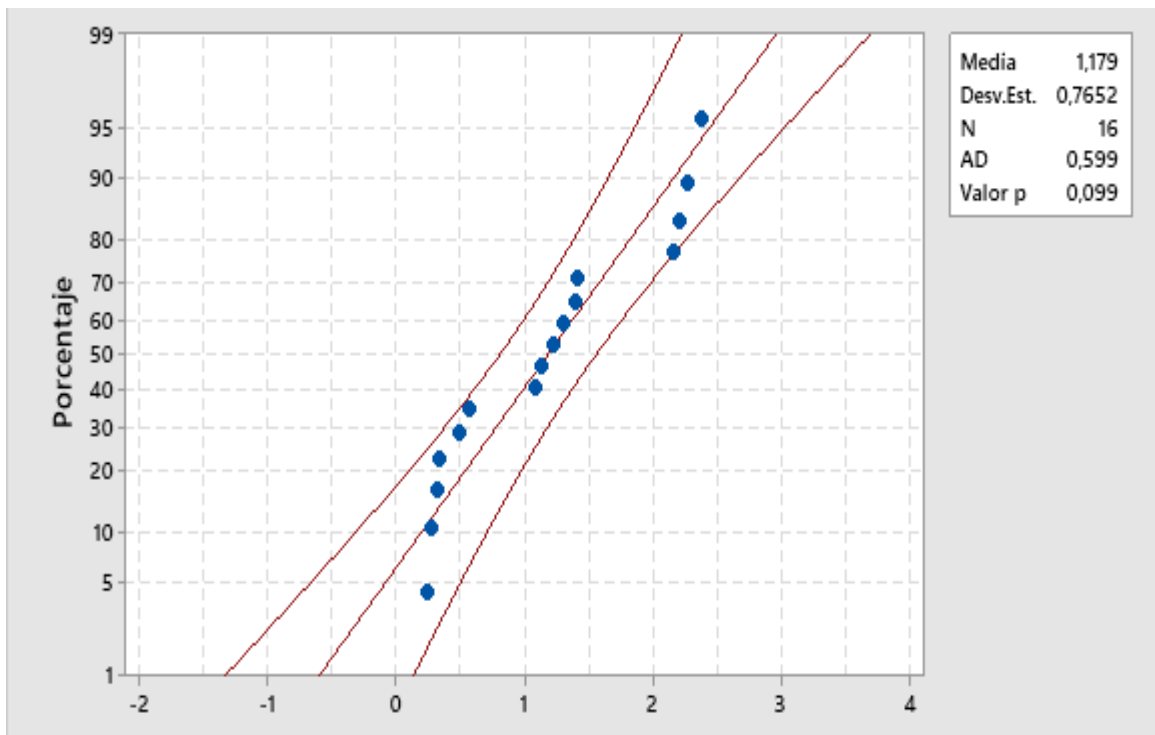


Figura 3. Gráfica de probabilidad de prueba de normalidad 95%  
Salvatierra, 2021

Por lo tanto, el análisis de las pruebas de normalidad arrojó que no hay diferencias significativas. En cuanto a la primera prueba, se acepta la hipótesis nula, según la siguiente descripción:

$H_0$  = Los datos siguen una distribución normal

En función de ello, se confirma el supuesto de normalidad, donde  $p > 0,05$ . La curva de normalidad y el valor  $p$  igual a 0,099 que demuestra el cumplimiento de la hipótesis nula y la distribución de los datos sobre la diagonal.

En cambio, en la figura 4 se observa la prueba de homogeneidad; la prueba de igualdad de varianzas que se visualiza a continuación:

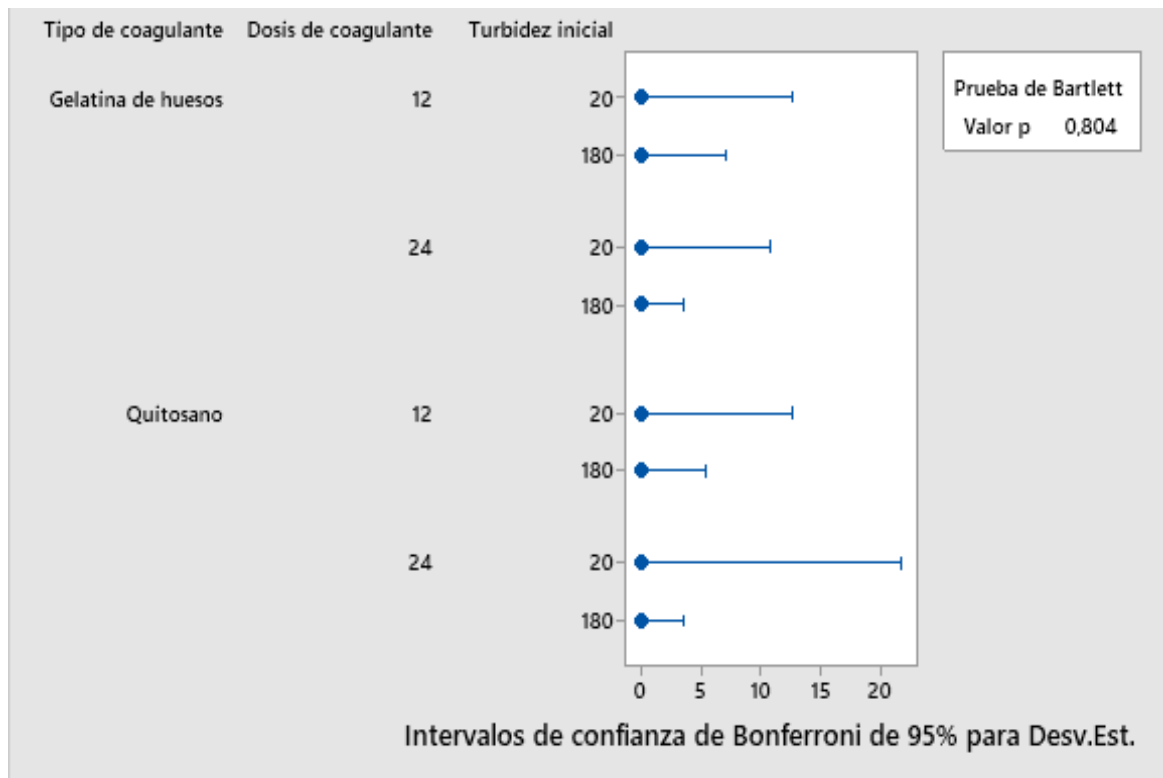


Figura 4. Prueba de homogeneidad de varianzas: turbidez final vs. Tipo de coagulante; dosis de coagulante  
Salvatierra, 2021

Con respecto a la prueba de homogeneidad, en la misma se observa que la prueba de Barlett tiene un  $p$  valor igual a 0,804, el cual denota que  $p > 0,05$  y es por ello que se acepta la hipótesis nula, confirmándose el supuesto de homogeneidad de los datos.

$H_0$  = Todas las varianzas son iguales

Esto quiere decir que no hay diferencias significativas, lo que conlleva a indicar que los datos si cumplen con la normalidad, y, en este caso, se concluyen de que se puede aplicar el análisis factorial.

En la Tabla 5 se puede observar los resultados del diseño factorial y los factores que inciden en la turbidez final.

**Tabla 5. Resultados del diseño factorial**

| <b>Término</b>                                          | <b>Efecto</b> | <b>Coefficiente</b> | <b>Valor p</b> |
|---------------------------------------------------------|---------------|---------------------|----------------|
| Constante                                               |               | 1,17                | 0,00           |
| Tipo de coagulante                                      | -0,62         | -0,31               | 0,00           |
| Dosis de coagulante                                     | 0,23          | 0,11                | 0,00           |
| Turbidez inicial                                        | -0,26         | -0,13               | 0,00           |
| Tipo de coagulante*Dosis de coagulante                  | 0,69          | 0,34                | 0,00           |
| Tipo de coagulante*Turbidez inicial                     | -0,87         | -0,43               | 0,00           |
| Dosis de coagulante*Turbidez inicial                    | -0,58         | -0,29               | 0,00           |
| Tipo de coagulante*Dosis de coagulante*Turbidez inicial | -0,27         | -0,13               | 0,00           |

Valores de los resultados del diseño factorial que interviene en la turbidez final. Salvatierra, 2021

Esto indica que un alto porcentaje de la varianza total de la turbidez final se debe a los factores: tipo de coagulante, dosis de coagulante y turbidez inicial; ya que cada uno de estos factores incide en el efecto de remoción de turbidez.

A continuación, se puede observar en la tabla 6 el análisis de varianza o la prueba ANOVA.

**Tabla 6. Análisis de la varianza**

| <b>Factor</b>                                                | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>Cuadrado medio</b> | <b>Valor F</b> | <b>Valor p</b> |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------|----------------|
| A: Tipo de coagulante                                        | 1,58                     | 1,58                  | 813,53         | 0,00           |
| B: Dosis de coagulante                                       | 0,21                     | 0,21                  | 110,05         | 0,00           |
| C: Turbidez inicial                                          | 0,27                     | 0,27                  | 140,45         | 0,00           |
| AB: Tipo de coagulante*Dosis de coagulante                   | 1,95                     | 1,95                  | 1004,76        | 0,00           |
| AC: Tipo de coagulante*Turbidez inicial                      | 3,05                     | 3,05                  | 1571,06        | 0,00           |
| BC: Dosis de coagulante*Turbidez inicial                     | 1,38                     | 1,38                  | 713,32         | 0,00           |
| ABC: Tipo de coagulante*Dosis de coagulante*Turbidez inicial | 0,30                     | 0,30                  | 157,05         | 0,00           |
| Error                                                        | 0,01                     | 0,00                  |                |                |
| Total                                                        | 8,78                     |                       |                |                |

Valores del análisis de varianza ejecutado por el software Minitab Versión 19. Salvatierra, 2021

El ANOVA demuestra diferencias significativas para todos los factores de estudio y los resultados obtenidos en el análisis factorial se detallan en la tabla 6. Se observa que los factores principales (A, B y C), las interacciones binarias (AB, AC y BC) y la interacción de la totalidad de los factores considerados (ABC), muestran diferencias significativas, pues el valor  $p \leq 0,05$ . Esto implica que el tipo de coagulante, la dosis de coagulante y la turbidez inicial, ya sea en forma aislada o interactuando con otros factores, inciden en los valores obtenidos de turbidez residual, es decir, contribuyen en la remoción de la turbidez.

El análisis factorial que se realizó con el software Minitab versión 19 permite obtener la gráfica normal de efectos estandarizados y el diagrama de Pareto. En la Figura 5 se observa la gráfica normal de efectos estandarizados:



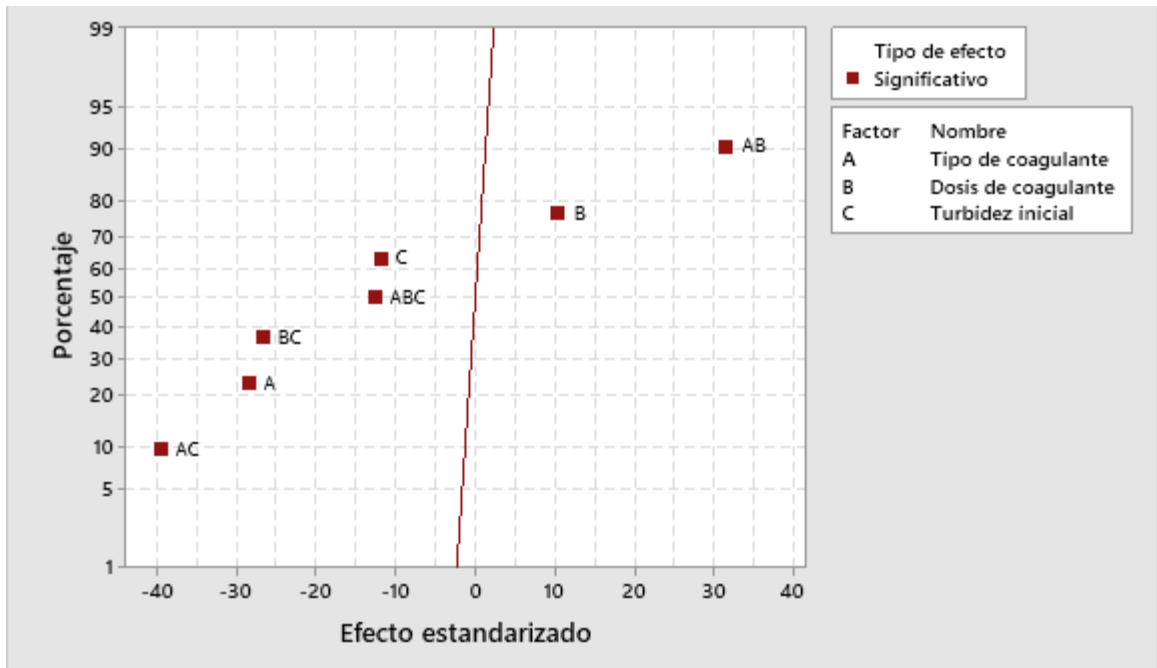


Figura 5. Gráfica normal de efectos estandarizados  
Salvatierra, 2021

En cuanto a la gráfica normal, Figura 5, se puede observar que todos los factores en mi estudio son significativos para turbidez residual o final, es decir, no se presentan efectos no significativos. Siendo esto así, el efecto que comprende la interacción ABC es el más importante porque agrupa todos los factores principales y sus correspondientes interacciones. Se pueden distinguir los efectos significativos para la disminución de la turbiedad (cuadrados rojos). Normalmente, cuando se producen efectos no significativos, estos se representan con un color azul, pero este no es el caso.

Lo expuesto guarda estrecha relación con lo que se observa en el diagrama de Pareto en la Figura 6 que se detalla a continuación:

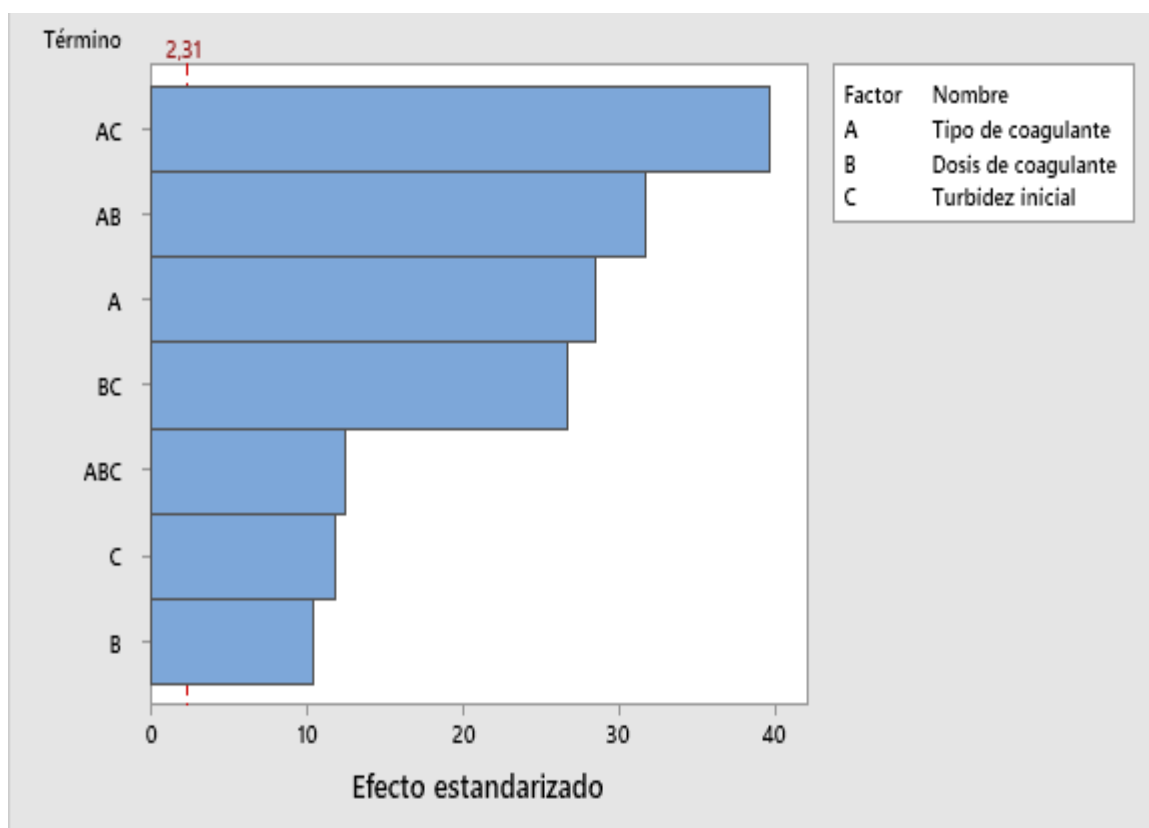


Figura 6. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados  
Salvatierra, 2021

Por lo tanto, lo expuesto en el diagrama de Pareto es importante porque después de la línea roja que marca un valor igual a 2,31, por lo que se encuentran todos los términos que inciden en la turbidez final. Se puede apreciar que la interacción AC (tipo de coagulante\*turbidez inicial) es la que ejerce el mayor efecto, pero solo relaciona dos factores; mientras que, la interacción ABC (tipo de coagulante\*dosis de coagulante\*turbidez inicial) los comprende a todos y también se encuentra por encima del valor de efectos significativos. Aun cuando el efecto B (dosis del coagulante) también es significativo, presenta la menor significancia.

Además, el análisis factorial permite obtener una gráfica de interacción o de efectos principales, el cual es: Gráfica de efectos principales. De este modo, en la Figura 7 se puede definir cada efecto principal, de acuerdo con los niveles que presentan, lo que se puede visualizar a continuación:

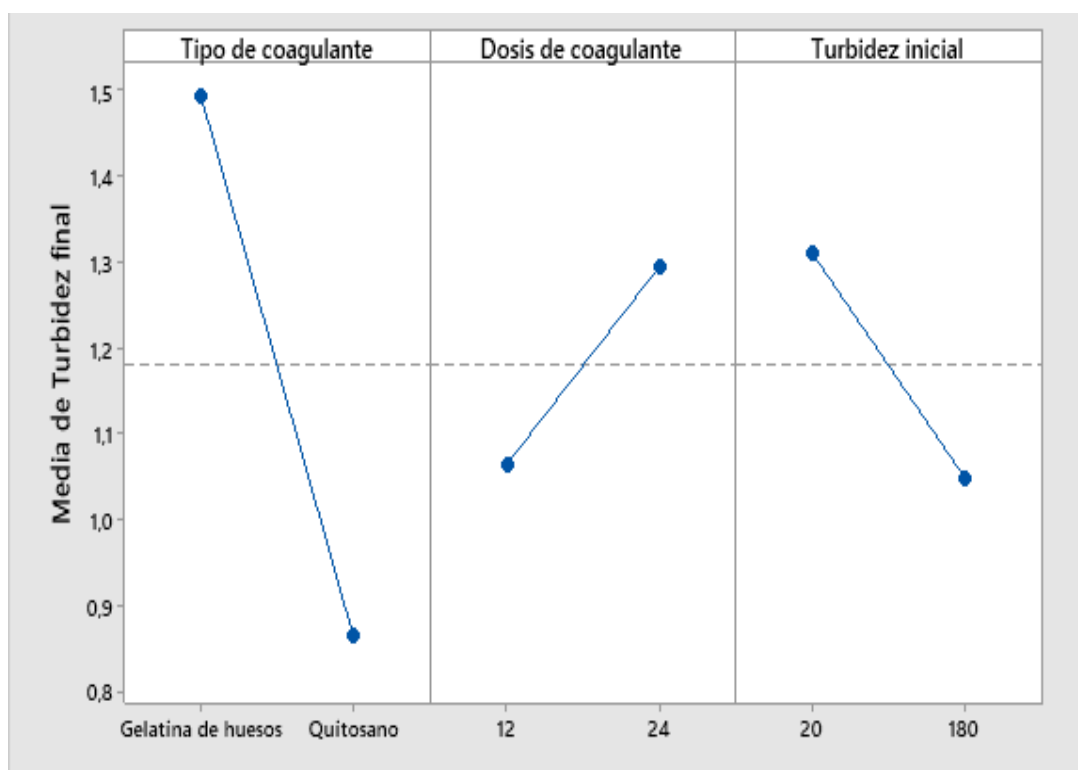


Figura 7. Gráfica de efectos principales para turbidez final  
Salvatierra, 2021

Por lo tanto, al comparar todos los efectos principales, se observa que coagulante quitosano tiene la mayor pendiente y esta es negativa, por lo cual, la relación es inversamente proporcional y, al aplicar el coagulante, se reduce la media de la turbidez final.

En este caso, en relación con la dosis del coagulante, este tiene una pendiente positiva, de modo que, al aumentar la dosis del bio-coagulante, aumenta la media de la turbidez final. Con respecto a la turbidez inicial, esta exhibe una pendiente negativa, de tal forma que, al aumentar la turbidez inicial disminuye la media de la turbidez final.

En cuanto a la variable “tipo de coagulante”, el producto que arroja una media de turbidez final o residual más baja es el quitosano. Con respecto a la variable “dosis de coagulante”, se demuestra que la dosis más baja (12 mg/L) es la que produce el menor valor promedio de turbidez final. Por último, se puede apreciar para la

variable “turbidez inicial”, que resultó más efectivo el nivel de 180 UNT para la disminución de la turbidez.

Se puede considerar que el tipo de coagulante (quitosano), es el que tiene mayor efecto para lograr valores bajos en la turbidez residual o final, independientemente de la dosis de coagulante y de la turbidez inicial.

Para obtener las condiciones óptimas de los factores en estudio, se realizó la gráfica de cubos, que se puede observar en la Figura 8 a continuación:

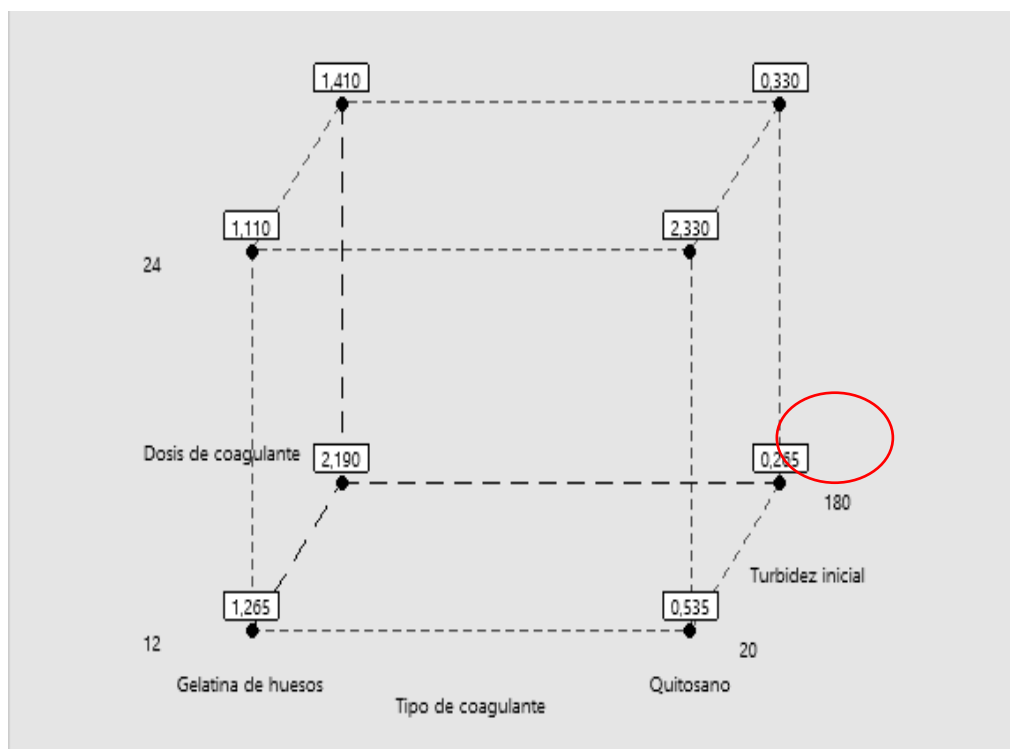


Figura 8. Gráfica de cubos medias ajustadas de turbidez final Salvatierra, 2021

En la gráfica de cubos se observa que el menor valor de turbidez promedio de las corridas realizadas se obtuvo cuando se aplicó el coagulante quitosano a una dosis de 12 mg/L y con una turbidez inicial de 180 UNT. Esto significa que las corridas 7 y 13 arrojaron un promedio de 0,265 UNT, el cual fue el menor valor de turbidez conseguido.

En cambio, en la Tabla 7 se puede apreciar el resumen los factores óptimos de tratamiento, lo cual se detalla a continuación:

**Tabla 7. Resumen de las condiciones óptimas para el tratamiento de aguas del Río Guayas (Puerto Santa Ana)**

| <b>FACTOR A</b>           | <b>FACTOR B</b>             | <b>FACTOR C</b>         |
|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| <b>Tipo de coagulante</b> | <b>Dosis del coagulante</b> | <b>Turbidez inicial</b> |
| Quitosano                 | 12 mg/L                     | 180 UNT                 |

Valor y tipo de coagulante óptimo para el tratamiento de aguas del río Guayas (Puerto Santa Ana)  
Salvatierra, 2021

En las condiciones óptimas para el tratamiento de aguas del Río Guayas (Puerto Santa Ana) (Tabla 7) se utilizó el bio-coagulante de quitosano con una dosis de 12 mg/L, con una turbidez inicial de 180 UNT.

#### **4.2.1 Evaluación de parámetros fisicoquímicos con el tratamiento más efectivo para la clarificación del agua.**

En la Tabla 8 se presentan los resultados para los parámetros evaluados: pH, sólidos suspendidos totales, color y turbidez que se detallan a continuación:

**Tabla 8. Parámetros fisicoquímicos de aguas del Río Guayas (Puerto Santa Ana) con turbidez de 180 UNT tratadas con quitosano (12 mg/L)**

| <b>N</b>  | <b>pH inicial</b> | <b>pH final</b> | <b>SST (mg/L) inicial</b> | <b>SST (mg/L) final</b> | <b>Color (UC Pt-Co) inicial</b> | <b>Color (UC Pt-Co) final</b> | <b>Turbidez final</b> |
|-----------|-------------------|-----------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| 1         | 7,35              | 7,28            | 54,20                     | 4,56                    | 65,00                           | 10,00                         | 0,27                  |
| 2         | 7,43              | 7,37            | 53,80                     | 3,72                    | 60,00                           | 7,50                          | 0,23                  |
| $\bar{X}$ | 7,39              | 7,32            | 54,00                     | 4,14                    | 62,50                           | 8,75                          | 0,25                  |

Valores de los parámetros fisicoquímicos de aguas con una turbidez de 180 UNT después de ser tratadas con el coagulante de quitosano.  
Salvatierra, 2021

En la Tabla 9 se puede observar el tratamiento de muestras de agua del Río Guayas (Puerto Santa Ana), tomando en consideración los factores óptimos en el

análisis factorial (Tabla 8) y, en este caso, se obtuvieron los siguientes resultados como valores promedios: 7,33 (pH), 4,14 mg/L (SST), 8,75 UC Pt-Co (color) y 0,25 UNT (turbidez). Estas condiciones óptimas, mostraron un porcentaje de remoción de turbidez igual a 99,86 %. Igualmente, el parámetro color registró un alto porcentaje de remoción que se ubicó en 86 %. El pH no mostró mayor variación, solo se incrementó ligeramente. Los SST también presentaron una reducción considerable. Estos resultados reflejan la alta eficiencia del quitosano para la clarificación del agua, constituyendo una alternativa amigable con el ambiente.

### **4.3 Propuesta de remoción de turbidez utilizando un bio-coagulante como método eco-alternativo para la clarificación de las aguas.**

Con base a los resultados obtenidos, el bio-coagulante obtenido del quitosano presentó una mayor eficiencia en comparación con la gelatina de huesos bovinos. Por ello, se puede seleccionar el quitosano como una alternativa de mayor eficiencia para la remoción de turbidez en aguas del Río Guayas (Puerto Santa Ana), la cual puede beneficiar a pequeñas comunidades cercanas a la zona.

Para implementar la aplicación del bio-coagulante en la remoción de la turbidez, se considera que es importante socializar este conocimiento con los habitantes de la comunidad que se seleccione a través de diferentes acciones.

**Propuesta: “Aplicación del quitosano como método eco-alternativo para la clarificación de las aguas”.**

**Objetivo de la propuesta:** Implementar la aplicación del quitosano como método eco-alternativo para la clarificación de las aguas en comunidades con deficiencias en el servicio o situaciones de emergencia.

**Justificación:** Si bien es cierto que en la ciudad de Guayaquil existe la prestación del servicio de agua con alta calidad, aún persisten algunos sectores que carecen del servicio o sufren interrupciones en el mismo. Por otra parte, resulta importante manejar algunas tecnologías sencillas para el tratamiento del agua que puedan ser puestas en práctica durante situaciones de emergencia como inundaciones, sismos y pandemias. En función de lo señalado, se considera relevante manejar conocimientos teórico-prácticos sobre la clarificación del agua con productos eco-alternativos como el quitosano, dirigidos a facilitar la obtención de este bio-coagulante y el diseño de tecnologías sencillas y apropiadas para ello.

**Lineamientos generales:**

1. Aprovechar los residuos de exoesqueletos de camarón generados por la industria camaronera para la producción del bio-coagulante quitosano.

- Acciones:

- Sensibilizar a los pobladores sobre la importancia de aprovechar residuos para la solución de problemáticas locales como la carencia de agua potable.
- Recolectar exoesqueletos de camarón en las empresas camaroneras de la provincia y acondicionarlos para la posterior preparación del quitosano.
- Dictar talleres referidos a la utilización de los residuos de exoesqueletos de camarones para la obtención de quitosano, mediante las fases de desproteínización, decoloración, desmineralización y desacetilación.

*Recursos humanos:* Profesores, estudiantes.

- Proponer el almacenamiento de quitosano bajo condiciones adecuadas que permitan alargar su período de caducidad.

*Materiales y equipos:* Recipientes para la recolección de exoesqueletos, agua, aparato para ventilación y secado, materiales de laboratorio (cilindros graduados, probetas, embudos y papel de filtro), reactivos químicos (hidróxido de sodio, ácido clorhídrico, cloro comercial y agua destilada) y equipos (molino, procesador doméstico, estufa, balanza, campana de extracción de vapor).



2. Promover el diseño y construcción de equipos para la clarificación del agua.

- Acciones:

- Dictar talleres sobre las fases del proceso de potabilización.

- Realizar cursos dirigidos al desarrollo de equipos artesanales para la potabilización del agua.

- Desarrollar actividades prácticas de diseño y construcción de equipos artesanales para la potabilización del agua.

*Materiales y equipo:* profesores, estudiantes, envases plásticos, tuberías, conexiones.

3. Impulsar la capacitación de los miembros de las comunidades para la aplicación del quitosano como bio-coagulante en la clarificación de aguas.

- Acciones:

- Realizar charlas sobre el efecto de los coagulantes en la remoción de la turbidez del agua.

- Fomentar la realización de prácticas de potabilización del agua empleando los equipos artesanales y el quitosano, tanto a escala domiciliaria como comunitaria.

- Promover la difusión del conocimiento generado a través de las redes sociales y mediante folletos.

*Materiales y recursos:* internet, material para impresión, profesores, estudiantes, videos, equipos artesanales, quitosano, ácido acético, recipientes, balanza, probetas o jeringas y agitadores.

El uso del quitosano es una alternativa viable para el proceso de clarificación del agua; ya que es económico, de fácil adquisición, además de que el proceso para la obtención del quitosano proviene de los desechos de las industrias camaroneras, lo que crea una economía circular. Este tipo de coagulante natural es amigable con el ambiente y no es perjudicial para las personas, todo lo contrario, a los coagulantes químicos que se usan convencionalmente, ya que no son biodegradables y además son nocivos para la salud de las personas por que varios estudios han demostrados que son promotores a las enfermedades del mal del Alzheimer y mal de Parkinson.

## 5. Discusión

A partir de los hallazgos encontrados aceptamos la hipótesis de que el quitosano presenta mayor eficiencia como coagulante natural para la clarificación del agua que la gelatina de huesos bovinos en las aguas del Río Guayas (Puerto Santa Ana).

En otros estudios se ha indicado que el pH es el factor principal que incide en mayor medida en la turbidez final al estudiar el almidón de plátano como coagulante (Trujillo et al., 2014; Pérez y López-Gonzales, 2017), pero este parámetro no se consideró para el análisis factorial en la presente investigación, solo se empleó para la caracterización de las aguas, antes del tratamiento y después del tratamiento a las condiciones óptimas. Sin embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos, el quitosano no ejerce mayor influencia sobre el pH, solamente lo reduce ligeramente. El pH disminuyó ligeramente de 7,39 a 7,325, lo cual puede ser ocasionado por la adición del ácido acético para favorecer su disolución, porque el quitosano no es soluble en agua, pero se ajustó a lo establecido por la Organización Mundial de la Salud (Organización Mundial de la Salud, 2006). Esta disminución del pH es común en otros estudios, pero en el estudio presente, el resultado promedio es ligeramente superior a los valores alcanzados por Rodríguez, De la Cruz, López y Ricaurte (2015), que varió entre 6,9 y 7,1; y los publicados por Fuentes, Contreras y Perozo (2008), quienes indicaron un rango de 6,18 a 7,0. No obstante, en este último estudio, utilizaron aguas con pH inicial entre 6,41 y 6,91 (ligeramente ácidas) que aparte del ácido añadido pudieran haber afectado al pH. Por otra parte, también se ha reportado que la concentración de sólidos tiene la mayor magnitud de efecto principal (mayor pendiente) y esta es positiva, es decir que mientras mayor sea esta variable, mayor es la remoción de turbidez con el mucílago de penca de tuna *Opuntia ficus indica* (Almazán, Gutiérrez y Kajal, 2018). En el análisis factorial, este

factor tampoco se consideró para efectos de la presente investigación, solo se empleó en la caracterización del agua. El resultado que se obtuvo para SST fue similar al que indicaron Rodríguez, De la Cruz, López y Ricaurte (2015) después del tratamiento de aguas a 100 UNT con una dosis de 20 mg/L de quitosano, con el cual obtuvieron un valor de 6,9 mg/L para SST. El color se removió en mayor magnitud en comparación con lo reportado por Caldera et al. (2017), quienes indicaron un valor de 20 UC Pt-Co para las dosis óptimas en un rango de turbidez entre 100 y 200 UNT, incluyendo la turbidez inicial de 180 UNT. Con relación a la turbidez final, el valor promedio obtenido (0,25 UNT) y los registrados durante los tratamientos, demostraron la alta efectividad de este bio-coagulante en la reducción de la turbidez. Estos resultados son parecidos a los reportados por Fuentes, Contreras y Perozo (2008), cuando usaron aguas con turbiedades iniciales de 50, 60, 70, 80 y 90 UNT y lograron turbiedades de 0,89; 0,25; 0,83; 0,85 y 0,33 UNT, respectivamente.

La aplicación de dos bio-coagulantes para determinar la efectividad de cada uno de ellos en las aguas del Río Guayas (Puerto Santa Ana) mediante análisis factorial, demostró que todos los factores principales de estudio (tipo de coagulante, dosis y turbidez inicial) son significativos para la variable turbidez residual, es decir, no se presentan efectos no significativos. Dependiendo del estudio y los factores que se consideren, se determinan los efectos principales y el de mayor incidencia sobre la variable respuesta. Al respecto, Rodríguez y Gallego (2019), confirman que la dosis de quitosano tiene un efecto significativo sobre la variable turbidez final, lo cual indica que, al aplicar el biopolímero, se mejora la calidad del agua tratada. La gráfica de cubos permite afirmar que ambos coagulantes a las condiciones experimentales que se emplearon remueven eficientemente la turbidez, alcanzando valores

inferiores a 5 UNT. Pero, el tratamiento más eficiente fue cuando se aplicó el coagulante quitosano a una dosis de 12 mg/L y con una turbidez inicial de 180 UNT, resultando como condiciones óptimas para la clarificación del agua. La efectividad del quitosano se logró con la menor dosis de este bio-coagulante, de manera similar a lo referido por Fuentes, Contreras y Perozo (2008), quienes indicaron que a menor dosis se obtiene menor turbidez final, resultando más efectivas las dosis más bajas (6 y 12 mg/L) y para turbiedades iniciales de 50 y 90 UNT con dosis de 12 mg/L obtuvieron valores de turbidez final que se ubicaron en 0,46 y 0,33 UNT, respectivamente. Sin embargo, los resultados difieren de lo señalado por Caldera et al. (2017), quienes observaron una disminución de la turbidez final con respecto al incremento de la dosis, ubicándose en 7,9 UNT (12 mg/L) y en 5,4 UNT (24 mg/L) para la turbiedad inicial de 180 UNT; mientras que, en el estudio presente, para la turbidez de 180 UNT y a dosis de 12 y 24 mg/L se logran turbiedades finales de 0,265 UNT y 0,33 UNT, respectivamente. Estas diferencias pueden estar vinculadas al origen del quitosano, el cual en el estudio de Caldera et al. (2017) fue preparado a escala de laboratorio y si la solución de quitosano no se utiliza al momento, la polimerización del mismo puede provocar una considerable reducción de la eficacia del proceso (Arancibia, 2011), en cambio, el quitosano empleado en el presente estudio fue de tipo comercial, lo cual pudiera aumentar su eficiencia. Por otra parte, el quitosano no exhibe un comportamiento con una única tendencia, por lo cual, la variación en el comportamiento del quitosano puede explicarse por el hecho de que el incremento gradual de la concentración de quitosano genera descensos significativos de turbidez al emplear dosis hasta 16 mg/L y entre 100 a 160 mg/L, pero en los intervalos ( $> 16 \text{ mg/L} < 100 \text{ mg/L}$ ) y ( $> 160 \text{ mg/L}$ ), aumenta la turbidez al incrementarse la dosis Rosero y Suárez (2019). Igualmente, los

resultados de la presente investigación se confirman con lo expuesto por Visentini, Bohn y Da Silva (2020), quienes aseveran que, cuando hay un exceso de quitosano en el rango de concentración entre 6 a 70 mg/L, hay un aumento de la turbidez. La aplicación de las condiciones óptimas en el tratamiento de aguas del Río Guayas (Puerto Santa Ana) permitió confirmar la efectividad del coagulante al arrojar valores de 7,33 (pH), 4,14 mg/L (SST), 8,75 UC Pt-Co (color) y 0,25 UNT (turbidez), los cuales cumplen con lo señalado por la OMS, ya que el pH se ubica entre 6,5-8, el color tiene un valor inferior a 15 UC y la turbidez es inferior a 5 UNT (Organización Mundial de la Salud, 2006), resultando apta para el consumo humano. Las condiciones óptimas (quitosano, 12 mg/L y 180 UNT) permitieron obtener una remoción de 99,86 %, la cual resultó superior a la referida por Rodríguez y Gallego (2019), quienes lograron una remoción del 87 % al aplicar 9 mg/L de quitosano; ligeramente superior al rango especificado por Caldera et al. (2017), al referir remociones entre 91,8 % y 97,6 %; y similar al intervalo indicado por Fuentes, Contreras y Perozo (2008), que alcanzaron porcentajes de remoción entre 98,22 y 99,63%.

## 6. Conclusiones

Las aguas del río Guayas (Puerto Santa Ana) presentan las siguientes características: 198,590 UNT, 7,413929 unidades de pH, 58,802 mg/L de SST y 71,384 UC Pt-Co. Las mismas no se ajustan a lo establecido por el Ministerio del Ambiente en el Acuerdo 097-A en cuanto a la turbidez. Previo a la aplicación de los tratamientos con los bio-coagulantes como gelatina de huesos bovinos y quitosano, las muestras de agua para la turbidez inicial de 20 UNT presentaron 7,37 unidades de pH, 21,89 mg/L de SST y 17,5 UC Pt-Co; mientras que, para la turbidez inicial de 180 UNT registraron valores de 7,395 unidades de pH, 51,6 mg/L de SST y 57,5 UC Pt-Co. Estos valores, excepto la turbidez inicial de 180 UNT cumplieron con la normativa del Ministerio del Ambiente como aguas que solo requieren tratamiento convencional; por tal motivo es de suma importancia conocer de una alternativa que se amigable con el ambiente; Esto conlleva a la aplicación de los tratamientos con los bio-coagulantes gelatina de huesos bovinos y quitosano.

El análisis factorial demostró que los factores tipo de coagulante, dosis de coagulante y turbidez inicial tienen efectos significativos en la turbidez final; la interacción binaria más importante fue Tipo de coagulante\*Turbidez inicial; con respecto a la gelatina de huesos bovinos el menor resultado que se obtuvo para la remoción de turbidez fue de 1,11 con una turbidez inicial de 20 UNT con una dosis de 24 mg/L y las condiciones óptimas de tratamiento obtenidas en la gráfica de cubos reflejaron como tipo de coagulante al quitosano, una dosis de 12 mg/L y una turbidez inicial del agua a tratar correspondiente a 180 UNT, resultando como mejores corridas la 7 y la 13, las cuales permitieron obtener una turbidez promedio de 0,265 UNT que cumplió con el valor establecido por la OMS ( $< 5$  UNT); con esto se concluyó que entre los dos bio-coagulantes el mejor es el quitosano de camarón.

Al evaluar los parámetros pH, SST y color en las aguas del Río Guayas tratadas a las condiciones óptimas, se demostró que cumplen con los niveles máximos permisibles requeridos según la OMS; demostrándose la eficiencia del quitosano en la clarificación de aguas, ya que la turbidez inicial fue de 180 y la turbidez final fue de 0,25 que da un porcentaje de remoción de turbidez del 99,86%.

La generación de una propuesta para implementar la aplicación del quitosano como un bio-coagulante en la potabilización del agua, puede contribuir en la minimización del impacto que se genere por problemas de abastecimiento y distribución del agua o la ocurrencia de situaciones de emergencia producto de desastres naturales que dificulten la obtención de agua potable.



## 7. Recomendaciones

Se propone realizar caracterizaciones del agua del Río Guayas en diferentes zonas, a fin de establecer comparaciones y determinar la efectividad de los bio-coagulantes utilizados en el presente estudio, así como también, evaluar otros materiales de origen animal o vegetal que pudieran ser aplicados para la remoción de la turbidez.

En función de los resultados del análisis factorial, se recomienda desarrollar estudios en aguas destinadas al consumo humano donde se considere el pH como un factor, a fin de determinar su incidencia en la remoción de turbidez al emplear gelatina de huesos bovinos y quitosano como bio-coagulantes. También se propone la elaboración de investigaciones con otras dosis que sean inferiores a 12 mg/L, para establecer el comportamiento que presentan los bio-coagulantes, así como también, analizar diversos valores de turbidez inicial dentro del rango de turbidez encontrado para las aguas del Río Guayas (Puerto Santa Ana) y determinar la efectividad del quitosano en los parámetros microbiológicos.

Dada la efectividad del quitosano en la clarificación del agua a 180 UNT, se sugiere desarrollar estudios donde se evalúe la efectividad de este bio-coagulante en las aguas residuales, porque estas generalmente presentan altos niveles de turbidez.

Implementar la propuesta sobre el empleo del quitosano como bio-coagulante para la clarificación del agua, a fin de compartir este conocimiento y que la población esté preparada para tratar el agua cuando se presenten condiciones adversas a causa de problemas de abastecimiento, distribución o eventos naturales.

## 8. Bibliografía

- Acaro, E. (2018). *Análisis de los conflictos socioambientales generados por la regeneración urbana y el turismo en la planificación territorial del cerro Santa Ana de Guayaquil* (Tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
- Aguilar, MC,. Sáez, J,. Lloréns, M,. Soler, A,. y Ortuño, J. (2002). *Tratamiento Físico-Químico de aguas residuales: Coagulación Floculación*. Barcelona, España: Editorial de la Universidad de Murcia.
- Aguledo, G., Aignerren, M., & Restrepo, J. (2010,25 de agosto). Experimental y no-experimental. *La sociología en sus escenarios*. Recuperado de <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ceo/article/view/6545>
- Almazán, J., Gutiérrez, D., & Kajal, V. (2018). *Diseño factorial para el estudio de un clarificante natural para el proceso de potabilización de aguas. I Jornadas de Estadística Aplicada*, Salta-Argentina.
- Rodger, B., Chair, E., Rice, A. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23 RD ed.). Recuperado de <http://dspace.uniten.edu.my/jspui/handle/123456789/14241><sup>o</sup>
- Arancibia, M. (2011). *Aplicación de quitosano como material bioabsorbente en el proceso de coagulación-floculación durante el tratamiento de agua para consumo humano* (Tesis de maestría). Universidad técnica de Ambato. Ambato.
- Arias, F. (2011). Metodología de la investigación en las ciencias aplicadas al deporte: un enfoque cuantitativo. *Revista Digital EFDeportes*, 16(157), 1-18.
- Arias, F. (2006). *El proyecto de la investigación introducción a la metodología científica*

- Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/27298565\\_EI\\_Proyecto\\_de\\_la\\_Investigacion\\_Introduccion\\_a\\_la\\_Metodologia\\_Cientifica](https://www.researchgate.net/publication/27298565_EI_Proyecto_de_la_Investigacion_Introduccion_a_la_Metodologia_Cientifica)
- Asrafuzzaman, M., Fakhruddin, A., & Hossain, M. (2011). Reduction of Turbidity of Water Using Locally Available Natural Coagulants. *ISRN Microbiology, 2011*, 1-6.
- Ojeda, L. (2012). *Determinacion de la eficiencia de las características coagulantes y floculantes del tropaeolum tuberosum, en el tratamiento del agua cruda de la planta de Puengasí de La Epmaps* (Tesis de grado). Universidad Politécnica Salesiana. Quito.
- Bravo, M. (2017). *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales* (Tesis de grado). Universidad distrital Francisco José de Caldas, Bogota.
- Caldera, Y., Fuentes, L., Puyosa, G., Barrera, R., Mendoza, I., & González, Y. (2017). Quitosano como coagulante natural durante el tratamiento de aguas con alta turbidez. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas. 51*(1), 19-30.
- Caldera, Y., Gutierrez, E., Fuentes, L., Mendoza, I., Rodriguez, Y., & Sanchez, M. (2015). Quitosano: un coagulante natural alternativo para el tratamiento de aguas con alta turbidez. *Redieluz. 5*, 184 - 188.
- Carangui, G., & Pólit, P. (2017). *Determinación del Índice de calidad del agua del estero salado, entre el puente "5 de Junio" y el puente "El Velero"* (Tesis de grado). Universidad de Guayquil, Guayaquil.
- Andía, Y. (2000). Tratamiento de agua coagulación y floculación. *Documento técnico. Planta de Tratamiento de Agua Sedapal*, Lima.

- Cedeño, Y., & Sacoto, A. (2019). *Tratamiento de agua residual procedente de industria cafetera por acción de compuestos orgánicos de cáscaras: musa paradisiaca y manihot esculenta* (Tesis de grado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil.
- Chinchu, G. (2018). Use of aloevera juice for waste water treatment by coagulation and flocculation. *International Journal of Advanced Information in Engineering Technology*, 5(3), 27-33.
- Chulluncuy, N. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Ingeniería Industrial*(29), 153-170.
- Comisión Económica para América Latina & el Caribe. (2012). *Diagnóstico de la Estadística del Agua en Ecuador*. Recuperado de <https://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20Ilc%202012-2.pdf>
- Duque, A., & Ardila, J. (2014). *Evaluación de la eficiencia de un sistema piloto de humedales híbridos como post-tratamiento de aguas residuales de una porcícola* (Tesis de grado). Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.
- Earth, G. (6 de 06 de 2021). *Google Earth*.
- Goyenola, G. (2007). Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos. *Guía para la utilización de las Valijas Viajeras*. RED MAPSA, Uruguay.
- Fuentes, L., Mendoza, I., Briceño, R., Bolaños, J., & Caldera, Y. (2014). Efectividad de una suspensión gelatinosa de huesos Bovinos en la clarificación de aguas con alta turbidez. *Redieluz*, 4 46-53.

- Fuentes, L., Aguilar, Y., Caldera, Y., & Mendoza, I. (2014). Dispersión gelatinosa de huesos bovinos para la clarificación de aguas con baja turbidez. *Revista Tecnocientífica URU*(7), 71-81.
- Fuentes, L., Contreras, W., & Perozo, R. (2008). Uso del quitosano obtenido de *litopenaeus schimitti* (Decapoda, Penaeidae) en el tratamiento de agua para consumo humano. *Multiciencias*, 8 281-287.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1998). *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y Conservación de muestras*. Quito.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Diseño de los programas de muestreo*. Quito.
- Macas, L. (2016). *Diseño de una plan de marketing mix para el desarrollo sostenible del turismo fluvial en el canton Guayaquil* (Tesis de grado). Universidad de Guayaquil , Guayaquil.
- Mariscal, W., García, F., Mariscal, R., Alvarado, H., Silva, C., Hernandez, A., & Rodríguez, J. (2017). Evaluación de la contaminación físico-química de las aguas del estero salado. *Dominio de la ciencia*, 3(4), 133-149. doi:10.23857/pc.v3i4.471
- Mármol, Z., Páez, G., Ricón, M., Araujo, K., Aiello, C., Chandler, C., & Gutiérrez, E. (2011). Quitina y quitosano polímeros amigables. Una revisión de sus aplicaciones. *Tecnocientífica URU*, 53-58.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Norma de Calidad Ambiental y de descarga de Efluentes: Recurso agua*. Quito: Registro Oficial.
- Montoya, C., Loaiza, D., Torres, P., Hernán, C., & Escobar, J.,(2011). Efecto del Incremento en la turbiedad agua cruda sobre la eficiencia de procesos

- convecionales de potabilizacion . *Escuela de Ingeniería de Antioquia* , 16 137-148.
- Morales, O. (2003). *Fundamentos de la investigación documental y la monografía*. Venezuela.
- Nahum, J. (2014). *Coagulantes-floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados de plantas y del reciclaje de la chatarra, para el tratamiento de aguas contaminadas*. San Pedro Sula Cortés: Universidas Pedagógica Nacional Francisco Morazán.
- Ojeda, L. (2012). *Determinacion de la eficiencia de las características coagulantes y floculantes del tropaeolum tuberosum, en el tratamiento del agua cruda de la planta de Puengasi de la EPMAPS*. Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Quito.
- Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guías para la calidad del agua potable* (Vol. 1).
- Organización Panamericana de la Salud. (2002). *Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano*. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Parra, Cedeño, & Mendoza. (2011). Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el Mucílago de *Opuntia wentiana*. *Redieluz*, 1(1).
- Pérez, León, & Delgadillo. (2013). *Tratamiento de Aguas*. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- Pérez, W., & López-Gonzales, J. (2017). Aplicación de un diseño factorial 24 en la remoción de turbiedad del Rio Rímac mediante la coagulación y floculación usando goma de tara. *Revista de Investigación, Ciencia, Tecnología y Desarrollo.*, 3(1), 18-28. doi:<http://dx.doi.org/10.17162/rictd.v1i1.895>

- Piazza, & García. (2010). Meat & bone meal extract and gelatin as renewable flocculants. *Bioresource Technology*, 101(2), 781-787.
- Pradilla. (2010). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclорuro de aluminio . *DYNA*, 18-27.
- Rodríguez, Cruz, D. I., López, Ricaurte, & Morales. (2015). Uso de un polímero natural (quitosano) como coagulante durante el tratamiento de agua para consumo. *INGENIARE*, 25-32.
- Rodríguez, D., & Gallego, D. (2019). Evaluacion del quitosano como coagulante para el tratamiento de efluentes piscícolas. *Revista Colombiana de Biotecnología*, XXI(1).
- Rodríguez, Y., De la Cruz, G., López, W., & Ricaurte, L. y. (2015). Uso de un polímero natural (quitosano) como coagulante durante el tratamiento de agua para consumo. *Ingeniare*, 11(19), 25-32.
- Rodríguez-Villacis, J., Hernández-Gavilanes, L., Silva-Huilcapi, C., Alvarado-Alvarado, H., Mariscal-García, R., García-Larreta, F., & Mariscal-Santi, W. (2017). Evaluación de la contaminación físico-química y microbiológica de aguas del estero salado. *Dominio de las Ciencias*, 3(4), 672-691. Obtenido de <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/737/pdf>
- Rosero, J., & Suárez, M. (2019). Efecto de la concentracion de quitosano en la disminucion de los solidos suspendidos en el agua de ingreso a la planta de tratamiento de bellavista. *FIGEMPA: Investigación Y Desarrollo*, 1(1), 19-24. doi:<https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.1330>
- Roussy, J., Van, M., & Guibal, E. (2008). Chitosan for the coagulation and flocculation of mineral colloids. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 25(5), 663-677. doi:<https://doi.org/10.1081/DIS-200027325>

- Sabogal. (2000). *El riesgo sanitario y la eficiencia de los sistemas de tratamiento en la selección de tecnologías para la potabilización del agua*. Universidad del Valle, Cali.
- Severiche, Castillo, & Acevedo. (2013). *Manual de métodos Analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas*. Cartagena de Indias: Fundación Universitaria Andaluza Inca Garcilaso.
- Solano, J. (2009). *Simulación, evaluación y diagnóstico de la contaminación de las aguas del río Guayas, desde el extremo sur del Malecón 2000 hasta el estero Cobina, aplicando el modelo Exams y recomendaciones*. Universidad de Guayaquil, Guayaquil.
- Torres, P., Hernán, C., & Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para el consumo humano. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79-94.
- Trujillo, D., Duque, L., Arcila, J., Rincón, A., Pacheco, S., & Herrera, O. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *REV.ION.*, 27(1), 17-34.
- UNESCO. (2015). *Water for a sustainable world*. Paris. Obtenido de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000231823>
- Vargas, I. L. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Lima: Organización panamericana de la salud.
- Visentini, F., Bohn, C., & Da Silva, L. (2020). Quitosana como coagulante no tratamiento de água para abastecimento. *Disciplinarum Scientia. Série: Naturais e Tecnológicas, Santa Maria.*, 21(2), 75-89. Obtenido de <https://periodicos.ufn.edu.br/index.php/disciplinarumNT/article/view/3484/26>



- Yanesl, V. (2018). Correlación existente entre el contenido de sólidos solubles totales y grado de acidez con las longitudes de ondas obtenidas mediante la espectroscopia Vis/NIR en la poscosecha del cultivo de la frutabomba. *Departamento de Ingeniería Agrícola. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Santa Clara.*
- Zerbatto, L. M. (2012). *Coagulación optimizada en el tratamiento de potabilización de agua: su efecto sobre la remoción de enteroparásitos.* Universidad Nacional del Litoral. Argentina : Universidad Nacional del Litoral .

## 9. ANEXOS

### 9.1 Anexo 1. Diagrama de propuesta de remoción de turbidez utilizando un bio-coagulante como método eco-alternativo para la clarificación de las aguas

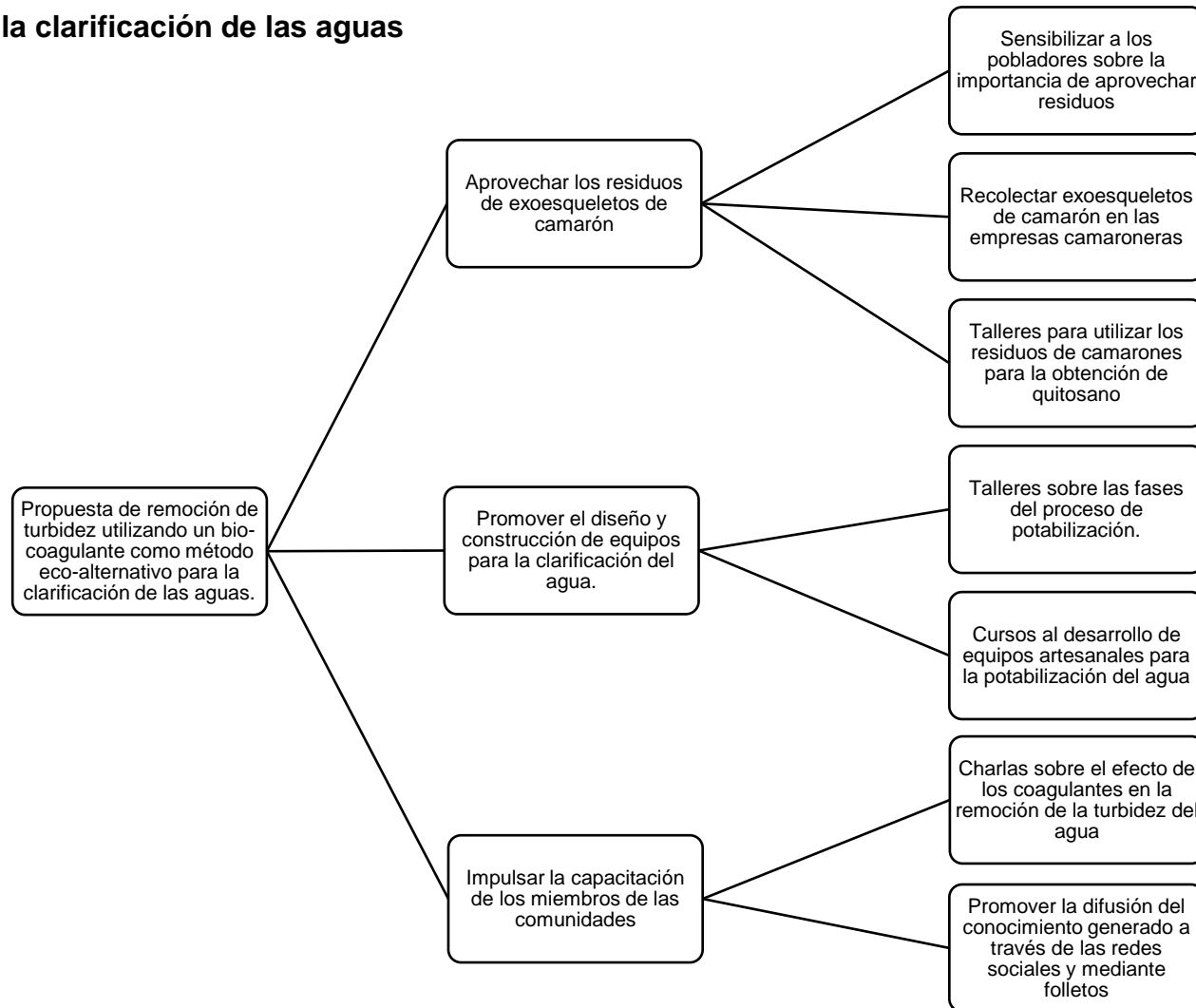


Figura 9: Diagrama de propuesta de remoción de turbidez utilizando un bio-coagulante como método eco-alternativo para la clarificación de las aguas. Salvatierra, 2021

## 9.1 Anexo 2. Tabla de matrices

**Tabla 9. Matriz de diseño**

| OrdenEst | OrdenCorrida | PtCentral | Bloques | Tipo de coagulante | Dosis de coagulante | Turbidez inicial |
|----------|--------------|-----------|---------|--------------------|---------------------|------------------|
| 16       | 1            | 1         | 1       | Quitosano          | 24                  | 180              |
| 1        | 2            | 1         | 1       | Gelatina de huesos | 12                  | 20               |
| 7        | 3            | 1         | 1       | Gelatina de huesos | 24                  | 180              |
| 12       | 4            | 1         | 1       | Quitosano          | 24                  | 20               |
| 10       | 5            | 1         | 1       | Quitosano          | 12                  | 20               |
| 4        | 6            | 1         | 1       | Quitosano          | 24                  | 20               |
| 14       | 7            | 1         | 1       | Quitosano          | 12                  | 180              |
| 15       | 8            | 1         | 1       | Gelatina de huesos | 24                  | 180              |
| 8        | 9            | 1         | 1       | Quitosano          | 24                  | 180              |
| 9        | 10           | 1         | 1       | Gelatina de huesos | 12                  | 20               |
| 3        | 11           | 1         | 1       | Gelatina de huesos | 24                  | 20               |
| 5        | 12           | 1         | 1       | Gelatina de huesos | 12                  | 180              |
| 6        | 13           | 1         | 1       | Quitosano          | 12                  | 180              |
| 11       | 14           | 1         | 1       | Gelatina de huesos | 24                  | 20               |
| 2        | 15           | 1         | 1       | Quitosano          | 12                  | 20               |
| 13       | 16           | 1         | 1       | Gelatina de huesos | 12                  | 180              |

Matriz de diseño factorial antes del tratamiento con los bio-coagulantes.  
Salvatierra, 2021

**Tabla 10. Matriz de diseño con resultado de turbidez residual**

| OrdenEst | OrdenCorrida | PtCentral | Bloques | Tipo de coagulante | Dosis de coagulante (mg/L) | Turbidez inicial |                         |
|----------|--------------|-----------|---------|--------------------|----------------------------|------------------|-------------------------|
|          |              |           |         |                    |                            | (UNT)            | Turbidez residual (UNT) |
| 16       | 1            | 1         | 1       | Quitosano          | 24                         | 180              | 0,34                    |
| 1        | 2            | 1         | 1       | Gelatina de huesos | 12                         | 20               | 1,23                    |
| 7        | 3            | 1         | 1       | Gelatina de huesos | 24                         | 180              | 1,42                    |
| 12       | 4            | 1         | 1       | Quitosano          | 24                         | 20               | 2,39                    |
| 10       | 5            | 1         | 1       | Quitosano          | 12                         | 20               | 0,50                    |
| 4        | 6            | 1         | 1       | Quitosano          | 24                         | 20               | 2,27                    |
| 14       | 7            | 1         | 1       | Quitosano          | 12                         | 180              | 0,28                    |
| 15       | 8            | 1         | 1       | Gelatina de huesos | 24                         | 180              | 1,40                    |
| 8        | 9            | 1         | 1       | Quitosano          | 24                         | 180              | 0,28                    |
| 9        | 10           | 1         | 1       | Gelatina de huesos | 12                         | 20               | 1,30                    |
| 3        | 11           | 1         | 1       | Gelatina de huesos | 24                         | 20               | 1,08                    |
| 5        | 12           | 1         | 1       | Gelatina de huesos | 12                         | 180              | 2,17                    |
| 6        | 13           | 1         | 1       | Quitosano          | 12                         | 180              | 0,25                    |
| 11       | 14           | 1         | 1       | Gelatina de huesos | 24                         | 20               | 1,14                    |
| 2        | 15           | 1         | 1       | Quitosano          | 12                         | 20               | 0,57                    |
| 13       | 16           | 1         | 1       | Gelatina de huesos | 12                         | 180              | 2,21                    |

Matriz de diseño factorial con los resultados de turbidez final; después del tratamiento con bio-coagulante  
Salvatierra, 2021

### 9.1 Anexo 3. Figuras complementarias del diseño factorial

Factores: 3 Diseño de la base: 3; 8  
 Corridas: 16 Réplicas: 2  
 Bloques: 1 Puntos centrales (total): 0

Figura 10. Resumen del diseño  
 Salvatierra, 2021

Hipótesis nula Todas las varianzas son iguales  
 Hipótesis alterna Por lo menos una varianza es diferente  
 Nivel de significancia  $\alpha = 0,05$

*Se utiliza el método de Bartlett. Este método es exacto sólo para datos normales.*

Figura 11. Método de Homogeneidad u homocedasticidad  
 Salvatierra, 2021

| Tipo de coagulante | Dosis de Turbidez |           | Desv.Est.   | IC                   |
|--------------------|-------------------|-----------|-------------|----------------------|
|                    | coagulante        | inicial N |             |                      |
| Gelatina de huesos | 12                | 20        | 2 0,0494975 | (0,0167495; 12,6378) |
| Gelatina de huesos | 12                | 180       | 2 0,0282843 | (0,0095711; 7,2216)  |
| Gelatina de huesos | 24                | 20        | 2 0,0424264 | (0,0143567; 10,8324) |
| Gelatina de huesos | 24                | 180       | 2 0,0141421 | (0,0047856; 3,6108)  |
| Qitosano           | 12                | 20        | 2 0,0494975 | (0,0167495; 12,6378) |
| Qitosano           | 12                | 180       | 2 0,0212132 | (0,0071783; 5,4162)  |
| Qitosano           | 24                | 20        | 2 0,0848528 | (0,0287134; 21,6648) |
| Qitosano           | 24                | 180       | 2 0,0141421 | (0,0047856; 3,6108)  |

*Nivel de confianza individual = 99,375%*

Figura 12. Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar  
 Salvatierra, 2021

| Estadística      |       |       |
|------------------|-------|-------|
| Método de prueba | Valor | p     |
| Bartlett         | 3,78  | 0,804 |

Figura 13. Prueba de Bartlet  
 Salvatierra, 2021

| Término                                                 | Efecto  | EE del  |        | Valor T |
|---------------------------------------------------------|---------|---------|--------|---------|
|                                                         |         | Coef    | coef.  |         |
| Constante                                               |         | 1,1794  | 0,0110 | 107,00  |
| Tipo de coagulante                                      | -0,6287 | -0,3144 | 0,0110 | -28,52  |
| Dosis de coagulante                                     | 0,2313  | 0,1156  | 0,0110 | 10,49   |
| Turbidez inicial                                        | -0,2613 | -0,1306 | 0,0110 | -11,85  |
| Tipo de coagulante*Dosis de coagulante                  | 0,6988  | 0,3494  | 0,0110 | 31,70   |
| Tipo de coagulante*Turbidez inicial                     | -0,8738 | -0,4369 | 0,0110 | -39,64  |
| Dosis de coagulante*Turbidez inicial                    | -0,5887 | -0,2944 | 0,0110 | -26,71  |
| Tipo de coagulante*Dosis de coagulante*Turbidez inicial | -0,2763 | -0,1381 | 0,0110 | -12,53  |
| Término                                                 | Valor p | FIV     |        |         |
| Constante                                               | 0,000   |         |        |         |
| Tipo de coagulante                                      | 0,000   | 1,00    |        |         |
| Dosis de coagulante                                     | 0,000   | 1,00    |        |         |
| Turbidez inicial                                        | 0,000   | 1,00    |        |         |
| Tipo de coagulante*Dosis de coagulante                  | 0,000   | 1,00    |        |         |
| Tipo de coagulante*Turbidez inicial                     | 0,000   | 1,00    |        |         |
| Dosis de coagulante*Turbidez inicial                    | 0,000   | 1,00    |        |         |
| Tipo de coagulante*Dosis de coagulante*Turbidez inicial | 0,000   | 1,00    |        |         |

Figura 14. Regresión factorial coeficientes codificados  
Salvatierra, 2021

| Fuente                                                  | GL      | SC      | Ajust. MC | Ajust.  |
|---------------------------------------------------------|---------|---------|-----------|---------|
| Modelo                                                  | 7       | 8,76674 |           | 1,25239 |
| Lineal                                                  | 3       | 2,06822 |           | 0,68941 |
| Tipo de coagulante                                      | 1       | 1,58131 |           | 1,58131 |
| Dosis de coagulante                                     | 1       | 0,21391 |           | 0,21391 |
| Turbidez inicial                                        | 1       | 0,27301 |           | 0,27301 |
| Interacciones de 2 términos                             | 3       | 6,39327 |           | 2,13109 |
| Tipo de coagulante*Dosis de coagulante                  | 1       | 1,95301 |           | 1,95301 |
| Tipo de coagulante*Turbidez inicial                     | 1       | 3,05376 |           | 3,05376 |
| Dosis de coagulante*Turbidez inicial                    | 1       | 1,38651 |           | 1,38651 |
| Interacciones de 3 términos                             | 1       | 0,30526 |           | 0,30526 |
| Tipo de coagulante*Dosis de coagulante*Turbidez inicial | 1       | 0,30526 |           | 0,30526 |
| Error                                                   | 8       | 0,01555 |           | 0,00194 |
| Total                                                   | 15      | 8,78229 |           |         |
| Fuente                                                  | Valor F | Valor p |           |         |
| Modelo                                                  | 644,32  | 0,000   |           |         |
| Lineal                                                  | 354,68  | 0,000   |           |         |
| Tipo de coagulante                                      | 813,53  | 0,000   |           |         |
| Dosis de coagulante                                     | 110,05  | 0,000   |           |         |
| Turbidez inicial                                        | 140,45  | 0,000   |           |         |
| Interacciones de 2 términos                             | 1096,38 | 0,000   |           |         |
| Tipo de coagulante*Dosis de coagulante                  | 1004,76 | 0,000   |           |         |
| Tipo de coagulante*Turbidez inicial                     | 1571,06 | 0,000   |           |         |
| Dosis de coagulante*Turbidez inicial                    | 713,32  | 0,000   |           |         |
| Interacciones de 3 términos                             | 157,05  | 0,000   |           |         |
| Tipo de coagulante*Dosis de coagulante*Turbidez inicial | 157,05  | 0,000   |           |         |
| Error                                                   |         |         |           |         |
| Total                                                   |         |         |           |         |

Figura 15. Análisis de varianza  
Salvatierra, 2021