



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DISEÑO DE UN PROCESO DE REMEDIACIÓN PARA AGUAS DE LAVADO
PROVENIENTES DE LA PLANTA DE JEANS – DAYANTEX, PELILEO –
TUNGURAHUA

Trabajo de titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos
para optar por el título de Ingeniero Ambiental en Prevención y Remedación

Profesor Guía
Ing. Carlos Banchón Bajaña

Autor
Andrés Santiago Revelo Rosas

Año
2014

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos para un adecuado desarrollo del tema escogido, y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

Carlos Luis Banchón Bajaña
Máster en Ingeniería Química y Bioingeniería
C.I.: 091805918-9

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Andrés Santiago Revelo Rosas

C.I.: 180381662-6

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme culminar con éxito mis estudios. A mis padres por su apoyo total y absoluto. A todos mis familiares y amigos que de una u otra manera supieron ayudarme. A todo el personal docente que colaboró en mi formación académica y en especial al Ing. Carlos Banchón en calidad de tutor de tesis, por su enseñanza y cordial atención durante el desarrollo del presente estudio. A la empresa Dayantex que facilitó sus instalaciones para realizar este estudio investigativo.

Andrés

DEDICATORIA

Con todo mi cariño y afecto a toda mi familia, en especial a mis padres que me han motivado a culminar con esfuerzo, dedicación este largo y continuo proceso de formación en mi vida académica. A todos ellos quienes son la principal influencia a ejecutar con éxito las más grandes e importantes metas de mi vida.

Andrés

RESUMEN

Uno de los aspectos que genera mayor preocupación, es la adecuada disposición final del agua proveniente de una actividad industrial. En el cantón de Pelileo, provincia de Tungurahua, no existe un mayor control a cerca de la disposición final del recurso hídrico, proveniente en su mayoría de la producción textil.

El tratamiento de aguas está basado en un tratamiento físico – químico, para aguas residuales. La comparación de tratamientos planteados busca obtener el mejor tratamiento, el más conveniente con el cual se pretende disminuir en gran porcentaje el impacto ambiental que presenta la generación de residuos. Para poder valorar el mejor tratamiento, se propusieron dos métodos de gran interés como son:

- Tratamiento físico – químico para aguas residuales con coagulante de origen sintético.
- Tratamiento físico – químico para aguas residuales con coagulante de origen vegetal.

Mediante la utilización de dos tipos de coagulantes independientemente para cada caso, se logró obtener niveles óptimos de depuración durante el proceso de remediación para aguas de lavado, según los análisis, resultados generados en laboratorio, además de técnicas y métodos desarrollados para el presente estudio investigativo.

Uno de los resultados más relevantes, fue la obtención de un coagulante de origen vegetal a partir de los taninos del guarango. El proceso de extracción de taninos fue posible gracias a la utilización de etanol para una mejor concentración de taninos y poder obtener un efecto considerable en la disminución de contaminantes en aguas residuales.

ABSTRACT

One of the aspects which concern is the proper disposal of water from an industrial activity. In the canton of Pelileo province of Tungurahua, Ecuador there is more control about the final disposition of water resources. Most of them come to industrial activity.

The water treatment is based on a physical - chemical wastewater. Comparing treatments posed seeks the best treatment. The waste water treatment which most convenient aims to greatly reduce the environmental impact percentage posing waste generation.

To assess the best treatment two methods are of great interest as proposed:

- Physical - chemical treatment for waste water coagulant synthetic.
- Physical treatment - chemical for wastewater plant coagulant.

In conclusion after performing the remediation process for cleaning water, using two types of coagulants independently for each occurrence. It was possible to obtain optimal levels of purification during the remediation process for cleaning water. The optimal levels of purification according to the analysis results laboratory generated in addition to techniques and methods developed for this research study.

ÍNDICE

Introducción.....	1
1. Área de estudio	5
1.1 Ubicación geográfica de la empresa Dayantex.....	5
1.2 Procesos industriales de lavado	6
2 Marco teórico	7
2.1 Tecnologías de tratamiento de aguas	7
2.1.1 Coagulación y floculación de aguas residuales	7
2.1.2 Mecanismos de la coagulación	9
2.1.3 Sedimentación	13
2.2 El guarango, un potencial coagulante para el tratamiento de aguas residuales	13
2.2.1 Contenido de taninos en el guarango.....	16
2.2.2 Potencial coagulante taninos del guarango	17
3 Materiales y métodos	21
3.1 Caracterización del agua residual.....	21
3.2 Coagulante (PAC) poli cloruro de aluminio.....	24
3.3 Floculante aniónico	24
3.4 Coagulación – floculación con dosificación de ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄) mediante un test de jarras	25
3.5 Optimización del tiempo de coagulación en el proceso de tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria de jean .	26
3.6 Producción de un coagulante natural a base de harina del guarango..	28
3.7 Dosificación de coagulante – floculante químicos con análisis de variables; turbidez (NTU) y volumen del lodo residual.....	30
3.8 Sedimentación de agua residual del proceso de tratamiento físico - químico (PAC y floculante aniónico) de aguas residuales.....	30
3.9 Sedimentación del tratamiento físico – químico de aguas esiduales (coagulante vegetal: taninos del guarango), con ayuda de zeolitas más cloro	32

3.10	Diseño experimental	33
4	Resultados	36
4.1	Primer diseño factorial 2 ² para coagulante de origen químico	36
4.1.1	Tratamientos en función de lodos residuales obtenidos	36
4.1.2	Turbidez obtenida en función de los tratamientos establecidos ..	38
4.2	Segundo diseño factorial 2 ² para coagulante de origen biológico	40
4.2.1	Turbidez obtenida en función de los tratamientos establecidos..	40
4.2.2	Tratamientos en función de lodos residuales obtenidos	41
4.3	Turbidez y volúmenes de lodos residuales finales de tratamientos obtenidos con policloruro de aluminio y taninos, a partir de sedimentación con zeolitas.....	42
4.4	Demanda química de oxígeno (DQO) finales obtenidos de tratamientos más óptimos con policloruro de aluminio y taninos, a partir de sedimentación con zeolitas....	43
4.5	Caracterización del agua residual.....	44
5	Análisis de resultados	45
5.1	Primer diseño experimental factorial 2 ²	45
5.2	Segundo diseño factorial 2 ²	57
5.3	Análisis de la varianza de diseño factorial 2 ² ; coagulante (PAC) y floculante aniónico	69
5.3.1	Análisis de la varianza de un solo factor: Turbidez (NTU)	70
5.3.2	Análisis de la varianza de un solo factor: volumen de lodos residuales.....	72
5.3.3	Análisis de la varianza de diseño factorial 2 ² ; coagulante (taninos) y floculante aniónico.....	74
5.3.4	Análisis de la varianza de un solo factor: volumen de lodos residuales.....	76

5.4 Coagulación – floculación con dosificación de ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄) mediante un test de jarras	78
5.5 Optimización del tiempo de coagulación en el proceso de tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria de jean	78
5.6 Conclusión y análisis metodológico.....	79
5.7 Análisis costo – beneficio	81
5.7.1 Costos de inversión y reinversión	81
5.7.2 Costo de operación y mantenimiento	82
5.7.3 Tipificación y apreciación de los beneficios.....	83
6 Conclusiones y recomendaciones.....	86
6.1 Conclusiones	86
6.2 Recomendaciones.....	88
Referencias	89
Anexos	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la empresa Dayantex, Pelileo, Ecuador.....	5
Figura 2. Diagrama de procesos de producción de DAYANTEX. Los diagramas resaltados son aquellos que se encuentran directamente relacionados con la generación de agua residual de la empresa.....	6
Figura 3. Fuerza de atracción y repulsión. Si la distancia que separa a las partículas es a L que se encuentra ilustrado en el gráfico, las partículas no se atraen, mientras que E es la energía que los mantiene separados.	10
Figura 4. Re estabilización de partículas. Las fuerzas de Van der Waals son afectados por las características de la solución.	11
Figura 5. Unión de las partículas en un floc.	11
Figura 6. Efecto puente de las partículas en suspensión.	12
Figura 7. Fotografías del árbol de Guarango y sus frutos	15
Figura 8. Vainas y harinas del guarango	16
Figura 9. Estructura de un tanino.	18
Figura 10. Flavan-3-ol. Monómero estructural del que derivan los taninos condensados.....	19
Figura 11. Derivados de la hidrólisis de los taninos hidrolizables a) ácido 3, 4, 5 trihidroxibenzoico (ác. Gálico) b) ácido elágico.....	19
Figura 12. Mapa descriptivo de la empresa Dayantex y la toma de muestras de agua residual, previo a la descarga al sistema de alcantarillado.	21
Figura 13. Diagrama de procesos de la dosificación del ácido sulfúrico en el agua residual.....	25
Figura 14. Variables de estudio Velocidad (RPM) versus tiempo.....	26
Figura 15. Diagrama de Procesos de optimización del tiempo de coagulación	27
Figura 16. Variables de estudio fases lenta y rápida versus tiempo.....	27
Figura 17. Vainas y harina de guarango	28
Figura 18. Producto final de la obtención de los taninos del Guarango	29

Figura 19. Diagrama de Proceso de obtención de taninos de la harina del guarango	29
Figura 20. Diagrama de proceso de sedimentación final con ayuda de zeolitas	31
Figura 21. Diagrama de proceso de sedimentación final con ayuda de cloro y zeolitas.....	32
Figura 22. Diagrama de proceso diseño experimental.....	33
Figura 23. Dispersión de lodos vs tratamientos.....	36
Figura 24. Volumen de lodos residuales vs tratamientos.....	37
Figura 25. Dispersión de turbidez vs tratamientos.....	38
Figura 26. Turbidez vs tratamientos.....	39
Figura 27. Gráfico de dispersión de turbidez.....	40
Figura 28. histograma de turbidez para tratamientos.....	40
Figura 29. Gráfico de dispersión de lodos residuales.....	41
Figura 30. Histograma de volúmenes de lodos residuales.....	41
Figura 31. Dispersión de turbidez vs volumen de lodos. Donde 1 es PAC y 2 es taninos	42
Figura 32. Gráfica de histograma de lodos residuales.....	42
Figura 33. Dispersión de valores DQO finales.....	43
Figura 34. Histograma de resultados obtenidos de DQO de agua residual.	43
Figura 35. Resultados de análisis de caracterización del agua residual.....	44
Figura 36. Caracterización del agua residual.....	44
Figura 37. Histograma de datos obtenidos de turbidez.....	45
Figura 38. Gráfica de cubos (medias de los datos) para Turbidez.....	47
Figura 39. Gráfica de interacción de medias.....	48
Figura 40. Gráfica de efectos principales para turbidez (medias de datos).....	49
Figura 41. Grafica de superficie de turbidez vs. Floculante. Coagulante	50
Figura 42. Gráfica de residuos para turbidez; (A) Gráfica de probabilidad normal, (B) Vs. Ajustes, (C) Histograma, (D) Vs. Orden.....	51
Figura 43. Histograma de volúmenes de lodos residuales obtenidos.....	52

Figura 44. Gráfica de residuos para vol. del lodos; (A) Gráfica de probabilidad normal, (B) Vs. Ajustes, (C) Histograma, (D) Vs. Orden.	53
Figura 45. Gráfica de cubos (medias de los datos) para vol. de lodos.....	54
Figura 46. Gráfica de interacción para vol. de lodos (medias de datos).....	55
Figura 47. Gráfica de efectos principales para vol. de lodos (medias de datos).....	56
Figura 48. Grafica de superficie de vol. de lodos vs. Flocculante. Coagulante ..	57
Figura 49. Histograma de valores obtenidos de turbidez.	58
Figura 50. Gráfica de efectos principales para turbidez (medias de datos).....	59
Figura 51. Gráfica de cubos (medias de los datos) para turbidez.	60
Figura 52. Gráfica de interacción para turbidez (medias de datos).....	61
Figura 53. Gráfica de residuos para turbidez; (A) Gráfica de probabilidad normal, (B) Vs. Ajustes, (C) Histograma, (D) Vs. Orden.....	62
Figura 54. Gráfica de superficie de turbidez vs. Flocculante. Coagulante (taninos).	63
Figura 55. Histograma de valores obtenidos de volúmenes residuales.	64
Figura 56. Gráfica de efectos principales para vol. de lodos (medias de datos).....	65
Figura 57. Gráfica de cubos (medias de los datos) para vol. de lodos.....	66
Figura 58. Gráfica de interacción para vol. de lodos (medias de datos).....	67
Figura 59. Gráfica de residuos para turbidez; (A) Gráfica de probabilidad normal, (B) Vs. Ajustes, (C) Histograma, (D) Vs. Orden.....	68
Figura 60. Gráfica de superficie de vol. de lodos vs Flocculante. Coagulante (taninos).	69
Figura 61. Gráfica de distribución Chi cuadrado, para la turbidez.....	71
Figura 62. Grafica de distribución Chi cuadrado para el volumen de lodos residuales.....	73
Figura 63. Gráfica de distribución de Chi cuadrado para	75
Figura 64. Grafica de distribución de Chi cuadrado	77
Figura 65. Comparación de gráficas de porcentaje de remoción de turbidez para los dos casos.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz experimental de factores y niveles para coagulante de origen químico	34
Tabla 2. Matriz experimental de factores y niveles para coagulante de origen biológico	34
Tabla 3. Combinación de niveles de los factores	35
Tabla 4. Diseño factorial 2^2 para Variable respuesta (turbidez).....	46
Tabla 5. Diseño factorial 2^2 para la variable respuesta (volumen de lodos).	52
Tabla 6. Diseño factorial 2^2 para la variable respuesta (turbidez NTU).	58
Tabla 7. Diseño factorial 2^2 para la variable respuesta (volumen de lodos).	64
Tabla 8. Tratamientos o factores (turbidez).....	70
Tabla 9. Resumen para cada tratamiento o factor.	70
Tabla 10. ANOVA para turbidez (NTU).	71
Tabla 11. Tratamientos o factores (volumen de lodos).	72
Tabla 12. Resumen para cada tratamiento o factor.	72
Tabla 13. ANOVA para volumen de lodos.....	73
Tabla 14. Tratamientos o factores (turbidez).....	74
Tabla 15. Resumen para cada tratamiento o factor.	74
Tabla 16. ANOVA para turbidez (NTU).	74
Tabla 17. Tratamientos o factores (volumen de lodos).	76
Tabla 18. Resumen para cada tratamiento o factor.	76
Tabla 19. ANOVA para volumen de lodos.....	77
Tabla 20. Inversión inicial.....	81
Tabla 21 Operación.....	82

Introducción

En el Ecuador el control ambiental de desechos y la disposición final, ha sido muy limitada desde hace décadas. Varios organismos de control en la historia del país, fueron designados para el control de recursos naturales (Castro, 2001, p2). No obstante, el cambio de Constitución de la República del Ecuador, sembró nuevas bases de gobierno para organizar las instituciones, creadas para el control y sanción ambiental.

La problemática se hace presente cuando los niveles de contaminación se encuentran por encima de los límites permitidos por la ley. Gracias a este principio el contenido de aguas residuales es remediado. En la actualidad la preservación y remediación sobre recursos naturales es una obligación para aquellos recursos naturales que fueron alterados o estropeados, en diversas actividades industriales afectando su composición natural o inicial.

En el cantón Pelileo la generación de aguas residuales es el resultado de varias actividades industriales del sector, por tal razón los beneficios que presenta el presente estudio investigativo son muy extensos: la reducción de contaminantes generados por las industrias textiles, la preservación de la calidad de vida de los habitantes del sector, el fortalecimiento del nivel académico, entre otros. Obteniendo como resultado un gran aporte al país, con nuevas áreas de investigación para su desarrollo social y económico.

Justificación del problema

El actual descontrol y la falta de conocimiento de la población sobre la disposición final de residuos en las industrias, demanda buscar una solución apropiada e integral, para la disposición final de aguas residuales.

En la Constitución del Ecuador en el Capítulo Segundo, Derechos del Buen Vivir, Sección Primera, Agua y Alimentación, Art. 12, se establece al agua

como un derecho humano fundamental e irrenunciable, además se lo reconoce como un patrimonio nacional y de uso público. Este primer mandato, es la principal razón de regular, gestionar adecuadamente el uso, disposición final de un patrimonio nacional y de uso público, con el fin de salvaguardar la salud pública y la conservación del entorno natural.

La gran demanda de consumo de varios productos textiles (productos del jean), en el cantón Pelileo, ha generado por varios años una mala disposición final de aguas residuales.

Según el Código de Organización Territorial Autonomía y Descentralización en su artículo 55, literal d) implanta como competencia del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal, la prestación de servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento y aquellos que establezca la ley; “Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización (COOTAD), 2011, p41”.

Pelileo al ser parte de una cabecera cantonal de la provincia de Tungurahua, debe cumplir con las disposiciones que establece esta ley, como ente regulador en el tema de depuración de aguas residuales y otras actividades de saneamiento. Por tal razón, el municipio de Pelileo no dispone de una ordenanza municipal que regule o sancione, la depuración de las aguas en actividades industriales.

Gracias a la ejecución de este proyecto, los sub productos del agua, de varios procesos productivos textiles, como es el caso de: lavado, tinturado, enjagüe, etc. Podrá determinar un tratamiento adecuado, para la descarga de efluentes provenientes de la industria del jean, con el objetivo de reducir el impacto que esta genera, mejorando así la calidad de vida de los habitantes del cantón Pelileo y reduciendo las afectaciones a la salud que generan la mala calidad de las aguas.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un prototipo de tratamiento de remediación de aguas, a escala laboratorio que cumpla con los límites de descarga de efluentes al sistema de alcantarillado de la industria Textilera Dayantex.

Objetivos Específicos

- Identificar y analizar los procesos industriales que se llevan a cabo en el área de lavado previo a la descarga de aguas residuales.
- Realizar la caracterización de calidad de aguas residuales provenientes del área de lavado de jean.
- Determinar la eficiencia de los tratamientos de aguas residuales propuestos mediante el análisis de resultados de la caracterización de efluentes.
- Realizar un análisis comparativo, antes y después de la implementación del Prototipo de Remediación en el sistema de área de lavado, de la industria Textilera Dayantex.

Marco legal

El siguiente estudio investigativo se basa por los siguientes cuerpos legales de la República del Ecuador:

- Constitución de la República del Ecuador. Registro Oficial N° 449 del 20 de octubre de 2008. Artículos: 10, 12, 14, 15,66 numerales 2, 27; Artículos 83, 86 numeral 86; Artículos 276, 313, 240, 264, 315, 395 de los principios ambientales numerales 1 – 4 y Art. 415.
- Ley de Gestión Ambiental, Codificación 19, Registro Oficial N° 418 de 10 de septiembre de 2004.
- Ley de Prevención y Control Ambiental, Capítulo II, “De la Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas”. Codificación 20, Registro Oficial N° 418 de 10 de septiembre de 2004.

- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, Libro VI Anexo 1 Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Decreto N° 3516, Edición Especial N° 2 de Registro Oficial de 31 de marzo de 2003. Artículo: 4.2.2.
- Código de Organización Territorial Autonomía y Descentralización. Publicado en el Suplemento del Registro Oficial N° 303 el 19 de octubre de 2010. Artículos: 55 Competencias Exclusivas de los GAD Municipales, Art, 136 Ejercicio de las competencias de la Gestión ambiental, Art. 431. De la gestión integral del manejo ambiental.

1. Área de estudio

1.1. Ubicación geográfica de la empresa Dayantex

La empresa textil Dayantex se encuentra en la provincia de Tungurahua en el cantón de Pelileo, lugar conocido a nivel nacional por la producción textil, especialmente por la fabricación artesanal de jean.

La empresa se encuentra ubicada en Cantón Pelileo – Barrio El Tambo (Vía a Baños).

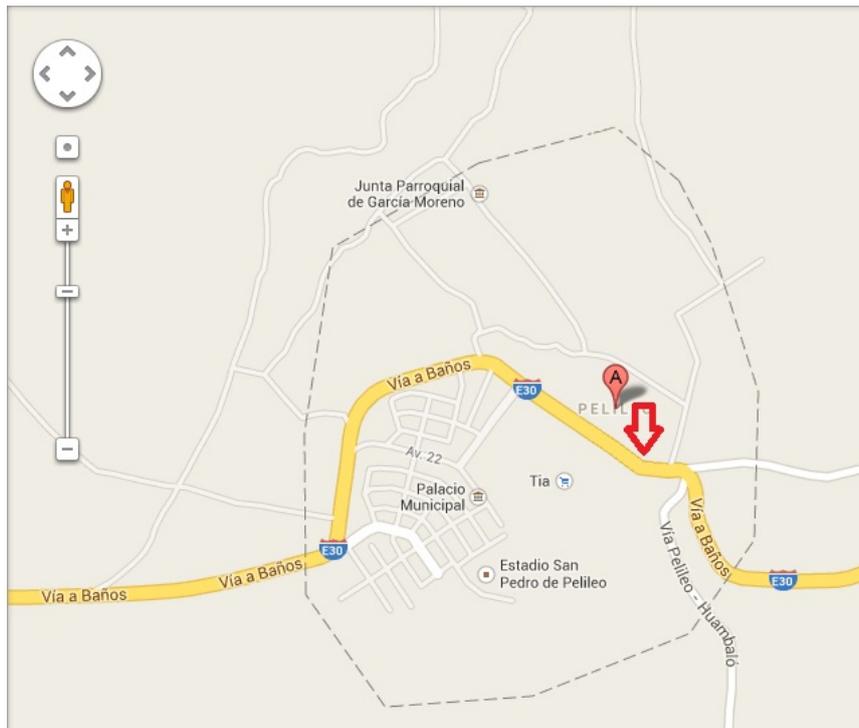
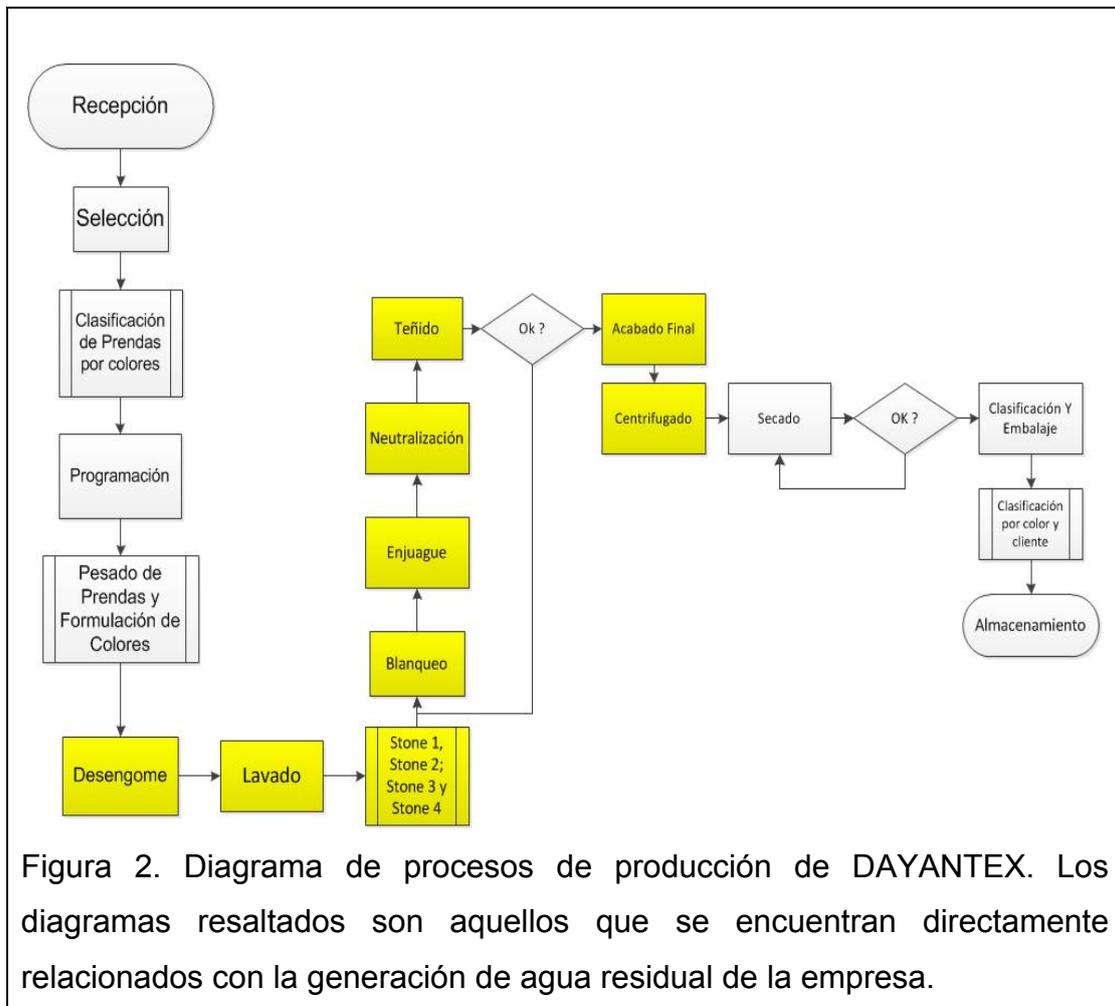


Figura 1. Ubicación de la empresa Dayantex, Pelileo, Ecuador.

1.2 Procesos industriales de lavado

Con él **es tonado** se aplica para dar un efecto de envejecimiento a la tela jean o prendas confeccionadas, mediante el uso de piedras. Se emplea en todos los procesos de envejecimiento de la tela sea químicos o físicos. Existen tres tipos: estonado con piedras, estonado con enzimas y estonado con piedras y enzimas (*Encarnación, 2010, p11*).

En este proceso se generan varios contaminantes, en los procesos productivos de la empresa, como son: ácidos, sosa caustica, blanqueador, detergentes, residuos de piedras y tela.



2 Marco teórico

2.1 Tecnologías de tratamiento de aguas

En Pelileo existen diferentes actividades industriales que generan contaminación en el agua, como es el caso de las industrias de alimentos, textiles, entre otras.

El tratamiento físico químico (coagulación – floculación) es de gran ayuda para disminuir los tratamientos posteriores, si es necesario según el tipo de contenido de agua que se esté tratando, o si no se lograra a cumplir con los parámetros que se establecen en la ley.

Los procesos unitarios considerados en este tipo de tratamiento aplicado como fase única son: tratamiento preliminar, seguido por una adición en mezcla rápida de coagulante y polímero al agua a tratar, ya adicionados coagulantes y floculantes se contempla un proceso de floculación, después de la floculación se considera el tratamiento primario de sedimentación donde se generan los lodos, el efluente de la sedimentación es desinfectado y finalmente es descargado al cuerpo receptor del agua tratada. Los lodos generados son sometidos a tratamiento para su disposición final y así generar menor contaminación posible (Carrasco, 2007, p13).

2.1.1 Coagulación y floculación de aguas residuales

El tratamiento preliminar consiste en una filtración o separación de grasas o partículas de mayor tamaño, generalmente en estos procesos se aplica el uso de; cribas, rejillas o filtros. Esto permite que en la adición de los coagulantes y floculantes para el tratamiento sea más efectivo.

La coagulación es también conocida como la desestabilización eléctrica de algunas partículas, por medio de la adición de varios tipos de coagulantes.

Además de ello se lo considera fundamental la homogenización mediante la agitación del contenido de aguas residuales (Restrepo, 2009, p7).

Son varios los usos que presenta la coagulación en el tratamiento de aguas residuales: remoción de turbiedad orgánica como inorgánica, remoción de color verdadero y aparente, eliminación de microorganismos, eliminación de agentes que producen olor y sabor, eliminación de organismos acuáticos, entre otros (Restrepo, 2009, p7).

El fenómeno de desestabilización de las partículas presentes en el agua residual, ocurre por varias reacciones físicas y químicas, entre el coagulante, la alcalinidad del agua y el contenido de coloides presentes en el agua residual (Carrasco, 2007, p 17).

En el proceso de coagulación – floculación se deben tomar en cuentas dos aspectos importantes:

- Desestabilización de partículas, es decir que se activa la fuerza de atracción entre partículas coloidales, también llamada como coagulación.
- El transporte de las partículas coloidales dentro del líquido, con el objetivo que la partículas entren en contacto y formen coágulos porosos también conocido como floculación (Carrasco, 2007, p 16).

Las cargas eléctricas de las partículas coloidales y las propiedades superficiales se reiteran como aspecto importante, ya que determinarán la existencia o ausencia de la turbidez y color en el agua, además de poder obtener una adecuada sedimentación.

Existen varios tipos de coagulantes que se utiliza para el tratamiento de aguas residuales entre los más comunes tenemos:

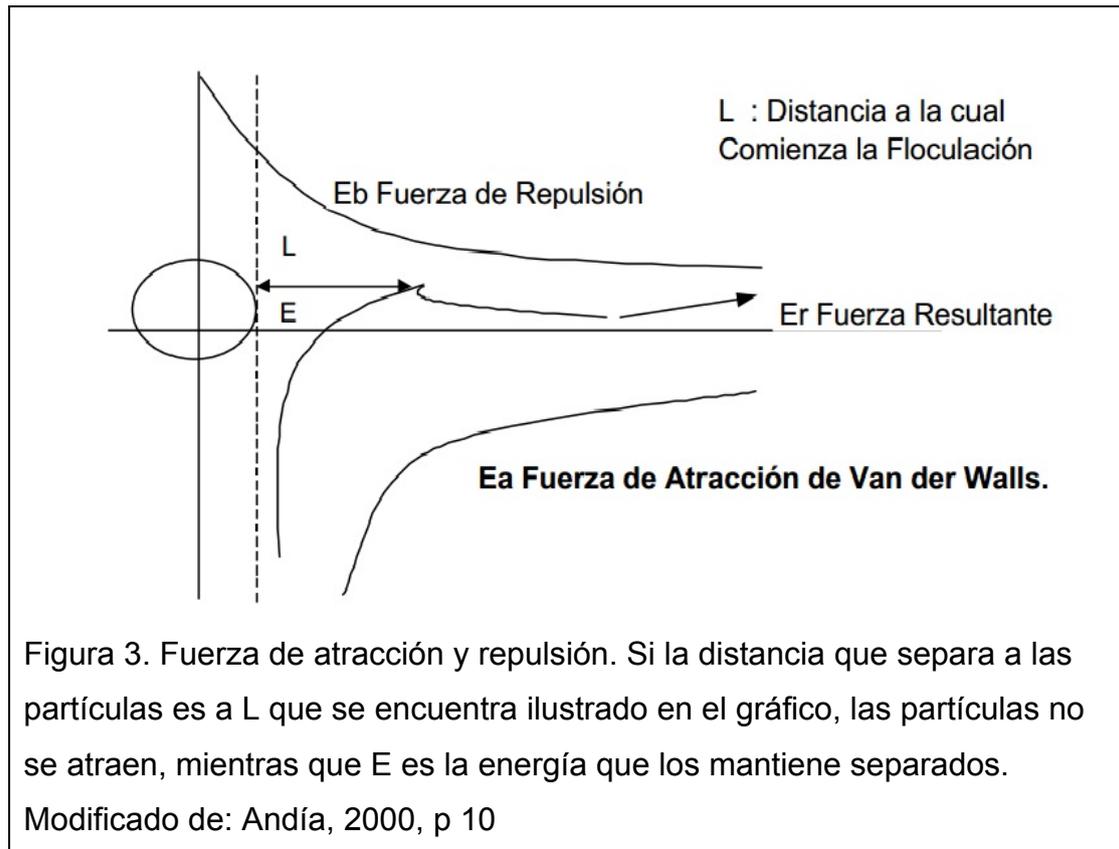
- Sulfato de aluminio, también conocido como alumbre contiene en su estructura sales de aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$, se utiliza con mayor frecuencia, debido a su bajo costo y fácil manejo.
- Cloruro férrico, contiene en su estructura sales de hierro $FeCl_3$ y los sulfatos de hierro, férrico y ferroso $Fe(SO_4)_3$ y $FeSO_4$, estas sales de hierro poseen la ventaja de mayor velocidad de asentamiento que las sales de aluminio.
- Polímeros o polielctrolítos, son considerados no como coagulantes sino como ayudantes al proceso de coagulación, debido a su alto peso molecular se lo utiliza en concentraciones muy bajas (Restrepo, 2009, p 9).

El presente estudio investigativo busca reemplazar, las sales de aluminio que se utilizaron en la parte experimental, por el extracto de los taninos del guarango.

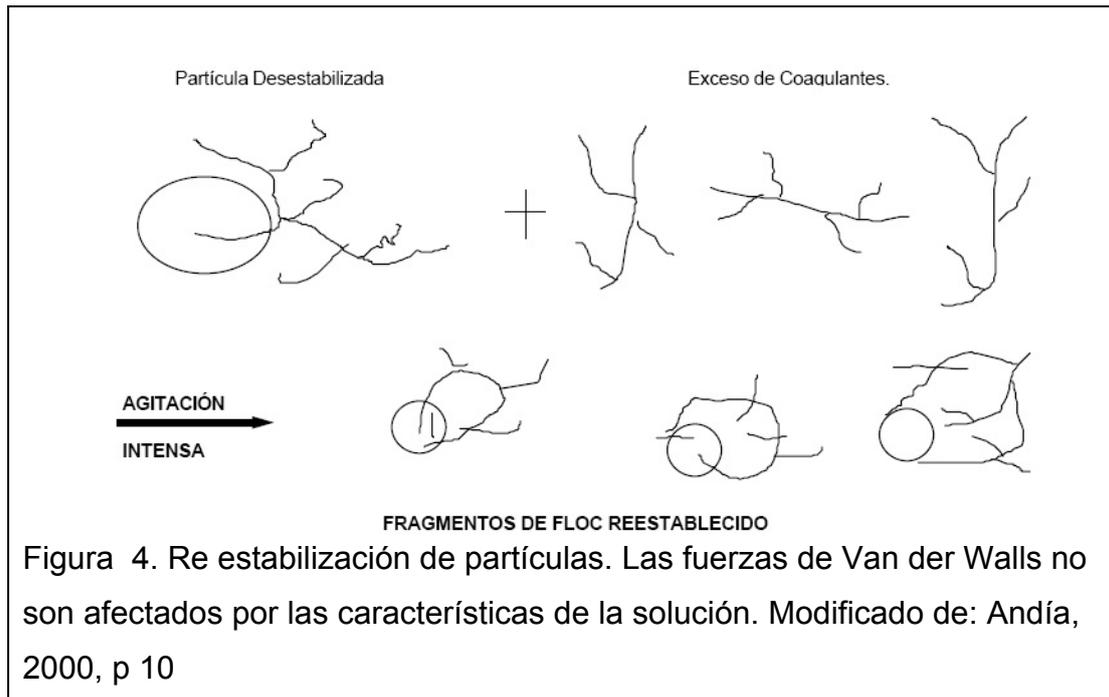
2.1.2 Mecanismos de la coagulación

La desestabilización fisicoquímica se la puede realizar de la siguiente manera: compresión de la doble carga, adsorción y neutralización de cargas, atrapamiento de partículas en un precipitado, adsorción y puente.

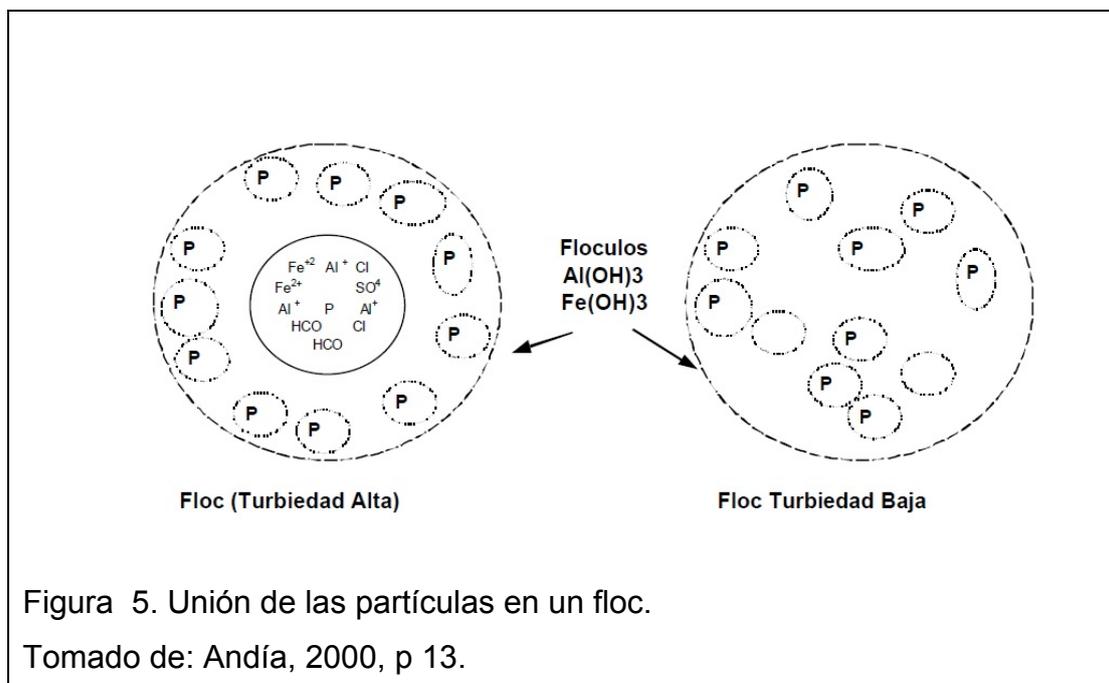
Compresión de la doble carga, cuando existe una aproximación de dos partículas semejantes, sus capas difusas interactúan generando una fuerza de repulsión, cuyo potencial de repulsión está en función de la distancia que los separa y cae rápidamente con el incremento de iones de carga opuesta al de las partículas, esto se logra solo con los iones del coagulante (Andía, 2000, p 10). La compresión es producida por el peso de las partículas, que se van añadiendo de manera constante a la estructura por sedimentación, este fenómeno se presenta en la parte inferior de la masa de lodos residuales de gran espesor (Carrasco, 2007, p 16).



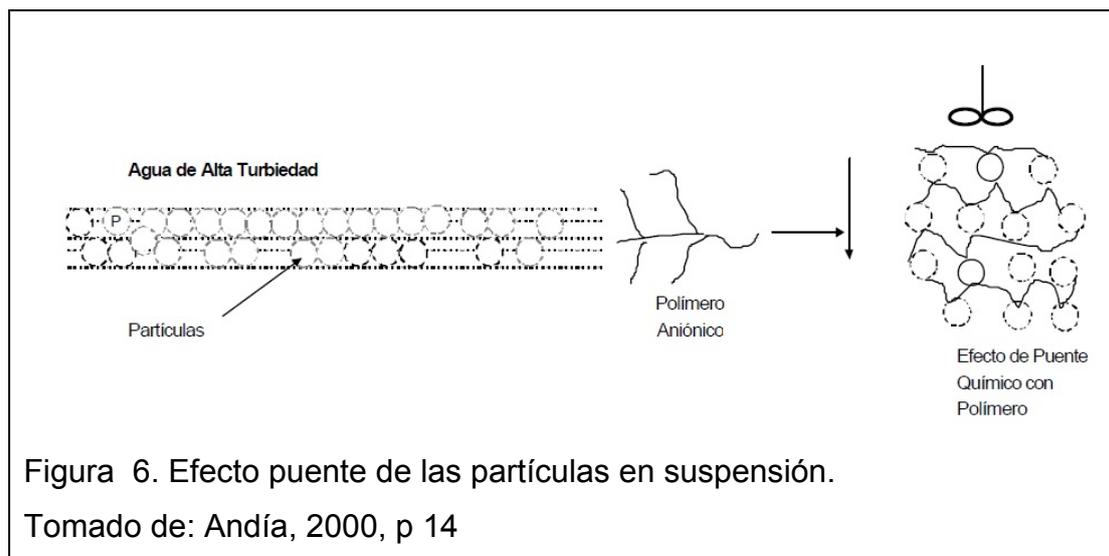
Absorción y neutralización de cargas, cuando se adiciona un exceso de coagulante al agua a tratar, da como resultado a la re estabilización de la carga de la partícula; este fenómeno ocurre debido a que el exceso de coagulantes son absorbidos en la superficie de la partícula produciendo una carga invertida a la carga original (Andía, 2000, p 12). La tendencia a la adsorción tiene relevancia con los tipos de coagulantes polihidróxidos y polinucleares. El origen de este efecto se debe a la gran tamaño y poca hidratación de los coagulantes hidrolizados y al aumento de las condiciones de adsorción por la presencia de grupos hidroxilos coordinados (Larbaces, 2007, p 20).



Atrapamiento de partículas dentro de un precipitado, en este punto las partículas coloidales desestabilizadas se pueden juntar dentro de un floc, cuando se adiciona una cantidad suficiente de coagulantes. En resumen, una concentración importante de partículas en suspensión puede requerir menor cantidad de coagulante (Andía, 2000, p 13).



Adsorción y puente, cuando las partículas están cargadas negativamente, este fenómeno es explicado por la teoría del “puente”. Las moléculas del polímero muy largas contienen grupos químicos que pueden absorber las partículas coloidales (Andía, 2000, p 14). Este mecanismo establece una relación de dependencia entre las fuerzas químicas y la superficie de los coloides (Carrasco, 2007, p 15).



La floculación, es la agrupación de las partículas descargadas, al ponerse en contacto unas con otras. Esta agrupación es favorecida por algunos productos químicos llamados floculantes. Los flóculos son retenidos en una fase posterior del tratamiento (sedimentación). En esta etapa, a diferencia de la anterior, es necesaria de una agitación también homogénea y muy lenta, con el objetivo de no romper los flóculos que se forman. El tiempo de residencia es de 10 - 30 minutos (Ros, 2011, p 26). La formación de grandes partículas aglomeradas, es el principal objetivo de la floculación, con esto se pretende captar la mayor parte de partículas contenidas en un medio líquido.

Los principales objetivos de la floculación es agrupar flóculos de menor tamaño y formar partículas con peso específico superior al agua para compactar al floculo disminuyendo su grado de hidratación lo cual produce baja concentración volumétrica (Restrepo, 2009, p 10).

2.1.3 Sedimentación

Es conocida como una operación física en la que se aprovecha la fuerza de la gravedad con respecto a una partícula más densa que el agua, cuya partícula debe tener una trayectoria descendiente. El éxito de esta operación física, es el mayor tamaño y densidad de las partículas (Ros, 2011, p 11).

Es un punto de gran importancia, ya que la separación de los coloides (impurezas), se lo puede realizar mediante la sedimentación de las partículas que se encuentran en suspensión.

La sedimentación se utiliza en los tratamientos de aguas residuales para separar sólidos en suspensión. La sedimentación puede producirse en una o varias etapas, muchas de las ocasiones la sedimentación resulta como el único tratamiento que requiere el agua residual (Carrasco, 2007, p 16).

2.2 El guarango, un potencial coagulante para el tratamiento de aguas residuales

Es considerada una especie forestal nativa de los Andes. Algunos Nombres que han adoptado los países en los que se encuentra presente este especie son: “Tara” o “Taya” en Perú; “Dividivi de tierra fría”, “Guarango”, “Cuica”, “Serrano” o “Tara” en Colombia; “Guarango”, “Campeche”, “Vinillo” o “Vainillo” en Ecuador; “Tara” en Bolivia, Chile y Venezuela y Acacia Amarilla o Divi / divi de los Andes en Europa (*Nieto e Hidrobo, 2011, p15*). A continuación, se describe la clasificación taxonómica:

“Nombre: Tara, Guarango

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Subfamilia: Caesalpinioideae

Tribu: Caesalpinieae

Género: Caesalpinieae

Especie: *C. Spinosa* (Molina) Kuntze” (Játiva, 2011, p 4-6).

Es una planta perenne de hábito de crecimiento arbóreo y su número cromosómico es $2n = 24$. Como ya se ha indicado el guarango es una planta perenne que se encuentra presente en Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Chile y Bolivia. Su desarrollo se evidencia a partir de los 800 a 3200 msnm, por lo que se encuentra presenta en la zona occidental de la cordillera de Los Andes y en los Valles interandinos (Mancero, 2008, p 9).

Con los frutos procesados del guarango, se pueden obtener varios productos y subproductos, de los cuales, los más importantes son los extractos de los taninos, que se obtienen de las cáscaras de las vainas molidas. Los taninos tienen aplicaciones directas en la industria, tal es el caso que: se usa para el curtido de pieles, clarificación de vinos y de cerveza, fabricación de plásticos y adhesivos elaboración de productos farmacéuticos, entre otros (*Nieto e Hidrobo, 2011, p31*). Además de ello se lo considera dentro de este estudio como un potencial coagulante que reemplazaría las sales de hierro o aluminio que actualmente se usan en el mercado para tratamiento físico – químico para aguas residuales.

Las semillas una vez procesadas dan lugar a por lo menos tres subproductos:

- La goma o endospermo, que es un subproducto de aplicación como espesante de alimentos. La goma posee las características propias de las gomas vegetales, actúa como espesante, aglomerante, estabilizador, coloide y capa protectora. Posee la ventaja de ser incolora, insípida, muy estable y altamente resistente a la descomposición (*Nieto e Hidrobo, 2011, p 31*). Es muy importante recalcar esta propiedad, ya que se

considera como parte del mecanismo de coagulación, el de absorción y neutralización de cargas, esto se debe a que los taninos del guarango presentan esta propiedad de goma o coloide. Característica fundamental, considerada como coagulante dentro del tratamiento físico – químico para aguas residuales.

- El germen o cotiledones, que contiene un alto valor proteínico, (con alto contenido de los aminoácidos Metionina y Triptófano) y que por lo tanto, sirve para el consumo humano o para la alimentación animal. El germen también contiene aceites con un contenido de ácidos libres de 1,4% (ácido oleico), que es comercialmente aceptable por su baja acidez (*Nieto eHidrobo, 2011, p 32*).



Figura 7. Fotografías del árbol de Guarango y sus frutos, tomado de: Jativa, 2011, p 2.



Figura 8. Vainas y harinas del guarango, tomado de: Játiva, 2011, p 27

2.2.1 Contenido de taninos en el guarango

Son compuestos poli fenólicos de las plantas. Son solubles en agua, alcohol y acetona. La hidrólisis total de una molécula de tanino de una molécula de hidrato de carbono, moléculas de ácido gálico y ácido m-digálico (UNLPALM, 2011, p 5).

Los taninos también son considerados como un mecanismo de defensa pasiva y en la protección de los tejidos de la planta atacados por insectos, hongos o bacterias, el tanino representa generalmente la parte principal de su extracto fenólico (Álvarez, 2007, p 2).

Existen varias propiedades importantes entre estas tenemos las más importantes:

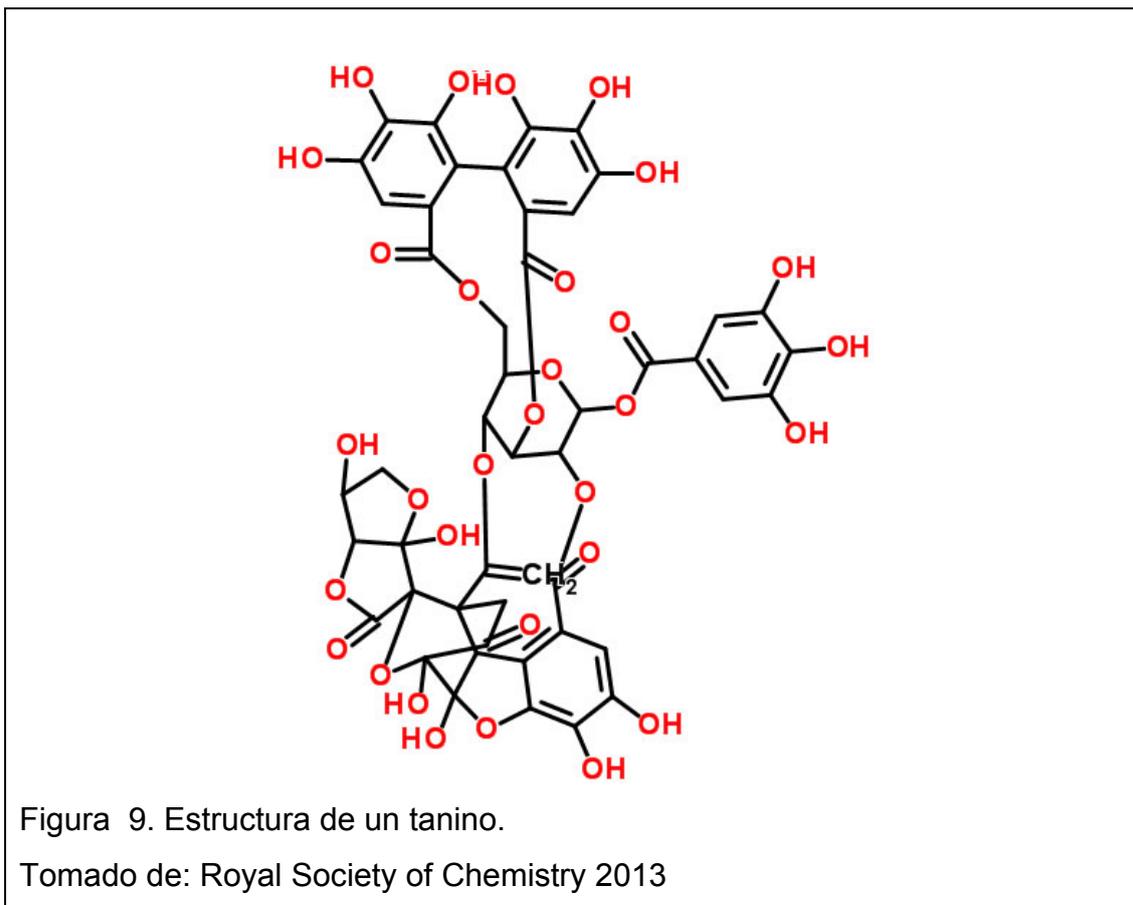
- Tiene la capacidad de formar complejos con las proteínas, que les confiere una característica gustativa interesante, directamente relacionado al término conocido como astringencia o gusto tánico
- Posee una característica antirradicalario dominante y su capacidad de consumir oxígeno disuelto, atribuyen a su propiedad anti oxidante, muy

utilizada y demandante en las industrias farmacéutica y agroalimentaria (Álvarez, 2007, p 2)

- Son considerados un grupo muy heterogéneo de productos naturales, estos están presentes en grandes o pequeñas cantidades en todas las plantas. En aquellas plantas presentes en gran cantidad, los taninos se encuentran presentes en los órganos como es el caso de las hojas, frutos y en la corteza de la madera. Por lo general los taninos se encuentran presentes en los frutos verdes, pero estos desaparecen durante el proceso de la maduración (Játiva, 2011, p 11).

2.2.2 Potencial coagulante taninos del guarango

Los taninos que poseen en su composición sales de hierro forman compuestos solubles de color azul oscuro o negro verdoso y estos precipitan con sales de muchos otros metales como es el caso de cobre, plomo y estaño. La principal característica es la de bloquear y precipitar las proteínas (Játiva, 2011, p 11). La presencia de sales de hierro y otros metales presentes en la composición de los taninos, es la razón de que se genere una sedimentación del contenido de los coloides de las aguas residuales, debido a que las sales de hierro y de otros metales aportan cargas positivas al contenido de los coloides, que a su vez estos contienen cargas negativas. Al existir la presencia de las dos cargas positiva y negativa estas se atraen y unen, formando partículas de mayor tamaño generando así un precipitado (lodos residuales).



Ésta es una de las principales razones que los taninos del guarango se han considerado como un potencial coagulante de origen natural, para el tratamiento físico – químico para aguas residuales. Existen muchas alternativas para la producción de coagulantes a base de taninos, como es el caso de la cationización, que confiere carácter catiónico a la matriz orgánica del tanino, de tal manera que las características principales de la estructura vegetal se mantienen intactas, mientras que otras son añadidas. El objetivo de añadir cargas positivas a la molécula del tanino, es desestabilizar los coloides aniónicos presentes en el agua (Beltrán, Sánchez, Gómez y Dávila, 2010, pp 1-2).

Una fracción del contenido proteico de las semillas, cercana al 1%, está constituida por proteínas catiónicas activas, dependiendo de la estructura de cada especie, que neutralizan y precipitan los coloides del agua al igual que lo hacen los coloides industriales (Morales, Méndez y Tamayo, 2009, p 524).

Los **Taninos condensados o proantocianidínicos**, cuya particularidad es que liberan tras una hidrólisis ácida una antocinidina (Álvarez, 2007, p 2). Estas sustancias no son hidrolizables por los ácidos ni por las enzimas (UNLPALM, 2011, p 7).

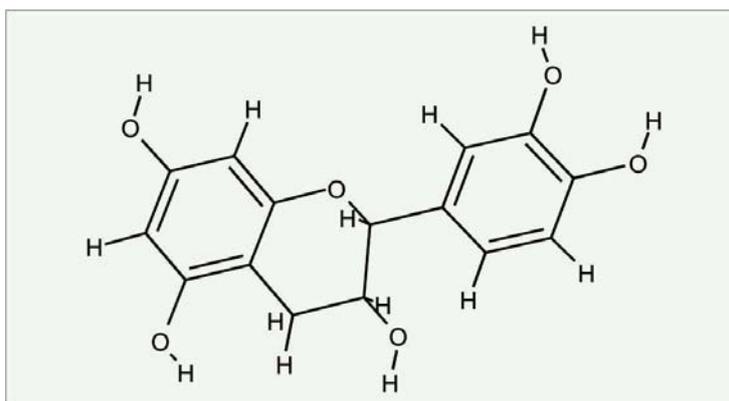


Figura 10. Flavan-3-ol. Monómero estructural del que derivan los taninos condensados, tomado de: Álvarez (2007) p 3.

Los **Taninos hidrolizables**, son ésteres de ácidos fenoles, se denominan así por ser fácilmente hidrolizables por ácidos, bases, enzimas. Se diferencian en dos grupos; los galotaninos y los elagitaninos (UNLPALM, 2011, p 6).

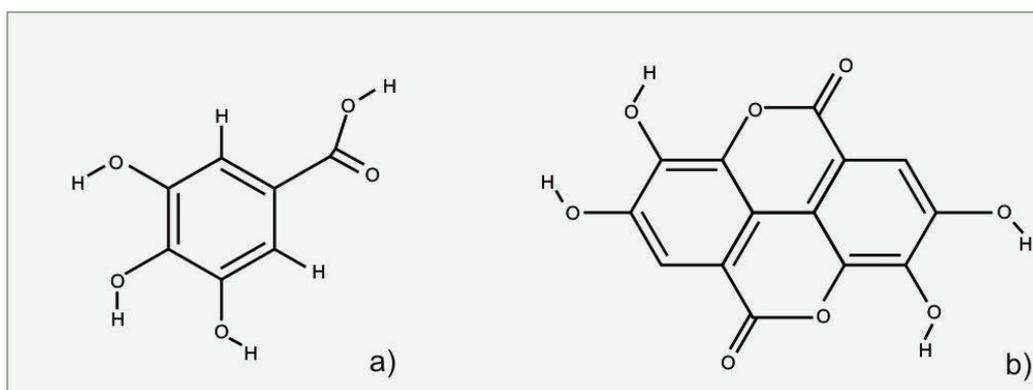


Figura 11 Derivados de la hidrólisis de los taninos hidrolizables a) ácido 3, 4, 5 trihidroxibenzoico (ác. Gálico) b) ácido elágico.

Tomado de: Álvarez (2007) p 3.

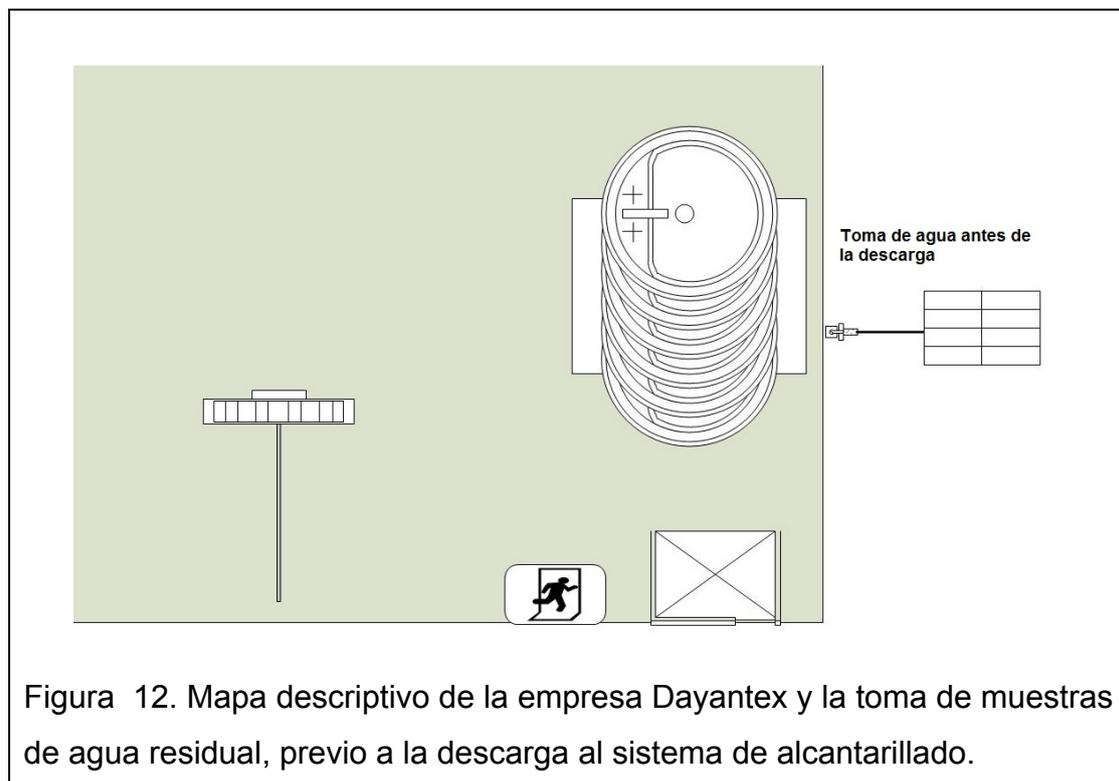
Es de gran importancia el aporte de este estudio investigativo al país, ya que es una alternativa más tersa en el tratamiento físico – químico de aguas residuales, con el objetivo de sustituir al coagulante sintético (químico) comúnmente utilizado en el mercado por un coagulante de origen vegetal (natural). Disminuyendo así los impactos ambientales que generan la disposición final de los lodos residuales, igualmente aportando nuevas temáticas para el campo laboral en la producción y obtención de este producto como un coagulante de origen vegetal.

3 Materiales y métodos

3.1 Caracterización del agua residual

La muestra para el tratamiento físico químico de aguas residuales, fue una muestra simple de unos 10 galones (19 litros). El caudal efluente del agua residual permaneció constante.

Los medios de almacenamiento para la recolección de las muestras fueron envases plásticos, el punto de recolección de las muestras fue tomado antes de la descarga al sistema de alcantarillado.



Los **parámetros físicos de caracterización** de las muestras de agua residual fueron: la temperatura, la turbidez, potencial de hidrógeno (pH) y la conductividad eléctrica.

La temperatura, se midió in situ con un termómetro de mercurio.

La turbidez, se midió por medio de un turbidímetro marca HANNA Instruments (2012), unidades de muestreo NTU (Nephelometric Turbidity Unit).

Para **la medición del pH**, se realizó mediante un potenciómetro de marca HANNA Instruments (2012).

La conductividad eléctrica del agua residual, fue determinada in situ, mediante un conductivímetro de marca HANNA Instruments (2010).

Los parámetros químicos a analizarse fueron: DQO, aluminio, cianuro, cobre, índice fenólico y fósforo total. La mayor parte de muestras tuvieron que ser diluidas con agua destilada con una relación promedio de dilución de 1 a 10 mL, con el objetivo de poder alcanzar los parámetros de medición que indicaron muchos de los test de análisis. Para una mejor aproximación de los resultados se realizaron tres repeticiones por cada análisis.

La medición del aluminio, para la muestra del agua residual se realizó mediante test de Nanocolor referencia N° (1-02). La muestra fue diluida en una relación 2:20. Se midió mediante fotómetro Nanocolor para poder obtener un resultado de análisis, a una longitud de onda ($H_w = 5-12 \text{ nm}$): 540 nm, con eriocromo cianuro R. Con un rango de medición de (mg/L Al^{+3}): 0,01-0,50, un tiempo de reacción de 5 minutos y una temperatura de reacción entre: 20-25°C. Para **la medición del cianuro** en la muestra del agua residual se realizó, mediante test de Nanocolor referencia N°(0-31), diluyendo la muestra con una relación 1:10. Utilizando el fotómetro Nanocolor para medir a una longitud de onda ($H_w = 5-12 \text{ nm}$): 585 nm. El principio químico del análisis fue con cloramina T, ácido isoconítrico y ácido 1,3 –dimetilborbitúrico, para formar un compuesto de color azul. Con un rango de medición de (0,002-0,100 mg/L CN), a temperatura de 20-25 °C y a 10 minutos de reacción.

La medición del cobre, para la muestra del agua residual se la obtuvo mediante test de Nanocolor referencia N°(0-54), con la ayuda del fotómetro Nanocolor se pudo obtener resultados del análisis a una longitud de onda (Hw = 5-12 nm): 585 nm, la muestra del agua residual fue diluida con una relación 1:10. El principio químico del análisis fue con cuprizona, rango de medición 0,10-7,00 mg/L Cu^{+2} , a un tiempo de reacción de 10 minutos y a 20-25 °C de temperatura.

Para **la medición del índice fenólico** de la muestra del agua residual se, realizó una dilución, con una relación de 2:20. Se midió mediante fotómetro Nanocolor a una longitud de onda, mediante test de Nanocolor referencia N° (0-74), a una temperatura de 20-25 °C y un tiempo de reacción de 5 minutos. El principio químico del análisis fue con formación de colorantes de antiprina con 4 – aminoantiprina y un rango de medición de 0,2-5,0 mg/L (índice fenólico).

La medición del fósforo, de la muestra de agua residual, se realizó mediante test de Nanocolor referencia N°(0-80). Se midió mediante fotómetro Nanocolor a una longitud de onda (Hw = 5-12 nm): 690 nm. La muestra fue diluida con una relación 1:10, a una temperatura de 20-25 °C y a 10 minutos de tiempo de reacción. El principio químico del análisis fue con azul de molibdeno tras hidrólisis ácida y oxidación a 100 – 120 °C por 30 – 60 minutos de descomposición.

La medición del DQO inicial de la muestra de agua residual, se la realizó mediante test de Nanocolor referencia N°(0-29). Se midió mediante un fotómetro Nanocolor con longitud de onda (Hw 5-12 nm): 620 nm y rango de medición 100-1500 mg/L DQO. La muestra fue diluida con una relación 1:10, a 2 horas y a 148 °C de temperaturas y tiempo de reacción. El principio químico de análisis fue determinación fotométrica de la concentración de cromo (III), tras oxidación con dicromato potásico / ácido sulfúrico / sulfato de plata.

Las mediciones finales de DQO, se realizaron en el laboratorio de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (CESAQ), las muestras fueron enviadas en envases de vidrio ámbar, a una temperatura de 4 °C, con 250 mL de contenido como se indicó.

3.2 Coagulante (PAC) poli cloruro de aluminio

El coagulante utilizado en el tratamiento físico – químico para aguas residuales fue el poli cloruro de aluminio (vx 50), en forma líquida.

Es así que contiene la siguiente estructura:

Nombre químico: Polihidroxiclорuro de aluminio

Sinónimo o nombres comunes: Policloruro de aluminio PAC

Fórmula empírica: $Al(OH)_aCl_b$ con $(a + b) = 3$ y a mayor de 1,05 " (Aguilar M, 2006, pp. 9 – 10).

3.3 Floculante aniónico

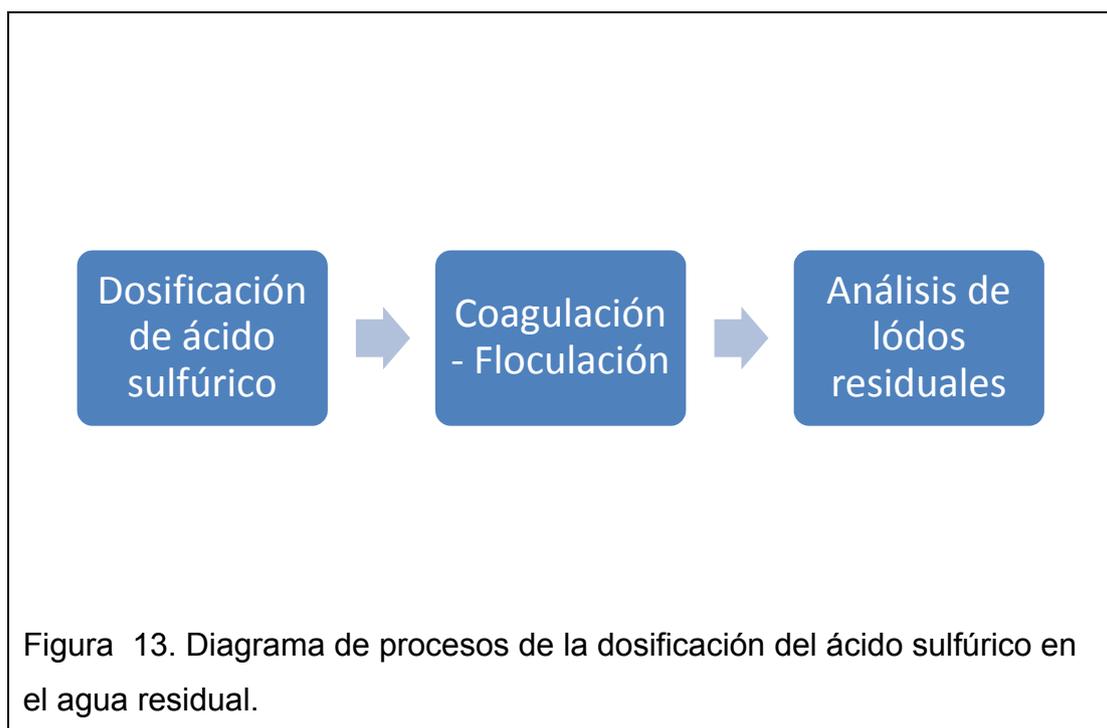
En el caso del floculante se utilizó el floculante aniónico al 0,1% (masa/volumen) preparado en solución acuosa, su composición fué de acrilamida y copolímero del acrilato de sodio.

Tanto el floculante aniónico como el coagulante (policloruro de aluminio) fueron provistos por la empresa Dicomsa, encargada en la venta de insumos para tratamiento de aguas.

3.4 Coagulación – floculación con dosificación de ácido sulfúrico (H_2SO_4) mediante un test de jarras

Para la obtención del tratamiento más óptimo del tratamiento físico – químico para aguas residuales se debe considerar varios aspectos, como es el caso de la mejor compactación de los lodos residuales obtenidos.

Dentro de este método se consideraron como constantes, algunas variables que determinaron los mejores resultados en los métodos anteriores como es el caso de: velocidad en fase rápida 200 (RPM), velocidad en fase lenta 40 (RPM), tiempo de retención 10 minutos en las dos fases, dosis de coagulante y floculante más óptimos para los dos casos (coagulante químico y natural), contenido de la Muestra 700 mL.



La coagulación floculación se la realizo en dos fases: una rápida de mezclado (200 RPM) y una lenta de floculación (40 RPM). El tiempo para cada operación fue de 10 minutos. Se proporcionó diferentes dosificaciones con ácido sulfúrico cada uno.

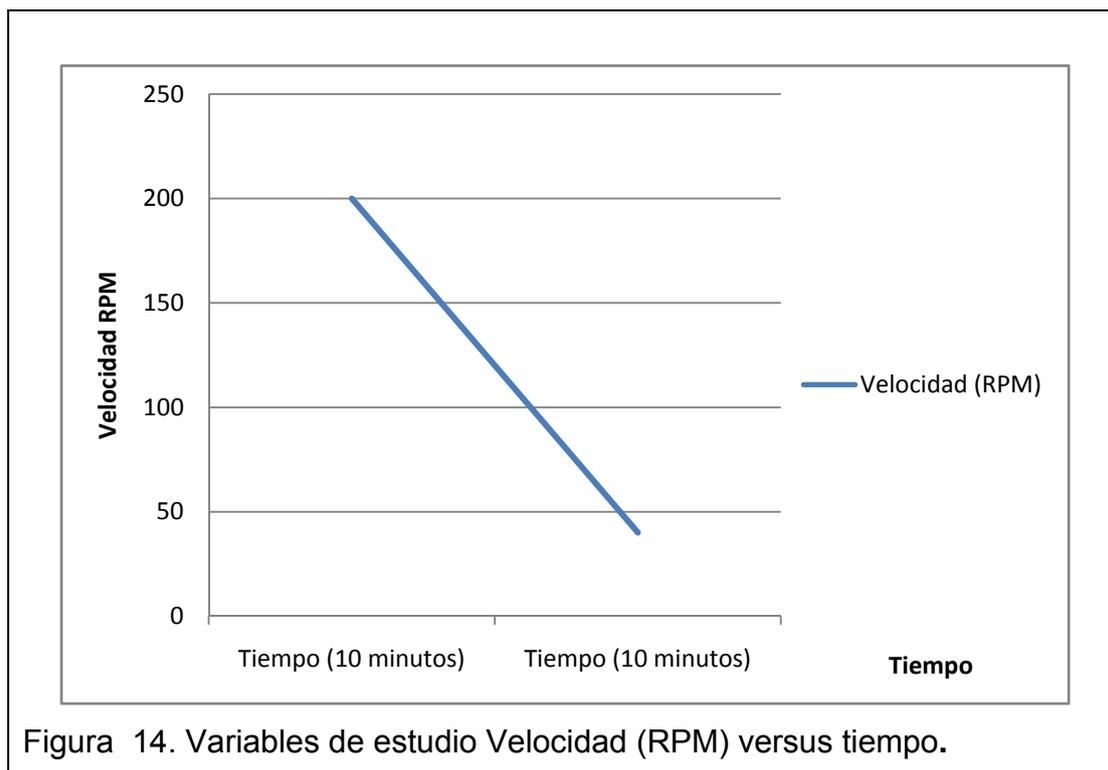


Figura 14. Variables de estudio Velocidad (RPM) versus tiempo.

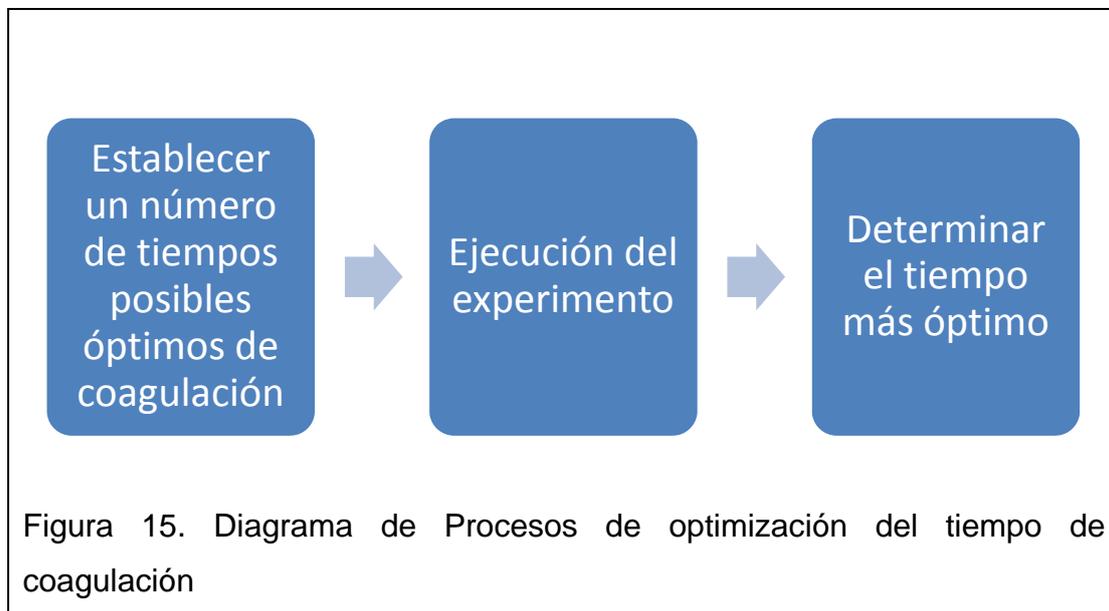
3.5 Optimización del tiempo de coagulación en el proceso de tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria de jean

En el tratamiento físico – químico para aguas residuales, se manejan distintas variables de estudio, uno de ellos es manejar el tiempo de coagulación necesaria para poder general resultados óptimos, con ayuda de diferentes velocidades de coagulación.

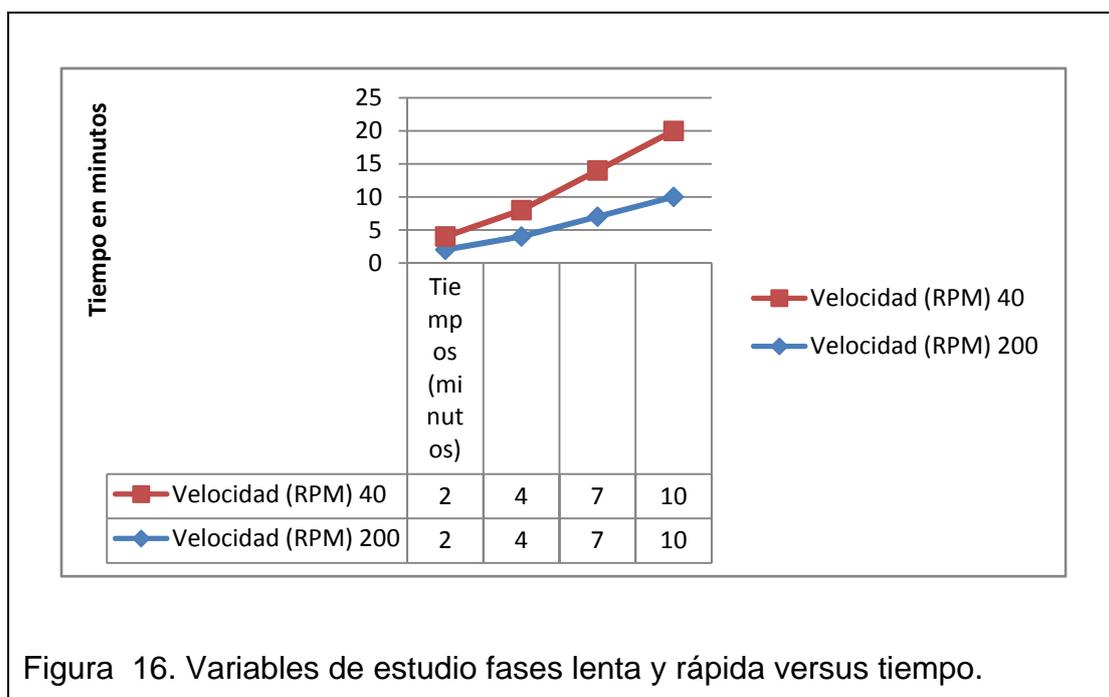
El medio físico, por el cual se realiza este tratamiento de aguas residuales es el test de jarras, que proporciona velocidades en revoluciones por minuto (RPM), que va desde cero hasta doscientas revoluciones por minuto.

Este método es aplicado una vez que se haya establecido la dosis más óptima de coagulante y floculante dentro del tratamiento de aguas residuales. Es decir que la dosis más óptima y las velocidades de coagulación (en RPM), en sus dos fases (rápida y lenta) se las consideran en este caso variables constantes.

El volumen de cada muestra en los procesos de tratamiento fue de 700 mL, en un vaso de precipitación Griffin.



En este caso se han propuesto cuatro tiempos; el primero de tres, el segundo de cinco, el tercero de ocho y el cuarto de diez minutos. Es importante mencionar que cada tiempo propuesto es el resultado de tres repeticiones.



3.6 Producción de un coagulante natural a base de harina del guarango

El objetivo de este método fue la producción de un coagulante alternativo, de origen vegetal con el propósito de abaratar los costes de adquisición para las industrias que demandan del producto, e igualmente disminuir el impacto ambiental que generan actualmente la disposición final de los lodos residuales, ya que estos contienen en su estructura una alta concentración de metales pesados.

La especie que se ha propuesto para la generación del coagulante natural es la planta del guarango (*Caesalpinacea Spinosa Kuntze*), gracias a los frutos del guarango se puede extraer el contenido de los mismos, conocido comúnmente como taninos.

Para la producción del coagulante natural, es necesaria la extracción del tanino (harina del guarango), mediante solvente alcohólico.



Figura 17. Vainas y harina de guarango, tomado de: Játiva S, 2011, p 27

Se pesaron 20 gr de la harina en una balanza electrónica. Posteriormente se disolvió los 20 gr de la harina en 200 mL.

La dilución de la harina del guarango, con la ayuda de un agitador magnético a 210 (RPM), se procedió a calentar el contenido a 135°C por 30 minutos.

Obteniendo a los 30 minutos un contenido de color amarillento, se procedió a filtrar el contenido en el papel filtro de 125 mm con la ayuda de un embudo de cristal. Se obtuvo un líquido menos denso que el original. La cantidad final del contenido fue de 100 mL.

Una vez molidas o trituradas las semillas se logró extraer el contenido de los taninos con una solución del 50 % de metanol, esto se debe que algunos compuestos fenólicos son solubles en alcohol (*Živković, 2009, p 285*).



Figura 18. Producto final de la obtención de los taninos del Guarango

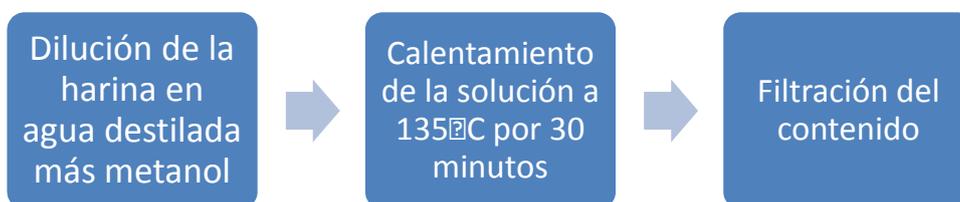


Figura 19. Diagrama de Proceso de obtención de taninos de la harina del guarango

3.7 Dosificación de coagulante – floculante químicos con análisis de variables; turbidez (NTU) y volumen del lodo residual

Con ayuda del proceso de coagulación – floculación, establecida ya la dosis más óptima con sus tiempos de fases lenta y rápida respectivamente podremos obtener el volumen resultante de lodos residuales. Así mismo el pH establecido y el volumen de cada muestra residual (700mL) se mantuvieron constantes.

Una vez terminado el proceso de floculación – coagulación, el contenido del agua residual se dio paso a sedimentar obteniendo así la presencia de los lodos residuales. Existen dos fases el contenido del agua residual resultante la fase del agua resultante del tratamiento físico – químico de aguas residuales y la fase sedimentada en donde se encuentran presentes los lodos residuales.

El agua residual resultante se colocó en conos imhoff con el fin de poder observar el volumen de lodos residuales y el volumen del agua resultante del tratamiento físico – químico de aguas residuales. El objetivo de este proceso fue determinar el volumen final de los lodos obtenidos y como resultado separar las dos fases del contenido de agua residual.

Se midió la turbidez en el agua residual inicial y del agua tratada resultante, mediante el turbidímetro (HANNA), con un contenido de muestra de 10 mL, para su lectura.

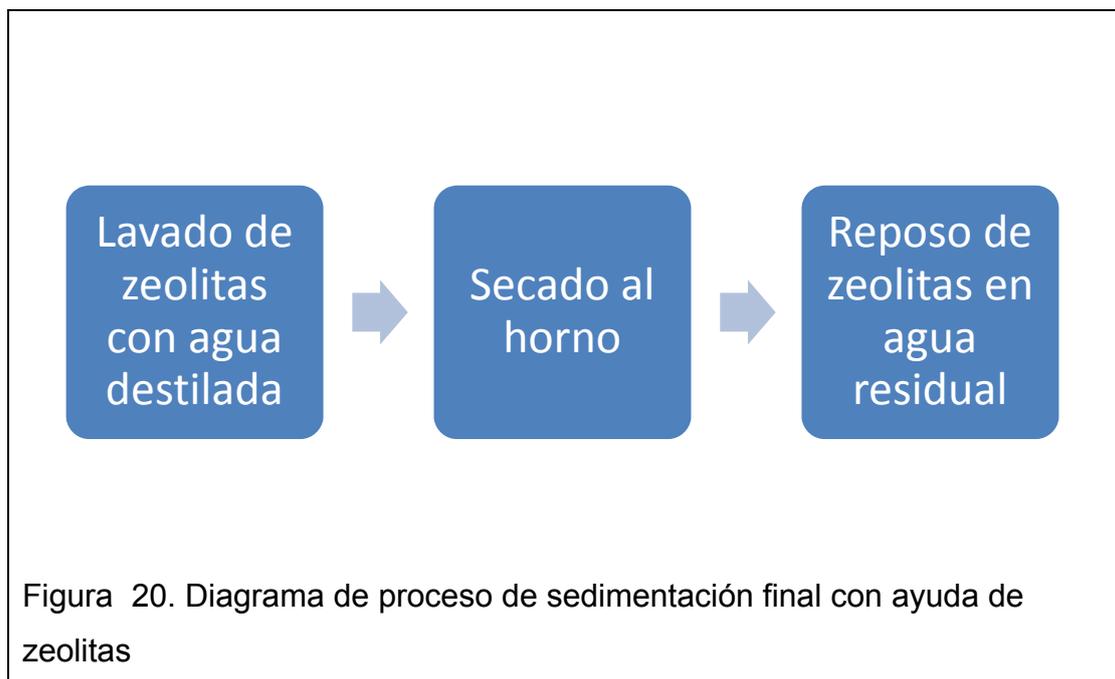
3.8 Sedimentación de agua residual del proceso de tratamiento físico - químico (PAC y floculante aniónico) de aguas residuales

Una vez finalizado el proceso de coagulación – floculación, se colocó en reposo el agua residual resultante con zeolitas. Las zeolitas son minerales aluminosilicatos, que en su estructura presenta porosidades y de formas variadas. Lo más relevante de estos minerales es que al contener sílice y aluminio son portadoras de cargas positivas al contenido de las aguas

residuales (coloides), a su vez el contenido de los coloides de las aguas residuales predomina la existencia de cargas negativas, generando así la sedimentación de estas partículas. La característica de porosidad en las zeolitas es también de gran ayuda para la adsorción de partículas (EPA, 2009, PP 1-2).

Se pesaron 16 gramos de zeolitas, posterior se las lavo con agua destilada y finalmente se las seco al horno a 250 grados Celsius por cuatro horas, con el propósito de eliminar cualquier tipo de impurezas en el interior de los poros y así poder tener un mejor efecto.

Finalmente obtenidas las zeolitas secas al horno se las colocó en el contenido del agua residual dejándolo reposar por dos días obteniendo un efecto de sedimentación de lodos finales.

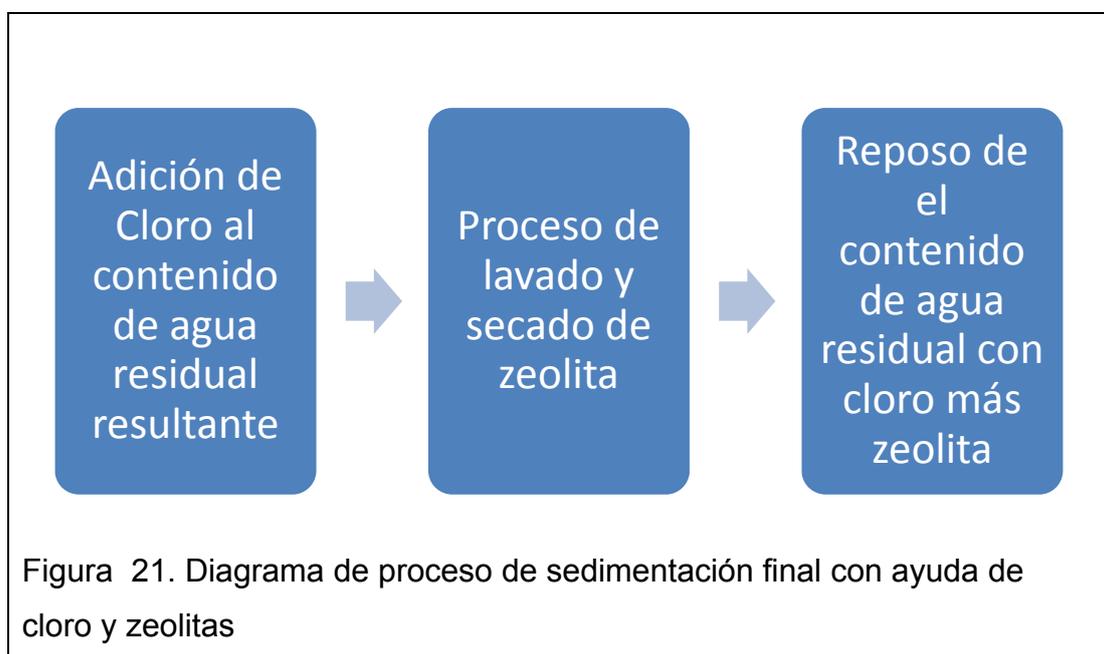


3.9 Sedimentación del tratamiento físico – químico de aguas residuales (coagulante vegetal: taninos del guarango), con ayuda de zeolitas más cloro

Una vez terminado el tratamiento físico – químico de aguas residuales en este caso utilizando taninos del guarango como coagulante biológico, se adhirió cloro al contenido resultante de agua residual conjuntamente con el contenido de las zeolitas, se dejó reposar por 15 minutos.

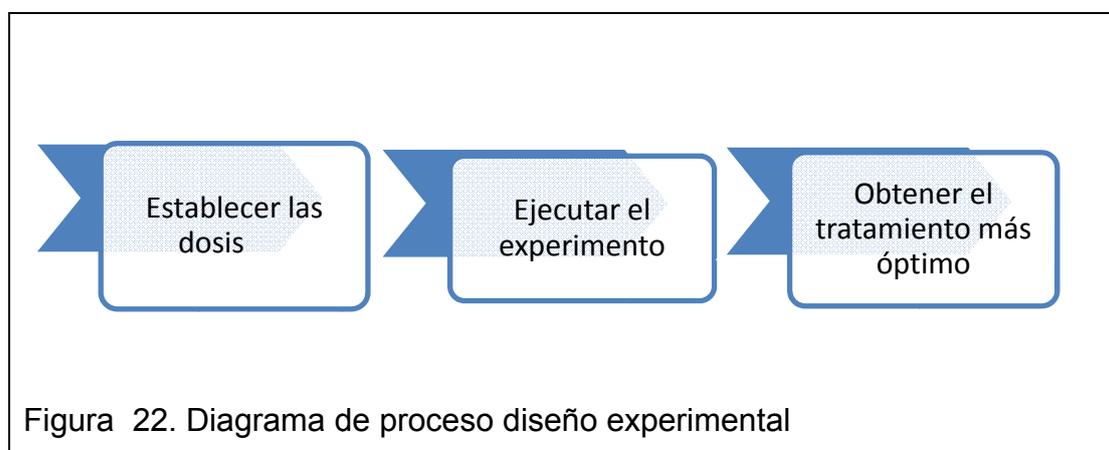
Se realizó el mismo procedimiento anterior para la utilización de la zeolitas, es decir que se pasaron 15 gramos de zeolitas se las lavaron con agua destilada, posterior el contenido fue secado al horno a 250 grados por cuatro horas.

Finalmente el contenido de las zeolitas ya secas al horno se las coloco al contenido de agua residual resultante.



3.10 Diseño experimental

El diseño de experimentos es la aplicación del método científico con el fin de generar conocimiento acerca de un sistema o proceso, por medio de pruebas planeadas adecuadamente. Esta metodología se ha ido fortaleciendo como un conjunto de técnicas estadísticas y de ingeniería, que permiten entender mejor situaciones complejas de relación causa – efecto (*Humberto Gutiérrez Pulido, 2008, p 6*).



El diseño factorial 2^2 presenta varios métodos estadísticos con el objetivo de generar datos representativos, muy indispensables al momento de elegir un método experimental, ya que solo al obtener la mayor información posible, se podrá determinar el mejor resultado esperado (el que posee mayor efecto sobre la variable respuesta). De esta manera se ha elegido el diseño factorial 2^2 como parte de este método de estudio de generación de un coagulante de origen vegetal y sus efectos con respecto a los ya existentes en el mercado, para el tratamiento físico – químico para aguas residuales.

El diseño experimental que se va aplicar, en este estudio, son dos diseños factoriales 2^2 completamente aleatorios. Las variables que se van analizar para el primer diseño son: las dosis de coagulante químico (PAC) y dosis de floculante, para el segundo diseño las variables son: dosis de coagulante natural y dosis de floculante. Con el diseño factorial 2^2 dan como resultado 4

diferentes tratamientos. La dosis más óptima de coagulante y floculante, son aquellas que a la final del proceso se obtengan resultados de agua residual con menor DQO y lodos residuales con mayor compactación.

Como se indicó anteriormente el diseño factorial 2^2 , posee dos niveles un alto (+) y un bajo (-), para el cual en este estudio se ha tomado en cuenta las siguientes dosis, para el primer diseño factorial 2^2 para coagulante de origen químico.

- Dosis de Coagulante: (-) 5mL y (+) 10mL
- Dosis de Floculante: (-) 4mL y (+) 8mL

En donde A es dosis de coagulante, B dosis de floculante.

Tabla 1. Matriz experimental de factores y niveles para coagulante de origen químico

VARIABLES	NIVEL (-)	NIVEL(+)
A	5 mL	10 mL
B	4 mL	8 mL

Dosis para el segundo diseño factorial 2^2 , para coagulante de origen biológico. Es importante mencionar que las dosis de floculante se mantienen constantes para los dos casos.

- Dosis de Floculante Natural: (-) 25mL y (+) 35mL
- Dosis de Floculante: (-) 4mL y (+) 8mL

En donde B dosis de floculante y C dosis de coagulante biológico, las dosis de floculante se mantienen constantes para los dos tratamientos.

Tabla 2. Matriz experimental de factores y niveles para coagulante de origen biológico

VARIABLES	NIVEL (-)	NIVEL(+)
C	25 mL	35 mL
B	4 mL	8 mL

Con el diseño factorial 2^2 se estudian dos factores en dos niveles cada uno. Consta de $2^2 = 2 \times 2 = 4$ tratamientos diferentes, los cuales pueden identificarse las notaciones introducidas con el diseño 2^2 (Yates).

En la representación geométrica, cada vértice representa un punto de diseño o tratamiento, el área del cuadrado es conocida también como región experimental, obteniendo como principio la validez de las conclusiones del experimento dentro de esta área (*Humberto Gutiérrez Pulido, 2008, p 169*). En cada tratamiento se puede estudiar el efecto que se produce sobre el objeto a estudiarse, así mismo se pueden analizar las interacciones que existen entre los cuatro tratamientos.

Tabla 3. Tabla de combinación de niveles de los factores

Tratamientos	A	B	AB	Yates
1	–	–	+	(1)
2	+	–	–	a
3	–	+	–	b
4	+	+	+	ab

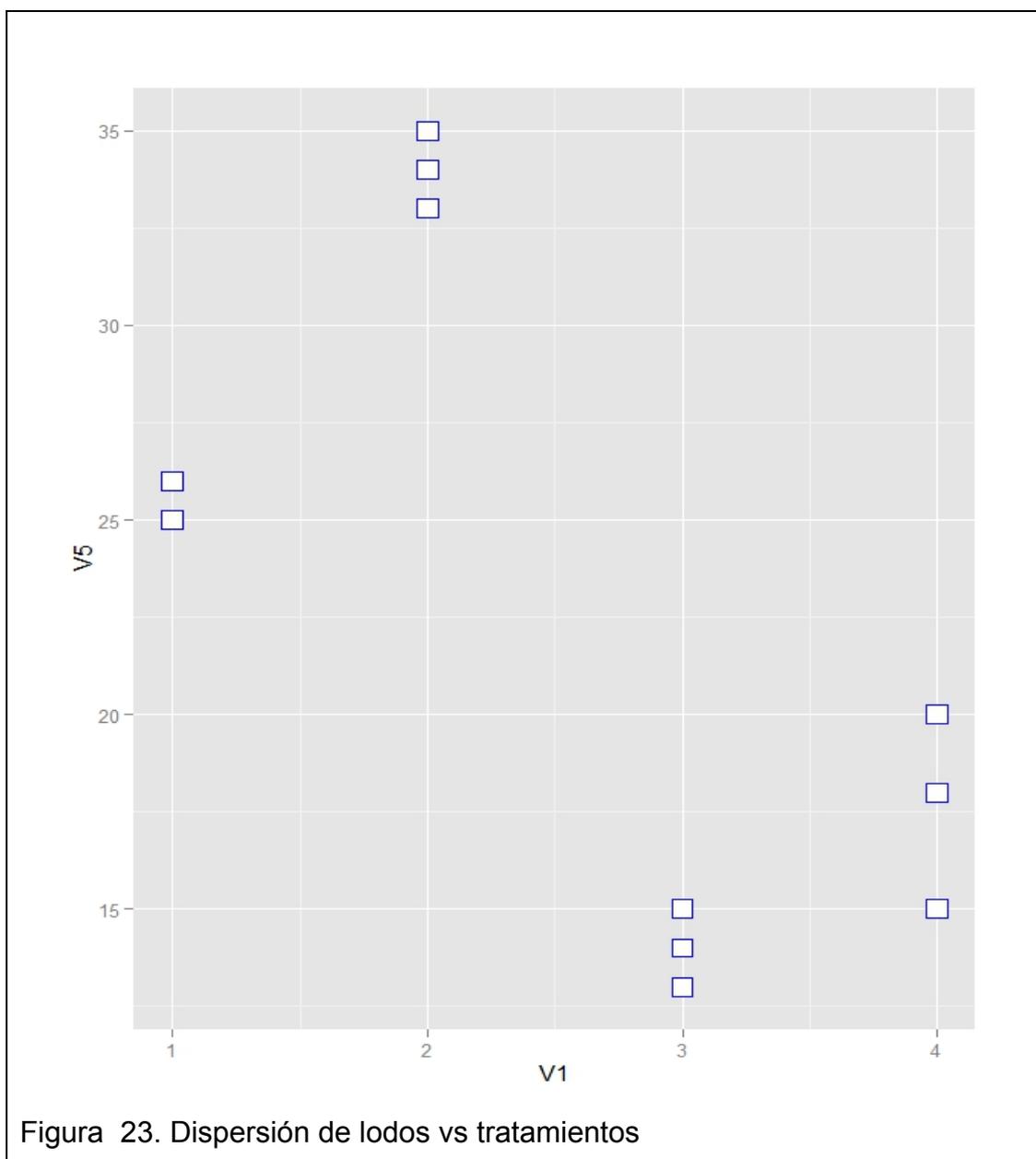
Adaptado de: Gutiérrez, 2008, p 171.

4 Resultados

4.1 Primer diseño factorial 2² para coagulante de origen químico

4.1.1 Tratamientos en función de lodos residuales obtenidos

Se puede evidenciar en la figura 23, la dispersión que presenta la generación de los lodos residuales en relación a los tratamientos establecidos.



En la figura 24, se evidencia el volumen de lodos residuales generados, a partir de diferentes dosificaciones en los tratamientos químicos propuestos anteriormente. En tabla 1.

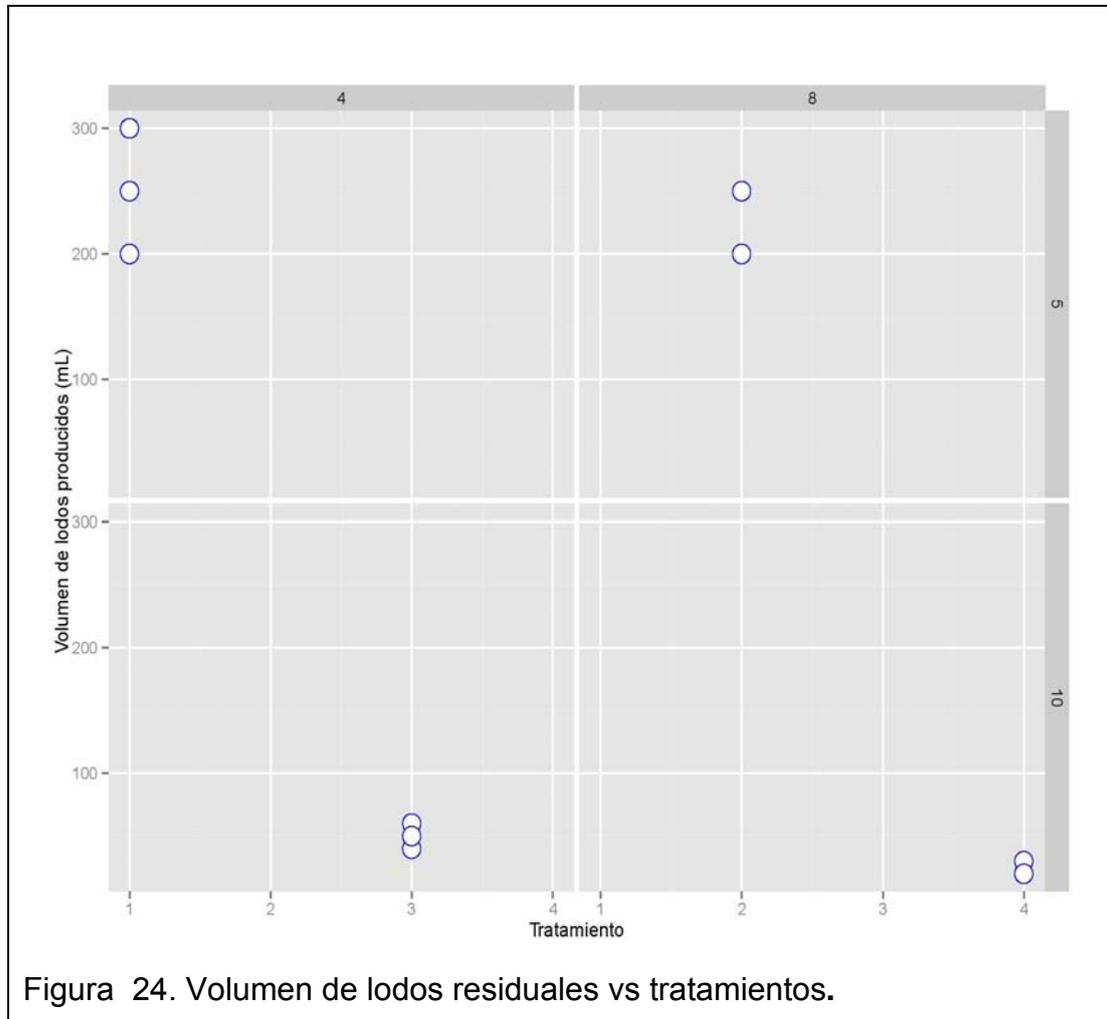
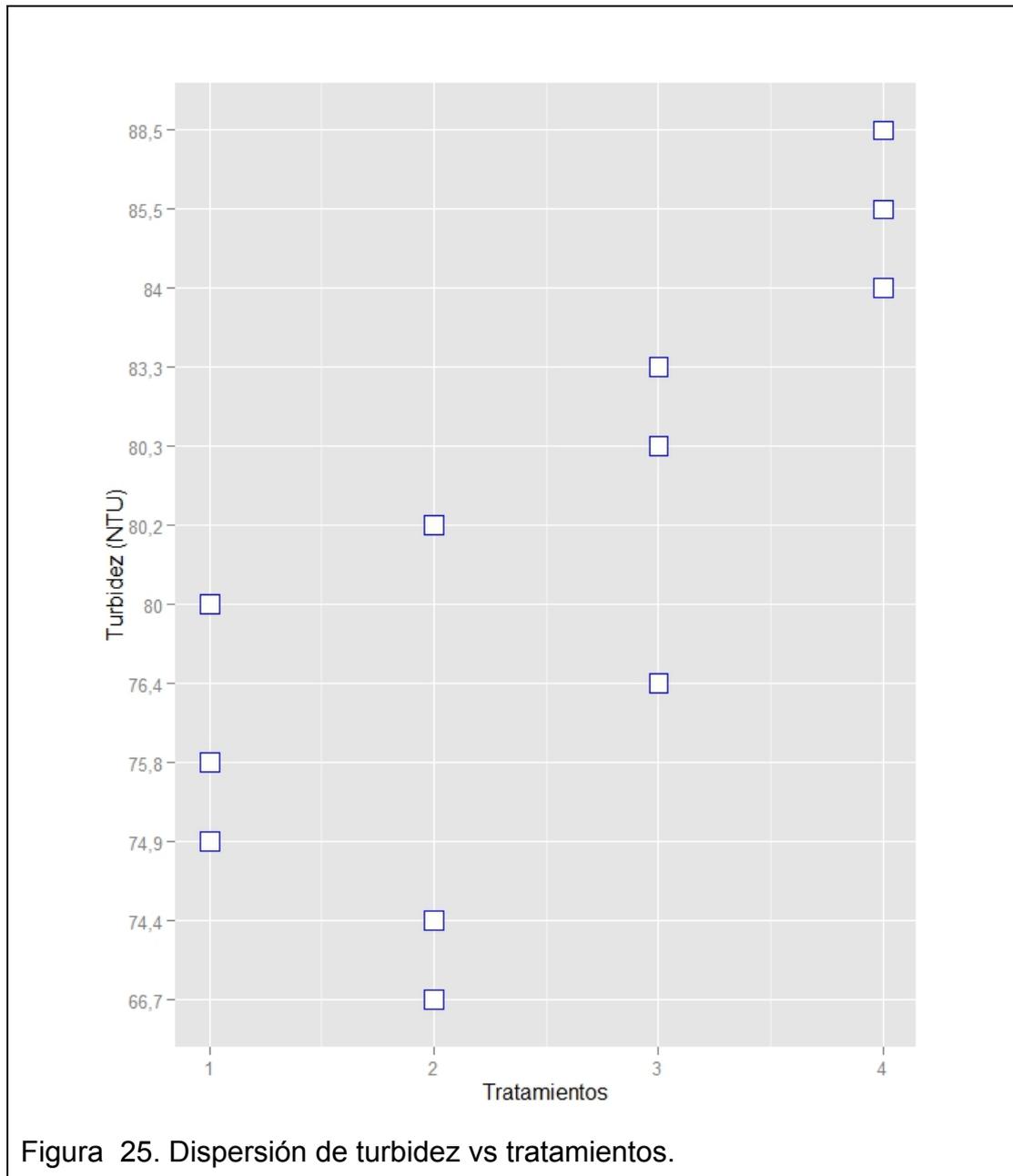


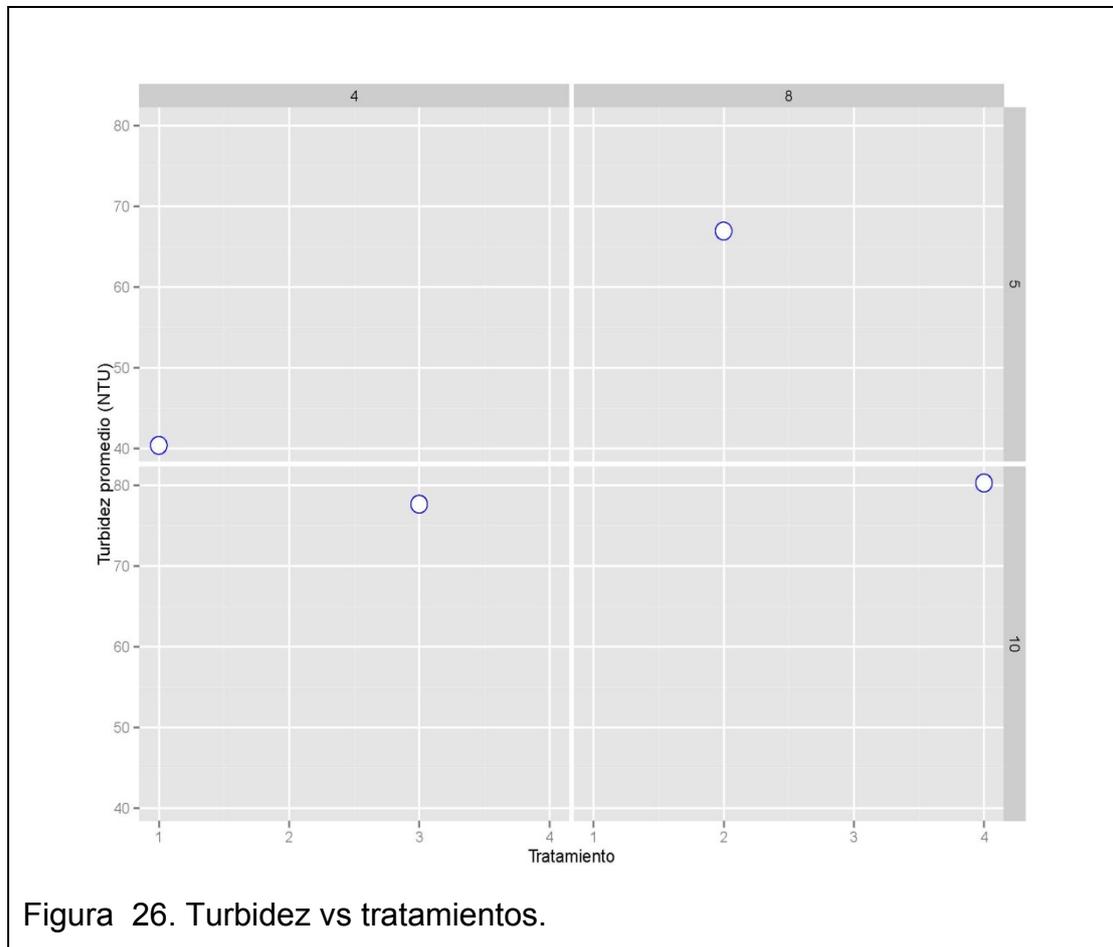
Figura 24. Volumen de lodos residuales vs tratamientos.

4.1.2 Turbidez obtenida en función de los tratamientos establecidos

La dispersión de la turbidez en relación con los tratamientos propuestos en el diseño factorial 2^2 , se evidencia en la figura 25.



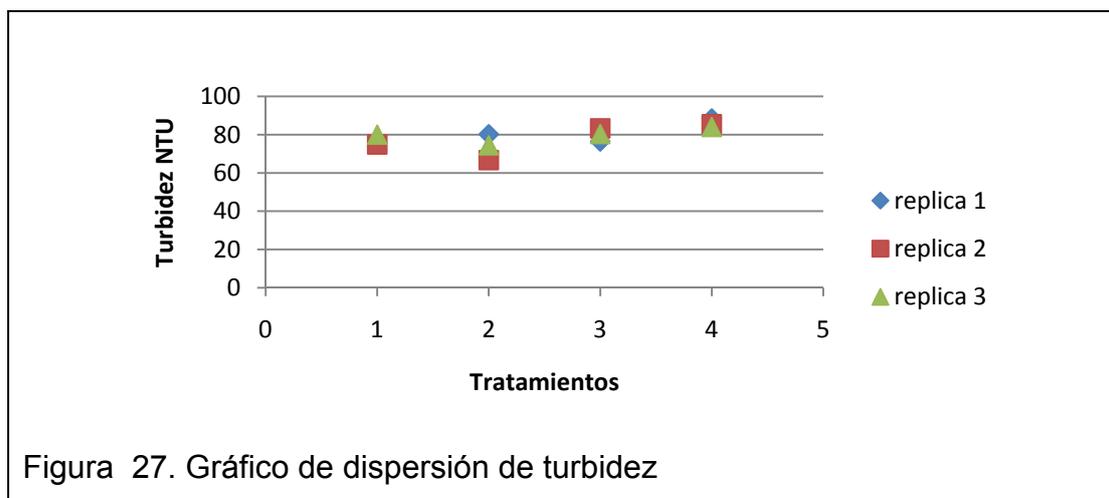
La turbidez fue analizada para todos los tratamientos propuestos, como indica en la figura 26.



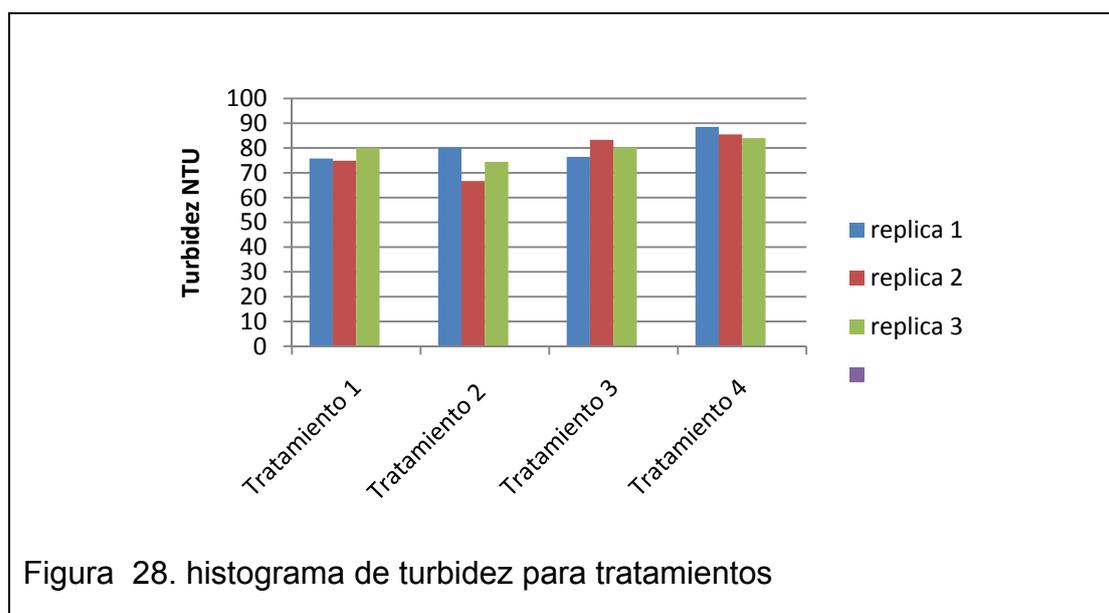
4.2 Segundo diseño factorial 2² para coagulante de origen biológico

4.2.1 Turbidez obtenida en función de los tratamientos establecidos

En la figura 27 se evidencia la dispersión generada por la turbidez obtenida en el segundo diseño factorial 2² para el coagulante de origen biológico. Como se indica en la tabla 2.

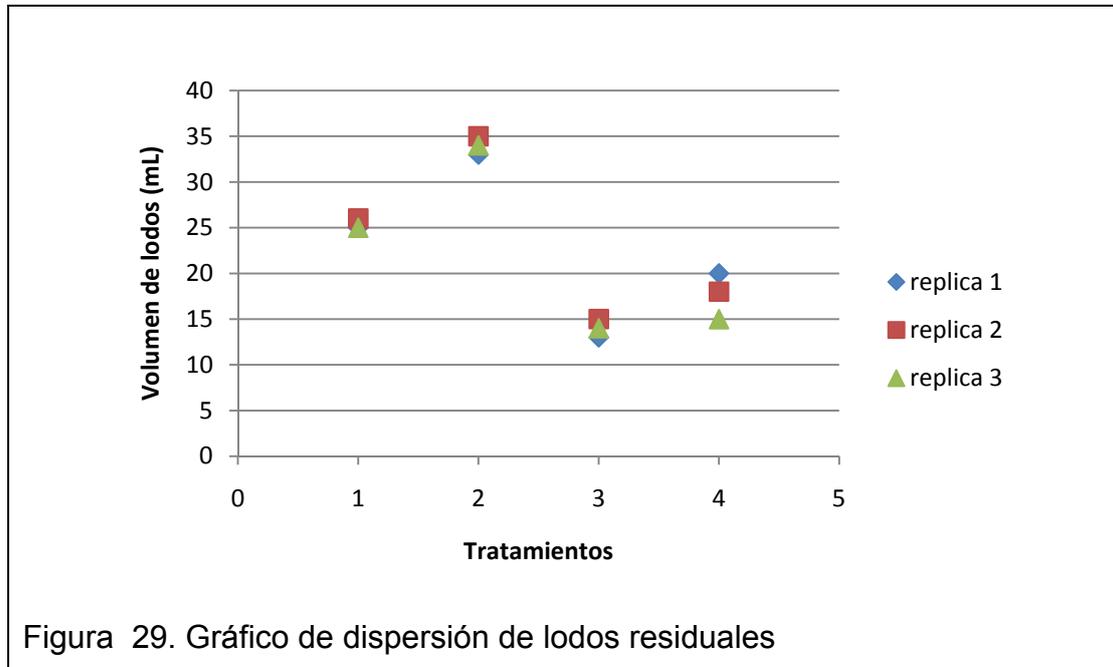


En la figura 28, se observa el histograma de los tratamientos obtenidos de turbidez, con sus respectivas réplicas.

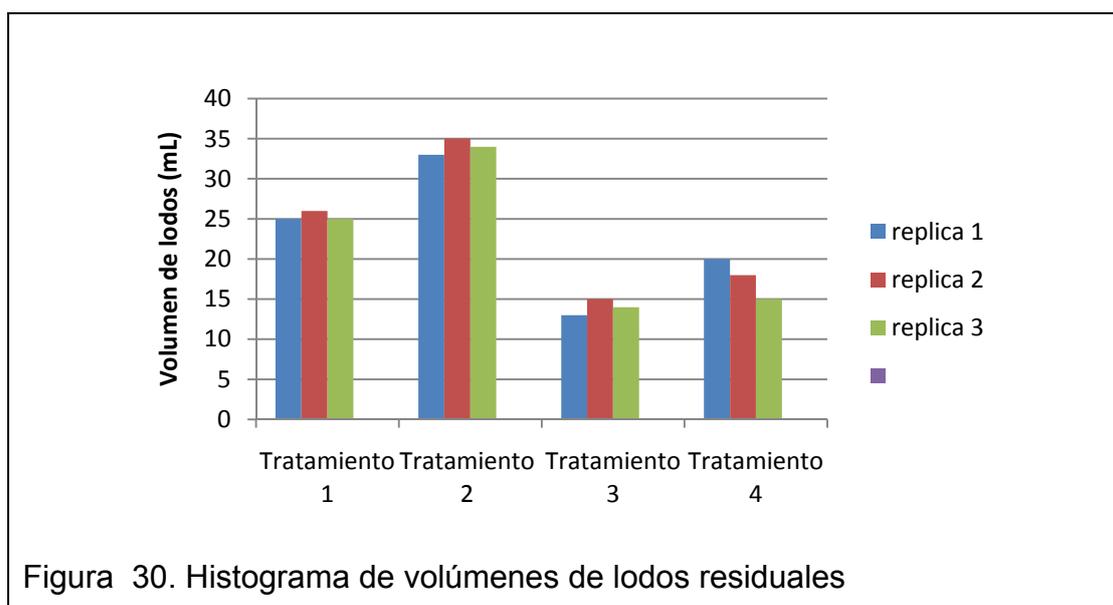


4.2.2 Tratamientos en función de lodos residuales obtenidos

Se observa en la figura 29, la dispersión generada de lodos residuales a partir del segundo diseño factorial 2^2 .

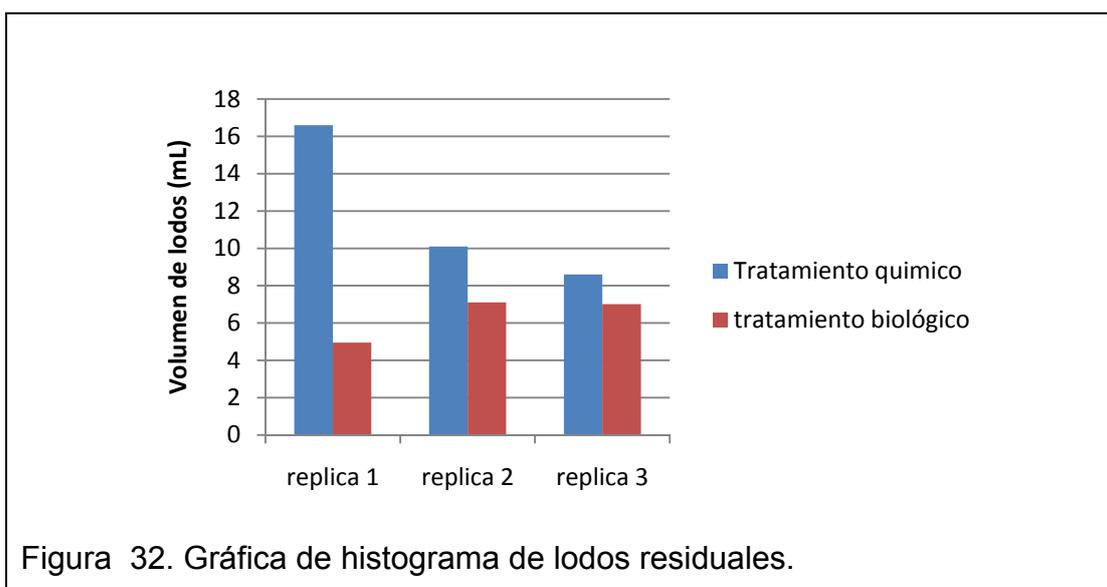
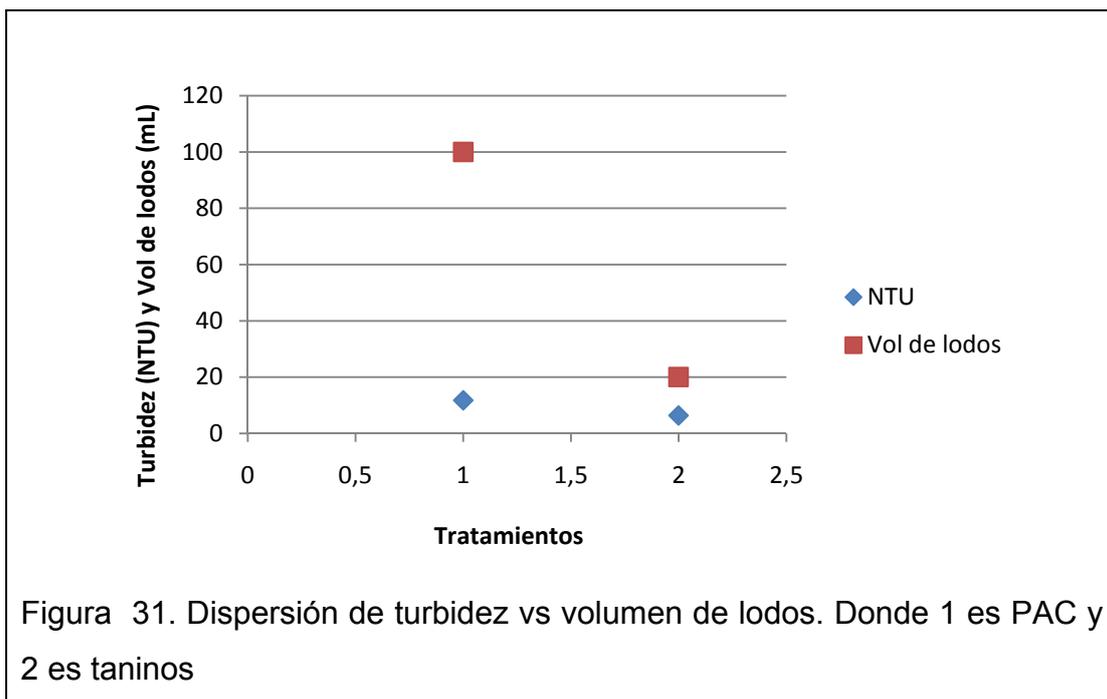


En la figura 30, se observa el histograma de los lodos residuales generados y sus respectivas réplicas.



4.3 Turbidez y volúmenes de lodos residuales finales de tratamientos obtenidos con policloruro de aluminio y taninos, a partir de sedimentación con zeolitas

La figura 31 indica la dispersión obtenida con los tratamientos finales con zeolitas para los dos casos de coagulantes (taninos y policloruro de aluminio).



4.4 Demanda química de oxígeno (DQO) finales obtenidos de tratamientos más óptimos con policloruro de aluminio y taninos, a partir de sedimentación con zeolitas

Como indica la figura 33, se observa la dispersión obtenida de los valores finales de DQO, para los dos tipos de tratamientos.

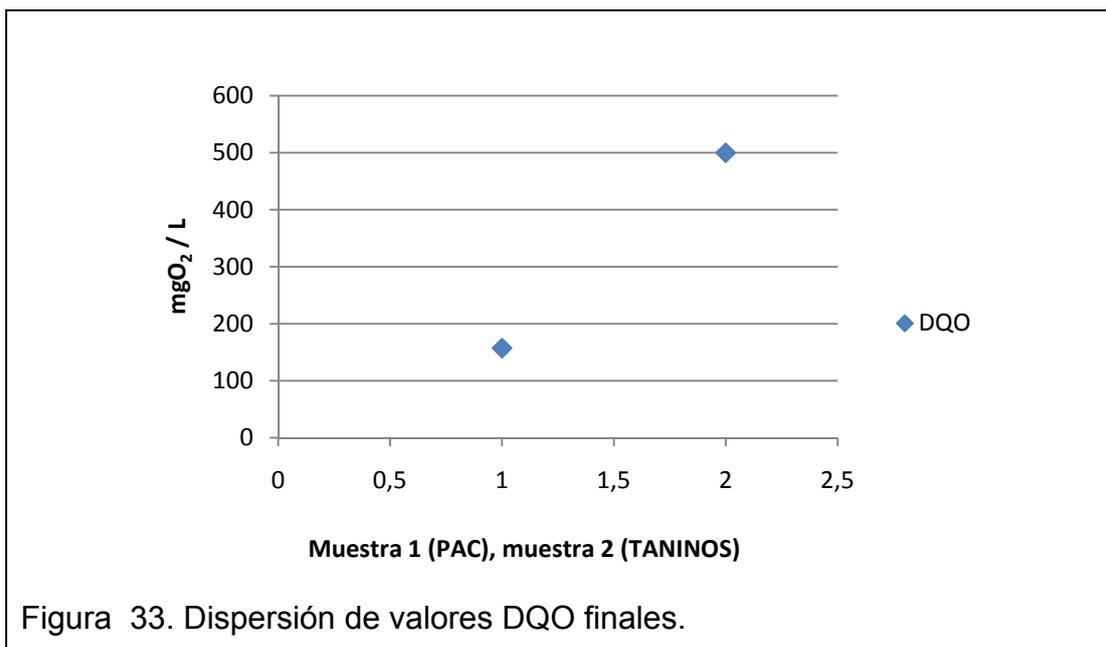


Figura 33. Dispersión de valores DQO finales.

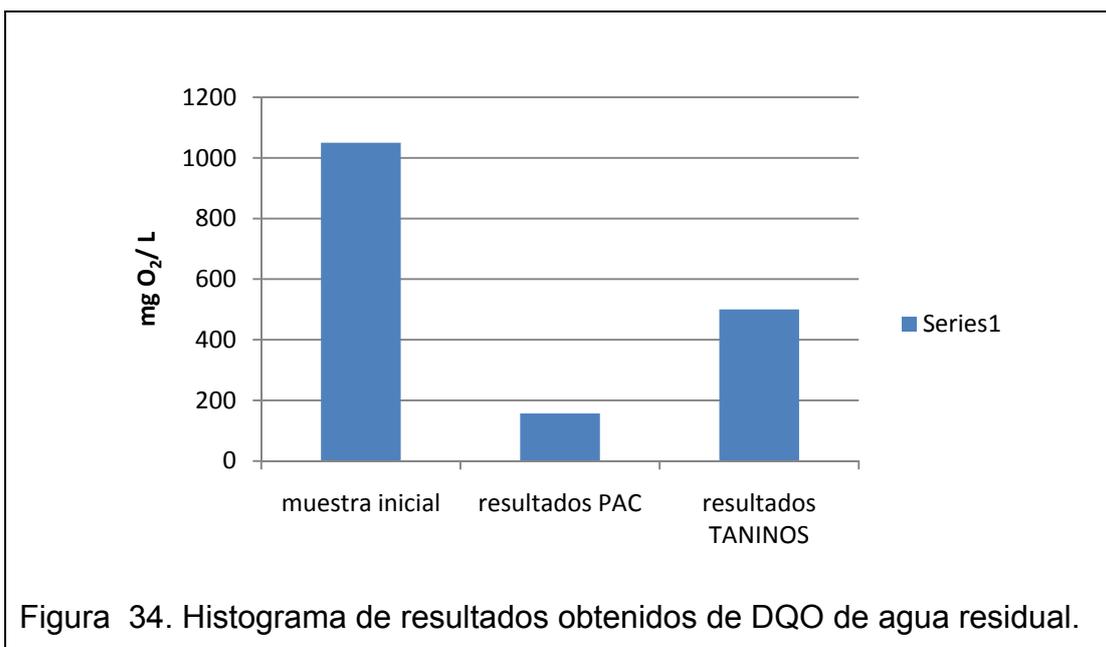
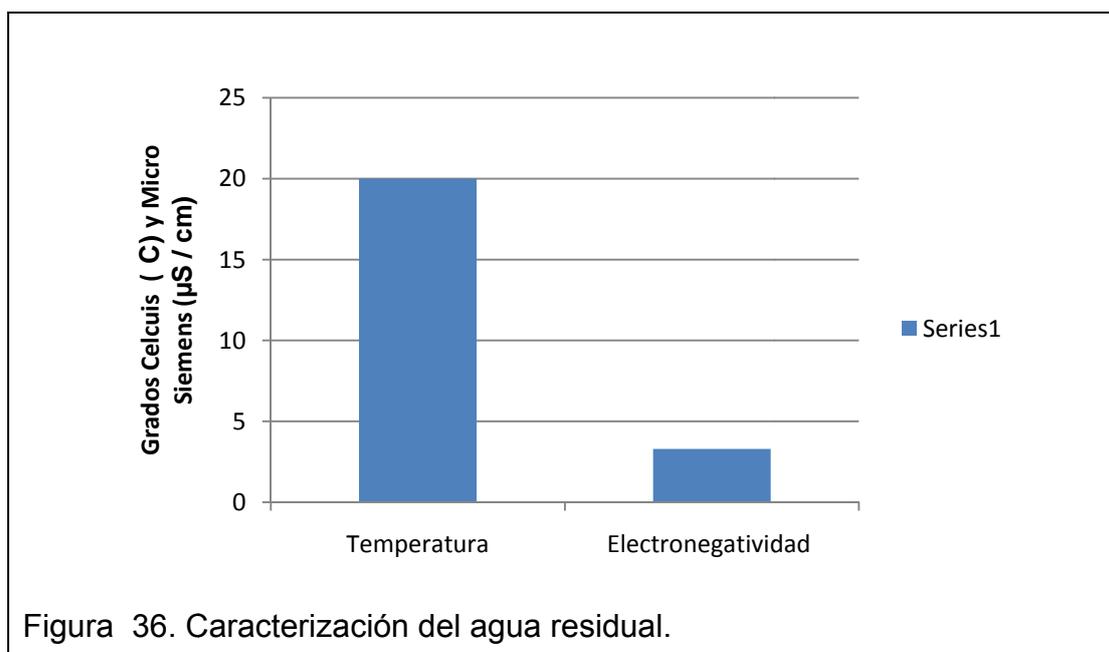
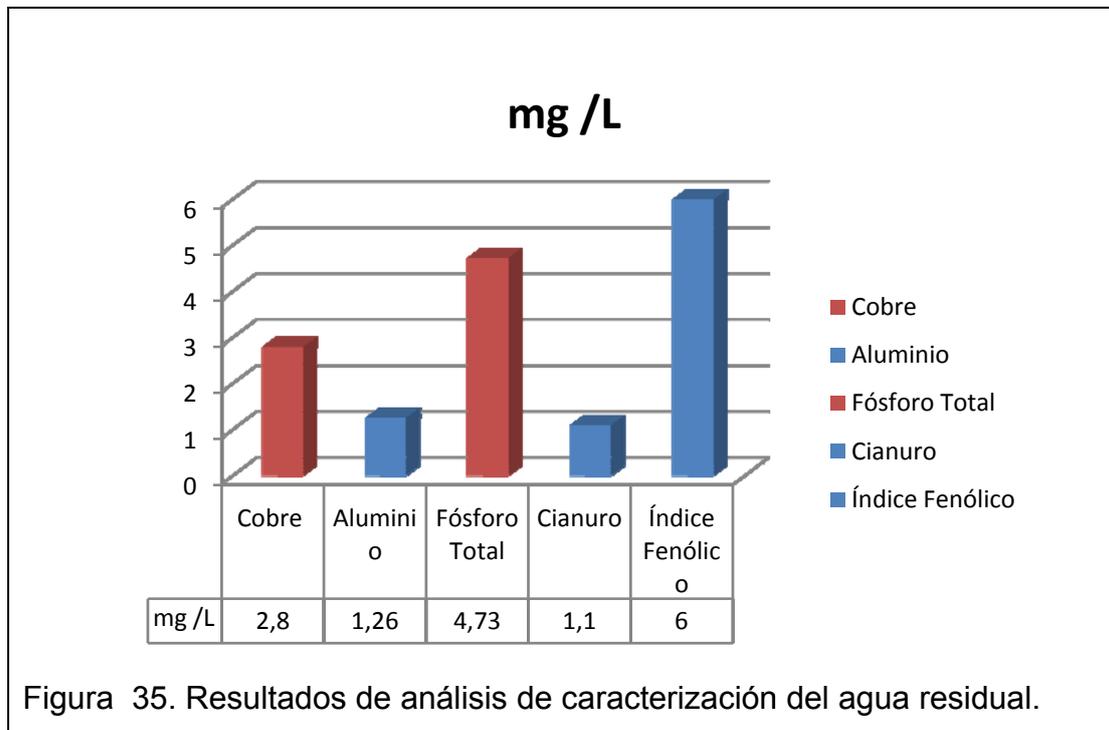


Figura 34. Histograma de resultados obtenidos de DQO de agua residual.

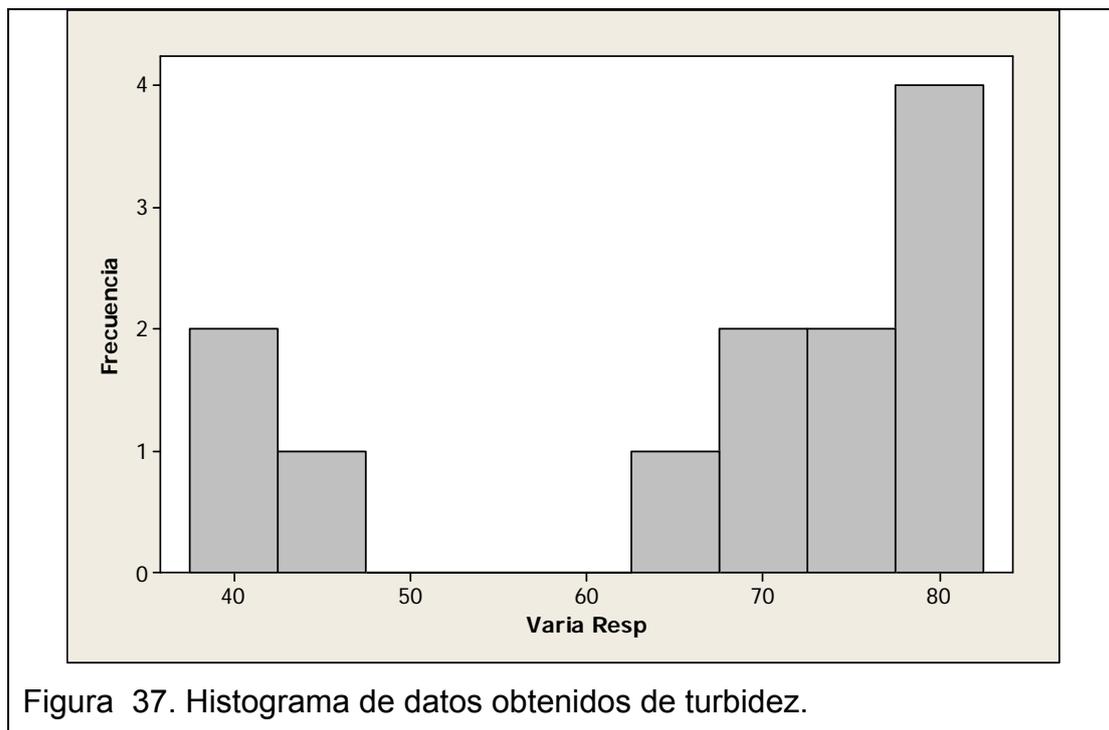
4.5 Caracterización del agua residual

Como indica la figura 35, el resultado de análisis de metales pesados y otros componentes en la caracterización del agua residual.



5 Análisis de resultados

El presente estudio de investigación realizado, bosqueja estudiar el efecto individual y de interacción de varios factores sobre una o varias respuestas. Es decir que para este estudio se utilizó dos diseños experimentales factoriales de 2×2 , gracias al análisis de la varianza (ANOVA), se analizó los efectos obtenidos sobre la variable respuesta (turbidez).



5.1 Primer diseño experimental factorial 2^2

Para este diseño factorial se tomaron dos factores como son: dosis de coagulante (PAC) y dosis de floculante aniónico. Se realizaron dosificaciones de coagulante y floculante del tratamiento de aguas al azar, obteniendo como resultados mediciones de turbidez (NTU) obtenida en la muestra resultante.

Como se observa en la tabla 3, el diseño factorial 2^2 corresponde a dos factores con dos niveles de dosificaciones cada uno: alto y bajo, contiene tres réplicas cada tratamiento, con un total de 12 corridas.

Tabla 4. Tabla de diseño factorial 2² para Variable respuesta (turbidez).

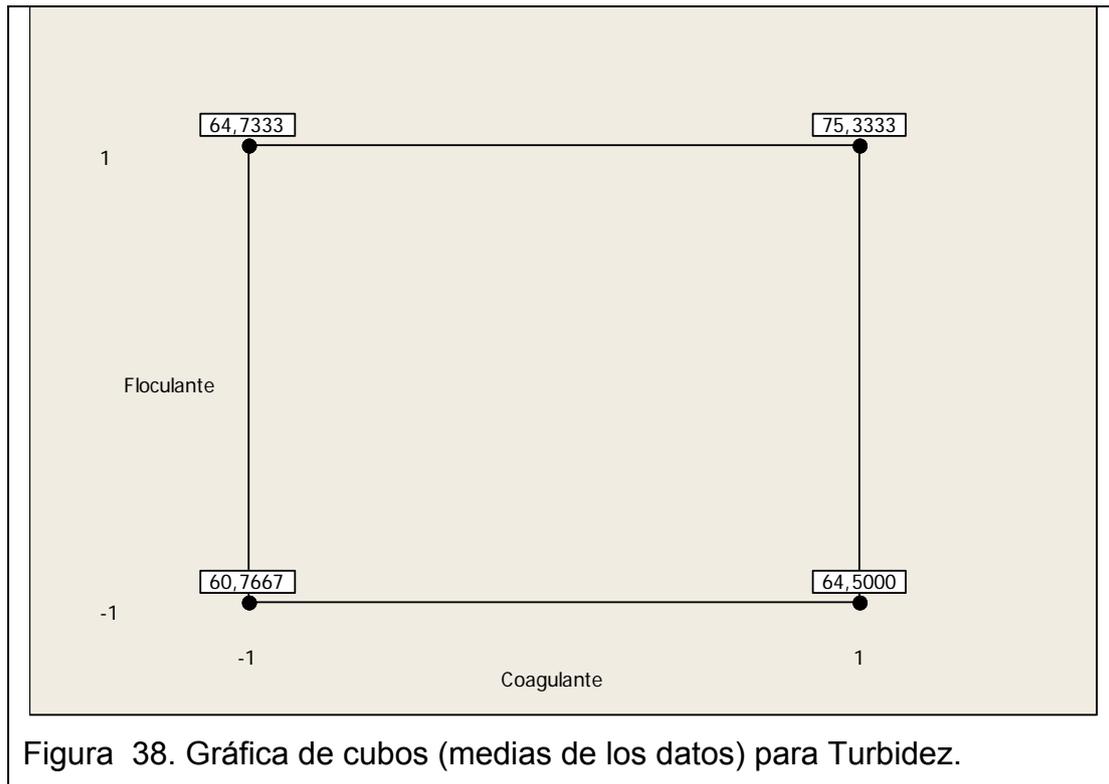
Orden Est	Orden Corrida	Punto Central	Bloques	Coagulante	Floculante	Variable Resp
1	1	1	1	-1	-1	39,8
2	2	1	1	1	-1	42,5
3	3	1	1	-1	1	38,9
4	4	1	1	1	1	69,2
5	5	1	1	-1	-1	62,9
6	6	1	1	1	-1	68,8
7	7	1	1	-1	1	76,7
8	8	1	1	1	1	76,7
9	9	1	1	-1	-1	79,6
10	10	1	1	1	-1	82,2
11	11	1	1	-1	1	78,6
12	12	1	1	1	1	80,1

En la figura38, existe un mayor efecto del factor dosis coagulante, como se observa en la parte inferior de la gráfica de cubos, según los dos valores presentan menor presencia de turbidez final de lodos residuales.

La disminución de la turbidez se debe especialmente por la compactación de los lodos residuales, es decir que el contenido de los coloides contenidos en el agua residual, fueron desequilibrados, formando partículas de mayor tamaño.

Esto se debe gracias a la aportación de cargas positivas que proporcionan los coagulantes de origen sintético, como son las sales de hierro y aluminio.

Por lo tanto los datos inferiores proporcionan una información más clara sobre las medias de turbidez obtenidas y el rango de disminución, en dónde se encontraría nuestro interés si fuere el caso de la disminución de la turbidez.

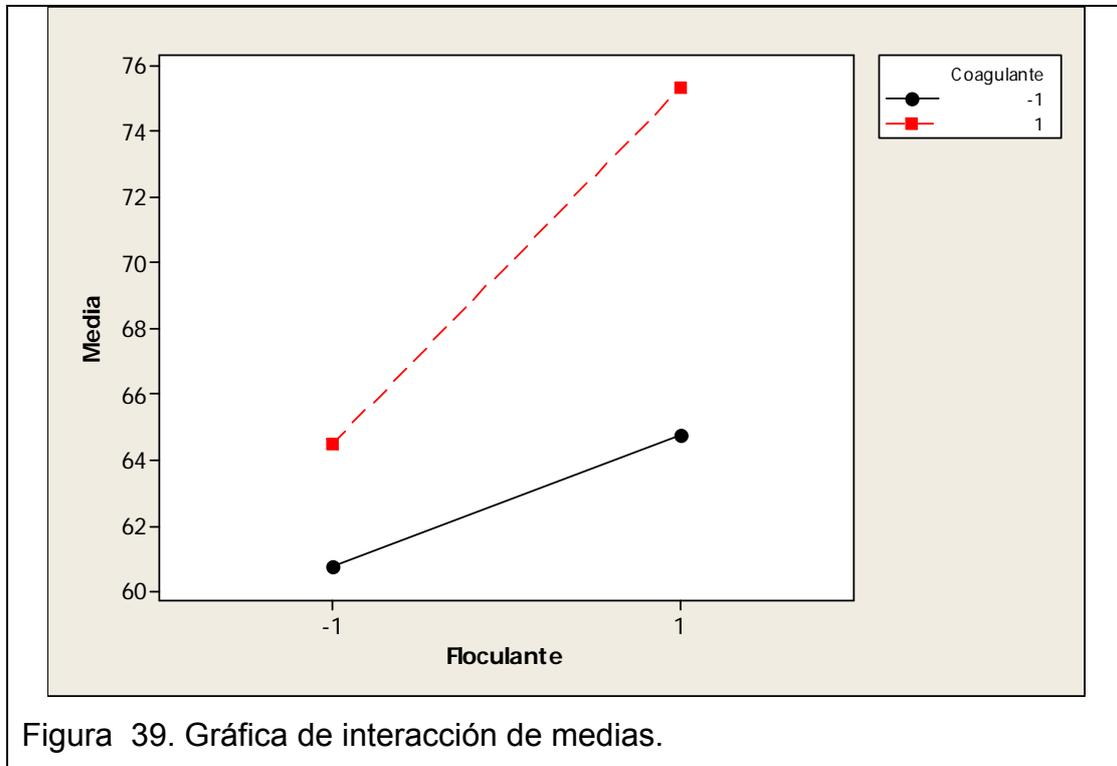


En la figura 39, se observa que cuando el floculante se encuentra en su nivel más bajo, el coagulante no afecta de manera significativa la turbidez. Por el contrario cuando el floculante se encuentra en su nivel más alto, el coagulante tiene un efecto considerable sobre la turbidez del agua resultante.

Esto indica que el contenido de los coloides contenidos en el agua residual, contienen grandes concentraciones de cargas negativas. Recordemos que el floculante cumple la función de activador de partículas, es decir si no existe una mayor presencia de cargas negativas en los coloides, el floculante cede más contenido de cargas negativas, con el objetivo de que se realice una atracción de partículas.

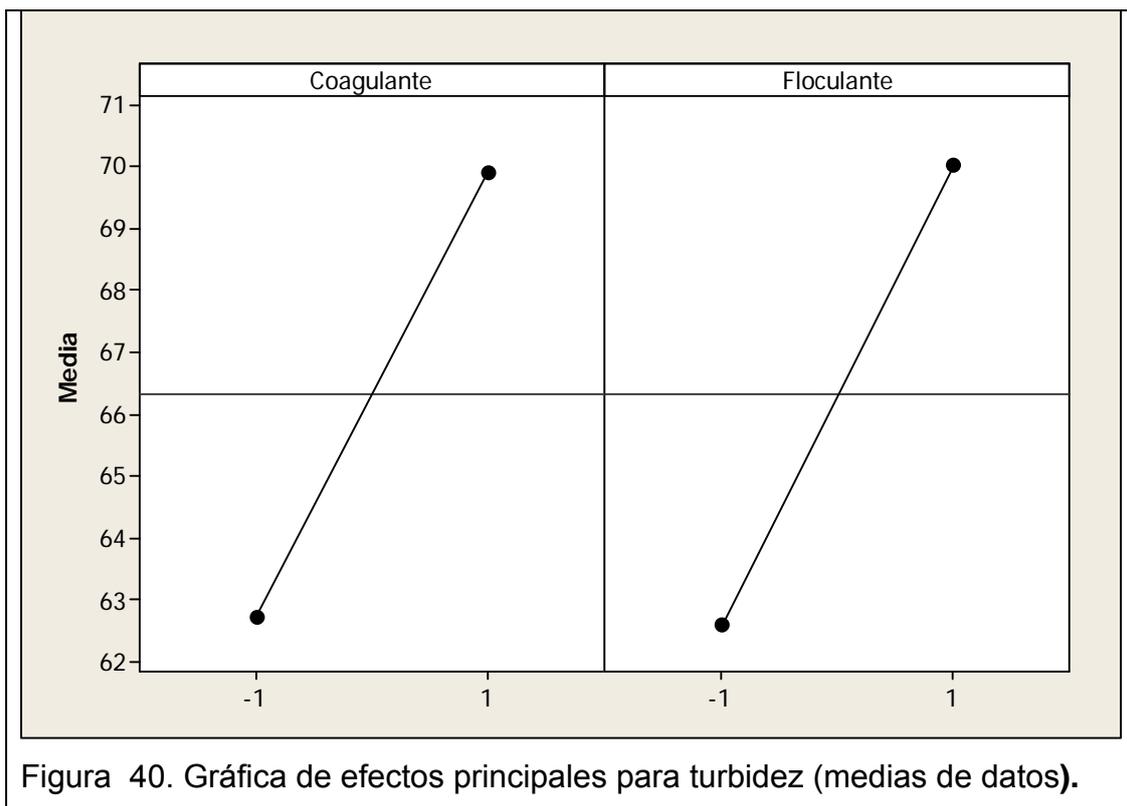
Esto ocurre con mayor frecuencia, cuando dosificamos con coagulantes con sales de hierro o aluminio, debido a que la concentración de estas sales es muy alta proporcionando grandes cantidades de cargas positivas. Existe el caso que pueda ocurrir lo contrario, pueden ser varios factores, desde la alteración del pH del agua residual, hasta la disminución del contenido de

coloides en el agua residual. El pH tiene un aspecto de gran relevancia ya que un medio básico proporciona un medio apto para las cargas negativas en los coloides residuales (OH^-).



En la figura 40, se observa que no se debe aumentar las dosis de coagulante y floculante y que por lo tanto si se quiere disminuir forzosamente la turbidez en el agua, la mejor combinación sería coagulante 1⁻, floculante 1⁻.

Posiblemente al aumentar las dosis, se generaría una saturación de cargas tanto positivas como negativas, imposibilitando la atracción de cargas y posterior una sedimentación de lodos residuales. Al generarse una saturación de cargas negativas existe una presencia de partículas de gran tamaño dispersas en todo el contenido de aguas residuales pero no compactas, proporcionando así una idea más clara de cómo se produce el fenómeno de repulsión de cargas. Lo contrario con una saturación de cargas positivas, no podremos evidenciar efecto alguno de sedimentación de partículas.



En la figura 41, se observa que los puntos donde la superficie toma valores más pequeños son precisamente en el mejor tratamiento que encontramos; (coagulante bajo, floculante alto), (coagulante bajo, floculante bajo). Además se observa que la meta de la menor turbidez, es el coagulante en su nivel bajo, que es dónde la superficie toma su menor altura.

En este gráfico indica las combinaciones posibles, debido a que la primera combinación de coagulante bajo con floculante alto, podría generar un efecto de coagulación, pero con una compactación de lodos no muy deseada.

Es de gran interés obtener lodos residuales con una óptima compactación, ya que los mínimos movimientos presentes en el agua residual, generarían una dispersión de partículas. Esto se debe a que no existe una buena atracción de partículas debido a una mala distribución de cargas en el contenido de los coloides.

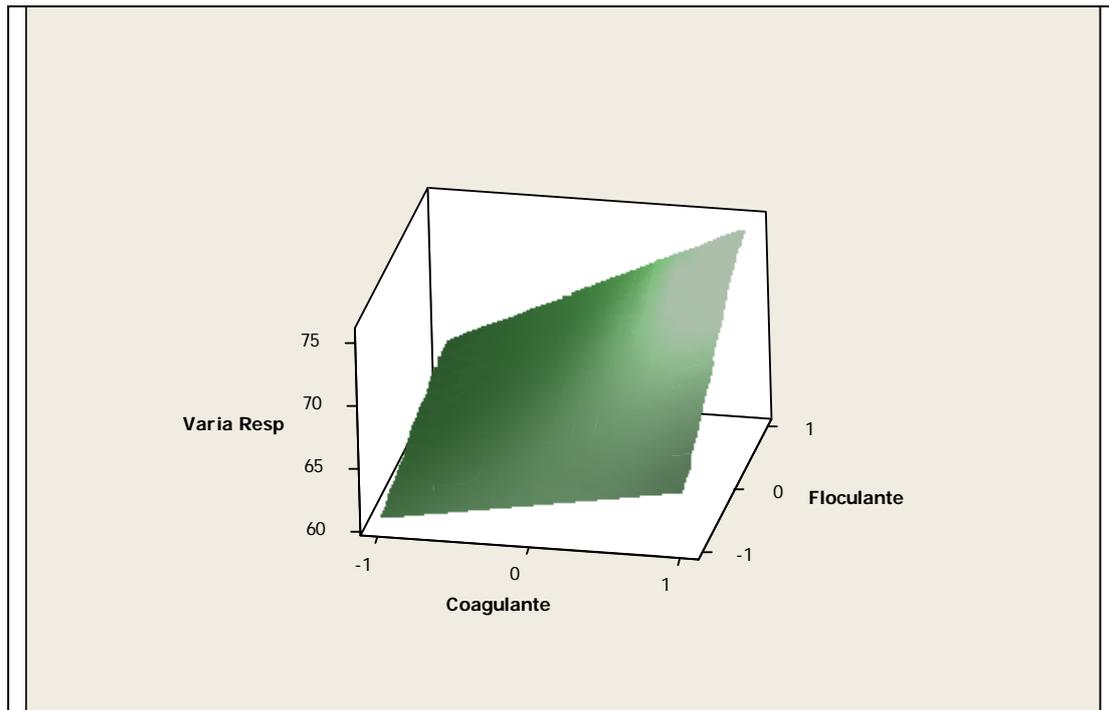


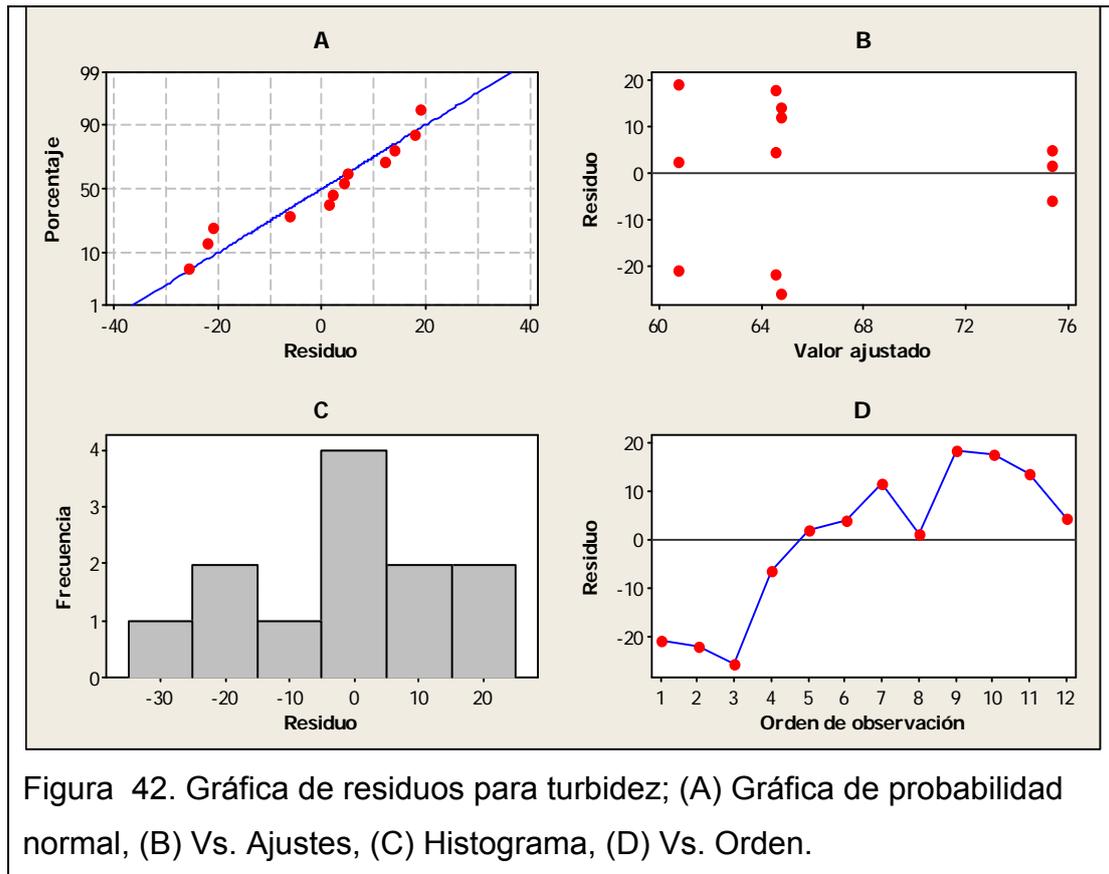
Figura 41. Grafica de superficie de turbidez vs. Flocculante. Coagulante

En la figura 42 de residuos se observa que los residuos obtenidos se distribuyen normalmente, independientes y con varianza constante.

En la primera gráfica de papel probabilístico normal, se observa que los puntos se acercan o se apegan a la línea colocada visualmente y se concluye que no existen violaciones al supuesto de normalidad.

Así mismo en la gráfica de residuos vs ajustes, se observa que los puntos caen aleatoriamente en sentido vertical dentro de una banda horizontal, confirmando una vez más el cumplimiento del supuesto de normalidad.

Finalmente para comprobar el supuesto de independencia, se observa en la gráfica de residuos vs orden de corrida, se concluye que los puntos no presentan tendencia de algún orden, por lo tanto no existe problema alguno con la declaración de independencia.



Mediciones de volúmenes obtenidos de lodos residuales a partir de varias dosificaciones de coagulante y floculante.

En la figura 43, se observa el histograma de volúmenes de lodos residuales generados.

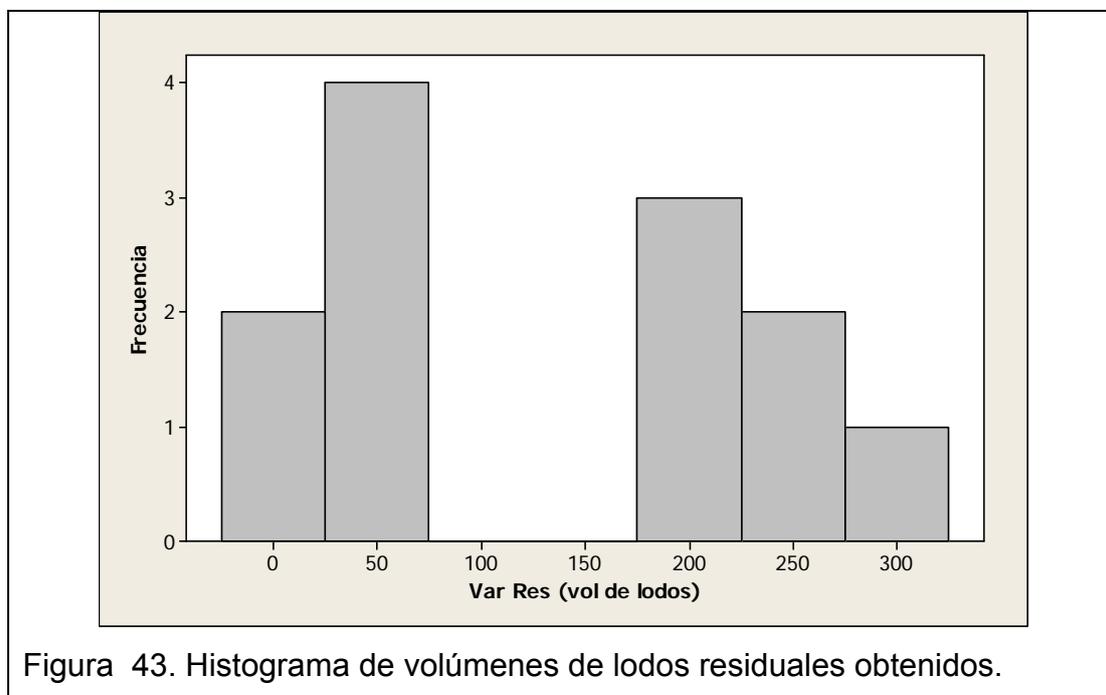


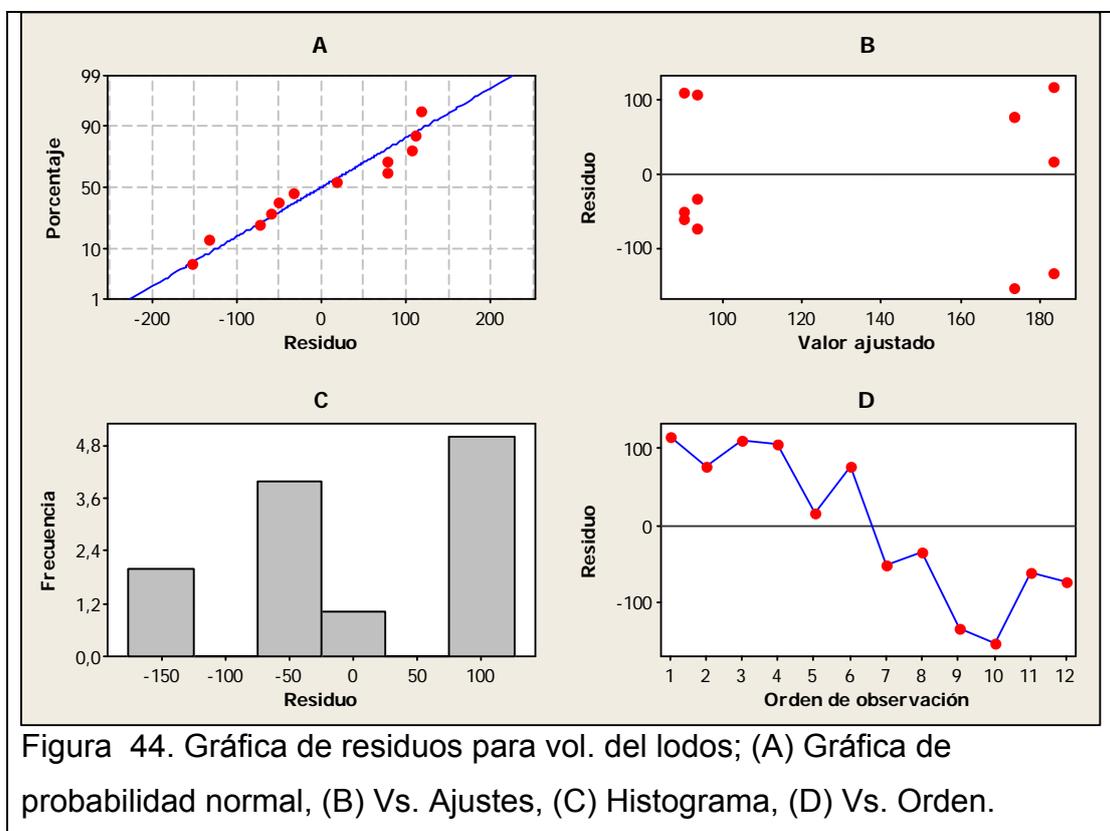
Tabla 5. Tabla de diseño factorial 2^2 para la variable respuesta (volumen de lodos).

Orden Est	Orden Corrida	Punto Central	Bloques	Coagulante	Floculante	Var Res (vol de lodos)
1	1	1	1	-1	-1	300
2	2	1	1	1	-1	250
3	3	1	1	-1	1	200
4	4	1	1	1	1	200
5	5	1	1	-1	-1	200
6	6	1	1	1	-1	250
7	7	1	1	-1	1	40
8	8	1	1	1	1	60
9	9	1	1	-1	-1	50
10	10	1	1	1	-1	20
11	11	1	1	-1	1	30
12	12	1	1	1	1	20

En la figura 44, de papel probabilístico normal no existe mayor dispersión de la línea visual colocada, es decir que los datos son muy homogéneos, por lo tanto se demuestra que no existe alteración alguna al supuesto de normalidad.

En la gráfica de residuo vs ajustes, se observa en los dos extremos varias agrupaciones de datos, los espacios presentes en el gráfico se debe a que solo existen solo cuatro puntos en el diseño y las predicciones en ellos difiere considerablemente.

Como se observa en la gráfica de histograma los residuos se encuentran presentes en mayor cantidad de agrupación en los intervalos de -50 y de 100.

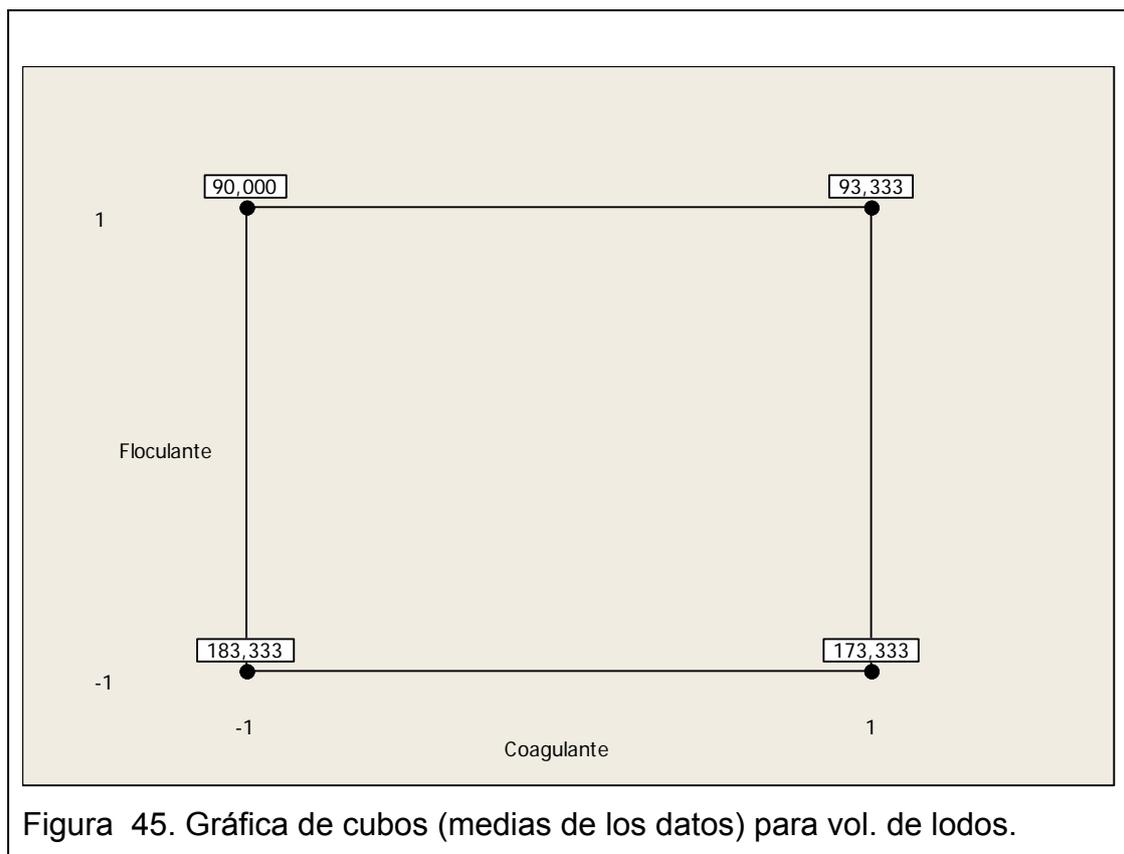


En la figura 45 de cubos, se observa que el mayor efecto pertenece al factor coagulante, como se ilustra en la parte superior del cubo, los datos poseen mayor aproximación a la compactación de lodos residuales obtenidos.

Es importante indicar que la mayor presencia de lodo residual obtenido, no siempre es lo ideal, debido a que puede existir un lodo no muy bien compactado, lo que imposibilitaría la remoción del lodo o a su vez la descarga adecuada del agua tratada.

La gráfica proporciona una idea clara con respecto a las dosificaciones de coagulante y floculante, ya que posiblemente un exceso de dosificaciones, proporcionan la saturación de cargas, obteniendo mayor presencia de lodo residual obtenido y no muy compacto.

Otro escenario indica la gráfica, que posiblemente una adecuada dosificación de coagulante y floculante, proporcionan menor concentración de lodos obtenidos pero una mayor compactación.



En la figura 46, se observa que el floculante cuando se encuentra en su nivel más bajo, el coagulante genera un efecto considerable sobre el volumen de

lodos residuales, todo lo contrario cuando el floculante está en su nivel más alto el coagulante tiene un efecto mínimo sobre el volumen de lodos residuales.

Otro ejemplo que proporciona la gráfica de interacción de medias para el volumen de lodos residuales, es la dosificación del floculante para la generación de lodos residuales. Es decir que a mayor dosificación de floculante mayor generación de lodo residual se podría obtener, teniendo muy en cuenta que a mayor presencia de lodos residuales menor compactación de lodos se obtendrá.

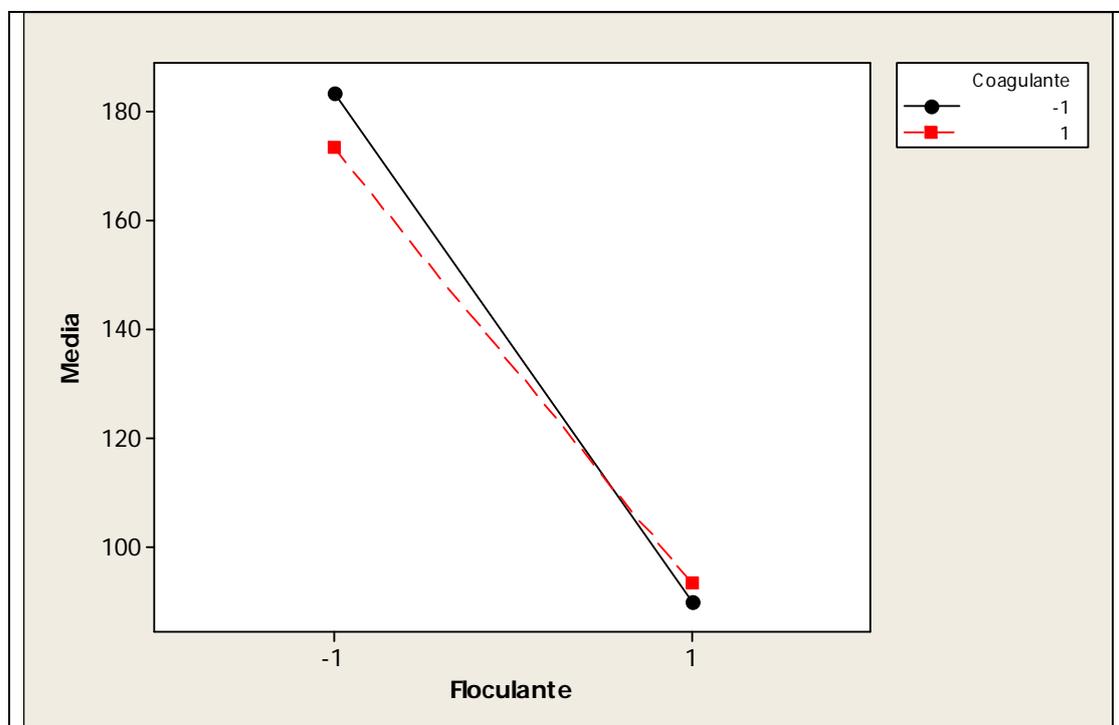


Figura 46. Gráfica de interacción para vol. de lodos (medias de datos).

En la figura 47, se observa que se debe mantener las dosis de coagulante en sus dos niveles, con el floculante se debe aumentar la dosis y que por lo tanto si se desea aumentar forzosamente la generación de volumen de lodos residuales, la mejor combinación sería coagulante 1⁺, floculante 1⁻.

Una vez más la gráfica indica el efecto que genera el floculante en la generación de lodos residuales. Así mismo el coagulante posee un efecto en

sus dos niveles altos y bajos, esto quiere decir que en su nivel bajo el efecto es nulo, debido a que dominaría la presencia de cargas negativas de los coloides sin generar lodos.

Para obtener una adecuada compactación y generación de lodos obtenidos, se podría considerar las dosificaciones intermedias para los dos casos.

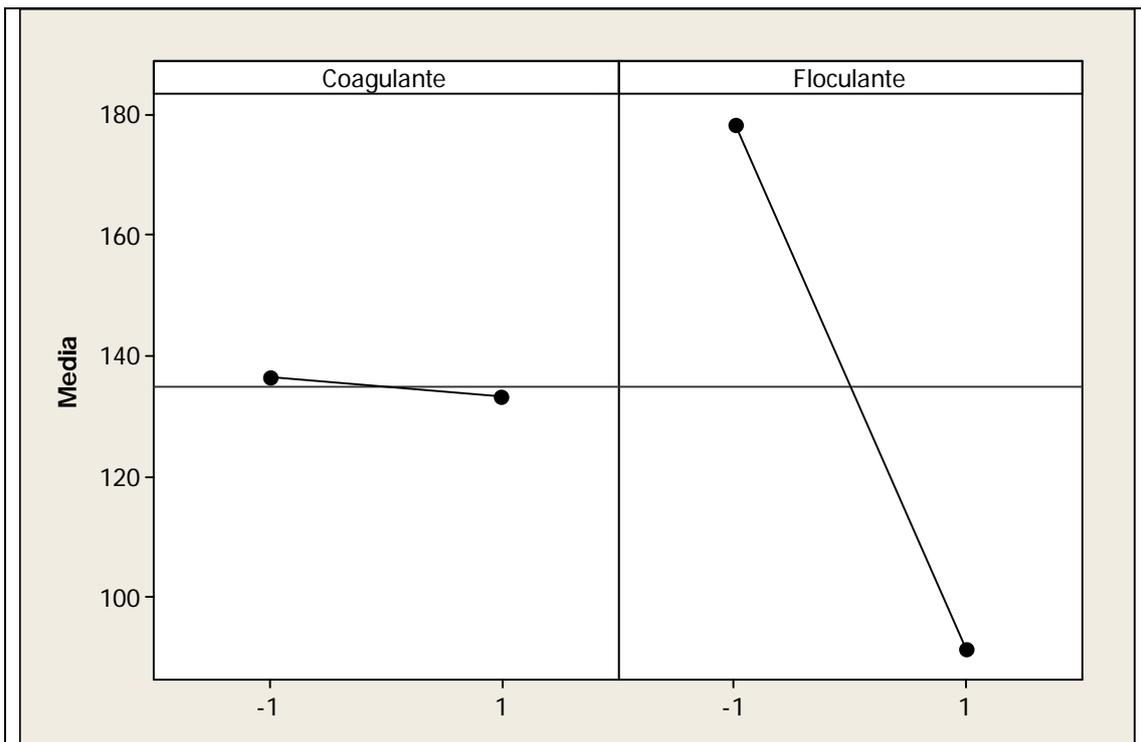
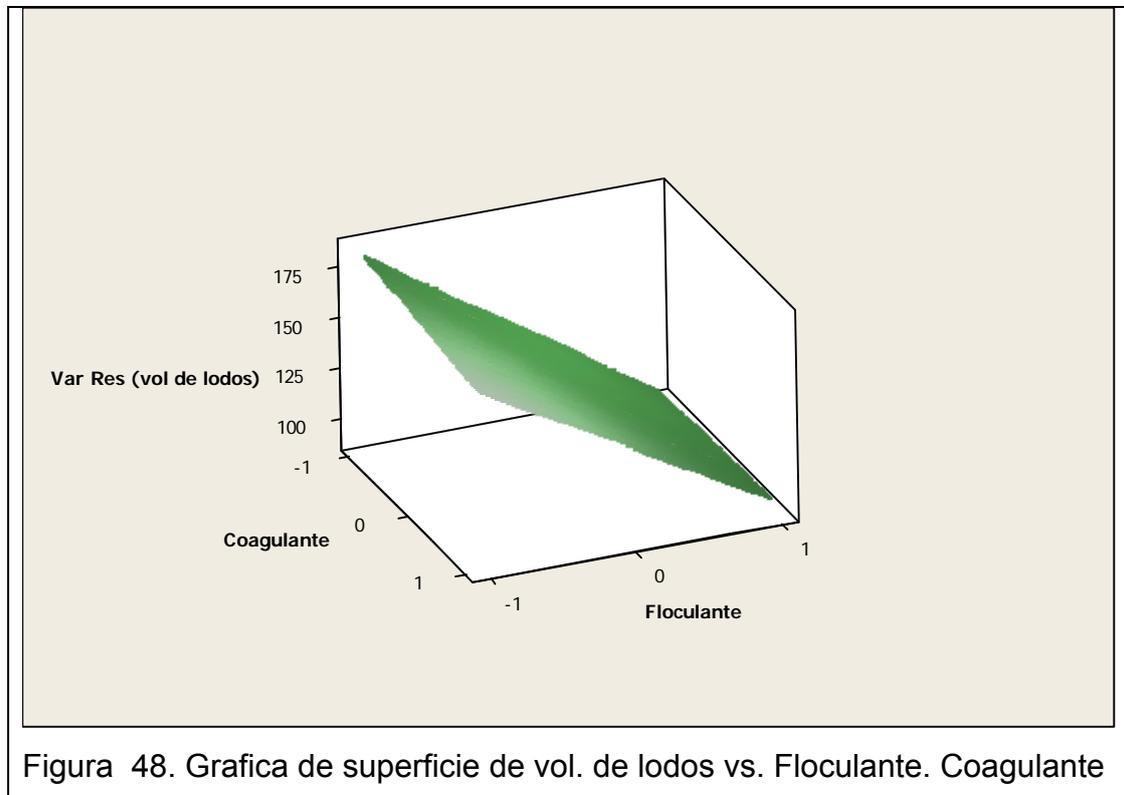


Figura 47. Gráfica de efectos principales para vol. de lodos (medias de datos).

En la figura 48, se observa que los puntos donde la superficie toma valores más altos, es precisamente el mejor tratamiento que se había encontrado; floculante 1⁻, coagulante 1⁻.

Como se refleja en esta gráfica, las combinaciones de mayor generación de lodos residuales, sería el coagulante y floculante en sus niveles bajos. Por el contrario refleja la combinación más adecuada o la más óptima, para una mejor

compactación de lodos y una adecuada disposición final de lodos, para la descarga del agua tratada.



5.2 Segundo diseño factorial 2²

Para este diseño factorial se tomaron como factores: dosis de coagulante de origen vegetal (taninos) y dosis de floculante aniónico. Las dosificaciones se las realizaron aleatoriamente para el tratamiento de aguas residuales, obteniendo así una medición de turbidez resultante (NTU).

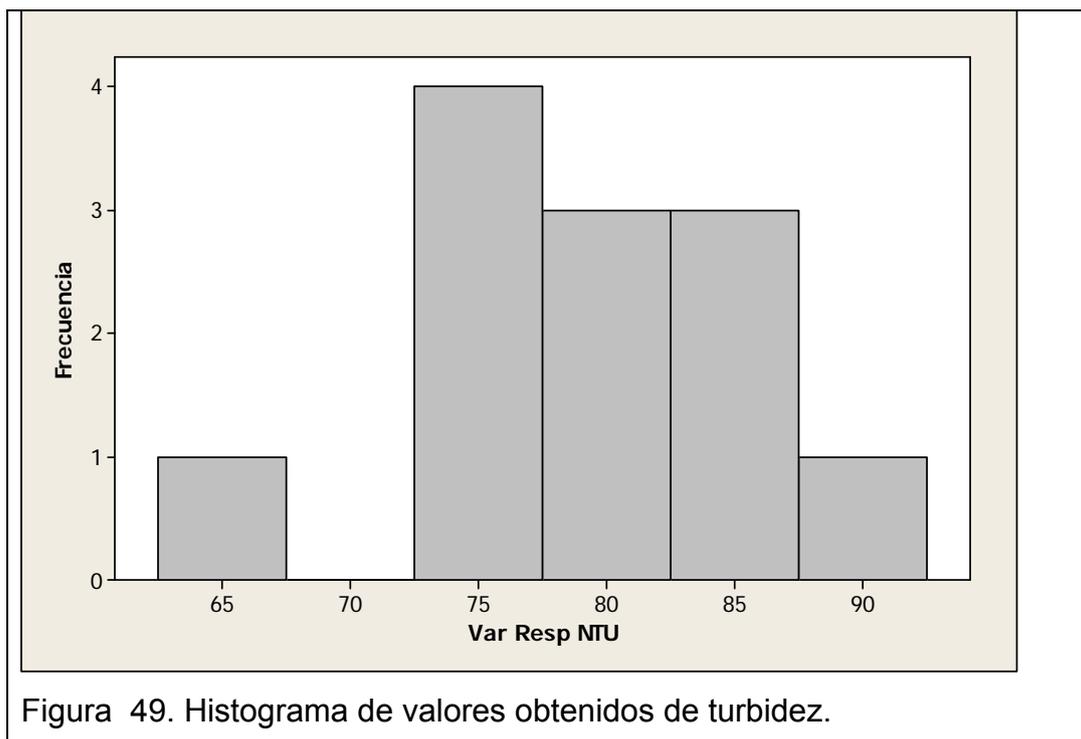


Tabla 6. Tabla de diseño factorial 2^2 para la variable respuesta (turbidez NTU).

Orden Est	Orden Corrida	Punto Central	Bloques	Coagulante Taninos	Floculante	Var Resp NTU
1	1	1	1	-1	-1	75,8
2	2	1	1	1	-1	74,9
3	3	1	1	-1	1	80
4	4	1	1	1	1	80,2
5	5	1	1	-1	-1	66,7
6	6	1	1	1	-1	74,4
7	7	1	1	-1	1	76,4
8	8	1	1	1	1	83,3
9	9	1	1	-1	-1	80,3
10	10	1	1	1	-1	88,5
11	11	1	1	-1	1	85,5
12	12	1	1	1	1	84

En la figura 50, se observa que no se deben aumentar las dosis de coagulante, floculante y que por lo tanto si se desea disminuir drásticamente la turbidez en el agua, el mejor tratamiento sería: coagulante 1⁻, floculante 1⁻.

Esto se debe a que, el mecanismo de coagulación que se ha considerado para este tipo de coagulante podría ser el de atrapamiento de partículas, el cual consiste en la presencia de coloides o gomas, absorbiendo las partículas de coloides presentes en el contenido de aguas residuales. Por lo que a mayor presencia de coagulante biológico, mayor concentración de coloides podría existir, saturando el contenido de coloides de aguas residuales.

Es importante mencionar, que los taninos que poseen en su composición sales de hierro forman compuestos solubles de color azul oscuro o negro verdoso y estos precipitan con sales de muchos otros metales como es el caso de cobre, plomo y estaño. La principal característica es la de bloquear y precipitar las proteínas (*Játiva, 2011, p 11*). Gracias a este principio, podemos indicar que otro mecanismo por el cual se genera una coagulación es la presencia de sales metálicas aportando cargas positivas al contenido de los coloides de aguas residuales.

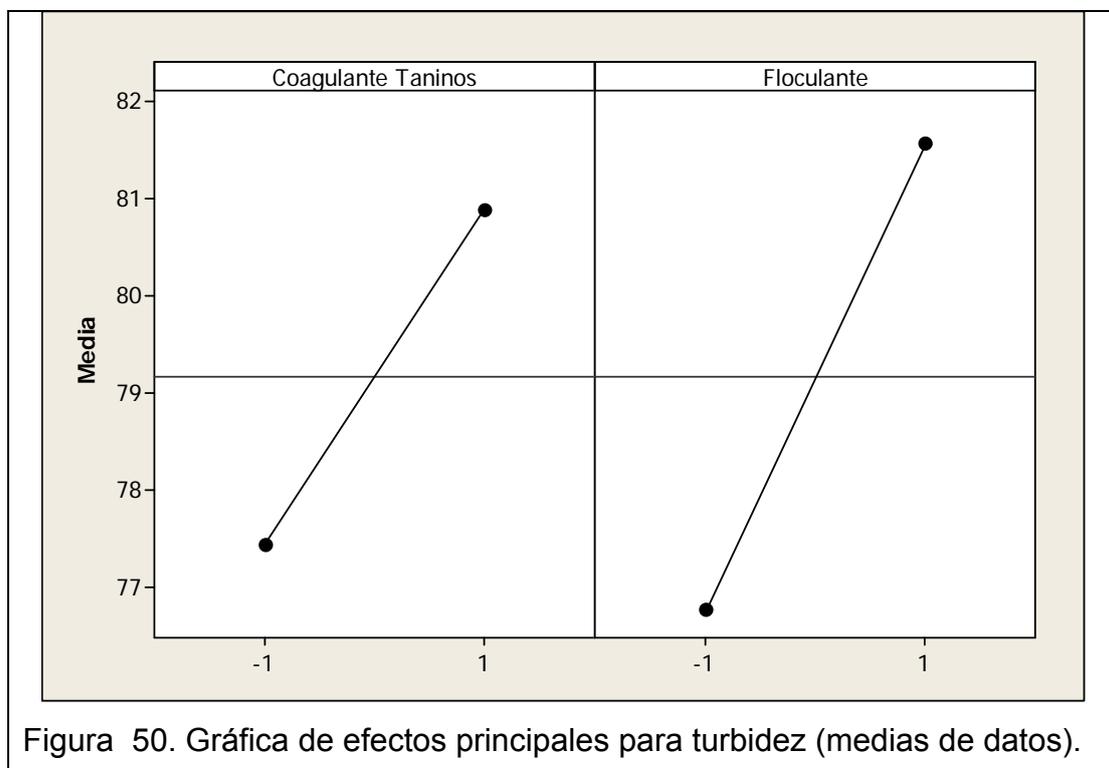


Figura 50. Gráfica de efectos principales para turbidez (medias de datos).

En la figura 51 de cubos, se observa que el mayor efecto posee el factor coagulante (taninos), como señala el gráfico los puntos de menor valor se aproximan a la disminución de la turbidez en el agua residual y se encuentran en la parte inferior del gráfico.

Esta gráfica de interacción de medias para la turbidez, indica la presencia de coagulante en su nivel más bajo, posee un efecto considerable en la disminución de la turbidez en el agua, esto se debe a que no existe saturación de cargas o exceso de coagulante en el agua.

Otra posible combinación para la disminución de la turbidez en el agua exhibe la gráfica, es la interacción del coagulante en su nivel bajo y el floculante en su nivel alto, predominando aún la baja presencia de coagulante en el agua.

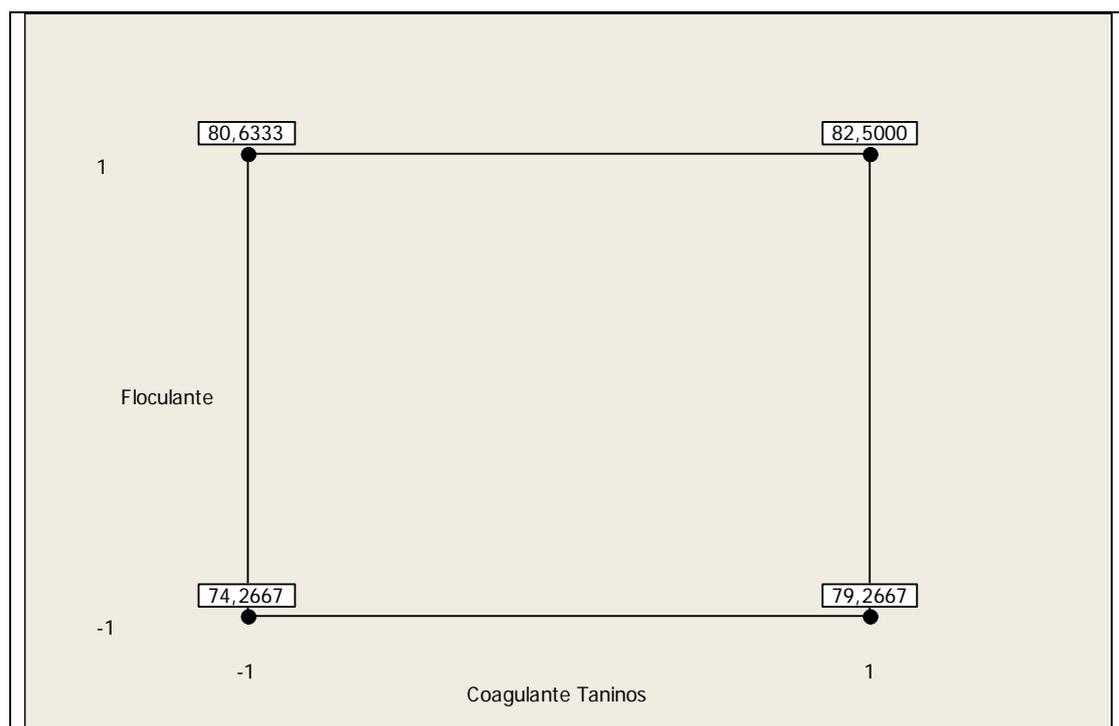
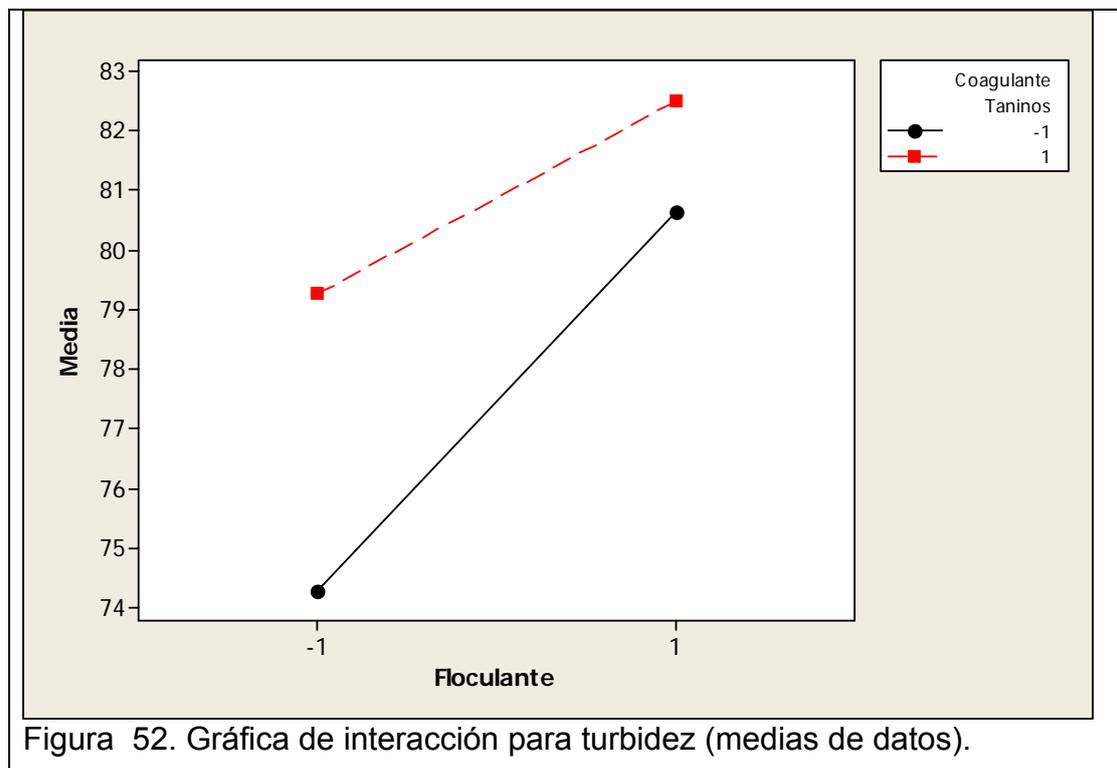


Figura 51. Gráfica de cubos (medias de los datos) para turbidez.

En la figura 52, se observa que el floculante cuando se encuentra en su nivel más bajo, el coagulante genera un efecto considerable sobre la menor turbidez del agua residual, todo lo contrario cuando el floculante se encuentra en su punto más alto, el coagulante genera un efecto sobre la mayor incidencia de turbidez en el agua residual.

Como el principio de acción o el mecanismo de coagulación son diferentes frente a los coagulantes sintéticos, es importante la disminución de coagulante en el agua a tratar, debido a que posiblemente exista menos concentración de sales de metales en los taninos para que realice de manera efectiva el proceso de coagulación.

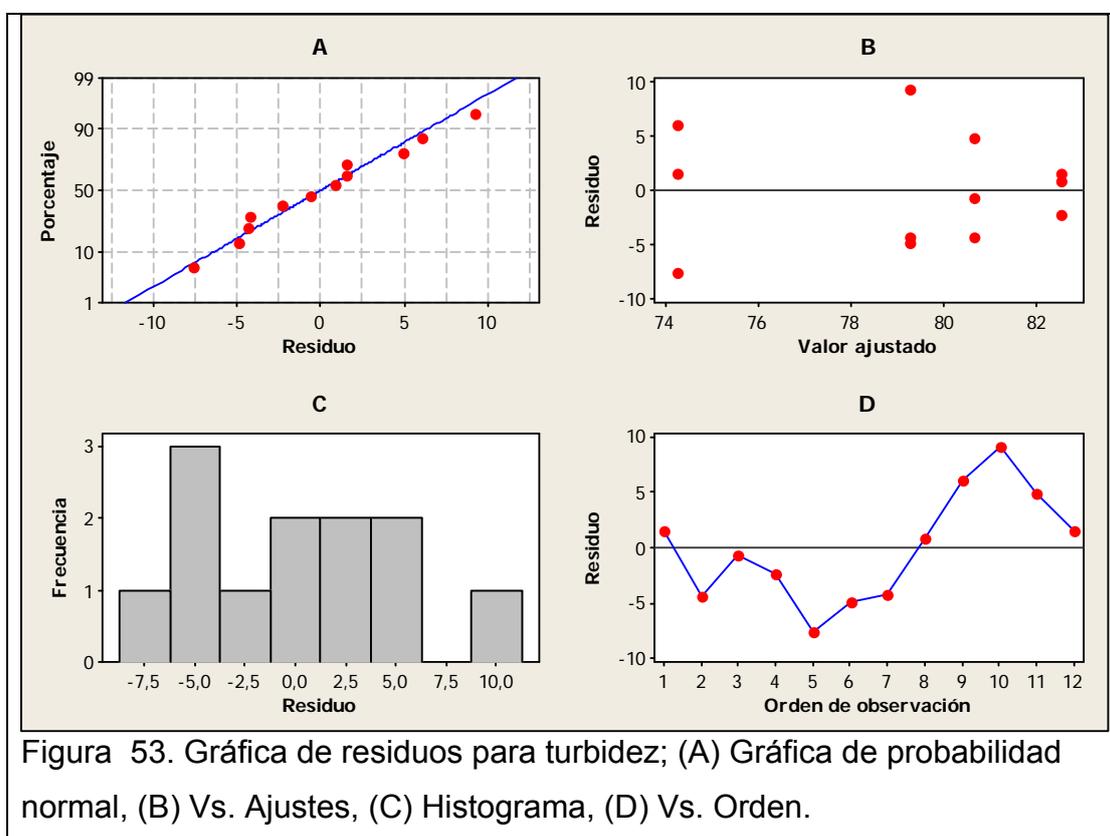


En la figura 53 de residuos, se observa que los residuos obtenidos se distribuyen normalmente, independientes y con varianza constante.

En la primera gráfica de papel probabilístico normal, se observa que los puntos se acercan o se apegan a la línea colocada visualmente y se concluye que no existen violaciones al supuesto de normalidad.

Así mismo en la gráfica de residuos vs ajustes, se observa que los puntos caen aleatoriamente en sentido vertical dentro de una banda horizontal, confirmando una vez más el cumplimiento del supuesto de normalidad.

En la gráfica histograma, se observa que los residuos se encuentran presentes en mayor cantidad de agrupación en los intervalos de $-5,0$ y de $0 - 5,0$.



En la figura 54, se puede observar que los puntos en donde la superficie toma valores más bajos, se encuentra presente el mejor tratamiento que se había encontrado: coagulante (taninos) 1^o, floculante 1^o.

Sigue siendo importante la disminución de floculante, para este caso ya que con la presencia de taninos existe mayor cantidad de coloides en el contenido de aguas residuales, ya que un aumento en las dosificaciones de floculante no podrá generar una disminución considerable en la turbidez del agua residual.

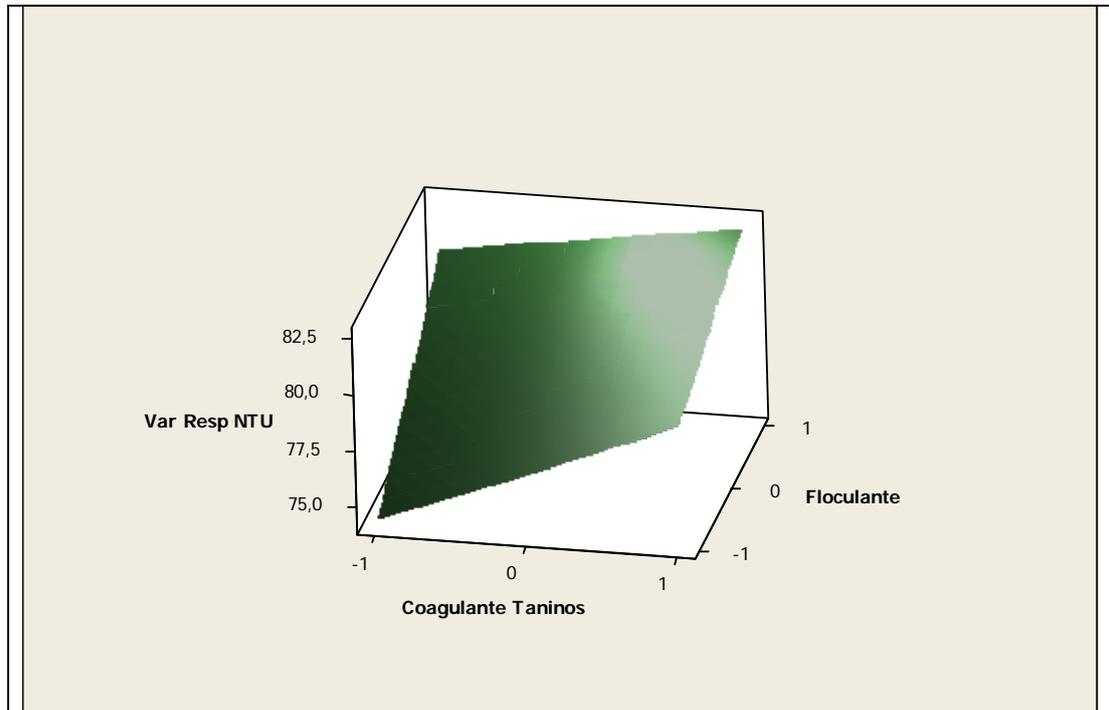


Figura 54. Gráfica de superficie de turbidez vs. Floculante. Coagulante (taninos).

Mediciones de volúmenes residuales obtenidos, a partir de las dosificaciones de coagulante de origen vegetal (taninos) y floculante aniónico, en el tratamiento de aguas residuales.

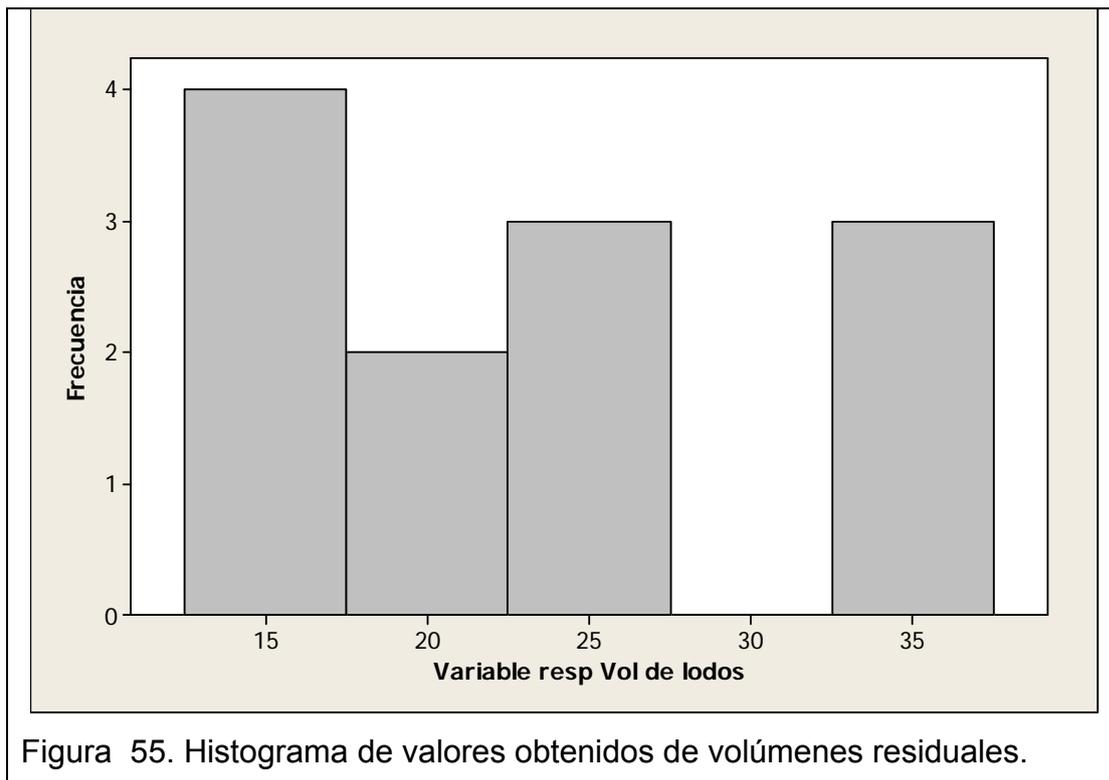


Figura 55. Histograma de valores obtenidos de volúmenes residuales.

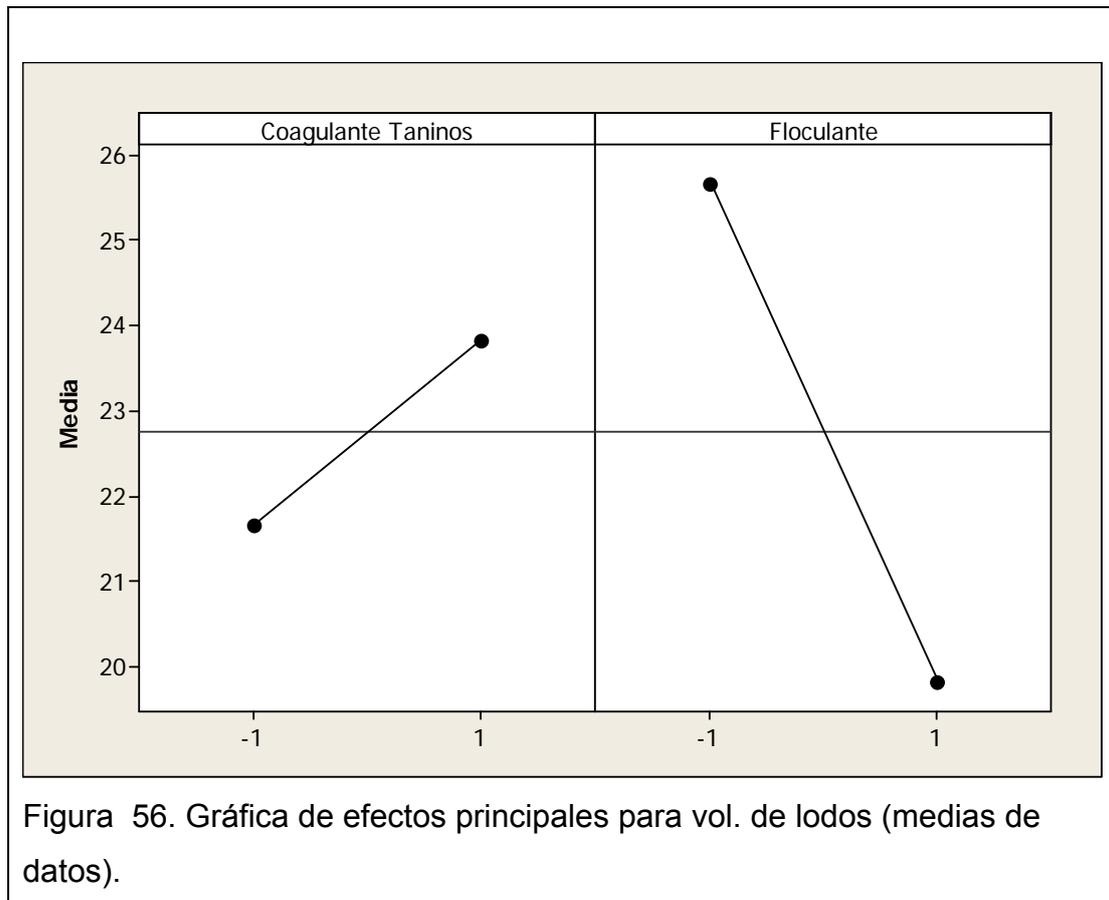
Tabla 7. Tabla de diseño factorial 2^2 para la variable respuesta (volumen de lodos).

Orden Est	Orden Corrida	Punto Central	Bloques	Coagulante Taninos	Floculante	Variable resp Vol de lodos
1	1	1	1	-1	-1	25
2	2	1	1	1	-1	26
3	3	1	1	-1	1	25
4	4	1	1	1	1	33
5	5	1	1	-1	-1	35
6	6	1	1	1	-1	34
7	7	1	1	-1	1	13
8	8	1	1	1	1	15
9	9	1	1	-1	-1	14
10	10	1	1	1	-1	20
11	11	1	1	-1	1	18
12	12	1	1	1	1	15

Se observa en la figura 56, que se debe aumentar las dosis de coagulante, floculante y que por lo tanto si se quiere obtener drásticamente la mayor generación de volúmenes de lodos residuales, el mejor tratamiento sería: coagulante (taninos) 1, floculante 1.

Esta gráfica nos indica, que a mayor presencia de coagulante de origen biológico mayor presencia de generación de lodos residuales existirá, esto se debe a que la compactación de lodos no será muy efectiva, pero existirá mayor presencia de partículas suspendidas, debido a la saturación de cargas o a una mala disposición de cargas en el contenido de los coloides.

Por el contrario la presencia considerable de floculante en el agua, no genera efecto alguno, debido a la saturación de cargas negativas en el contenido de los coloides, impidiendo el proceso de coagulación.



En figura de cubos 57, se observa que el mayor efecto presenta el factor coagulante (taninos), ya que los puntos de la parte superior de la gráfica presentan el menor valor, aproximándose a la compactación de lodos.

En esta gráfica, presenta un punto interesante, ya que la combinación del floculante en su punto alto y el coagulante en su punto bajo, se considera la mejor compactación de lodos residuales. Esto se debe a que el floculante aporta directamente con cargas negativas al contenido de los coloides, mientras que el coagulante en su nivel bajo aporta en mayor porcentaje al proceso de coagulación.

No obstante si se desea una generación considerable de lodos residuales, existe la combinación del floculante en su nivel bajo con el coagulante en su nivel bajo, debido a que ambos presentan características coloidales.

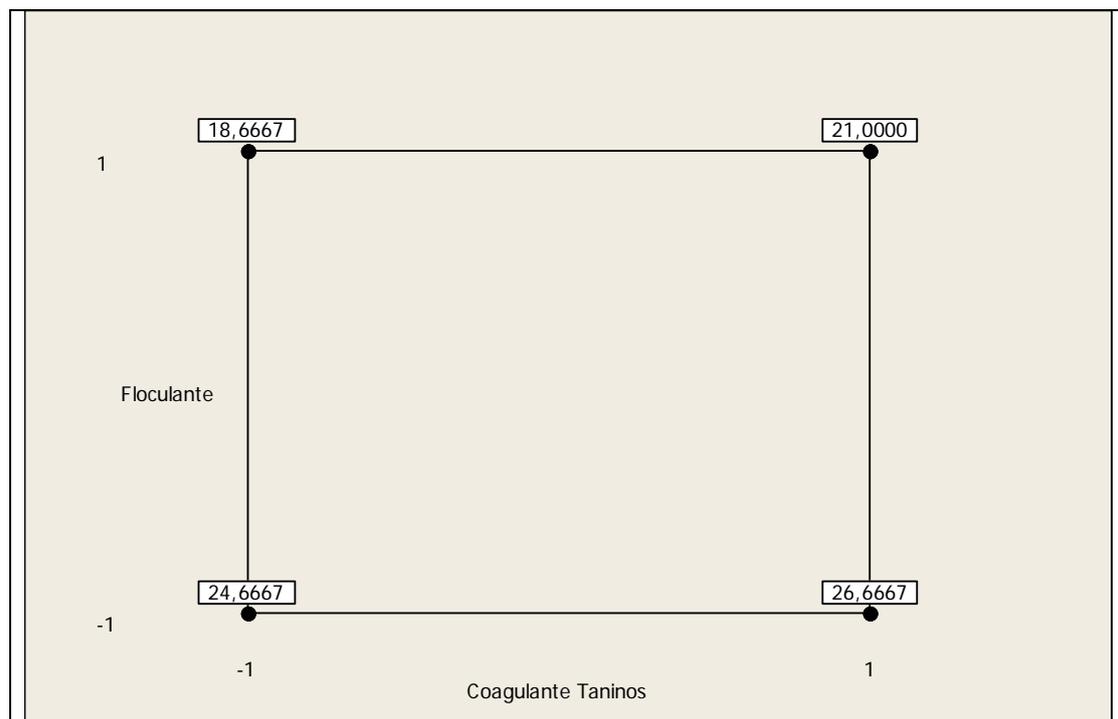
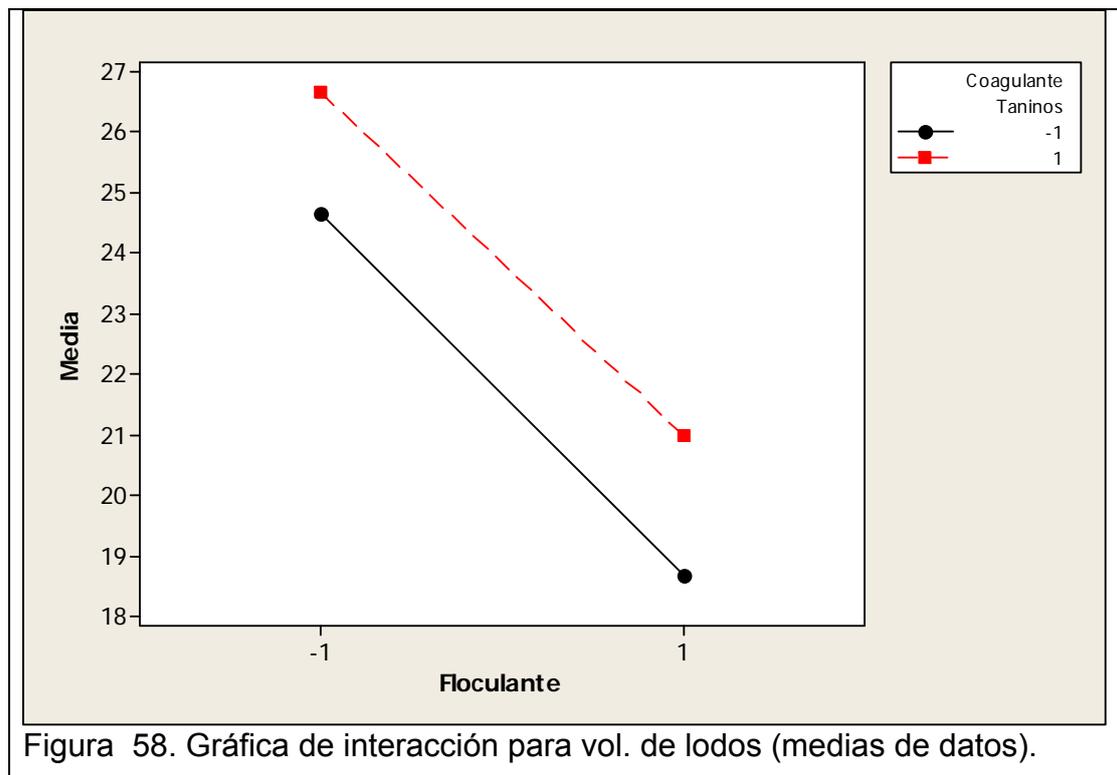


Figura 57. Gráfica de cubos (medias de los datos) para vol. de lodos.

En el figura 58, se observa que el floculante en su nivel más bajo, el coagulante (taninos) presenta un efecto considerable sobre el volumen de lodos residuales.

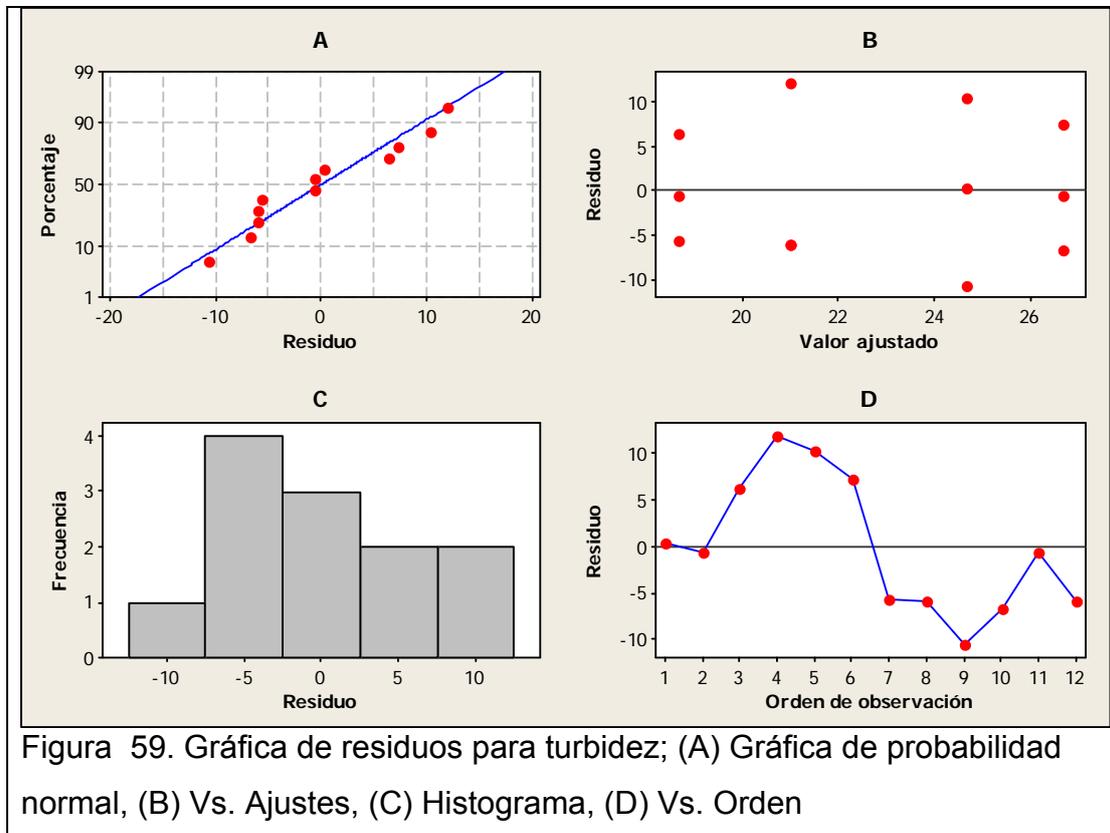
Como se muestra en la gráfica, sigue siendo el punto de interés, si se desea mayor generación de lodos residuales, el punto bajo del floculante, en combinación de puntos bajos del coagulante.



En la figura 59 de papel probabilístico normal, no existe mayor dispersión de la línea visual colocada, es decir que los datos son muy homogéneos, por lo tanto se demuestra que no existe alteración alguna al supuesto de normalidad.

En la gráfica de residuo vs ajustes, se observa gran dispersión de los residuos, los espacios presentes en el gráfico se debe a que solo existen solo cuatro puntos en el diseño y las predicciones en ellos difiere considerablemente.

Como se observa en la gráfica histograma los residuos se encuentran presentes en mayor cantidad de agrupación en los intervalos de -5,0 y de 0.



En la figura 60, se observa que los puntos donde superficie toma valores más bajos, se encuentra presente el mejor tratamiento: coagulante (taninos) 1, floculante 1^o.

Este gráfico proporciona una idea más general acerca de las posibles combinaciones de floculante y coagulante en puntos más bajos, para una mayor generación de lodos residuales.

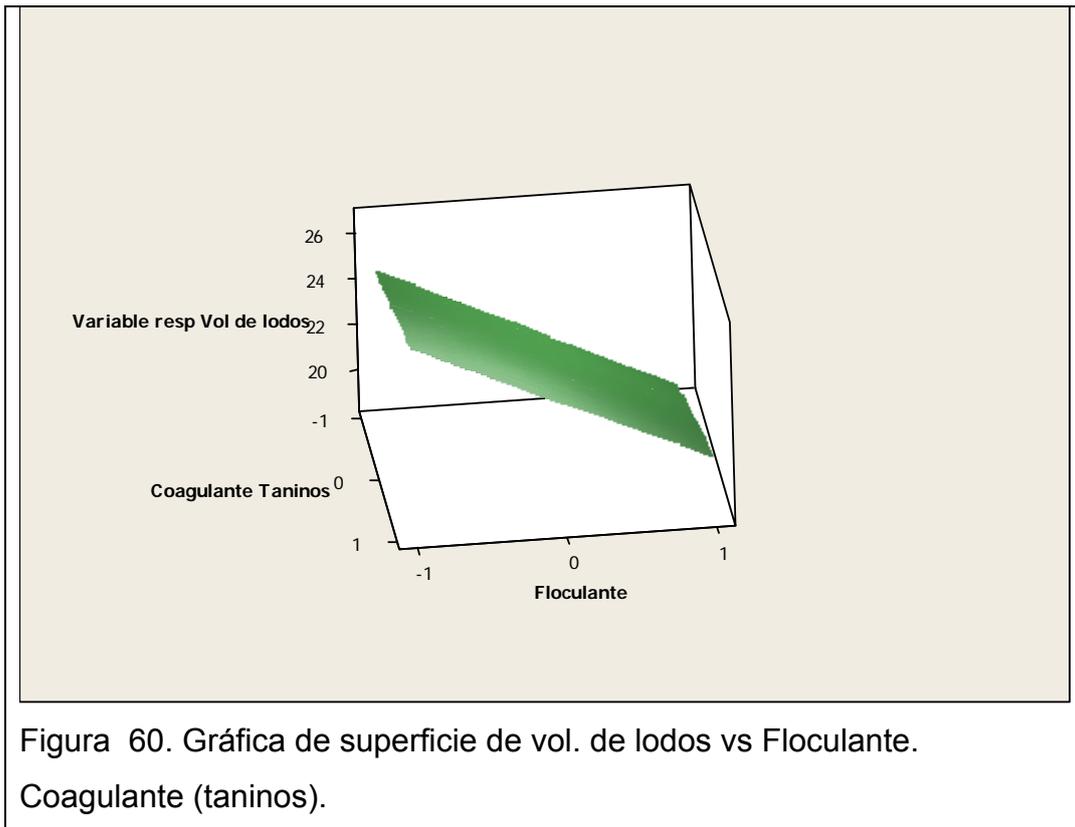


Figura 60. Gráfica de superficie de vol. de lodos vs Floculante. Coagulante (taninos).

5.3 Análisis de la varianza de diseño factorial 2²; coagulante (PAC) y floculante aniónico

El análisis de la varianza nos permite obtener de una manera más resumida, la evidencia de algún efecto existente sobre los tratamientos propuestos, o dicho de otra manera si las medias son diferentes.

Para todos los casos se plantea el siguiente argumento:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_n$$

Si se acepta la hipótesis H_1 , se confirma que las medias son diferentes, con el objetivo de probar el supuesto de independencia y con ello la generación de efectos considerables entre los tratamientos.

5.3.1 Análisis de la varianza de un solo factor: Turbidez (NTU)

Tabla 8. Tabla de tratamientos o factores (turbidez).

Tratamiento1	Tratamiento2	Tratamiento3	Tratamiento4
39,8	69,2	76,7	82,2
42,5	62,9	76,7	78,6
38,9	68,8	79,6	80,1

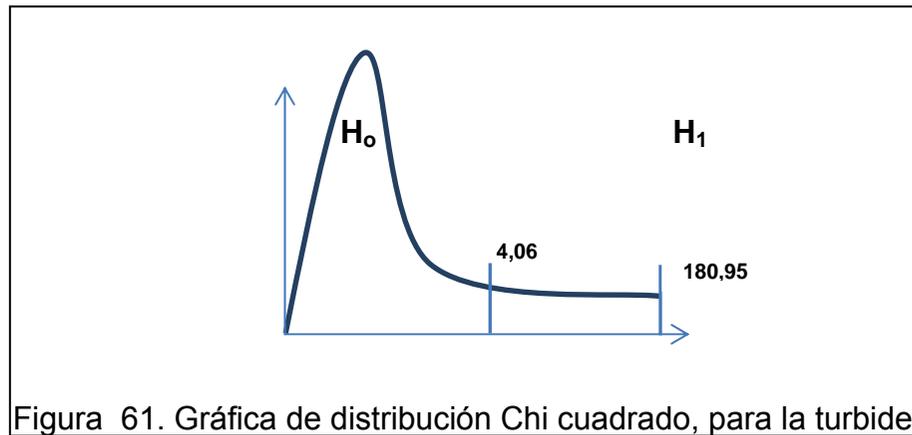
Tabla 9. Tabla de resumen para cada tratamiento o factor.

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>DE</i>	<i>%CV</i>
Tratamiento1	3	121,2	40,4	3,51	1,8734994	4,63737475
Tratamiento2	3	200,9	66,9666667	12,44333333	3,527510926	5,26756236
Tratamiento3	3	233	77,6666667	2,803333333	1,674315781	2,15577139
Tratamiento4	3	240,9	80,3	3,27	1,808314132	2,25194786

Tabla 10. ANOVA para turbidez (NTU). ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	2989,35333	3	996,451111	180,953592	1,08832E-07	4,06618055
Dentro de los grupos	44,0533333	8	5,50666667			
Total	3033,40667	11				



Como se puede observar en la figura 61, la distribución asimétrica Chi cuadrado, nos indica que la zona de rechazo para la hipótesis H_0 , se encuentra presente a partir de valores mayores al valor crítico para F. por lo tanto se acepta la hipótesis H_1 , se confirma que las medias son diferentes e independientes.

5.3.2 Análisis de la varianza de un solo factor: volumen de lodos residuales

Tabla 11. Tabla de tratamientos o factores (volumen de lodos).

Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
300	200	40	20
250	200	60	30
200	250	50	20

Tabla 12. Tabla de resumen para cada tratamiento o factor.

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>DE</i>	<i>% CV</i>
Tratamiento 1	3	750	250	2500	50	20
Tratamiento 2	3	650	216,666667	833,333333	28,86751346	13,3234678
Tratamiento 3	3	150	50	100	10	20
Tratamiento 4	3	70	23,3333333	33,3333333	5,773502692	24,743583

Tabla 13. Tabla ANOVA para volumen de lodos.

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	118766,667	3	39588,8889	45,6794872	2,22702E-05	4,06618055
Dentro de los grupos	6933,33333	8	866,666667			
Total	125700	11				

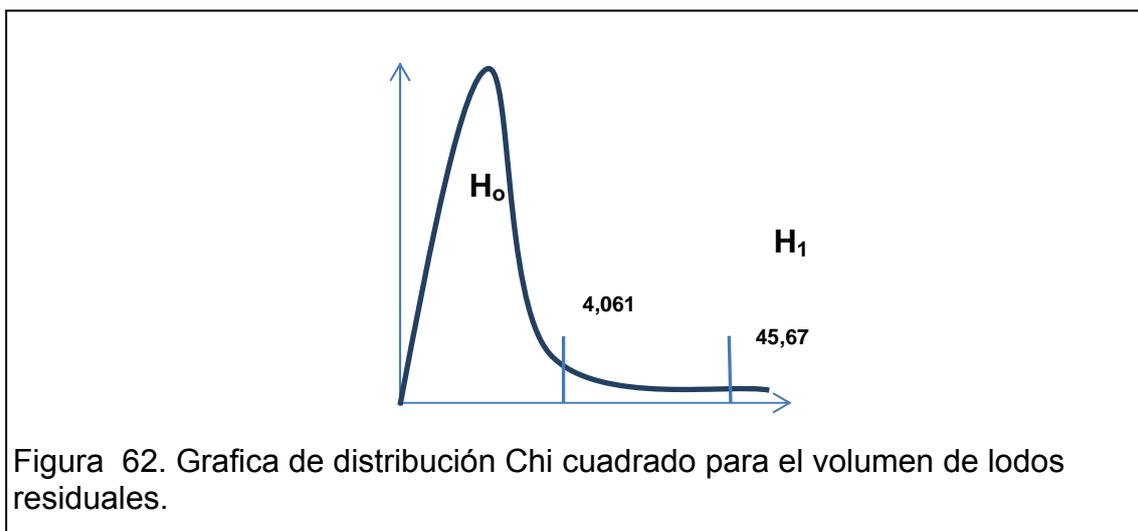


Figura 62. Grafica de distribución Chi cuadrado para el volumen de lodos residuales.

En la figura 62, se confirma que la hipótesis H_1 se acepta, ya que el valor del F observado se encuentra en la zona de rechazo para la hipótesis H_0 , determinada por el valor crítico de F, por lo tanto se concluye que las medias son diferentes cumpliendo el supuesto de independencia y generando efectos sobre los tratamientos.

5.3.3 Análisis de la varianza de diseño factorial 2²; coagulante (taninos) y floculante aniónico

Análisis de la varianza de un solo factor: turbidez NTU

Tabla 14. Tabla de tratamientos o factores (turbidez).

Tratamiento	Tratamiento	Tratamiento	Tratamiento
1	2	3	4
75,8	80,2	76,4	88,5
74,9	66,7	83,3	85,5
80	74,4	80,3	84

Tabla 15. Tabla de resumen para cada tratamiento o factor.

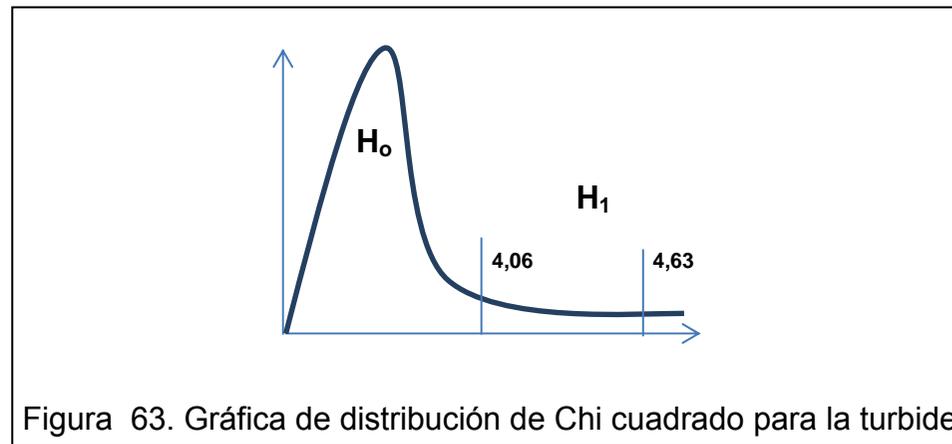
RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>DE</i>	<i>%CV</i>
Tratamiento 1	3	230,7	76,9	7,41	2,722131518	3,539832923
Tratamiento 2	3	221,3	73,76666667	45,86333333	6,772247288	9,180633468
Tratamiento 3	3	240	80	11,97	3,459768778	4,324710973
Tratamiento 4	3	258	86	5,25	2,291287847	2,664288195

Tabla 16. ANOVA para turbidez (NTU).

ANÁLISIS DE
VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	245,06	3	81,68666667	4,635142803	0,036800038	4,066180551
Dentro de los grupos	140,9866667	8	17,62333333			
Total	386,0466667	11				



En la figura 63, se puede observar que los datos del F observado no se alejan mucho del valor crítico para F, sin embargo se confirma que se acepta la hipótesis H_1 , ya que se encuentra en la zona de rechazo para la hipótesis H_0 y que por lo tanto las medias son diferentes e independientes.

5.3.4 Análisis de la varianza de un solo factor: volumen de lodos residuales

Tabla 17. Tabla de tratamientos o factores (volumen de lodos).

Tratamiento	Tratamiento	Tratamiento	Tratamiento
1	2	3	4
25	33	13	20
26	35	15	18
25	34	14	15

Tabla 18. Tabla de resumen para cada tratamiento o factor.

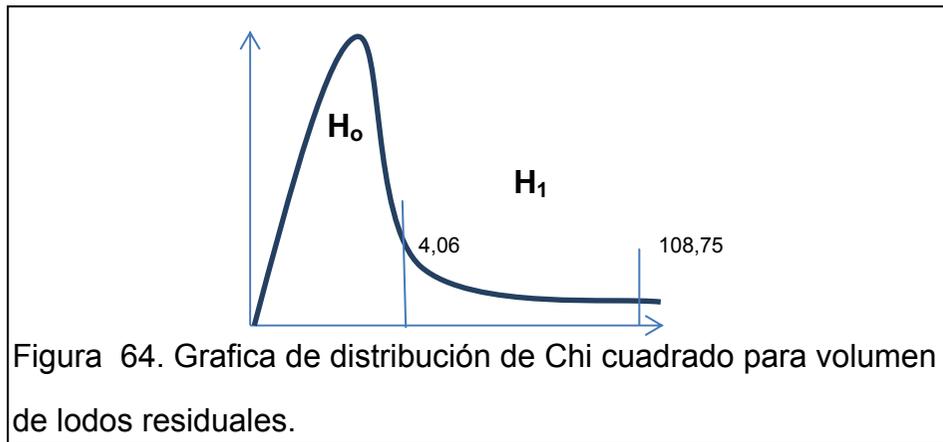
RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>DE</i>	<i>%CV</i>
Tratamiento 1	3	76	25,33333333	0,33333333	0,577350269	2,27901422
Tratamiento 2	3	102	34	1	1	2,941176471
Tratamiento 3	3	42	14	1	1	7,142857143
Tratamiento 4	3	53	17,66666667	6,33333333	2,516611478	14,24497063

Tabla 19. Tabla ANOVA para volumen de lodos.

ANÁLISIS DE
VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	706,9166667	3	235,6388889	108,7564103	7,99606E-07	4,066180551
Dentro de los grupos	17,33333333	8	2,166666667			
Total	724,25	11				



Como se observa en la figura 64, existe una diferencia considerable del F observado sobre el valor crítico para F, confirmándose una vez más que se acepta la hipótesis H_1 , ya que el valor de F observado se encuentra en la zona de rechazo para la hipótesis H_0 y que por lo tanto las medias son diferentes cumpliendo con el supuesto de independencia, generando un efecto considerable sobre la variable respuesta.

5.4 Coagulación – floculación con dosificación de ácido sulfúrico (H_2SO_4) mediante un test de jarras

La formación de un lodo residual de mejor compactación está directamente relacionada con el pH del agua residual a tratar, esto se debe a que el contenido de los coloides presenta cargas negativas. Al existir la presencia de un pH ácido (menos de 7) predomina la incidencia de cargas positivas, al contrario con la presencia de un pH básico (más de 7) predomina la incidencia de cargas negativas, indispensables para el proceso de coagulación en el tratamiento físico – químico para aguas residuales.

La muestra inicial de agua residual presentó un pH básico, por lo que se realizaron varias pruebas de acidificación de la muestra, con el objetivo de modificar el pH inicial a un pH ácido y poder evidenciar el efecto que tiene un cambio de pH en la muestra en relación con la mejor compactación de lodos residuales. Una vez obtenido la dosificación más óptima de coagulantes (natural y químico) y floculante en el tratamiento físico – químico para aguas residuales, se procedió agregando varias dosis de ácido sulfúrico antes de iniciar el tratamiento físico – químico para aguas residuales, debido a que el efecto químico que presentan los coagulantes sintéticos (químicos) agregados en el proceso de tratamiento, es la disminución del pH en la muestra.

5.5 Optimización del tiempo de coagulación en el proceso de tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria de jean

El objetivo de este método en particular, es poder determinar o establecer el mejor tiempo para el proceso de coagulación de las aguas residuales en estudio, con este método se pretende aportar más información que proporcione validez y la menor incidencia de error generado durante el proceso del tratamiento físico – químico de aguas residuales.

Dentro de la utilización del test de jarras una de las variables a parte de la velocidad es el tiempo de retención. En este caso el mejor tiempo que se logró obtener para las dos fases propuestas (rápida y lenta), fue el de 10 minutos para cada caso, presentando los resultados esperados.

5.6 Conclusión y análisis metodológico

Para poder concluir y tener un análisis crítico a cerca de los resultados obtenidos durante el tratamiento físico – químico de aguas residuales. Tomaremos como variable a la turbidez inicial y las resultantes de cada tratamiento obtenido (4 tratamientos), para cada diseño factorial 2^2 . Mediante el porcentaje de remoción que consiste en la diferencia de la turbidez inicial de la resultante dividida para la inicial.

Con el objetivo de comparar y analizar el tratamiento que resultó más óptimo en la remoción de turbidez, e igualmente el coagulante que presento mayor remoción.

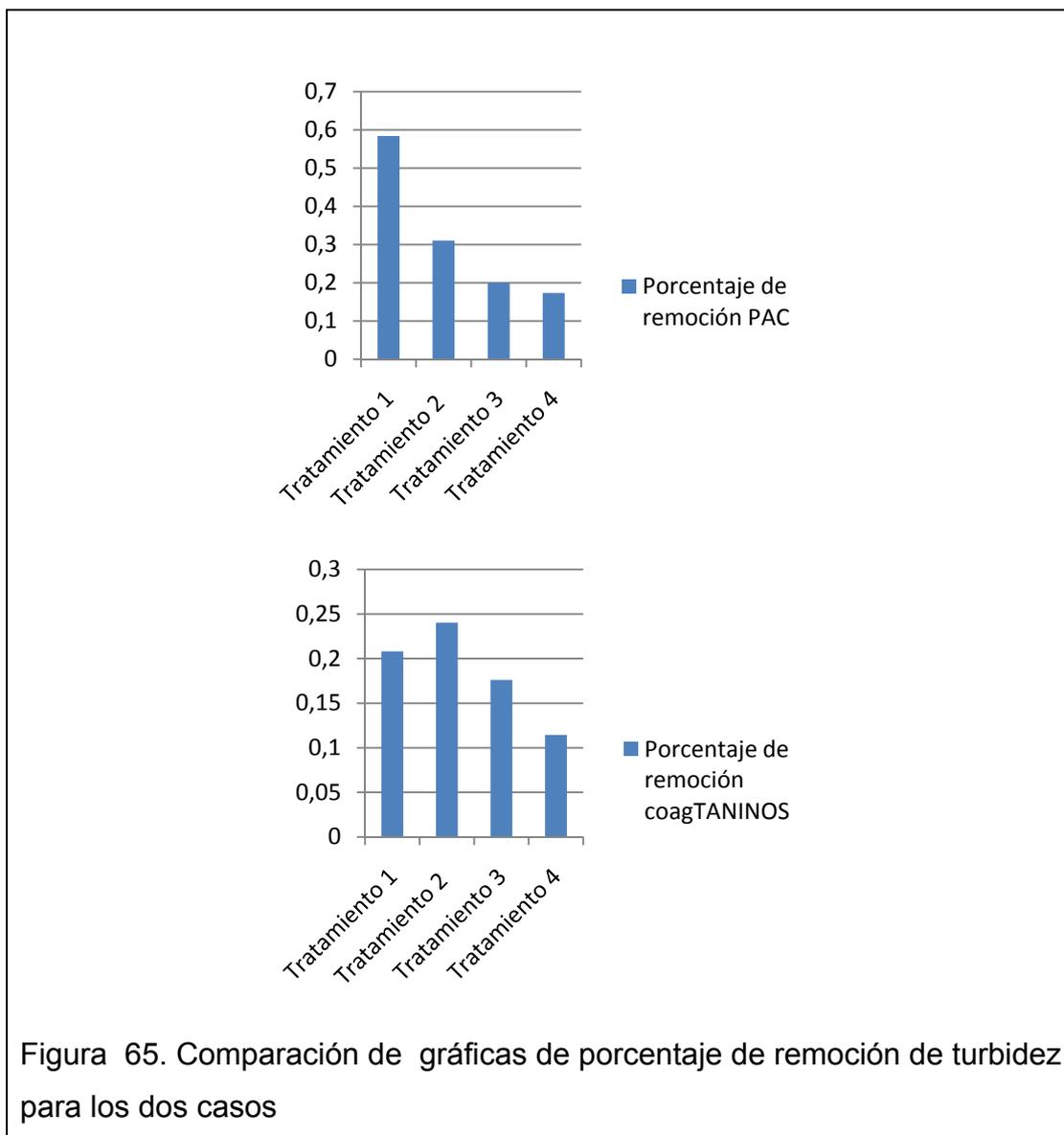
Como indica la figura #, para el coagulante (PAC), el primer tratamiento resultó ser más efectivo en la disminución de la turbidez, gracias a las dosificaciones establecidas aleatoriamente, debido a que como se pudo observar en los resultados del diseño factorial 2^2 , la mejor combinación sería de coagulante en su punto alto y floculante en su punto bajo.

Con el coagulante (TANINOS), el segundo tratamiento presenta la menor disminución de la turbidez en el agua residual, debido a su combinación aleatoria de dosis, como se indicó en los análisis de resultados para este caso, la mejor combinación podría ser con coagulante en su punto más bajo y floculante en su punto más bajo.

Para los dos casos de coagulantes, el que presenta mayor porcentaje de disminución de turbidez, fue el coagulante (PAC), debido a que es un

coagulante ya establecido en el mercado, con concentraciones mayores de sales de metales pesados, para el principio de la coagulación y su depuración de aguas residuales.

Es importante la continuación de más investigaciones sobre taninos para coagulante en el tratamiento físico – químico para aguas residuales.



5.7 Análisis costo – beneficio

Este punto es muy importante dentro del estudio investigativo, nos permite valorar, identificar, categorizar los costos y sus múltiples beneficios a niveles económicos, sociales y ambientales, con el propósito de dar una idea más puntual a cerca de una posible implementación del proyecto.

5.7.1 Costos de inversión y reinversión

Existen varios puntos de inversión para el tratamiento físico – químico de aguas residuales, esto se debe a que se necesitan la implementación de espacios físicos para el tratamiento, además de maquinaria e insumos especializados para la ejecución adecuada del tratamiento físico – químico de aguas residuales. Cabe recalcar que este estudio investigativo se lo realizó a escala de laboratorio, para tener un aproximado de una inversión inicial del tratamiento, se puede observar en la siguiente tabla 19.

Tabla 20. Tabla de inversión inicial.

Material	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
Coagulante	1 galón	0,90	3,60
Floculante	1 galón	0,22	0.88
Harina de guarango	1 kilo	0,50	0,5
Etanol	500 mL	0,7	0,7
Agua destilada	1 galón	2	2
Envases Plásticos	2	7	14
Total			20,8

Para el desarrollo de este estudio investigativo el costo de inversión aproximado fue de 21 dólares. Para realizar el tratamiento físico – químico para aguas residuales a escala laboratorio, no fue necesario realizar una inversión muy grande, ya que la mayoría de equipos y materiales fue proporcionado por el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de las Américas.

El costo de inversión para la implementación del tratamiento físico – químico para aguas residuales es mucho mayor, ya que intervienen varios factores dependiendo el área o medio físico donde se vaya a implementar, es así que se necesita diseñar tanques, cribas, agitadores, piscinas de tratamiento, etc. dependiendo el caudal de descarga que se desea remediar.

5.7.2 Costo de operación y mantenimiento

Para poder identificar los costos de operaciones y mantenimiento se puede identificar en la tabla 20.

Tabla 21. Tabla de operación.

Operaciones	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Recolección de las muestras	5	12	60
Producción de coagulante natural *	2	1,57	3,14
Análisis de muestras finas (CESAQ)	2	23,50	47
Transporte	8	8,5	68
Total			178,14

La producción del coagulante natural se realizó con 100 gr de harina de guarango (0,05 USD), con ayuda de 1 litro de etanol (1 USD) y un litro de agua destilada.

Es así que para el costo de operaciones fue de un valor aproximado de 179 dólares, cabe recalcar que los costos aún siguen siendo bajos, ya que la gran mayoría de equipos y materiales fueron proporcionados por el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de las Américas.

El costo de operaciones y de mantenimiento en la implementación del tratamiento físico – químico para aguas residuales, es mucho mayor ya que se necesita mayor cantidad de operaciones y un respectivo mantenimiento para la maquinaria y las piscinas de tratamiento.

5.7.3 Tipificación y apreciación de los beneficios

Recursos hídricos. Es el principal factor que se encuentra directamente relacionado con muchos beneficios, ya que al generar un tratamiento previo a la descarga, existirá un menor impacto ambiental, menos contaminación o alteración de los cuerpos de agua o ecosistemas circundantes, preservando las especies y su entorno natural.

Preservación de los suelos. Es muy importante mencionar la preservación de los suelos, ya que recordemos que en un tratamiento físico – químico para aguas residuales, siempre existirá la generación de lodos residuales. Muchos de estos lodos residuales contienen altas concentraciones de metales pesados, siendo necesario realizar un tratamiento antes de la disposición final de los lodos residuales, ya que alteraría la composición natural del suelo y de sus actividades como es la agricultura y ganadería. Dentro de este estudio investigativo se plantea una alternativa de coagulante de origen vegetal (taninos), es un beneficio muy grande al momento de la generación y disposición final de los lodos residuales, con ello se pretende disminuir las

concentraciones elevadas de metales pesados, provenientes de coagulantes de origen sintéticos, con el objetivo de disminuir el impacto ambiental y una adecuada disposición final generado por los lodos residuales.

Multas y sanciones. Un aspecto que siempre se debe considerar dentro de una empresa, es el cumplimiento de todas las disposiciones gubernamentales, siendo una de ellas la parte ambiental. La República del Ecuador, posee varias normativas que regulan y sancionan, las actividades industriales que tengan relación directa e indirecta con recursos naturales y su buen uso dentro de las mismas.

Un gran beneficio dentro de una actividad industrial es el cumplimiento de normas ambientales, en este caso de la remediación del recurso hídrico proveniente de una actividad industrial, las sanciones de incumplimiento de normas ambientales conlleva fuertes sumas de dinero y en muchos de los casos hasta el cierre parcial o definitivo de la actividad económica al que se vea involucrada.

Ahorro de inversión. La adquisición de los insumos para el tratamiento de aguas residuales en una empresa, conlleva costos elevados como es el caso del coagulante (PAC) y floculante aniónico, para el tratamiento físico – químico para aguas residuales. La sustitución del nuevo coagulante de origen vegetal, proporcionará un beneficio económico, para las empresas en la adquisición del producto. Como se puede apreciar en la tabla 19 en el costo de operaciones de la producción del coagulante natural es más económico que la adquisición del producto (PAC), versus los demás beneficios que conlleva utilizar el coagulante de origen vegetal, como es el caso de la disposición final de los lodos residuales.

Nuevas fuentes de trabajo en la producción del nuevo coagulante. Es un gran beneficio y aporte al país, la generación de una nueva plaza de trabajo con la producción del coagulante de origen vegetal (taninos del guarango),

ayudando directamente a agricultores locales, a medianas y pequeñas empresas, que se encargan de la siembra, cuidado, recolección y obtención de la harina del guarango. De esta manera se pretende impulsar el crecimiento y desarrollo de la economía en el Ecuador.

Áreas de investigación. Otro beneficio que se otorga al país, es el área de investigación y desarrollo científico, innovando el conocimiento de nuevas tecnologías y alternativas de desarrollo para la población en general, de esta manera la Universidad de las Américas aporta con más beneficios al país.

Salud pública. La correcta disposición final de las aguas provenientes de actividades industriales, es un beneficio necesario para preservar la salud pública del país, ya que una mala e incorrecta disposición de las aguas residuales, afecta directamente con la salud pública. El agua es un recurso de vida necesario y su mal uso o alteración dan como resultado varias afectaciones a la salud, las principales afectaciones que se podrían obtener, son alteraciones a nivel gástrico, cutáneo, respiratorio y demás.

6 Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

- El presente estudio investigativo a escala laboratorio se logró finalizar con éxito, cumpliendo con los objetivos planteados al inicio de la investigación. Se determinó los procesos que se lleva a cabo dentro de la empresa (Dayantex), se cumplió con la caracterización del agua residual, se diseñó un proceso de remediación para aguas residuales y finalmente un análisis comparativo antes y después de la ejecución del tratamiento de aguas residuales.
- Los procesos de producción dentro de la empresa Dayantex, son procesos continuos lo que permite que el tratamiento de aguas residuales, en caso de ser implementado se realice en forma continua, para evitar el reposo del agua y con ello una eutrofización.
- En el análisis de caracterización de aguas residuales, existió dos parámetros químicos de incumplimiento legal, con respecto al Libro VI Anexo 1 Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Decreto N° 3516, Edición Especial N° 2 de Registro Oficial de 31 de marzo de 2003. Artículo: 4.2.2.
- Se planteó un tratamiento físico – químico para aguas residuales, con una propuesta innovadora de sustitución de coagulante de origen vegetal (taninos del guarango) por el coagulante sintético (PAC), cumpliendo con éxito el proceso de remediación para aguas residuales.
- Al finalizar el tratamiento físico – químico para aguas residuales, se disminuyó significativamente el DQO inicial de 1050 a un promedio de 370 mg/L en su fase final, de esta manera se cumple con los límites de descarga máximos permitidos por la ley.

- Todas las muestras fueron analizadas, bajo los mismos parámetros y con el menor tiempo de retención viable, para evitar una posible alteración o contaminación en las muestras.
- El coagulante que resultó ser más efectivo, fue el coagulante de origen sintético (PAC), ya que presentó el menor valor de DQO final.
- Según el análisis de la varianza de la turbidez, para los dos casos de coagulantes, presentó mayor efecto el coagulante (PAC), ya que el valor del F observado para este caso resultó ser mucho más significativo que el coagulante de origen vegetal (taninos del guarango).
- En la extracción de los taninos de la harina del guarango, la utilización del etanol fue muy influyente para extraer en mayor porcentaje, la cantidad de taninos presentes en la solución, con el objetivo de obtener el efecto deseado en el tratamiento físico – químico para aguas residuales.
- El pH es un factor de gran relevancia para el tratamiento físico – químico para aguas residuales, el pH ideal para aguas residuales fue un pH básico, ya que el contenido de las aguas residuales presenta una característica de alto contenido de aniones, de esta manera el pH ácido no permite que se genere el fenómeno de la coagulación.
- La adición de zeolitas en la fase final con zeolitas, fue necesario para activar la sedimentación que presentó el contenido de agua tratada, con coagulante de origen vegetal (taninos del guarango).
- Se pudo finalizar satisfactoriamente el proceso de remediación para aguas de lavado provenientes de la industria Dayantex, disminuyendo significativamente el contenido de materia orgánica disuelta en el agua, cumpliendo con los límites que establece la ley y que por lo tanto el

contenido de agua resultante del tratamiento físico – químico para aguas residuales, se podrá realizar una descarga al sistema de alcantarillado.

6.2 Recomendaciones

- La Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo del Ecuador (SENPLADES), es el ente regulador sobre la planificación y el desarrollo en los Gobiernos Autónomos Descentralizados. Se recomienda una muy breve supervisión sobre el GAD municipal del Cantón Pelileo, ya que carece de una planificación de desarrollo y mucho menos de una ordenanza que regule y sancione el mal uso de los residuos.
- Para la caracterización e igualmente para el tratamiento de las muestras de agua residual, se recomienda el menor tiempo de retención posible para su análisis, ya que el excesivo tiempo de retención alteran en gran porcentaje el contenido de las muestras de agua residual.
- El uso del coagulante de origen vegetal (taninos del guarango), para el tratamiento físico – químico para aguas residuales provenientes de industrias textiles del sector, es recomendable para disminuir el impacto que genera la disposición final de los lodos residuales generados.
- Es de vital importancia la continuidad de análisis y estudios acerca de esta propuesta de sustitución de coagulantes, con ello se podrá tener una mejor apreciación de los beneficios que presenta el uso de los taninos del guarango, en el tratamiento de aguas residuales con un mayor estudio a priori.
- El Ministerio del Ambiente, a través de sus subsecretarías provinciales debe facilitar información, alternativas y capacitación a las empresas de lavado del sector, sobre el buen uso y disposición final de aguas residuales.

Referencias

- Andía Y. (2000). *Tratamiento de agua coagulación y floculación*. Lima, Perú. SEDAPAL.
- Aguilar, M. (2006). *Potabilización del agua para uso y consumo humano – policloruro de aluminio – especificaciones y métodos de prueba*. pp. 9 – 13 Recuperado el 10 de junio de 2013 de <https://www.imta.gob.mx/cotennser/images/docs/NOM/NMX-AA-130-SCFI-2006.pdf>
- Álvarez J. (2007). *Tanino: la revolución enológica mito o realidad*. P 5. Recuperado el 05 de agosto de 2013 de http://www.acenologia.com/aeb/pdf/info_taninos_jmalvarez.pdf
- Beltrán, J. Sánchez, J. Gómez, C. y Dávila A. (2010). *Nuevos coagulantes tánicos para el tratamiento de aguas*. Madrid, España. Departamento de Ingeniería Química y Química Física Universidad de Extremadura.
- Carrasco C. (2007). *Tratamiento físico químico de aguas residuales*. P 13. Santiago de Chile, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Civil.
- Centro de investigación en protección ambiental Instituto Tecnológico de Costa Rica. (2010). *Desarrollo de coagulantes y floculantes para la remoción del color en aguas de consumo humano; el rio humo, reserva forestal rio macho*. Pp 20 – 24. Recuperado el 18 de junio de 2013 de http://bibliodigital.itcr.ac.cr:8080/xmlui/bitstream/handle/2238/2930/Informe_Final.pdf?sequence=1
- Encarnación A. (2010). *Implementación del control de tiempo en las diferentes fases de los procesos de lavado en la empresa lava jeans de la ciudad de Ambato*. P 11-15. Recuperado el 10 de noviembre de 2013 de <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/1836/Tesis%2037%20-%20Encarnaci%C3%B3n%20Gallo%20Andrea%20Germania.pdf?sequence=1>

- Garcés R. (2010). *Obtención de la mínima dosis de reemplazo de policloruro de aluminio en aguas y aguas de Pereira*. pp. 28 – 29. Recuperado el 10 de junio de 2013 de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/2050/1/628166G215.pdf>
- García M. (2011). *Ajuste matemático del comportamiento de la turbiedad residual en los procesos de coagulación – floculación del agua realizados en la planta la flora de A.M.B. S.A .E.S.P. empleando policloruro de aluminio líquido*. pp. 16 – 17. Recuperado el 10 de junio de 2013 de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6718/2/137994.pdf>
- Gutiérrez H,y De la Vara Salazar R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. México D.F.: Mc. Graw Hill.
- Játiva S. (2011). *Determinación del contenido de tanino procedente del guarango (caesalpineaspinosa) y evaluación de su uso como fungicida*. Quito, Ecuador. Escuela Politécnica Nacional.
- Larbaces E. (2007). *Evaluación del proceso coagulación – floculación a partir de sulfato de aluminio $Al_2 (so_4)_3$ preparado utilizando envases reciclados del metal y aluminio modificado en la potabilización de aguas*. pp 12-16. Recuperado el 30 de enero de 2014 de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7053/2/124931.pdf>
- Mahmut O. y Ayhan S. (2001). *The Use of Tannins from Turkish Acorns (Valonia) in Water Treatment as a Coagulant and Coagulant Aid*. Sakarya, Turquía. Sakarya University, Science & Arts Faculty, Department of Chemistry.
- Mancero L. (2008). *La Tara (Caesapiniaspinosa) en Perú, Bolivia y Ecuador: Análisis de la cadena productiva en la región*. pp. 7-43. Quito, Ecuador. Editorial ECOBONA.
- Matuschek, E. (2005). *In Vitro Availability of Iron in High-Tannin Sorghum Effects of Enzymatic Oxidation of Phenolic Compounds*. pp. 25 - 54. Goteborg, Suecia. Chalmers University of Technology.

- Morales, F. Méndez, R. y Tamayo M. (2009). *Tratamiento de aguas residuales de rastro mediante semillas de Moringa Oleifera Lam como coagulante*. (Vol. 10). Pp 523-529. México. Universidad Autónoma de Yucatán México.
- Nieto C. e Hidrobo G. (2011). *La cadena agro – productiva de guarango, (Caespiniaspinosa Kuntze), elementos que resaltan su competitividad*. Quito, Ecuador. Fundación Desde el Surco, SENESCYT.
- Pearson Educación. (2004). *Química La Ciencia Central*. p 651.(9ª Ed).México DF, México. Editorial Universidades.
- Pérez L, Merencio L, y Garcel L. (2010). *Influencia de distintos tipos de floculantes sobre la estabilidad de suspensiones de laterita*. Pp 2. Recuperado el 18 de junio de 2013 de <https://ojs.uo.edu.cu/index.php/tq/article/viewFile/2724/2242>
- Restrepo H. (2009). *Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable*. pp 7-10. Recuperado en 30 de enero de 2014 de http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239_2009.pdf
- Revista Iberoamericana de Polímeros. (2003). *Obtención de floculantes no iónicos y aniónicos (densidad de carga 40%) por polimerización en microemulsión inversa. influencia del sistema tensoactivo*. Pp 2 – 8. Recuperado el 18 de junio de 2013 de <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/DIC03/Ochoa1.pdf>
- Ros A. (2011). *El agua. Tratamientos (1/2)*. p 25. Recuperado el 18 de junio de 2013 de <http://www.mailxmail.com/curso-agua-purificacion-tratamiento-aguas-naturales-residuales-1-2/tratamiento-aguas-residuales>
- Royal Society of Chemistry. (2013). *Tannin*. Recuperado el 13 de diciembre de 2013 de <http://www.chemspider.com/ImageView.aspx?id=23170681>
- Samuelsson, G. y Bohlin, L.(2009).*Drugs of natural origin a treatise of Pharmacognosy*. pp. 199 - 202.(6ta Ed).Kristianstad, Suecia. Editorial Apotekarsocieteten,
- Universidad Nacional de La Pampa (UNLPAM). 2011. *Sustancias fenólicas*. Recuperado el 18 de mayo de 2013 de http://www.agro.unlpam.edu.ar/catedras-pdf/sustancias_fenolicas.pdf

Živković, J. Mujić, I. Zeković, Z. Nikolić, G. Vidović, S y Mujić A. (2009).
Extraction and analysis of condensed tannins in *castanea sativa*
mill. Health Institute, Krešimirova. Rijeka, Croatia.

ANEXOS

ANEXO 1

Resultados finales de análisis de DQO laboratorio CESAQ muestra 1 (PAC) y muestra 3 (taninos)



ACREDITACIONES



LABORATORIO DE
ENSAYOS
N° OAE LE 2C 04-001

INFORME CESAQ-PUCE No. 13147-1

Página 1 de 2

CESAQ - PUCE
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
CENTRO DE SERVICIOS AMBIENTALES Y QUÍMICOS
INFORME DE ANÁLISIS No. 13147-1

Datos generales:

Cliente: REVELO ROSAS ANDRES SANTIAGO
Dirección: ANTONIO NAVARRO Y CARLOS TOBAR
Telefono:
Tipo de muestra: AGUA RESIDUAL

Toma de Muestra: (No cubierta por las acreditaciones)

FECHA DE MUESTREO: 09/10/13
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: MUESTRA # 1
MUESTREADO POR: CONSUMIDOR FINAL
FECHA RECEPCIÓN 09/10/13 **INTEGRIDAD DE LA MUESTRA: CUMPLE**

Parámetros analizados:

AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO
1	AGUAS Y SUELOS Demanda Química de Oxígeno	CP-PEE-A020	mg/L	157

Fecha de Realización del Ensayo

La muestra ingresa al CESAQ-PUCE el día, 9 de octubre del 2013. Los análisis fueron realizados en el período comprendido entre el 9 de octubre del 2013 y el 10 de octubre del 2013.

El presente informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo

El presente informe no debe reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESAQ - PUCE

Las incertidumbres de los resultados para los ensayos que se encuentran dentro del alcance de acreditación se encuentran disponibles en los registros del CESAQ - PUCE



ACREDITACIONES



LABORATORIO DE
ENSAYOS
N° OAE LE 2C 04-001

INFORME CESAQ-PUCE No. 13147-1

Página 2 de 2

NOTAS

U	Incertidumbre	NV	No Viable
N.E.	No. Evaluable	NA	No Aplica
N.D.	No. Disponible	< =	Menor a
N1	Norma de Comparación	La identificación de la muestra es dada por el cliente	
N2	No es posible evaluar el cumplimiento debido a que el límite superior del laboratorio es inferior a la norma		
N3	No es posible evaluar el cumplimiento debido a que el límite de cuantificación del laboratorio es superior a la norma		
Integridad de la muestra se refiere al cumplimiento de las normas de envase y preservación			
Los ensayos de suelos se realizan en materia seca, a excepción de pH y Conductividad			

ACREDITACIONES

AA	ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
1	OAE LE2 C 04-001
2	OAE LE C 10-011 (Realizados en Diserlab - PUCE)
3	Los ensayos son subcontratados a un Laboratorio acreditado por OAE
*	Los ensayos marcados no están incluidos en el alcance de acreditación OAE LE2 C 04-001

OBSERVACIONES ANALITICAS

--

Revisado y Aprobado por

LCDO. DAVID ROMERO
DIRECTOR TECNICO

Quito, 14 de octubre del 2013

*El presente informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo
El presente informe no debe reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESAQ - PUCE
Las incertidumbres de los resultados para los ensayos que se encuentran dentro del alcance de acreditación se
encuentran disponibles en los registros del CESAQ - PUCE*



ACREDITACIONES



LABORATORIO DE
ENSAYOS
N° OAE LE 2C 04-001

INFORME CESAQ-PUCE No. 13163-1

Página 1 de 2

CESAQ - PUCE
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
CENTRO DE SERVICIOS AMBIENTALES Y QUÍMICOS
INFORME DE ANÁLISIS No. 13163-1

Datos generales:

Cliente: REVELO ROSAS ANDRES SANTIAGO
 Dirección: ANTONIO NAVARRO Y CARLOS TOBAR
 Telefono:
 Tipo de muestra: AGUA RESIDUAL

Toma de Muestra: (No cubierta por las acreditaciones)

FECHA DE MUESTREO: 17/10/13
 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: MUESTRA # 3 AGUA RESIDUAL (TANINOS)
 MUESTREADO POR: REVELO ROSAS ANDRES SANTIAGO
 FECHA RECEPCIÓN: 17/10/13 INTEGRIDAD DE LA MUESTRA: CUMPLE

Parámetros analizados:

AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO
1	AGUAS Y SUELOS Demanda Química de Oxígeno	CP-PEE-A020	mg/L	500

Fecha de Realización del Ensayo

La muestra ingresa al CESAQ-PUCE el día, 17 de octubre del 2013. Los análisis fueron realizados en el periodo comprendido entre el 17 de octubre del 2013 y el 17 de octubre del 2013.

El presente informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo

El presente informe no debe reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESAQ - PUCE

Las incertidumbres de los resultados para los ensayos que se encuentran dentro del alcance de acreditación se encuentran disponibles en los registros del CESAQ - PUCE



ACREDITACIONES



LABORATORIO DE
ENSAYOS
N° OAE LE 2C 04-001

INFORME CESAQ-PUCE No. 13163-1

Página 2 de 2

NOTAS

U	Incertidumbre	NV	No Viable
N.E.	No. Evaluable	NA	No Aplica
N.D.	No. Disponible	< =	Menor a
N1	Norma de Comparación	La identificación de la muestra es dada por el cliente	
N2	No es posible evaluar el cumplimiento debido a que el límite superior del laboratorio es inferior a la norma		
N3	No es posible evaluar el cumplimiento debido a que el límite de cuantificación del laboratorio es superior a la norma		
Integridad de la muestra se refiere al cumplimiento de las normas de envase y preservación			
Los ensayos de suelos se realizan en materia seca, a excepción de pH y Conductividad			

ACREDITACIONES

AA	ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
1	OAE LE2 C 04-001
2	OAE LE C 10-011 (Realizados en Diserlab - PUCE)
3	Los ensayos son subcontratados a un Laboratorio acreditado por OAE
*	Los ensayos marcados no están incluidos en el alcance de acreditación OAE LE2 C 04-001

OBSERVACIONES ANALITICAS

--

Revisado y Aprobado por

LCDO. DAVID ROMERO
DIRECTOR TECNICO

Quito, 18 de octubre del 2013

El presente informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo

El presente informe no debe reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESAQ - PUCE

Las incertidumbres de los resultados para los ensayos que se encuentran dentro del alcance de acreditación se encuentran disponibles en los registros del CESAQ - PUCE

Anexo 2
Resultados de caracterización
Laboratorio de ingeniería ambiental UDLA

	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Promedio
Cobre	N / A	N / A	2.8	2.8
Aluminio	1,08	0,24	2,48	1.26
Fósforo Total	5	3,9	5,3	4.73
Cianuro	0,2	1,3	1,8	1.1
Índice Fenólico	6	6	6	6

Laboratorio de ingeniería ambiental UDLA y laboratorio CESAQ PUCE.

Resultados DQO mg / L	
Muestra inicial	1050
Resultado final (PAC)	157
Resultado final (TANINOS)	500

Análisis de temperatura y electronegatividad del agua.

Temperatura	20 °C
Electronegatividad	3,30

Anexo 3

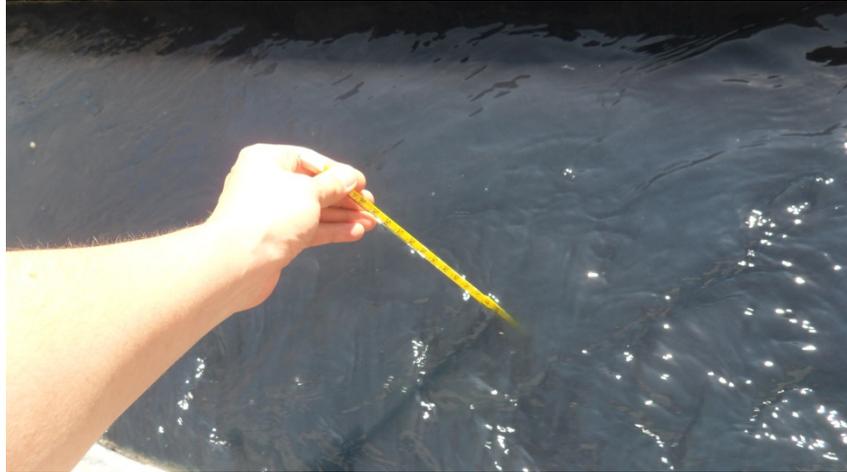
Tablas de porcentaje de remoción de turbidez

		Muestra inicial	97,1	
	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
Porcentaje de remoción PAC	0,583934089	0,31033299	0,200137315	0,173017508

	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
Porcentaje de remoción coag TANINOS	0,208032956	0,240302094	0,176107106	0,114315139

Anexo 4

Fotografía del proceso de remediación para aguas de lavado



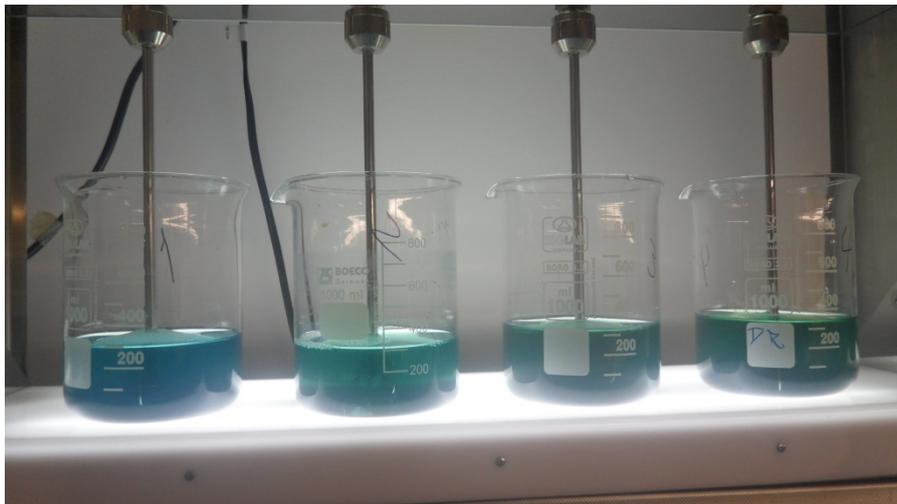
Medición de la temperatura del agua residual in situ



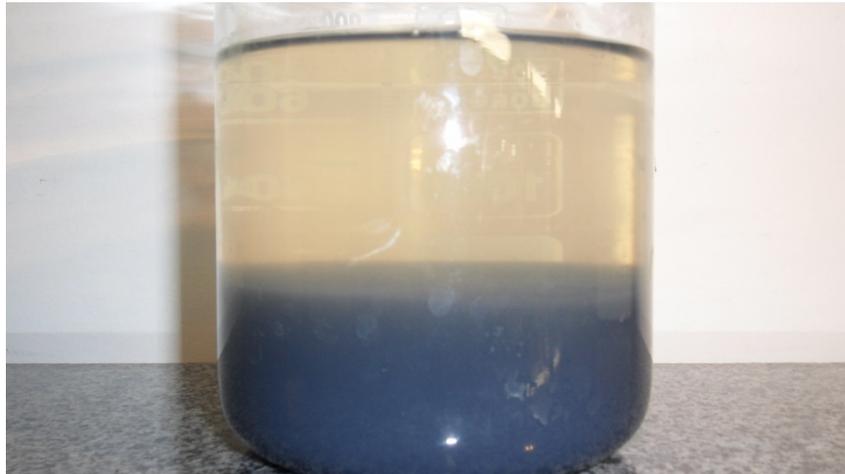
Medición de la conductividad eléctrica in situ.



Recolección de muestras de agua residual y punto de desfogue antes de la descarga de agua residual en la empresa DAYANTEX.



Muestras de agua residuales en test de jarras, con prueba de dosificación



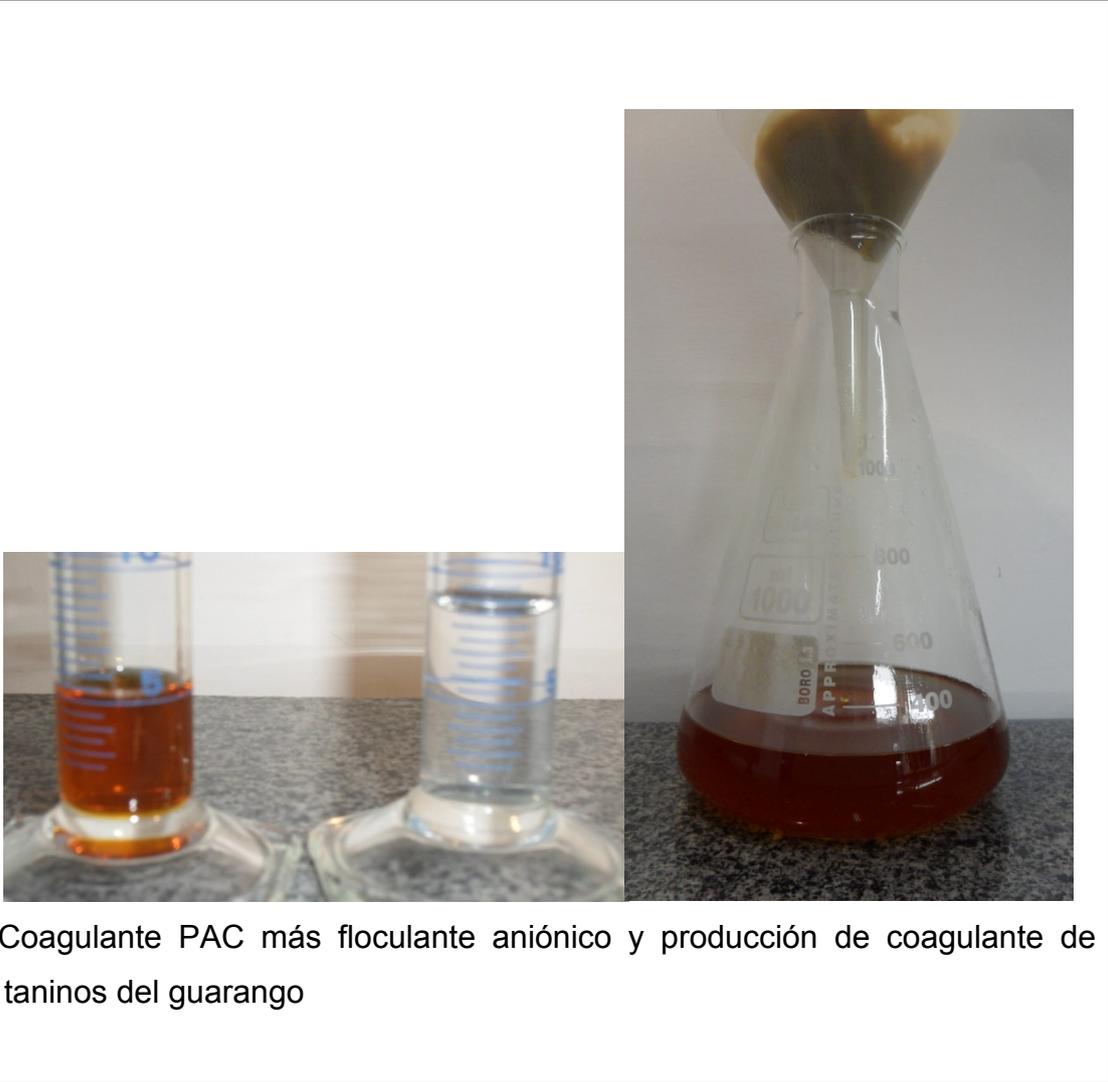
Obtención de lodos residuales con coagulante PAC



Muestra inicial y final en el proceso final de sedimentación con zeolitas y dosificación de H_2SO_4 .



Muestras de zeolitas secadas al horno.





Proceso final de sedimentación con zeolitas para agua residual con coagulante taninos del guarango

ANEXO 5

SOLICITUD DIRIGIDA A LA EMPRESA DAYANTEX

Ambato, 25 de mayo de 2012

Señora

Olivia Sisalema

Representante Legal

Industria Dayantex

Pelileo



De mi consideración:

Reciba un cordial saludo y el deseo de éxitos en la excelente marcha administrativa que muy acertadamente lo dirige en la Industria Dayantex.

Yo Andrés Santiago Revelo Rosas, portador de la cédula de ciudadanía 1803816626, me encuentro cursando el décimo nivel de Ingeniería Ambiental en la Universidad de las Américas, solicito a Usted se digne autorizar a quien corresponda, me permita realizar el trabajo de investigación para “desarrollar un Proceso de Remediación para aguas, producto de lavado de Jeans”, temática de tesis de grado; ya que este estudio beneficiara sin costo al sector industrial del cantón Pelileo.

Por la favorable atención que se dé a la presente solicitud, anticipo mi sincero agradecimiento.

Atentamente,

Andrés Revelo Rosas

C.I. 1803816626