

**USO DEL EXTRACTO DE FIQUE (*Furcraea* sp.) COMO AYUDANTE DE
COAGULACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL CON ALTA
CARGA ORGÁNICA DISUELTA**

**CINDY PAOLA RENGIFO BERNATE
JESÚS ALBERTO ORDOÑEZ**



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
POPAYAN
2014**

**USO DEL EXTRACTO DE FIQUE (*Furcraea* sp.) COMO AYUDANTE DE
COAGULACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL CON ALTA
CARGA ORGÁNICA DISUELTA**

**CINDY PAOLA RENGIFO BERNATE
JESÚS ALBERTO ORDOÑEZ**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**Director
JAVIER ERNESTO FERNÁNDEZ MERA
Ingeniero Sanitario, MSc.**



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2014**

Nota de aceptación:

Firma del director:

Firma del jurado:

Firma del jurado:

Popayán, 31 de Octubre de 2014

DEDICATORIA

A Dios por ser el apoyo espiritual que me fortalece y me guía para culminar cada etapa de mi vida.

A mi madre, padrastro, hermanos y difunta abuela por ser los contribuyentes de mi bienestar, responsabilidad y libre pensamiento para desenvolverme de la mejor forma en cada momento de mi vida.

A mi compañera sentimental y casi mi esposa por su amor incondicional, por cada palabra de aliento, de fortaleza y de enseñanza para enfrentar los obstáculos y ser mi bastión.

JESUS ALBERTO ORDOÑEZ

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a los seres más importantes en mi vida y a los que amo.

A Dios por permitirme dar este paso tan importante en mi vida, por darme las virtudes y la fortaleza necesaria para culminar con éxito este gran logro pese a las dificultades, por guiarme siempre en el mejor camino iluminando cada paso. Por darme vida y salud para lograr mis objetivos.

A mis padres: Darío y Omaira son ustedes quienes verdaderamente son los dueños de este título, por su apoyo incondicional, por ser mis guías y el mejor ejemplo de esfuerzo y dedicación, perseverancia y constancia, siempre agradezco a Dios por haberme colocado entre ellos y la fortuna más grande es tenerlos conmigo.

A mi hermana Andrea que siempre ha estado a mi lado apoyándome, y por brindarme su cariño y ayuda en cada momento oportuno.

CINDY PAOLA RENGIFO BERNATE

AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiar y clarificar cada paso que damos y darnos lo necesario para superarnos.

A nuestro director de proyecto de grado, MSc. Javier Ernesto Fernández Mera, por su colaboración, orientación y dedicación en el desarrollo de este trabajo.

A todos nuestros profesores que a lo largo de la vida universitaria dejaron plasmadas sus enseñanzas y orientaciones como bases sólidas para afrontar la vida profesional.

A nuestras familias, por los deseos y anhelos por nuestro progreso y su contribución de diversas formas a culminar nuestros sueños.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION.....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
2. JUSTIFICACIÓN.....	4
3. OBJETIVOS.....	7
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	7
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
4. REVISION DE LITERATURA.....	8
4.1 EXPERIENCIAS EN ESTUDIOS DE LOS MECANISMOS DE REMOCIÓN DE MO DISUELTA POR COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN	8
4.2 EXPERIENCIAS DE TRATAMIENTOS FISICOQUIMICOS PARA EFLUENTES CON ALTA CARGA ORGÁNICA.....	9
4.3 EXPERIENCIAS CON EL USO DEL EXTRACTO DE FIQUE COMO AYUDANTE EN EL TRATAMIENTOS DE EFLUENTES	10
5. METODOLOGÍA	12
5.1. FASE I: ACTIVIDADES PRELIMINARES	12
5.1.1. Preparación del agua residual sintética (ARS)	12
5.1.2 Preparación del coagulante empleado	15
5.1.3 Obtención del extracto de fique.....	15
5.1.4 Parámetros y equipos de medición	16
5.2 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE COAGULACIÓN, FLOCULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN	16
5.2.1 Justificación para selección de tiempos y gradientes de mezcla rápida, mezcla lenta y tiempo de sedimentación	17
5.2.2 Determinación de dosis óptima de coagulante (DOC).....	17
5.2.3 Comportamiento del pH	17
5.3 FASE II: PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DEL USO DEL EXTRACTO DE FIQUE	18
5.3.1 Determinación de la dosis optima del extracto de fique como ayudante de coagulación	18
5.4 FASE III: COMPARACIÓN ESTADISTICA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON EL COAGULANTE PRIMARIO CON Y SIN EL EXTRACTO DE FIQUE COMO AYUDANTE DE COAGULACIÓN	18

5.5 VIABILIDAD PARA LA APLICACIÓN DE LA FASE IV: EVALUACIÓN EN LA REDUCCIÓN DE COAGULANTE PRIMARIO	19
6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	20
6.1 FASE I: RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS PRELIMINARES	20
6.1.1 Parámetros del agua residual sintética	20
6.1.2 Selección de dosis óptima de coagulante (DOC)	21
6.2 FASE II: RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN DEL USO DEL EXTRACTO DE FIQUE COMO AYUDANTE DE COAGULACIÓN.....	23
6.2.1 Comparaciones para estimar el efecto del fique como ayudante de coagulación en la remoción de materia orgánica	24
6.2.2 Comparaciones para estimar el efecto del fique como ayudante de coagulación en la remoción de turbiedad y color	26
6.3 FASE III: PROCESAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	28
6.3.1 Valoración estadística del efecto ocasionado por el extracto de fique como ayudante de coagulación en la remoción de materia orgánica	28
6.3.1.1 Análisis de la DQO	29
6.3.1.2 Análisis de la Absorbancia.....	30
6.3.2 Valoración estadística del efecto ocasionado por el extracto de fique como ayudante de coagulación en la remoción de turbiedad y color	31
6.3.2.1 Análisis de la Turbiedad	32
6.3.2.2 Análisis del color	33
6.4 DETERMINACION EN LA VIABILIDAD PARA LA APLICACIÓN DE LA FASE IV	35
7. CONCLUSIONES	36
8. RECOMENDACIONES	37
9. BIBLIOGRAFIA.....	38
10. ANEXOS.....	42

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

TABLA 1. Características típicas de los lixiviados.....	13
TABLA 2. Características típicas de Aguas residuales provenientes de una industria avícola y matadero	13
TABLA 3. Composición del Agua Residual sintética utilizada por Serna	14
TABLA 4. Composición final del Agua Residual Sintética	15
TABLA 5. Parámetros de calidad requeridos en el estudio	16
TABLA 6. Velocidades de mezcla y tiempos respectivos en cada etapa de la prueba de tratabilidad	17
TABLA 7. Parámetros de calidad promedios del agua sintética.....	20
TABLA 8. Resultados promedios obtenidos en pruebas de jarras para elegir dosis óptima	21
TABLA 9. Resultados promedio obtenidos para DQO y absorbancia.....	24
TABLA 10. Porcentajes de remoción en materia orgánica (DQO y Absorbancia) y el aporte promedio correspondiente del extracto de fique	25
TABLA 11. Resultados promedio obtenidos para turbiedad y color.....	26
TABLA 12. Porcentajes de remoción en Turbiedad y Color y el aporte correspondiente del extracto de fique	27
TABLA 13. Prueba ANOVA para DQO en el rango de dosis: 0,5 a 3 mg/L	29
TABLA 14. Prueba ANOVA para DQO en el rango de dosis: 4 a 10 mg/L	30
TABLA 15. Prueba ANOVA para absorbancia en el rango de dosis: 0,5 a 3mg/L...	31
TABLA 16. Prueba ANOVA para absorbancia en el rango de dosis: 4 a 10mg/L....	31
TABLA 17. Prueba de Kruskall-Walis para turbiedad en el rango de dosis: 0,5 a 3mg/L.....	32
TABLA 18. Prueba de Kruskall-Walis para turbiedad en el rango de dosis: 4 a 10mg/L.....	33
TABLA 19. Prueba ANOVA para color en el rango de dosis: 0,5 a 3mg/L.....	34
TABLA 20. Prueba ANOVA para color en el rango de dosis: 4 a 10mg/L	34

FIGURA 1. Obtención del extracto de fique (sin dilución)	15
FIGURA 2. Curvas de comportamiento en turbiedad y color con las dosis de coagulante utilizadas	22
FIGURA 3. Curvas de comportamiento en DQO y Absorbancia con las dosis de coagulante utilizadas	23

INTRODUCCION

Las aguas residuales que en su mayoría son vertidas directamente sobre las fuentes hídricas amenazan con generar en un mediano plazo, un profundo desequilibrio ambiental, económico y social (Lozano, 2011). Debido a esta problemática, han surgido diferentes alternativas de tratamiento buscando reducir el poder contaminante de las aguas residuales con gran éxito, sin embargo, la aplicación de estas tecnologías en poblaciones pequeñas y con escasos niveles económicos se ha visto limitada por los costos que esto implica. Uno de estos tratamientos consiste en procesos fisicoquímicos, los cuales a pesar de tener la limitante del alto costo en su aplicación, son menos sensibles que los tratamientos biológicos a los cambios repentinos de la composición de las aguas residuales. La literatura con respecto a este proceso de tratamiento es abundante con algunas líneas de investigación que se destacan por el desarrollo y aplicación de nuevos productos (Ramírez, *et al*, sf).

En este trabajo se estudió la utilización del extracto de fique como ayudante en el proceso de coagulación – floculación en el tratamiento de un agua sintética con alto contenido de materia orgánica disuelta, buscando determinar su viabilidad de aplicación y la reducción significativa del coagulante primario. Esto buscó además, proponer una alternativa en la reducción de los costos en la aplicación del proceso tradicional con sulfato de aluminio como coagulante único y dar un reuso a uno de los principales contaminantes producido en la agroindustria del fique.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico establece como principio que el agua es un bien público administrado por el Estado para satisfacer las necesidades básicas, además, determina que el consumo humano del agua será prioritario sobre los demás usos, bajo los principios de la gestión del agua como integralidad y diversidad; ahorro y uso eficiente; la participación y la equidad (Contraloría General de la República, 2012).

Pese a que Colombia es el sexto país con mayor oferta hídrica en el mundo, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible calcula que la mitad de estos recursos tienen problemas de calidad. Según el Informe Nacional sobre la Gestión del Agua en Colombia, elaborado con el apoyo de la Asociación Mundial del Agua y la Comisión Económica para América Latina (Cepal), los sectores que más contribuyen al deterioro del agua y al incremento constante de la contaminación en el país son: agropecuario, industrial y doméstico (Instituto Alexander Von Humboldt, 2011).

El crecimiento poblacional que a su vez, conlleva al incremento del índice de consumo per cápita de agua y dado la generación masiva de residuos está generando a su vez varias problemáticas de tipo social y ambiental causante de diferentes tipos de contaminación, como por ejemplo la producida por los lixiviados generados en los rellenos sanitarios o botaderos a cielo abierto que contienen altas concentraciones de materia orgánica, patógenos, nitrógeno, fósforo, y sustancias tóxicas como metales pesados que son producidos en los rellenos sanitarios (Parra, 2010).

Según el Estudio Nacional del Agua, la demanda hídrica total nacional conformada por los sectores: industrial, doméstico, pecuario, acuícola, energía y agrícola, alcanzó en 2008 un orden de magnitud de 35.877 Mm^3 . Tan solo en el sector industrial la demanda hídrica es de 1.577 Mm^3 destinada para actividades como extracción, conservación o transformación de materias primas o minerales, al acabado de productos o en las actividades de construcción, igualmente como elemento de transferencia de calor en procesos de calentamiento como de enfriamiento (IDEAM, 2010).

Así como existe una demanda hídrica para satisfacer necesidades básicas de las poblaciones también existe la necesidad de desechar el agua después de ser usada de diferentes formas y generalmente se hace a través de los cuerpos de agua más cercanos. La carga orgánica biodegradable total generada en Colombia durante el año 2008 por los sectores doméstico, industrial y cafetero se estimó en 819.235 toneladas, pero se vertieron a los sistemas hídricos 729.300 toneladas, que equivalen a 2.026 toneladas por día aun teniendo en cuenta que se removió el 11% de la carga a través de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo son cifras alarmantes debido a los efectos negativos ocasionados sobre las fuentes receptoras (IDEAM, 2010).

Las coberturas en saneamiento básico han aumentado, pero este crecimiento no se ve compensado con una mejora del impacto sobre el ambiente, dado que no hay un control efectivo de la contaminación hídrica generada, esto debido a que las tecnologías utilizadas resultan ser en su mayoría costosas, y las soluciones que se entregan son de tipo parcial. Algunas disposiciones optadas en el manejo de aguas residuales se basan en la utilización del sistema sanitario convencional, el cual incorpora el flujo del agua para realizar la dilución de residuos y luego son transportadas hasta un lugar donde no generen ningún problema para quien las produce, pero se está trasladando el problema a otro lugar. Por ello las aguas residuales deben ser tratadas antes de ser vertidas en fuentes de agua, de manera eficiente y económica (Sánchez, 2010).

2. JUSTIFICACIÓN

La adición de sustancias o formas de energía que, directa o indirectamente, alteren la naturaleza del cuerpo de agua de manera que perjudique los verdaderos usos que de él se realizan es lo que se denomina contaminación del agua (Von Sperling, 2012). La necesidad de abastecimiento de agua para diferentes usos antrópicos (doméstico, industrial, etc.), y la necesidad posterior de desechar el agua usada devolviéndola al ambiente en condiciones indeseables hacen que sea oportuno tratarlas de forma eficiente. Los efluentes con altos contenidos de materia orgánica (MO) provienen principalmente de los sectores alimenticios, domésticos y agrícolas, y son estos los que comúnmente son vertidos en grandes volúmenes a las fuentes hídricas más cercanas sin un tratamiento eficiente previo, ocasionando contaminación lo que deriva en un perjuicio en los factores ambientales y sociales.

Existen diferentes tecnologías para tratar efluente con cargas considerables de materia orgánica, entre las cuales se destacan los tratamientos biológicos anaerobios que son claves para la remoción de materia orgánica. Algunos como lagunas anaerobias, lechos fluidizados, filtros anaerobios y reactores UASB, reportan altas eficiencias a cargas razonables en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Los procesos biológicos aerobios comprenden desde lagunas aireadas hasta sofisticados sistemas que acoplan reactores biológicos con procesos de ultrafiltración con membranas, su rango de aplicación es muy limitado debido a los altos costos de inversión, operación y mantenimiento (Giraldo, 2003).

Otra alternativa para tratar efluentes consiste en procesos fisicoquímicos como coagulación – floculación que, aunque, la acción fundamental va dirigida a partículas coloidales y a las suspensiones finas, también se amplía a las sustancias disueltas o a las moléculas grandes hidrófilas en dispersión estable como en el caso de las sustancias húmicas (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas) responsables del color en el agua (Gomella & Guerrée, 1977). Estas sustancias disueltas quedan adheridas o adsorbidas por los coágulos - flóculos que son eliminadas por sedimentación.

Para favorecer la formación de flóculos más voluminosos y su sedimentación, se suelen utilizar determinados productos químicos (floculantes), generalmente de naturaleza polimérica entre ellos los más utilizados son sales de aluminio y sales de hierro. Estos floculantes establecen puentes de unión entre los flóculos inicialmente formados. Este proceso se utiliza comúnmente en aguas residuales que tienen un alto poder contaminante y no son muy biodegradables como es el caso de los lixiviados (Ruiz, sf).

Si bien, los efluentes líquidos que contienen MO en altas concentraciones puede ser removida por tratamientos fisicoquímicos utilizando coagulantes como las sales de hierro y de aluminio, generando buenas eficiencias de

remoción, el uso de ayudantes de coagulación y floculación como los polímeros sintéticos y naturales, pueden de una parte mejorar la eficiencia del proceso y de otra reducir las dosis del coagulante primario utilizado (Suárez & Navia, 2007).

Los ayudantes de coagulación de origen natural han comenzado a ser utilizados buscando reemplazar a los sintéticos ya que presentan un bajo costo y sus posibles efectos son de bajo riesgo para el medio ambiente. Diferentes polímeros naturales están siendo utilizados en el proceso de tratamiento de aguas, especialmente en aguas para consumo humano, entre ellos los polímeros extraídos de almidones de yuca, papa y maíz. Sin embargo, la baja estabilidad que presenta el polímero requiere que este sea extraído diariamente para utilizarse en dicho tratamiento (López, sf).

Algunas experiencias en el uso de residuos de fique como ayudantes de coagulación han sido realizadas con efluentes de pastelería, mediante tratamiento fisicoquímico con el fin de remover sólidos que le confieren turbidez y color al agua residual utilizando sales coagulantes. Se efectuaron las pruebas de tratabilidad en un equipo de ensayo de jarras empleando, como variables de control, los parámetros de color, turbiedad, DQO, pH y sólidos disueltos totales. Los resultados obtenidos respecto al uso del coagulante fueron del 17% en remoción de color, 28% en turbiedad, 11% en DQO, empleando combinaciones de 20 mg/L de cloruro férrico hexahidratado como coagulante, y 5 mg/L de extracto de hojas de fique, como adyuvante, a un pH de 4,62. El uso del extracto de hojas de fique, como adyuvante de coagulación de efluentes de industria de pastelería, permite una remoción media, estadísticamente significativa ($P < 0,050$), estimada sobre los valores conseguidos por el coagulante aplicado en aguas con un valor de 775 mg/L de carga contaminante expresada como DQO (Lozano, 2011).

La hoja de fique está compuesta por carotenoides, azúcares, clorofila, ceniza, celulosa, minerales, resinas, saponinas y sapogeninas (Pérez & Quitian, 2009). Las sapogeninas poseen características anfífilas que les permiten actuar como agentes surfactantes biodegradables que, disueltos en el agua, reducen su tensión superficial y actúan como disgregantes de grasas y aceites, por lo que hace el extracto de fique útil como coadyuvante de coagulación química en la remoción de contaminantes presentes en efluentes contaminados con el fin de incrementar las posibilidades de aprovechamiento de la planta (Lozano, 2012).

Determinar y precisar claramente las posibilidades del uso del extracto de fique como ayudante en el proceso de coagulación - floculación en el tratamiento de aguas residuales con altas cargas orgánicas disueltas y poco biodegradables, permitiría no solo la reducción de costos en el reemplazo de polímeros sintéticos por sustancias naturales, sino que también mejoraría la eficiencia del proceso. Adicionalmente ayudaría a superar el problema generado por el vertimiento directo del extracto de la hoja de fique a las

fuentes superficiales, el cual, según Martínez & Caicedo (2002), resulta ser altamente tóxico para los peces y los organismos acuáticos. Otras investigaciones han determinado que fuentes de agua contaminadas con residuos de extracto de hojas de fique pueden alcanzar concentraciones de DQO del orden de los 1000 mg/L, lo cual lo convierte en una sustancia de gran impacto y altamente contaminante (Lozano, 2012).

En el presente documento se realiza el estudio del tratamiento de aguas residuales con alta carga orgánica disuelta mediante el uso del efluente generado en el proceso de transformación del fique, como coadyuvante en el tratamiento por coagulación química para la remoción de contaminantes presentes en muestras sintéticas preparadas en laboratorio.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar el uso del extracto de fique como ayudante de coagulación para el tratamiento de aguas residuales con alta carga orgánica disuelta.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el uso del extracto de fique como alternativa para mejorar la remoción de materia orgánica en el tratamiento fisicoquímico de efluentes con altas cargas orgánicas disueltas.
- Estudiar el uso del extracto de fique como alternativa para la reducción de la dosis del coagulante empleado en el proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de efluentes con altas cargas orgánicas disueltas.

4. REVISION DE LITERATURA

4.1 EXPERIENCIAS EN ESTUDIOS DE LOS MECANISMOS DE REMOCIÓN DE MO DISUELTA POR COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN

Edwards & Amirtarajah (1985), plantean que los mecanismos de remoción de materia orgánica disuelta, tal como el color causado por la presencia de ácidos húmicos y fúlvicos en las aguas (solubles en medio álcali), son similares a los que se presentan en la remoción de turbiedad, aunque presentan unas ligeras diferencias. En el mecanismo de coagulación por barrido a un rango de pH entre 6 y 8, la remoción de turbiedad es más una acción física de atrapamiento y coalición de partículas que causan floculación, mientras que la remoción de la materia orgánica disuelta en este rango de pH, implica la adsorción de los flóculos de hidróxido de aluminio. En el mecanismo de coagulación por neutralización, la remoción de turbiedad se presenta por el revestimiento de los productos solubles o en la fase sólida de los productos de la hidrólisis de aluminio que causan la desestabilización de la partícula, potencializando, el proceso de floculación, mientras que en la remoción de color se forman precipitados de aluminio con las sustancias húmicas. Si bien no hay claridad sobre el mecanismo que forma este precipitado, varias investigaciones muestran evidencia contundente sobre su formación. En los estudios de estos mecanismos, se observa además, una relación estequiométrica entre la concentración de materia orgánica disuelta y la dosis óptima de coagulante, por lo cual ocurre una reversión de cargas por sobredosis, limitando el proceso.

A continuación se mencionan algunas experiencias relacionadas con la remoción de materia orgánica disuelta por medio de coagulación:

Gustafson (2012), demostró una mayor remoción de carbono orgánico disuelto (COD) por medio de coagulación en comparación con la remoción de nitrógeno orgánico disuelto (NOD), el cual fue base de estudio, donde se buscó controlar los precursores de los sub-productos de la desinfección (DBPs) como los trihalometanos (THMs) y ácidos halo acéticos (HAAs).

En el estudio de la fracción de materia orgánica natural (MON) de mayor remoción en el proceso de coagulación-floculación propuesto por Tapia *et al* (2011), se encontró que la fracción hidrofílica dada por la materia orgánica disuelta, fue poco removida (<35 %) en comparación con la hidrofóbica (>65%) en el agua cruda que abastece a dos plantas potabilizadoras en Managua (Nicaragua). Las aguas obtenidas de cada fracción fueron sometidas al proceso de coagulación-floculación-sedimentación a escala de laboratorio usando sulfato de aluminio como coagulante. Se utilizaron parámetros sustitutos para caracterizar dicha MON como carbono orgánico disuelto (COD), color, absorbancia ultravioleta (UV₂₅₄) y absorbancia específica ultravioleta (SUVA). Se determinó que en estas aguas crudas la

fracción hidrofóbica fue la predominante ya que representa 63,6 % y 65 % medidos como COD en los diferentes muestreos analizados.

En el estudio realizado por Cheng *et al* (2004), se evidenció remoción de forma constante de COD en la evaluación de la eficiencia de coagulación para la eliminación del mismo, en aguas provenientes de tres reservorios por medio de luz ultravioleta (UV) e intensidad de fluorescencia (IF). La remoción constante se presentó hasta varias dosis del coagulante empleado, sin embargo, la tasa de velocidad de remoción de COD, disminuyó, cuando se aumentó significativamente las dosis.

4.2 EXPERIENCIAS DE TRATAMIENTOS FISICOQUIMICOS PARA EFLUENTES CON ALTA CARGA ORGÁNICA

Existen diversas experiencias en cuanto a tratamientos de coagulación – floculación en aguas residuales provenientes de sistemas industriales. Se presentan a continuación algunas experiencias relacionadas con tratamientos en aguas residuales con un contenido considerable de carga orgánica.

Tratamientos en efluentes provenientes de procesos de vinaza realizado por Zayas *et al* (s.f.), han demostrado experimentalmente que, por medio de tratamiento fisicoquímico y con la ayuda de coagulantes como sulfato de aluminio y cloruro férrico se obtienen buenas remociones de color, turbidez y DQO. Para este caso, se ha comprobado que la remoción de turbidez y color es del orden del 99,8% con $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y con Al_3SO_4 la remoción de color y turbidez es del orden de 95% y para DQO con un valor de 2.120 mg/L precedida de un tratamiento anaerobio a pH de 8 se alcanza una máxima eficiencia de remoción del 79% y a pH de 8,4 disminuye ligeramente a un 75%. Las dosis de coagulante son muy altas, 20 mg/L para $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y 4 g/L para Al_3SO_4 pero esto es debido a la alta cantidad de materia orgánica que contiene la vinaza.

Otra experiencia que confirma este tipo de tratamiento es en la industria química farmacéutica realizado por Torres *et al*. (s.f.), en donde la alta carga orgánica y la toxicidad que presentan las descargas en esta industria, inhibe los procesos biológicos. Se demostró por medio del proceso de coagulación – floculación - sedimentación que se pueden alcanzar eficiencias de remoción en cuanto a carga orgánica (DQO) de hasta 40,6% por medio de productos como BL-5086 (polímero sintético) con una dosis de 800 ppm y pH de 6,4. Con otro polímero como la goma Guar, se alcanzó una remoción de 37,5% con una dosis de 600 ppm y pH de 6,98, también, utilizando Niad II-3 (poli-hidroxialuminatos) con una dosis de 800 ppm y pH de 6,71 obteniendo remociones de hasta 33,4% y para cloruro férrico con dosis de 1000 ppm y pH de 5,88 se logró una remoción de 28%.

Los lixiviados de los rellenos sanitarios son considerados como contaminantes debido a la alta carga orgánica que presentan y los metales que contienen. Para el caso de los lixiviados se puede citar el estudio hecho por Tatsi *et al* (2003), en donde se usaron coagulantes como sulfato de aluminio, sulfato ferroso, cloruro férrico y cloro-sulfato férrico y mediante el ensayo de jarras hallaron dosis óptimas para cada coagulante. El proceso experimental consiste en tres etapas: la etapa inicial de mezcla rápida por 55 segundos a 200 rpm, etapa de mezcla lenta por 55 minutos a 60 rpm y la etapa de sedimentación durante 1 hora. Con sulfato de aluminio se alcanzó remociones del 39% con dosis de 2 g/L y pH de 7 y para la cal de 18% de DQO con dosis de 7 g/L a pH 12. Adicionalmente, se alcanzó remociones del 70% para la DQO, combinando la acción del aluminio y cloro-sulfato férrico para la estabilización del lixiviado con dosis de aluminio de 0,5 g/L y concentraciones añadidas de cloruro férrico de 1 g/L a pH 10.

4.3 EXPERIENCIAS CON EL USO DEL EXTRACTO DE FIQUE COMO AYUDANTE EN EL TRATAMIENTOS DE EFLUENTES

Lozano (2011) utilizó el extracto de las hojas de fique como ayudante de coagulación en el tratamiento fisicoquímico de efluentes de pastelería de una industria en Bogotá. Realizando pruebas de tratabilidad en un equipo de ensayo de jarras empleando, como variables de control, los parámetros de color, turbiedad, DQO, pH y sólidos disueltos totales. Aunque los efluentes analizados contienen bajas concentraciones de sólidos, se obtuvieron mejoras promedio, respecto del uso del coagulante, del 17% en remoción de color, 28% en turbiedad y del 11% en abatimiento de DQO, empleando combinaciones de 20 mg/L de cloruro férrico hexahidratado como coagulante, y 5 mg/L de extracto de hojas de fique como ayudante, a un pH de 4,62. Por lo anterior, el proceso permitió una remoción media, estadísticamente significativa ($P < 0,050$) en remoción de los parámetros anteriormente mencionados.

De igual forma, Lozano (2012) evaluó el proceso de coagulación - floculación utilizando extracto de fique como ayudante en el proceso de coagulación en lixiviados parcialmente depurados provenientes del relleno sanitario Doña Juana en Bogotá. Este estudio se llevó a cabo, mediante pruebas de tratabilidad en un equipo de ensayo de jarras empleando como coagulante cloruro férrico hexahidratado, se utilizó una dosis óptima de 3000 mg/L con la cual se evidenció los valores más bajos de turbiedad y color 1,36 UNT y 60 UPC respectivamente. Posteriormente, se realizaron diferentes ensayos para determinar la dosis óptima de extracto de hojas de fique. Fijando la dosis óptima de cloruro férrico se varían las dosis del extracto de fique hasta tener un abatimiento en los valores de turbiedad y color. La dosis seleccionada para las hojas del extracto de fique fue de 40 mg/L. Con la combinación de cloruro férrico como coagulante primario y el extracto de las hojas de fique como ayudante de coagulación en tratamiento de lixiviados, se obtuvieron

mejoras promedio del 15 % en remoción de turbiedad y del 9 % en DQO. Inicialmente el lixiviado tratado parcialmente posee una DQO promedio de 1803 mg/L y valores promedio de turbiedad y color de 96 UNT y 3000 UPC respectivamente, utilizando la combinación cloruro férrico-extracto de fique se evidencia el efecto que tuvo sobre dichos parámetros, dando como resultado una DQO de 701 mg/L, turbiedad de 0,94 UNT y color 70 UPC. Dichos resultados demuestran un efecto importante del extracto de fique como ayudante de coagulación en la remoción de parámetros nombrados anteriormente.

En el estudio realizado por Fuyer & Moreno (2014), se determinó que el extracto de fique como ayudante de coagulación no tiene un efecto significativo en la remoción de color, sin embargo, la remoción en turbiedad fue de 7% y 10% con respecto a la remoción propia de los coagulantes evaluados respectivamente (sulfato de aluminio y cloruro férrico) para tratar un agua sintética con características similares al río Las Piedras de Popayán (Colombia). Adicionalmente, se evidencio que el extracto de fique en el proceso no aporta materia orgánica de forma significativa medida indirectamente por absorbancia UV 254 nm.

5. METODOLOGÍA

El desarrollo metodológico se llevó a cabo en cuatro fases:

- **Fase I:** Fase preliminar.
- **Fase II:** Preparación y evaluación del extracto de fique.
- **Fase III:** Comparación de los resultados obtenidos con el coagulante primario con y sin extracto de fique.
- **Fase IV:** Evaluación en la reducción de coagulante primario.

La investigación se realizó en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad del Cauca donde se cuenta con los instrumentos para determinar los parámetros de control requeridos.

5.1. FASE I: ACTIVIDADES PRELIMINARES

En esta fase se realizaron las siguientes actividades: Preparación del agua residual sintética (ARS), determinación de dosis óptima del coagulante primario (DOC) y tiempo de mezcla rápido (TMR), determinación de gradiente, tiempo óptimo de floculación (TOF) y tiempo de sedimentación (TS).

5.1.1. Preparación del agua residual sintética (ARS)

El agua residual sintética que simula los componentes de un agua residual típicamente doméstica pero con un exceso considerable de glucosa utilizada como el único compuesto que brinde materia orgánica, se preparó a diario con un volumen de 13 litros para la realización de las pruebas de jarras y los demás parámetros requeridos a calcular, buscando soluciones homogéneas para permitir así, obtener una igual composición fisicoquímica en cada ensayo, evitando que puedan presentarse grandes variaciones en las características que conduzcan a errores en la medición final de la eficiencia del proceso.

Como se requiere preparar un ARS con alta carga orgánica, en este aspecto se tomaron como referencias valores típicos característicos de algunos efluentes tales como lixiviados intermedios de edad entre 5 y 6 años (tabla 1), agua residual proveniente de la industria avícola y agua residual proveniente de mataderos (tabla 2). Debido a que tanto los metales pesados como otras sustancias químicas presentes en algunas de estas aguas no fueron objeto de estudio en el presente trabajo, no se incluyeron en la preparación del ARS.

Tabla 1. Características típicas de los lixiviados

Parámetro	Unidad	Relleno Sanitario (R.S) Nuevo < 2 años		R.S. maduro > 10 años
		Rango	Típico	
DBO ₅	mg/L	2000-30000	10000	100- 200
DQO	mg/L	3000-60000	18000	100-500
SST	mg/L	200-2000	500	100-400
N _{org}	mg/L	10-800	200	80-120
P	mg/L	5-100	30	5-10
pH	Unidad	4-7,5	6	6,6-7,5

Fuente: Tchobanoglous, citado por Salazar y Saavedra, 2009

Tabla 2. Características típicas de Aguas residuales provenientes de una industria avícola y matadero

Constituyente	Avícola (Caldera <i>et al.</i> , 2010) Concentración (mg/L)			Matadero (Benavidez, 2006) Concentrado (mg/L)	
	Valores máximos	Valores mínimos	Valores medios	Valores Medios	Valores Máximos
DQO	1815	1255	1584	3500	10000
DBO ₅	1357	993	1136	1300	6500
SST	653	443	544	700	2700
NTK	123	102	110	300	6500
P	17	6,5	9,6	-	-
pH	6,5	6,3	6,4	6,5 - 8	6 – 8,5

Fuente: Elaboración propia

Por lo anterior, se preparó un ARS con un valor comprendido entre 1000 mg/L y 1500 mg/L de DBO₅ para dotarla de una alta carga orgánica y valores de DQO entre 2400 mg/L y 3500 mg/L para asegurar la poca biodegradabilidad del sustrato ($DBO_5/DQO \leq 0,4$).

La preparación del ARS estaba basada en primera instancia, al modelo utilizado por Serna *et al.* (2012) (Tabla 3), sin embargo se requirió ajustarlo a los valores de DQO y DBO establecidos, utilizando por medio de ensayos progresivos, concentraciones mayores de la glucosa (C₆H₁₂O₆) como el único aportante de materia orgánica, buscando además, la saturación de la misma y de esta forma superar su límite de solubilidad, para obtener con ello, tanto materia suspendida como soluble. De igual manera, se ajustaron los fosfatos (KH₂PO₄ y K₂HPO₄) que funcionaron como sustancias tampón o Buffer del modelo, cambiando, el fosfato dihidrogenado de potasio (KH₂PO₄) por el fosfato trisódico (Na₃PO₄) que permitió establecer el pH a un valor por encima de 8 unidades, con una adecuada alcalinidad para el proceso (mayor a 100 mg/L CaCO₃). Esto último, es requerido para mejorar la efectividad en los tratamientos de coagulación – floculación (Murillo, 2011).

Tabla 3. Composición del Agua Residual sintética utilizada por Serna et al. (2012)

Compuesto	Cantidad (mg/L)
NH ₄ Cl	272,60
MgCl ₂	275,52
C ₆ H ₁₂ O ₆	375,0
K ₂ HPO ₄	25,50
KH ₂ PO ₄	62,25

Se llevaron a cabo los siguientes pasos en la preparación y ajuste del agua residual sintética de la tabla 3, con el fin de obtener las condiciones adecuadas de tratabilidad:

1. Se adicionaron en 1 litro de agua de la red de abastecimiento, las cantidades de cada constituyente propuesto en la tabla 3, agregando Na₃PO₄ en lugar de KH₂PO₄ que constituye el reactivo básico del sistema amortiguador. Se homogenizó la muestra agitando continuamente con una varilla de vidrio.
2. Se determinó la alcalinidad, pH, DQO y DBO₅ de la muestra como punto de partida para el ajuste del ARS.
3. Con los valores obtenidos de DQO y DBO₅, se realizó el ajuste del agua haciendo nuevos ensayos de prueba y error en muestras de 1 litro, para esto, se adicionó progresivamente mayores cantidades de glucosa en cada nuevo ensayo después de obtener los valores de DQO y DBO₅ del ensayo anterior, repitiéndose el procedimiento hasta alcanzar los rangos deseados de estos parámetros.
4. Después de adaptados los valores de DQO y DBO₅ en la muestra, se procedió a ajustar el pH y la alcalinidad a los valores requeridos (mayor a 8). Se hicieron nuevos ensayos de prueba y error con la adición progresiva de mayores cantidades de Na₃PO₄ y fosfato dipotásico hidrogenado (K₂HPO₄), este último en proporciones menores que el anterior. Se determinó respectivamente el pH después de cada adición hasta obtener el valor adecuado.
5. Por último, con el ajuste total del ARS para 1 litro de agua de la red de abastecimiento (tabla 4), se realizó el cálculo de las cantidades correspondientes para cada constituyente en la preparación de 13 litros requeridos de muestra diaria.

Tabla 4. Composición final del Agua Residual Sintética

Compuesto	Cantidad (mg/L)
NH ₄ Cl	461,54
MgCl ₂	482,31
C ₆ H ₁₂ O ₆	3340
K ₂ HPO ₄	153,85
Na ₃ PO ₄	1923,08

Fuente: Ajustado de Serna et al. (2012)

5.1.2 Preparación del coagulante empleado

El coagulante empleado fue sulfato de aluminio (Al₂SO₄)₃ tipo A, el cual se procedió a diluirlo en agua destilada hasta alcanzar una concentración de 1% P/V.

5.1.3 Obtención del extracto de fique

El extracto de fique se obtuvo manualmente en la Finca “El Oasis”, ubicada en la vereda las Guacas del municipio de Popayán (Cauca). En el procedimiento de extracción, las hojas fueron maceradas y exprimidas, y luego almacenadas en un recipiente plástico limpio y rotulado para luego ser transportadas a las instalaciones del laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria (figura 1). Para obtener un extracto libre de grumos y material suspendido, se filtró a través de un geotextil NT 2000 de Pavco y una motobomba. Una vez filtrado el jugo del fique se procedió a diluirlo a una concentración del 1% v/v (ver anexo 7).



Figura 1. Obtención del extracto de fique (sin dilución)

5.1.4 Parámetros y equipos de medición

Para llevar a cabo los ensayos de tratabilidad, se utilizó un equipo de jarras para simular el proceso de coagulación – floculación - sedimentación. Los parámetros medidos para determinar la calidad del agua antes y después del tratamiento, se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5. Parámetros de calidad requeridos en el estudio

Variable	Equipo de medición	Método estándar *
	Equipo de jarras Phipps & Bird, INC	
Turbiedad (NTU)	HACH 2100N	2130 B.
Color (UPC)	Espectrofotómetro HACH DR/2010	2120 C.
pH (unidades)	pHmetro HACH HQ40d	4500 H
Alcalinidad	Montaje para titulación (bureta, erlenmeyer, agitador mecánico)	2320 B.
Absorbancia UV 254 nm	Espectrofotómetro Merck Pharo 300	
Demanda química de oxígeno (DQO)	Espectrofotómetro Merck Pharo 300	5220 D
Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO ₅)	DBO TRACK HACH	2540 C

*APHA, AWWA & WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater, (2005).

Fuente: elaboración propia.

Nota 1: Para la determinación de la alcalinidad total se utilizó el método titulométrico con solución titulante de ácido sulfúrico (H₂SO₄) 0.02 N.

Nota 2: La DBO₅ solo se tuvo en cuenta en la preparación y ajuste del agua residual sintética para definir las características adecuadas de materia orgánica y su biodegradabilidad. Por lo que los estudios y análisis correspondientes a la eficiencia en la remoción de carga orgánica del proceso fueron enfocados en el abatimiento de DQO y absorbancia.

5.2 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE COAGULACIÓN, FLOCULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN

Se determinó la dosis óptima por medio de ensayos de jarras utilizando diferentes rangos para alcanzar un rango total que inició en 20 mg/L hasta 440 mg/L. Después, se acertó a un rango equivalente las dosis de coagulante en donde se definió la dosis óptima del mismo para apreciar con mayor claridad las gráficas correspondientes a cada parámetro de estudio y justificar su escogencia.

5.2.1 Justificación para selección de tiempos y gradientes de mezcla rápida, mezcla lenta y tiempo de sedimentación

Se seleccionaron como parámetros de tratabilidad los descritos en la tabla 6 para cada una de las fases basados en la referencia de Longsdon *et al.* (citado por Lozano, 2012). Esto, debido a la similitud del tratamiento y a los resultados obtenidos en remoción de parámetros como DQO (15%) y turbiedad (9%).

Tabla 6. Velocidades de mezcla y tiempos respectivos en cada etapa de la prueba de tratabilidad

Fase	Velocidad de mezcla (RPM)	Tiempo (min)
Mezcla rápida	300	1
Mezcla lenta	30	20
Sedimentación	0	30

Fuente: Adaptado de Lozano, 2012.

5.2.2 Determinación de dosis óptima de coagulante (DOC)

Después de haber preparado 13 L de agua residual sintética, se procedió a llenar las jarras de 2 L cada una, para después, realizar el montaje en el equipo de jarras, se hizo agitar las paletas a 300 RPM durante un minuto simulando el proceso de mezcla rápida y, seguidamente, se agregaron diferentes dosis de sulfato de aluminio (desde 20 mg/L hasta 440 mg/L) a una concentración de 1% p/v en diferentes pruebas de jarras. Pasado el minuto, se inició el proceso de floculación a 30 RPM durante 20 minutos y finalmente, se produjo la sedimentación en un tiempo de 30 minutos. Después de la sedimentación se tomó una muestra de cada jarra para medir turbiedad, color pH, absorbancia y DQO. Este procedimiento se repitió nueve veces en diferentes días con el fin de obtener resultados precisos en los parámetros de calidad del agua.

5.2.3 Comportamiento del pH

El pH se ajustó al momento de la preparación del agua residual sintética, al adicionar el NH_4Cl , MgCl_2 , la glucosa y KH_2PO_4 , se presentó un pH ligeramente ácido igual a 5,37 unidades, posteriormente se agregó Na_3PO_4 ya que tiene la capacidad para formar el buffer y al mismo tiempo actúa como base permitiendo el aumento y la estabilización del pH en 8,16 unidades, el cual es un pH adecuado para llevar a cabo eficientemente los procesos de coagulación y floculación en la zona de barrido.

5.3 FASE II: PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DEL USO DEL EXTRACTO DE FIQUE

Se pretende con esta fase desarrollar el objetivo 1, en donde se determinará la dosis óptima de extracto de fique (DOF) para ser usado como ayudante en el tratamiento por coagulación - floculación evaluando el grado de incidencia del mismo en el proceso.

5.3.1 Determinación de la dosis optima del extracto de fique como ayudante de coagulación

Para llevar a cabo esta etapa se utilizó el extracto de fique a una concentración de 1% v/v utilizando la dosis óptima y los demás parámetros de operación hallados en la fase I. Se realizaron las pruebas de jarras utilizando diferentes dosis de extracto de fique (0,5; 1; 1,5; 2, 3, 4, 5, 6, 8 y 10 mg/L) como ayudante en el proceso de tratamiento, la jarra 1 se dejó como control, es decir, no se agregó ninguna dosis de extracto de fique. Terminada la etapa de sedimentación se tomaron las muestras de cada jarra y se midieron los parámetros de control (turbiedad, color y pH), también se midió absorbancia y DQO como parámetros para determinar el aumento o disminución del contenido de materia orgánica disuelta del agua tratada.

5.4 FASE III: COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON EL COAGULANTE PRIMARIO CON Y SIN EL EXTRACTO DE FIQUE COMO AYUDANTE DE COAGULACIÓN

Se analizaron los resultados obtenidos en las fase II para la evaluación del uso del extracto de fique como ayudante de coagulación, por medio de la aplicación del programa estadístico Statgraphics, en el cual, se realizaron las comparaciones entre los resultados obtenidos para establecer si existen diferencias significativas en los aportes alcanzados por las dosis de extracto de fique con respecto a las dosis de sulfato de aluminio ubicadas como control.

Para realizar las comparaciones requeridas, el programa ejecutaba los análisis de varianza empleando ANOVA o Kruskal – Wallis, construyendo varias pruebas y gráficas para comparar los valores medios en los 6 diferentes niveles de dosis con extracto de fique por cada parámetro y dentro de cada rango establecido (0,5 a 3 mg/L y 4 a 10 mg/L).

La prueba-F en la tabla ANOVA determinó si existían diferencias significativas entre las medias ($P < 0,05$). De existir, se ejecutarían las pruebas de rangos múltiples que permite saber cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Para aplicar ANOVA, fue necesario analizar previamente, la distribución normal de los datos y la homogeneidad en sus varianzas, mediante la prueba de Shapiro Wilk y el test de Levene's

respectivamente. Para datos atípicos, se optaba por ejecutar la prueba de Kruskal-Wallis que compara las medianas en lugar de las medias. Las diferentes gráficas obtenidas ayudaron a juzgar la significancia práctica de los resultados, así como, encontrar las posibles violaciones de los supuestos subyacentes en el análisis de varianza (Abraira & Pérez, 1996).

5.5 VIABILIDAD PARA LA APLICACIÓN DE LA FASE IV: EVALUACIÓN EN LA REDUCCIÓN DE COAGULANTE PRIMARIO

Debido a la imposibilidad de determinar la dosis óptima del extracto de fique no resultó viable efectuar esta fase.

6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con la metodología descrita, se buscó realizar las actividades correspondientes a cada fase en donde, la viabilidad de iniciar la fase subsiguiente dependió de la efectividad obtenida de las fases anteriores.

Inicialmente, se buscó el acondicionamiento del agua residual sintética (ARS) según las características requeridas para el proceso, para después, realizar pruebas de jarras correspondientes para la determinación de la dosis óptima del coagulante primario, utilizando los demás parámetros de acuerdo con la literatura (gradiente y tiempo de mezcla rápida y lenta y tiempo de sedimentación).

6.1 FASE I: RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS PRELIMINARES

6.1.1 Parámetros del agua residual sintética

Realizando los pasos descritos en la metodología para el ajuste de las condiciones iniciales del agua residual sintética, se obtuvieron los valores promedios descritos en la tabla 7. Cada valor dentro del promedio para cada parámetro se tomó después de la preparación diaria del ARS antes de iniciar cada prueba de jarras.

Tabla 7. Parámetros de calidad promedios del agua sintética

Parámetro	Turbiedad (UNT)	Absorbancia	Color (UPC)	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	Alcalinidad (mgCaCO ₃ /L)	pH
Promedio	25,3	0,094	178,4	2495,6	2280	130,2	8,2

Fuente: Elaboración propia

Como puede apreciarse, se obtuvo en promedio un ARS con alto contenido de materia orgánica representado principalmente en DQO, DBO₅ y de forma indirecta en la absorbancia, alcanzando los rangos propuestos en la metodología para estos parámetros, de tal manera que el agua preparada tomó similares características a un efluente con alto contenido de materia orgánica como es el caso de los efluentes de industrias avícolas, mataderos y lixiviados jóvenes de referencia (sin tener en cuenta los contenidos de metales pesados presentes en estos últimos). La turbiedad obtenida de 25,3 UNT es baja en comparación con los valores típicos de una fuente contaminada de calidad deficiente (40-150 UNT), y el color obtenido de 178,4 UPC es propio de una fuente de calidad muy deficiente (>40 UPC) (RAS, 2000). Estos valores en turbiedad y color se deben, principalmente, a la solubilidad propia de la glucosa que aporta materia orgánica disuelta y en menor proporción aporta materia orgánica suspendida debido a la saturación que se realizó de la misma. El pH se ajustó en el momento de preparación del ARS y se mantuvo un valor promedio en 8,16 unidades, lo cual, es conveniente para la efectividad del proceso de coagulación. El ARS también

presentó una buena alcalinidad, lo que permite mantener la capacidad del buffer con los fosfatos adicionados. El agua preparada antes de ser utilizada se agitó manualmente para garantizar su homogeneidad.

6.1.2 Selección de dosis óptima de coagulante (DOC)

Preparando inicialmente el sulfato de aluminio o alumbre utilizado como coagulante primario como dilución de 1% p/v, se procedió a realizar las pruebas de jarras respectivas utilizando diferentes concentraciones de coagulante que fueron desde 20 mg/L hasta 440 mg/L (ver anexo 7).

Se realizaron en total 9 pruebas de jarras, cuyos datos pueden verse con más detalle en el anexo 1. En la tabla 8 se presentan los resultados promedio obtenidos de las pruebas de jarras realizadas en un rango acertado del total de dosis utilizadas debido a que se hace visible una mayor remoción de los parámetros medidos en las dosis de coagulante inferiores a 200 mg/L. La turbiedad, absorbancia y DQO son los parámetros utilizados como los principales indicadores para la escogencia de la dosis óptima.

Tabla 8. Resultados promedios obtenidos en pruebas de jarras para elegir dosis óptima

Dosis (mg/L)	pH (Unidades)	Turbiedad (UNT)	Absorbancia	Color (UPC)	DQO (mg/L)
20	7,68	2,7	0,028	73,0	2185
40	7,68	2,1	0,028	68,1	2099
50	7,64	1,9	0,030	81,5	2190
60	7,59	2,0	0,031	70,1	2084
70	7,46	1,9	0,029	68,2	2070
80	7,49	1,8	0,025	67,4	2065
86	7,41	2,8	0,032	78,0	2345
90	7,36	1,9	0,028	70,5	2270
96	7,32	1,9	0,029	76,0	2125
100	7,36	1,9	0,032	71,4	2069
110	7,27	2,0	0,034	79,0	2270
120	7,21	2,1	0,033	67,3	2132
130	7,11	1,9	0,030	79,0	2240
140	7,12	2,0	0,032	69,0	2153
160	7,08	1,9	0,033	65,5	2345
200	6,83	2,2	0,032	66,4	2156

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la anterior tabla, no se presentaron grandes variaciones entre los valores obtenidos de las dosis de coagulante utilizadas en parámetros como pH, turbiedad, absorbancia y DQO. Sin embargo, algunas dosis

presentaron variaciones uniformes en los parámetros medidos que pueden apreciarse con mayor detalle en las figuras que se presentan a continuación.

En la figura 2, se puede apreciar las variaciones presentadas para los parámetros de turbiedad y color permitiendo tener una primera aproximación en la escogencia de la dosis óptima de coagulante. En las dosis de 50, 70 y 80 mg/L se aprecian altas remociones en turbiedad, siendo ésta última dosis la que presenta el valor más bajo con 1,82 UNT. También, se observan menores valores de color con dosis altas de 120, 160 y 200 mg/L; sin embargo, para la dosis de 80 mg/L se presenta una disminución considerable de 67,40 UPC siendo la más baja en un rango acortado de 20 mg/L a 100 mg/L.

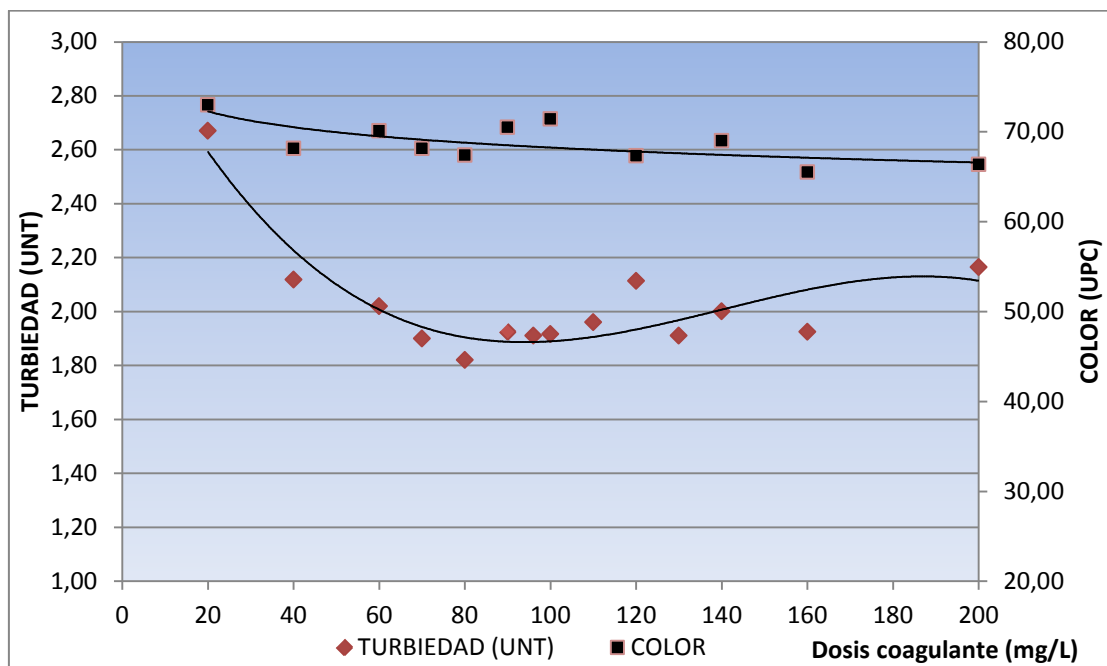


Figura 2. Comportamiento en turbiedad y color con las dosis de coagulante utilizadas

De igual forma, en la figura 3 se puede observar que, tanto para la DQO como para la absorbancia no se presentan grandes variaciones en los valores promedios obtenidos de las dosis de coagulante utilizadas después de realizar las pruebas de jarras, siendo estos parámetros los indicadores de materia orgánica. Lo anterior es adecuado si se requiere posteriormente evaluar la eficiencia del extracto de fique a partir de los que remueve el coagulante primario utilizado (sulfato de aluminio) en la medición de estos parámetros especialmente. Sin embargo, para la escogencia de la dosis óptima de coagulante es necesario escoger la que presenta los valores más bajos obtenidos. Por lo anterior, puede apreciarse que con 80 mg/L se obtuvo un valor de 0,025 en absorbancia y 2065 mg/L en DQO que son los puntos más bajos de las curvas respectivas.

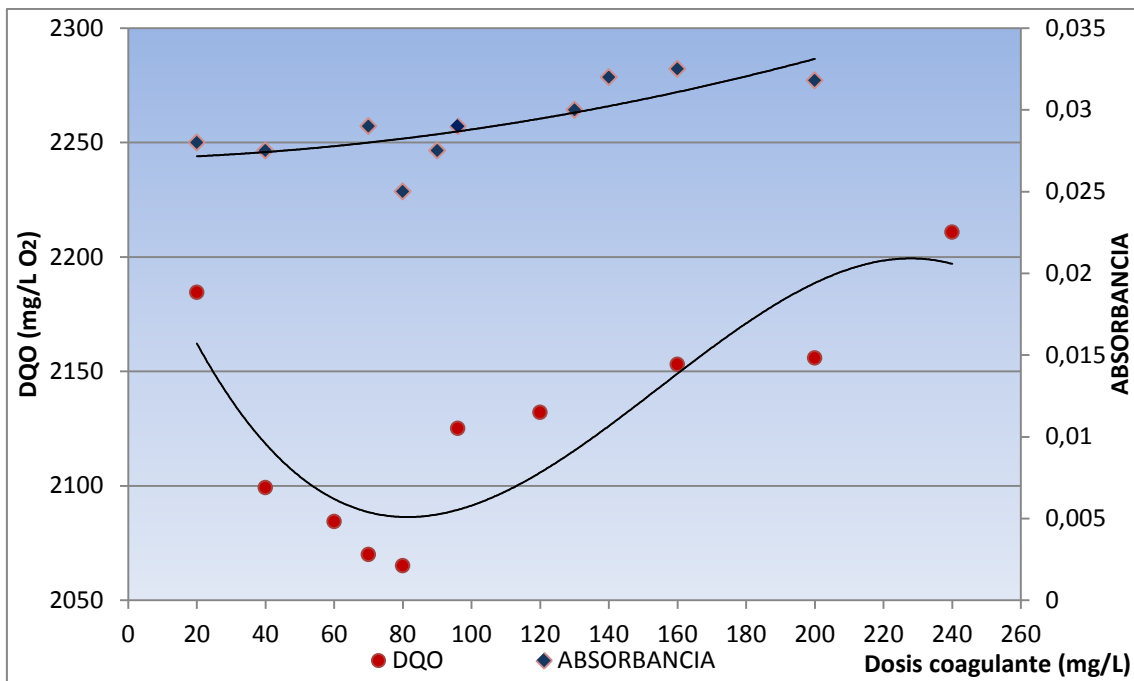


Figura 3. Comportamiento en DQO y Absorbancia con las dosis de coagulante utilizadas

Finalmente, de acuerdo con los resultados discutidos anteriormente, se escogió 80 mg/L como dosis óptima del coagulante, siendo esta dosis la que presentó los menores valores respecto a los parámetros evaluados, alcanzando valores de turbiedad de 1,82 UNT, color 67,40 UPC, DQO igual a 2065 mg/L y absorbancia de 0,025. Además, al ser una dosis intermedia del rango utilizado, permite favorecer los costos respecto a utilizar dosis superiores a esta. Se destaca también, que el pH se mantiene dentro de un rango estable y óptimo de 6,5 a 8 unidades de acuerdo con Murillo (2011), sin presentarse grandes variaciones antes y después del proceso de coagulación – floculación, favoreciendo la efectividad del mismo.

6.2 FASE II: RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN DEL USO DEL EXTRACTO DE FIQUE COMO AYUDANTE DE COAGULACIÓN

Buscando desarrollar el objetivo 1 propuesto, se empleó el extracto de fique objeto del presente trabajo, para determinar su efecto como ayudante de coagulación utilizando la dosis óptima determinada de sulfato de aluminio como coagulante primario. Para esto, previamente se diluyó el extracto de fique recolectado a 1% v/v como se describió en la metodología (ver anexo 7). Se realizaron nuevos ensayos de pruebas de jarras en el laboratorio, en donde, la dosis óptima de coagulante se mantuvo constante variándose las dosis con extracto de fique y utilizándose un control el cual solo se le adicionó el coagulante primario como punto de comparación que permitió

determinar las eficiencias del tratamiento en los parámetros de calidad: DQO, absorbancia, turbiedad y color. Estos ensayos se llevaron a cabo bajo las mismas condiciones de operación utilizadas en la fase anterior para determinar la dosis óptima de coagulante, por lo que, el tiempo de mezcla rápida fue de 1 minuto a 300 RPM, el tiempo de mezcla lenta fue de 20 minutos a 30 RPM y el tiempo de sedimentación fue de 30 minutos. Se realizaron en total diez (10) pruebas de jarras con diferentes dosis de extracto de fique (0,5 a 10 mg/L) incluyéndose el control respectivo. Lo anterior, puede verse con más detalle en el anexo 2

Las condiciones de calidad iniciales promediadas del agua residual sintética fueron: turbiedad de 25,3 UNT, color 178,4 UPC, absorbancia de 0,094, DQO de 2496 mg/L, alcalinidad de 130,2 mg/L CaCO_3 y un pH de 8,16 unidades. Los valores conseguidos en alcalinidad y pH, permitieron mantener un eficiente proceso de coagulación y favorecer el efecto del compuesto buffer utilizado.

6.2.1 Comparaciones para estimar el efecto del fique como ayudante de coagulación en la remoción de materia orgánica

Para evaluar la remoción de materia orgánica, o su aumento, generada por el extracto de fique, se realizaron mediciones en DQO y absorbancia después de cada prueba de jarras.

En la tabla 9 se registran los valores promedios obtenidos al realizarse las 10 pruebas de jarras correspondientes para los dos rangos de dosis con extracto de fique definidos en los parámetros de DQO y absorbancia que además, contiene los valores promedios obtenidos en los controles respectivos utilizando de forma fija la dosis óptima de coagulante de 80 mg/L.

Tabla 9. Resultados promedio obtenidos para DQO y absorbancia

Dosis extracto de fique (mg/L)	Valores promedio de DQO (mg/L)	Valores promedio de absorbancia
0	2194	0,039
0,5	2214	0,037
1	2215	0,044
1,5	2087	0,044
2	2164	0,047
3	2162	0,040
0	2200	0,035
4	2510	0,042
5	2530	0,039
6	2560	0,042
8	2648	0,041
10	2642	0,038

Fuente: elaboración propia

En la anterior tabla, se puede apreciar, que dentro del rango correspondiente a 4 mg/L hasta 10 mg/L, se presenta un aumento de la DQO encontrándose en este rango el mayor valor promedio registrado de 2643 mg/L para la dosis de 10 mg/L siendo visiblemente superior al obtenido en el control para este parámetro. Por consiguiente, se destaca que, con dosis mayores a 4 mg/L se aumenta la DQO, esto debido, a que, el extracto de fique posiblemente realiza un aporte promedio de materia orgánica que se puede corroborar con los valores obtenidos en absorbancia para este rango, la cual, registró valores promedios mayores a los obtenidos en el control respectivo, aunque, sin una gran variación dentro del rango total utilizado. Los porcentajes en remoción de materia orgánica y el aporte promedio respectivo de cada dosis con extracto de fique en comparación con el control se presentan en la siguiente a tabla.

Tabla 10. Porcentajes de remoción en materia orgánica (DQO y Absorbancia) y el aporte promedio correspondiente del extracto de fique

Dosis extracto de fique (mg/L)	% DQO	% Aporte extracto de fique	% Absorbancia	% Aporte extracto de fique
0	12,09		58,51	
0,5	11,27	-0,82	60,43	1,91
1	11,25	-0,83	53,40	-5,11
1,5	16,38	4,30	52,77	-5,74
2	13,30	1,21	50,21	-8,30
3	13,38	1,29	57,23	-1,28
0	11,84		62,77	
4	-0,59	-12,42	55,32	-7,45
5	-1,37	-13,21	58,51	-4,26
6	-2,60	-14,43	55,32	-7,45
8	-6,09	-17,93	56,81	-5,96
10	-5,86	-17,70	60,00	-2,77

Fuente: Elaboración propia

Los valores negativos de la anterior tabla, corresponden a los incrementos promedio presentados en la DQO y absorbancia con las dosis de extracto de fique utilizadas, por lo que, se aprecia con mayor detalle, que en las dosis superiores a 4 mg/L, el extracto de fique no realizó un aporte promedio en la remoción de DQO y por el contrario aumenta su concentración con respecto al control establecido. También, se puede apreciar, disminuciones en los porcentajes de remoción de DQO en las dosis de 0,5 y 1 mg/L de extracto de fique, pero, en menor proporción que las anteriormente evaluadas generando, valores negativos, que implican, el aumento de materia orgánica utilizando estas dosis. El rango de dosis entre 1,5 mg/L a 3 mg/L presentó un aporte promedio en la remoción de DQO, obteniéndose para la dosis de 1,5 mg/L la mejor eficiencia con 16,38%, en el cual, el aporte del extracto de

fique fue del 4,3%. No obstante, la absorbancia arrojó valores negativos en las dosis, salvo para 0,5 mg/L de extracto de fique, indicando ligeras disminuciones de las eficiencias en la remoción de este parámetro sin presentarse grandes variaciones entre estos.

Estos aportes promedios conseguidos (positivos o negativos) por el extracto de fique tanto para DQO como absorbancia, fueron evaluados posteriormente por los métodos estadísticos descritos en la metodología, para determinar su significancia con respecto a la eficiencia conseguida por el coagulante primario en los controles establecidos. Esto permitirá, evaluar con mayor rigor la tratabilidad y viabilidad del uso de extracto de fique.

6.2.2 Comparaciones para estimar el efecto del fique como ayudante de coagulación en la remoción de turbiedad y color

Para determinar las posibles remociones dentro de los parámetros de turbiedad y color, se realizaron las respectivas mediciones en el laboratorio después de cada prueba de jarras utilizando, de igual forma, la dosis óptima de coagulante primario de forma fija y reiterada en cada jarra y la posterior adición de cada dosis con extracto de fique establecidas, excepto la jarra dispuesta como control.

En la tabla 11 se registran los valores promedios obtenidos de las 5 pruebas de jarras realizadas para cada rango de dosis de extracto de fique determinado (10 pruebas en total) en los parámetros de turbiedad y color. También, se registran los valores promedios de pH que permitieron observar las variaciones presentadas en el tratamiento y que pudieran influir potencialmente en las deficiencias de remoción obtenidas.

Tabla 11. Resultados promedio obtenidos para turbiedad y color

Dosis (mg/L)	Valores promedio de turbiedad (UNT)	Valores promedio de color (UPC)	Valores promedio de pH
0	2,0	88,0	7,61
0,5	2,0	80,5	7,67
1	2,0	81,9	7,64
1,5	1,9	83,9	7,65
2	2,0	80,3	7,66
3	2,1	83,8	7,63
0	2,2	87,4	7,65
4	2,3	92,1	7,62
5	2,1	88,2	7,62
6	2,1	90,1	7,62
8	2,2	89,9	7,63
10	2,2	88,7	7,62

Fuente: Elaboración propia

De los anteriores promedios, se puede observar que los parámetros de turbiedad y color no presentaron grandes variaciones con respecto a la muestra control en cada rango dispuesto. Sin embargo, se presentaron algunos incrementos indicando un aporte promedio del extracto de fique. En los valores de pH obtenidos se puede apreciar que no se presentaron grandes variaciones antes y después del tratamiento, y con respecto al control dispuesto en cada rango de dosis con extracto de fique establecido, por lo que, los valores promedios se encuentran dentro del rango óptimo requerido (6,5 a 8 unidades) para favorecer un adecuado proceso de coagulación – floculación y como consecuencia se puede concluir que el extracto de fique no ejerce un efecto considerable en el pH.

En la siguiente tabla se presentan los porcentajes de remoción determinados para turbiedad y color, además del aporte promedio respectivo de cada dosis de extracto de fique utilizado.

Tabla 12. Porcentajes de remoción en Turbiedad y Color y el aporte correspondiente del extracto de fique

Dosis extracto de fique (mg/L)	% Turbiedad	% Aporte extracto de fique	% Color	% Aporte extracto de fique
0	92,21		50,53	
0,5	92,26	0,05	54,88	4,35
1	92,28	0,07	54,11	3,59
1,5	92,54	0,32	52,99	2,46
2	92,22	0,01	54,97	4,44
3	91,90	-0,31	53,04	2,51
0	91,23		51,01	
4	91,03	-0,20	48,40	-2,61
5	91,80	0,57	50,56	-0,45
6	91,57	0,34	49,52	-1,49
8	91,13	-0,09	49,60	-1,41
10	91,32	0,09	50,27	-0,74

Fuente: Elaboración propia

De los anteriores porcentajes, se pueden apreciar las pequeñas variaciones presentadas en turbiedad y Color. Además, se muestran las deficiencias obtenidas en la remoción efectuada por las dosis de extracto de fique, con respecto a los controles comparados representadas en los valores negativos de la tabla, indicando la disminución de los porcentajes mostrados.

En turbiedad, se presentó las mayores remociones en las dosis de extracto de fique: 1,5, 5 y 6 mg/L. La mayor remoción corresponde a 5 mg/L con 91,80% del cual corresponde 0,57% como aporte del extracto de fique, seguido por dosis de 6 mg/L con una remoción de 91,57 % de donde se obtiene 0,34% de aporte del extracto.

La dosis de 1,5 mg/L presentó un aporte promedio del extracto de 0,32% dentro de la remoción total evaluada de 92,54%, lo cual permitió inferir, que esta podría ser la dosis óptima obtenida de extracto de fique, debido a que, presenta un comportamiento promedio uniforme dentro de todos los parámetros de calidad evaluados, salvo para absorbancia, que presentó ligeras deficiencias en las mayoría de las dosis establecidas y que no permite definir un rango de dosis eficiente para este parámetro. Por lo anterior, se aplicó el análisis de datos estadísticos para determinar el nivel de significancia en los aportes promedios conseguidos por las distintas dosis con extracto de fique utilizadas, para definir con mayor precisión y rigor científico la dosis óptima requerida que permitiera continuar hacia la siguiente fase del estudio.

6.3 FASE III: PROCESAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Como se mencionó en la metodología, se realizaron las pruebas estadísticas de análisis de varianza (ANOVA o Kruskal-Wallis para los casos donde no se cumplió con las condiciones de aplicación), efectuadas mediante el programa estadístico Statgraphics con el fin de establecer si las dosis con extracto de fique genera algún efecto significativo sobre los parámetros de calidad analizados del agua tratada (turbiedad, color, absorbancia y DQO). Los datos fueron procesados estadísticamente dentro de cada rango utilizado con las diferentes dosis con extracto de fique: 0,5 – 3 mg/L y 4 - 10 mg/L. Lo anterior, se hizo para facilitar las comparaciones con respecto a cada control establecido, de tal forma, que puedan realizarse las comparaciones por parámetro con un número par de repeticiones.

En primera instancia, se realizó la verificación de las condiciones para tomar la decisión de ejecutar ANOVA por cada parámetro y dentro de cada rango, tales como, normalidad (Shapiro Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene's). Cuando no se cumplió con alguna de las anteriores condiciones, se realizó el análisis con Kruskal-Wallis.

6.3.1 Valoración estadística del efecto ocasionado por el extracto de fique como ayudante de coagulación en la remoción de materia orgánica

Se realizó el procesamiento de datos según lo mencionado en el apartado anterior, buscando determinar, si los aportes promedios obtenidos en el numeral 6.2.1 por la disminución o aumento de materia orgánica fueron estadísticamente significativos dentro de cada parámetro evaluado para este ítem (DQO y Absorbancia).

6.3.1.1 Análisis de la DQO

- Condiciones preliminares:

Las pruebas de normalidad de Shapiro Wilk ejecutadas con los datos obtenidos en DQO, permitieron concluir, que los datos correspondientes tanto, al rango de 0,5 a 3 mg/L, como para el rango de 4 a 10 mg/L, provienen de una distribución normal ($P > 0,05$) incluyendo los controles en cada rango. Además, se determinó por test de Levene's, que los datos presentan varianzas homogéneas. Por lo tanto, se procedió a efectuar la prueba de ANOVA para cada análisis de varianza correspondiente a los rangos de dosis evaluados.

Las tablas correspondientes a los resúmenes estadísticos, las pruebas realizadas de Shapiro Wilk y el test de Levene's de cada rango de dosis con extracto de fique evaluados, así como, sus gráficos, se presentan en el anexo 3.

- Análisis de Varianza:

En la tabla 13, se presentan los resultados obtenidos de la prueba de ANOVA, ejecutada para el parámetro DQO, en el rango de dosis de 0,5 a 3 mg/L con extracto de fique, incluyéndose, el control con solo la dosis de coagulante primario.

Tabla 13. Prueba ANOVA para DQO en el rango de dosis: 0,5 a 3 mg/L

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	57708,8	5	11541,8	0,63	0,6795
Intra grupos	440536,	24	18355,7		
Total (Corr.)	498245,	29			

Fuente: Statgraphics

Se observa que el valor- P de la razón-F es mayor que 0,05, lo que indica que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de un nivel de dosis con otra (incluido el control) para la DQO, con 95,0% de nivel de confianza. Esto demuestra que el uso del extracto de fique como ayudante de coagulación no altera significativamente la DQO final de las muestras tratadas en el rango de 0,5 a 3 mg/L. Además, estando incluida la dosis de 1,5 mg/L, con la que se obtuvo el mayor aporte promedio del extracto de fique en el abatimiento de la DQO con un 4,3% respecto del control, se ve limitada la aplicabilidad del extracto como ayudante de coagulación de forma efectiva para el tratamiento del ARS preparada.

En la tabla 14, se presentan de igual forma, los resultados obtenidos de la prueba de ANOVA para la DQO, en el rango de dosis de 4 a 10 mg/L con extracto de fique, siendo incluido el control.

Tabla 14. Prueba ANOVA para DQO en el rango de dosis: 4 a 10 mg/L

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	179744,	5	35948,9	2,23	0,0843
Intra grupos	386998,	24	16124,9		
Total (Corr.)	566742,	29			

Fuente: Statgraphics

De la prueba ANOVA ejecutada, se observa, que el valor- P de la razón-F es mayor que 0,05, indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de un nivel de dosis con otra (incluido el control) en la DQO final, con un 95,0% de nivel de confianza para el rango de 4 a 10 mg/L.

Lo anterior, permite confirmar, la limitada efectividad en la remoción de la DQO con el extracto de fique con respecto al coagulante, en el total de dosis evaluadas, haciéndolo poco viable, para su aplicación como ayudante de coagulación para el tratamiento del ARS preparada.

6.3.1.2 Análisis de la Absorbancia

- Condiciones preliminares:

Las pruebas de normalidad de Shapiro Wilk ejecutadas con los datos obtenidos en absorbancia, determinaron para los dos rangos de dosis evaluados, que los datos provienen de una distribución normal ($P > 0,05$) incluyendo los controles respectivos. El test de Levene's, determinó que los datos presentan homogeneidad en las varianzas. Por lo tanto, se efectuó la prueba de ANOVA para el análisis de varianza para el total de dosis evaluadas.

Las tablas correspondientes a los resúmenes estadísticos, las pruebas realizadas de Shapiro Wilk y el test de Levene's de cada rango de dosis con extracto de fique evaluados, así como, sus gráficos, se presentan en el anexo 4.

- Análisis de Varianza:

En la tabla 15, se presentan los resultados obtenidos de la prueba de ANOVA, ejecutada para el parámetro absorbancia, en el rango de dosis de 0,5 a 3 mg/L con extracto de fique, incluyéndose el control con solo la dosis de coagulante primario.

Tabla 15. Prueba ANOVA para absorbancia en el rango de dosis: 0,5 a 3 mg/L

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0003363	5	0,00006726	0,74	0,6031
Intra grupos	0,0021904	24	0,0000912667		
Total (Corr.)	0,0025267	29			

Fuente: Statgraphics

Se observa que el valor- P de la razón-F es mayor que 0,05, lo que indica que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de un nivel de dosis con otra (incluido el control) para absorbancia, con 95,0% de nivel de confianza. Esto demuestra que el uso del extracto de fique como ayudante de coagulación no altera significativamente la absorbancia dentro del rango 0,5 a 3 mg/L, en donde se incluye, la dosis de 0,5 mg/L, con la que, se obtuvo el mayor aporte promedio en la remoción de este parámetro con un 1,91% por parte del extracto de fique, respecto a la remoción conseguida con el control.

En la tabla 16, se presentan de igual forma, los resultados obtenidos de la prueba de ANOVA para la absorbancia, en el rango de dosis de 4 a 10 mg/L con extracto de fique, incluido el control respectivo.

Tabla 16. Prueba ANOVA para absorbancia en el rango de dosis: 4 a 10 mg/L

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,000197467	5	0,0000394933	2,10	0,1003
Intra grupos	0,0004512	24	0,0000188		
Total (Corr.)	0,000648667	29			

Fuente: Statgraphics

En la tabla se observa, que el valor- P de la razón-F es mayor que 0,05, indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de un nivel de dosis con otra (incluido el control), con un 95,0% de nivel de confianza para el rango de 4 a 10 mg/L.

Los resultados obtenidos en las pruebas ANOVA realizadas para analizar la absorbancia en el total de dosis evaluadas, permiten confirmar, la limitada efectividad en la remoción de este parámetro utilizando el extracto de fique con respecto al coagulante en el tratamiento del ARS.

6.3.2 Valoración estadística del efecto ocasionado por el extracto de fique como ayudante de coagulación en la remoción de turbiedad y color

A continuación, se presenta el procesamiento de los datos obtenidos en turbiedad y color, buscando determinar, si los aportes promedios obtenidos

en el numeral 6.2.2 por la disminución o aumento de estos parámetros, fueron estadísticamente significativos dentro de cada rango evaluado.

6.3.2.1 Análisis de la Turbiedad

- Condiciones preliminares:

Las pruebas de normalidad de Shapiro Wilk ejecutadas con los datos obtenidos en turbiedad, permitieron concluir, que para el total de los datos dentro del rango total 0,5 a 10 mg/L, incluido el control, provienen de una distribución normal ($P > 0,05$), mientras que, los datos dentro del rango de 4 a 10 mg/L, incluyendo también el control, no presentaron una distribución normal ($P < 0,05$). Por medio del test de Levene's, se estableció que los datos presentan varianzas homogéneas en los dos rangos evaluados. Por tal motivo, se requirió efectuar la prueba de Kruskal-Wallis para el análisis de varianza en los resultados obtenidos para la turbiedad.

Las tablas correspondientes a los resúmenes estadísticos, las pruebas realizadas de Shapiro Wilk y el test de Levene's de cada rango de dosis con extracto de fique evaluados, así como, sus gráficos, se presentan en el anexo 5.

- Análisis de Varianza:

En la tabla 17, se presentan los resultados obtenidos de la prueba de Kruskal-Wallis, efectuada para el parámetro turbiedad, en el rango de dosis de 0,5 a 3 mg/L con extracto de fique, incluyéndose el control con solo la dosis de coagulante primario.

Tabla 17. Prueba de Kruskal-Wallis para turbiedad en el rango de dosis: 0,5 a 3 mg/L

Dosis (mg/L)	Número de datos	Rango Promedio	Estadístico	Valor-P
0	5	16,6	2,2508	0,8135
0,5	5	13,6		
1	5	15,3		
1,5	5	12,0		
2	5	15,8		
3	5	19,7		

Fuente: adaptado de Statgraphics

Según prueba anterior, se observa que el valor-P obtenido del estadístico de la prueba es mayor que 0,05, lo que indica que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la mediana de un nivel de dosis con otra (incluido el control) para la turbiedad, con 95,0% de nivel de confianza. Por tal motivo, el uso del extracto de fique como ayudante de coagulación, no altera de forma significativa a la turbiedad final de las muestras tratadas en el rango de 0,5 a 3 mg/L y, por consiguiente, el mayor aporte promedio

obtenido con la dosis de 0,5 mg/L con un 1,91% respecto del control para este rango, resulta ser poco efectivo y no hace viable la aplicación del extracto de fique como ayudante de coagulación para el tratamiento del ARS preparada.

En la tabla 18, se presentan, los resultados obtenidos en la prueba de Kruskal-Wallis para la turbiedad remanente, en el rango de dosis de 4 a 10 mg/L con extracto de fique y el control respectivo.

Tabla 18. Prueba de Kruskal-Wallis para turbiedad en el rango de dosis: 4 a 10 mg/L

Dosis (mg/L)	Número de datos	Rango Promedio	Estadístico	Valor-P
0	5	18,1	5,6798	0,3386
4	5	19,7		
5	5	9,4		
6	5	11,5		
8	5	18,7		
10	5	15,6		

Fuente: adaptado de Statgraphics

Se observa que el valor-P obtenido del estadístico de la prueba es mayor que 0,05, indicando, que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas de los datos, con un nivel del 95,0% de confianza dentro del rango de 4 a 10 mg/L incluido el control para la turbiedad. Además, se incluye la dosis de 5 mg/L, con la que se obtuvo el mayor aporte promedio del extracto de fique en la remoción de turbiedad con un 0,57 % respecto del control.

De los resultados obtenidos en las pruebas de Kruskal-Wallis realizadas para turbiedad, se concluye que existe una limitada efectividad para la utilización del extracto de fique como ayudante de coagulación en el tratamiento del ARS preparada.

6.3.2.2 Análisis del color

- Condiciones preliminares:

En las pruebas de normalidad de Shapiro Wilk ejecutadas con los datos obtenidos en color, permitieron concluir, que los datos dentro de cada rango evaluado, provienen de una distribución normal ($P > 0,05$) incluyendo los controles en cada rango. Además, se determinó por test de Levene's, que los datos presentan varianzas homogéneas. Por lo tanto, se efectuó la prueba de ANOVA para el análisis de varianza para cada rango de dosis evaluado.

Las tablas correspondientes a los resúmenes estadísticos, las pruebas realizadas de Shapiro Wilk y el test de Levene's de cada rango de dosis con extracto de fique evaluados, así como, sus gráficos, se presentan en el anexo 6.

- Análisis de varianza:

En la tabla 19, se presentan los resultados obtenidos de la prueba de ANOVA, ejecutada para el parámetro Color, en el rango de dosis de 0,5 a 3 mg/L con extracto de fique y el control respectivo.

Tabla 19. Prueba ANOVA para color en el rango de dosis: 0,5 a 3 mg/L

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	118,814	5	23,7628	0,13	0,9851
Intra grupos	4520,31	24	188,346		
Total (Corr.)	4639,13	29			

Fuente: Statgraphics

El valor- P de la razón-F mostrado en la tabla, es mayor que 0,05, indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los datos, con un nivel del 95,0 % de confianza dentro del rango de 0,5 a 3 mg/L incluido el control para el color. Además, se destaca que dentro de este rango se encuentran las dosis de 0,5 y 2 mg/L, que produjeron los mayores aportes promedios obtenidos por el extracto de fique en la remoción de color con un 4,35% y 4,44% respectivamente en comparación con el coagulante solo. Lo anterior, repercute en la viabilidad para la aplicación del extracto de fique como ayudante de coagulación, en el tratamiento del ARS preparada.

En la tabla 20, se registran los resultados obtenidos de la prueba de ANOVA ejecutada para el parámetro color para los datos dentro de las dosis de 4 a 10 mg/L, incluyéndose el control respectivo.

Tabla 20. Prueba ANOVA para color en el rango de dosis: 4 a 10 mg/L

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	68,4187	5	13,6837	0,73	0,6100
Intra grupos	451,78	24	18,8242		
Total (Corr.)	520,199	29			

Fuente: Statgraphics

La anterior prueba muestra que, al igual que el total de las pruebas de varianza anteriormente realizadas, el valor- P es mayor que 0,05, indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de los datos dentro de las dosis analizadas (incluido el control) para el

parámetro color, con un nivel del 95,0 % de confianza. Por tal motivo, el uso del extracto de fique como ayudante de coagulación, no altera de forma significativa este parámetro dentro del total de dosis evaluadas, en donde además, se apreció aportes promedios negativos, disminuyendo la remoción en cada dosis respecto del control.

6.4 DETERMINACION EN LA VIABILIDAD PARA LA APLICACIÓN DE LA FASE IV

Los resultados en el procesamiento estadístico, establecieron que los aportes promedios obtenidos, en la remoción de los parámetros de calidad estudiados (DQO, absorbancia, turbiedad y color), en la ejecución de la fase II del estudio, no fueron estadísticamente significativos para el total de dosis evaluadas, dentro de los rangos definidos, incluyéndose, los controles respectivos. Por lo tanto, no resultó viable continuar hacia la ejecución de la fase IV, debido a la imposibilidad de determinar una dosis óptima de extracto de fique como ayudante, descartándose además, la dosis potencialmente óptima estudiada de 1,5 mg/L, que presentó relativas mejoras en la remoción de parámetros como DQO y turbiedad, pero, sin llegar a ser significativas para la efectividad del tratamiento del ARS preparada.

7. CONCLUSIONES

- No se determinó un efecto significativo en el uso del extracto de fique como ayudante de coagulación en la remoción de materia orgánica disuelta en las pruebas realizadas para el tratamiento del agua sintética preparada.
- No se determinó el efecto significativo en el uso del extracto de fique como ayudante de coagulación en la remoción de parámetros fisicoquímicos como turbiedad y color, en las pruebas realizadas para el tratamiento del agua residual sintética preparada con alta carga orgánica disuelta.
- No resultó viable hacer reducciones de la dosis del coagulante primario empleado, manteniendo, una dosis fija de extracto de fique como ayudante de coagulación para el tratamiento del agua residual sintética preparada con alta carga orgánica disuelta, debido a que no fue posible determinar una dosis óptima de extracto de fique.

8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda para posteriores investigaciones relacionadas con el tema de esta investigación, cambiar los componentes del agua residual sintética preparada por compuestos coloidales. Una modificación puede ser, el cambio de la glucosa por almidón, siendo este, un compuesto de menor solubilidad que la glucosa y que puede aportar, además, mayores valores iniciales de turbiedad y color, que permitan hacer más visibles y cuantificables, las remociones finales obtenidas.
- Realizar todas las pruebas de tratabilidad respectivas a las pruebas de jarras, para establecer los parámetros óptimos adecuados (gradientes, tiempo óptimo de mezcla rápida y lenta, pH, velocidad y tiempo de sedimentación), según el coagulante empleado y el agua residual a evaluar, que permitan definir una dosis óptima consistente y reducir de esta forma, el error introducido por la apropiación de datos basados en investigaciones similares consultadas.
- Realizar nuevas evaluaciones del extracto de fique como ayudante de coagulación, utilizando diferentes diluciones del mismo con respecto a la empleada en el presente trabajo (1% v/v), con el fin, de plantear nuevas opciones en la búsqueda de un efecto significativo en las remociones de los parámetros de calidad que se establezcan.
- Plantear la posibilidad de utilizar el extracto de fique como ayudante en el proceso de floculación, haciendo las dosificaciones del mismo al inicio de la mezcla lenta.

9. BIBLIOGRAFIA

1. APHA. AWWA. y WEF. (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Vol.1, Edition 21°, 900 p.
2. ABRAIRA, V. Y PÉREZ, A. (en línea). (1996). Métodos Multivariantes en Bioestadística. Ed. Centro de Estudios Ramón Areces. <http://www.hrc.es/bioest/Anova_1.html> (consultado: 12 de Julio de 2014)
3. BENAVIDEZ, L. (2006). Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la central de sacrificio de Túquerres – Nariño. Trabajo de especialización, Universidad Nacional de Colombia, Ingeniería Ambiental, 44p.
4. CALDERA, Y. GUTIÉRREZ, E. LUENGO, M. CHAVEZ, J. y RUESGA, L. (2010). Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales de la industria avícola. Revista Científica de la Universidad de Zulia, Vol. XX, N° 4. Pág 412.
5. COLOMBIA, CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA. (2012). Informe del estado de los recursos naturales y del ambiente. Pág. 392 <<http://www.andi.com.co/Archivos/file/Vicepresidencia%20Desarrollo%20Sostenible/INFORMECONTRALORIA2012.pdf>>_(consultado: 23 de octubre de 2013)_.
6. COLOMBIA, INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE RECURSOS BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT (en línea). (2011). El 50% del agua en Colombia es de mala calidad. <<http://www.humboldt.org.co/iavh/component/k2/item/175-el-50-del-agua-en-colombia-es-de-mala-calidad>>_(consultado: 25 de octubre de 2013)
7. CHENG, W. CHI, F. y YU, R. (2004). Evaluating the Efficiency of Coagulation in the Removal of Dissolved Organic Carbon from Reservoir Water using Fluorescence and Ultraviolet Photometry. Environmental Monitoring and Assessment. Taiwán. Pag. 421-431
8. EDWARDS, G. y AMIRTHARAJARAH, A. (1985). Removing Color Caused by Humic Acids. Research & Technology. Journal AWWA. Pág. 50-57
9. FUYER, M. y MORENO, E. (2014). Evaluación del extracto de fique en la potabilización de agua por coagulación química. Trabajo de grado Facultad de Ingeniería civil. Universidad del Cauca - Popayán. Pág. 41

10. GIRALDO, E. (2003). Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios. Departamento de ingeniería civil y ambiental. Universidad del los Andes. Pág.47-49
11. GOMELLA, G. y GUERRE, H. (1977). Tratamiento de aguas para abastecimiento público. Editores Técnicos Asociados, S.A, Paris – Francia.1977 Pag. 63.
12. GUSTAFSON, R. (2012). Evaluation of coagulation for the removal of dissolved organic nitrogen and the control of nitrogenous disinfection byproduct formation University of North Carolina at Chapel Hill, ProQuest, UMI Dissertations Publishing. EE.UU.
13. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM (en línea) (2010). Estudio Nacional del Agua. Estimación de la demanda de agua. Capitulo 5. Pág. 175. <http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/RinconLiterario/2011/mayo/CB_33.pdf> (consultado: 1 de noviembre de 2013).
14. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM (en línea). (2010). Informe Ambiental. Calidad del agua superficial. Parte 5 Pág.29. <<https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/022166/PARTE1.pdf>> (consultado: 1 de noviembre de 2013)
15. LÓPEZ, R. LAINES, J. HERNÁNDEZ, J. (en línea). (sf). Uso potencial de agentes de origen vegetal para la remoción de turbiedad en el tratamiento de aguas superficiales. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Biológicas. México, DF. <http://www.publicaciones.ujat.mx/publicaciones/kuxulkab/ediciones/34/e_Lopez_Vidal_etal.pdf> (consultado: 16 de noviembre de 2013)
16. LOZANO, W. (en línea). (2011). Uso del extracto de fique (Furcrea sp) como coadyuvante de coagulación en tratamiento de efluentes de pastelería. Producción más Limpia. Vol. 6 No. 1 <http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S190904552011000100003&script=sci_arttxt> (consultado: 16 de noviembre de 2013)
17. LOZANO, W. (en línea). (2012). Uso del extracto de fique (Furcrea sp) como coadyuvante de coagulación en tratamiento de lixiviado. Revista Internacional Contaminación Ambiental Vol.3. Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad Antonio Nariño. Bogotá D.C. Pág. 219 – 227. <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37023183004>> (consultado: 16 de noviembre de 2013).

18. MARTÍNEZ, A. y Caicedo, T (2002). Bioensayo de toxicidad de los jugos de fique en peces, en el municipio del el Tambo (Nariño). Universidad del Bosque. Bogotá D.C.
19. MURILLO, D. (2011). Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada. Trabajo de Grado. Universidad Tecnológica de Pereira, Química industrial, pág. 35 - 38.
20. PARRA, A. (en línea). (2010). Tratamiento de lixiviados con la microalga *Chlorella sp.* Vigías Ambientales. Revista N° 2. Pág. 30. <http://www.corhuila.edu.co/portal/sites/default/files/publicaciones/vigias/Edicion_2.pdf> (consultado: 28 de octubre de 2013)
21. PÉREZ, J. y QUITÍAN, L. (en línea). (2009). Evaluación de métodos de extracción de saponinas de los residuos del beneficio del fique. Universidad Industrial del Santander. Bucaramanga. Pág. 15. <<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6493/2/130407.pdf>> (consultado: 18 de noviembre de 2013)
22. RAMIREZ, R. DURÁN, A. BERNAL, A. & ORTA, T. (En línea) (sf) Proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de aguas residuales: desarrollo y utilización de nuevos compuestos para la reducción de lodos. Instituto de Ingeniería, UNAM Coordinación de Ingeniería Ambiental, México, D.F. Pág. 2. <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/mexicona/R-0199.pdf>> (consultado: 19 de noviembre de 2013).
23. RUIZ, O. (en línea) (sf). Tratamiento fisicoquímico de aguas residuales. Servi aqua. México, DF. <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/mexicona/R-0196.pdf>> (consultado: 7 de noviembre de 2013)
24. REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO - RAS. (2000). Título B: Sistemas de acueducto. Ministerio de Desarrollo Económico. Bogotá - Colombia. Pag. B44.
25. SALAZAR, L. y SAAVEDRA, I. (2009) Tratamiento de lixiviados, casos prácticos en diferentes temperaturas. Red de Ingeniería en Saneamiento Ambiental. Universidad del Norte. Barranquilla, Atlántico. Pág.3.
26. SANCHEZ, J. (en línea). (2010). Modelamiento de las condiciones hidráulicas de una planta compacta para el tratamiento de aguas domésticas. Trabajo de investigación para optar al título de Magister

en Ingeniería-Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Pág. 13.
<<http://www.bdigital.unal.edu.co/2006/1/8646493.2010.pdf>>
(consultado: lunes 4 de noviembre de 2013)

27. SERNA, J. CASAS, J. PEÑUELA, G. y AGUIRRE, N. (2012) Respirimetría de *Phragmites australis* en presencia de materia orgánica disuelta y el xenobiótico clorotalonilo. Revista EIA Vol.18. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Medellín. Pág. 195 – 208.
28. SUÁREZ, J. y NAVIA, G. (en línea). (2007). Aporte a la utilización de agua termal como coagulante en el tratamiento de las aguas residuales municipales. Trabajo de grado Especialista en Ingeniería Ambiental con Énfasis en Sanitaria. Universidad Nacional de Colombia. Manizales.
<<http://www.bdigital.unal.edu.co/971/1/josejairo-suarez-gustavo-anavia.2007.pdf>> (consultada: 17 de noviembre de 2013)
29. TAPIA, A. REYES, A. y GARCIA, I. (2011). Estudio de la fracción de materia orgánica de mayor remoción en el proceso de coagulación-floculación usando agua superficial. Revista científica Nexo. Vol. 24, No. 1. Managua - Nicaragua.
30. TATSI, A.A. ZOUBOULIS, A.I. MATIS, K.A. y SAMARAS, P. (2003). Coagulation- floculation pretreatment of sanitary landfill leachates. Chemosphere. Vol. 53
31. TORRES, LG. JAIMES, J. LOPEZ, S. RAMIREZ, E. y MIJAYLOVA, P. (sf). Factibilidad técnica del proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de efluentes de la industria químico-farmacéutica. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Subcoordinación de potabilización y aprovechamiento de aguas residuales. México, D.F.
32. VON SPERLING, M. (2012). Principios del tratamiento biológico de aguas residuales. Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Universidad Federal de Minas Gerais Brasil. Pág. 51
33. ZAYAS, T. ROMERO, V. MERAZ, M. SALGADO, L. (sf). Tratamiento de agua residual con alta carga orgánica y color provenientes del proceso de vinaza. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. México, D.F.

10. ANEXOS

Anexo 1. Resultado de las pruebas de dosis óptima de coagulante primario

Tabla A.1. Resultado de las pruebas de dosis óptima de coagulante primario (Sulfato de Aluminio)

Fecha	pH inicial	Turbiedad Inicial (NTU)	Absorbancia inicial	Color Inicial (UPC)	DQO inicial (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	Dosis coagulante (mg/L)	pH	Turbiedad (NTU)	Absorbancia	Color (UPC)	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)
1 27-mar-14	8,11	16	0,039	51	2400		200	6,71	2,50	0,22	4	1600	
							248	6,27	3,42	0,030	10	3200	
							300	6,18	2,75	0,023	10	3150	
							400	-	-	-	-	-	
							500	-	-	-	-	-	
							600	-	-	-	-	-	
2 28-mar-14	8,16	18,5	0,069	140	3200	2040	100	7,51	1,84	0,031	69,1	2040	-
							200	7,01	2,05	0,026	68	2720	1390
							240	6,79	2,03	0,029	63	2400	1590
							400	6,04	2,73	0,036	63	2080	650
							500	4,10	21,9	0,188	147	2400	
							600	3,49	67,5	0,514	-	-	
3 01.abr-14	8,18	11,1	0,061	116	3380		100	7,41	1,68	0,047	73,2	2180	
							160	7,05	1,68	0,027	64	2000	
							200	6,84	1,81	0,037	66	2006	
							240	6,91	2,90	0,035	67	2070	
							400	5,56	4,48	0,050	76	2280	
							440	4,40	7,34	0,074	90	2200	
4 03-abr-14	8,11	8,54	0,049	101	2460		40	7,70	2,01	0,026	62	1840	
							80	7,59	1,76	0,022	61	1920	
							100	7,34	2,06	0,033	73,1	1990	
							140	7,12	2,00	0,032	69	2153	
							200	6,78	2,01	0,029	62,5	1993	
							240	6,54	2,16	0,031	65,5	2033	

Fecha	pH inicial	Turbiedad Inicial (NTU)	Absorbancia inicial	Color Inicial (UPC)	DQO inicial (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	Dosis coagulante (mg/L)	pH	Turbiedad (NTU)	Absorbancia	Color (UPC)	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)
5 04-abr-14	8,10	13,3	0,059	130	2560	2350	40	7,71	2,25	0,031	63	2350	2200
							80	7,51	2,15	0,034	64	2200	1750
							120	7,27	2,15	0,035	64	2290	-
							160	7,11	2,17	0,038	67	2690	1850
							200	6,81	2,45	0,045	69	2460	1690
							240	6,62	2,53	0,043	66	2340	-
6 07-abr-14	8,12	16,22	0,061	148	2560		20	7,70	2,68	0,021	60	2253	
							40	7,66	2,46	0,029	66,5	2080	
							60	7,59	2,11	0,024	69,7	2073	
							80	7,45	1,99	0,026	60	2080	
							100	7,31	2,04	0,034	72,1	2013	
							120	7,21	2,39	0,030	64	1933	
7 08-abr-14	8,11	9,70	0,045	126	2540		50	7,64	2,10	0,030	80	2147	
							70	7,46	1,90	0,029	68,2	2070	
							90	7,33	1,71	0,028	71	2280	
							110	7,27	1,96	0,039	79	2270	
							120	7,17	1,80	0,033	74	2173	
							130	7,11	1,91	0,030	79	2240	
8 10-abr-14	8,10	13,30	0,059	135	2560	2330	60	7,49	2,27	0,029	68,9	2160	1580
							80	7,42	1,90	0,020	74	2120	1630
							86	7,41	2,81	0,032	78	2345	-
							90	7,40	2,14	0,027	70	2260	1660
							96	7,32	1,91	0,029	76	2125	-
							100	7,25	2,35	0,020	69,5	2140	1670

Fecha	pH inicial	Turbiedad Inicial (NTU)	Absorbancia inicial	Color Inicial (UPC)	DQO inicial (mg/L)	Dosis coagulante (mg/L)	pH	Turbiedad (NTU)	Absorbancia	Color (UPC)	DQO (mg/L)
9 21-abr-14	8,12	19	0,078	173	2500	20	7,67	2,66	0,035	86	2116
						40	7,65	1,75	0,024	81	2127
						50	7,63	1,61	0,029	83	2233
						60	7,60	1,68	0,039	71,8	2020
						80	7,48	1,32	0,024	78	2005
						100	7,35	1,53	0,027	71,4	2073

Anexo 2. Resultado de las pruebas con el extracto de fique como ayudante de coagulación

Tabla A.2.1 Resultado de las pruebas con el extracto de fique como ayudante de coagulación (rango: 0,5-3mg/L)

Fecha	pH inicial	Turbiedad Inicial (NTU)	Absorbancia inicial	Color Inicial (UPC)	DQO inicial (mg/L)	Dosis coagulante (mg/L)	Dosis fique (mg/L)	pH	Turbiedad (NTU)	Absorbancia	Color (UPC)	DQO (mg/L)
1 22-abr-14	7,90	1.95	0,023	75	2300	80	0	7,07	1,75	0,042	88	2167
							0,5	7,32	2,41	0,040	81	2113
							1	7,07	1,78	0,033	80	2000
							1,5	7,07	1,84	0,042	89	1813
							2	7,09	1,90	0,038	81	2007
							3	7,26	1,67	0,036	93	1987
2 24-abr-14	8,12	10,2	0,053	123	2370	80	0	7,39	1,64	0,029	80,5	2200
							0,5	7,39	1,90	0,041	66,7	2373
							1	7,40	1,96	0,055	79	2340
							1,5	7,40	2	0,047	73,25	2166
							2	7,41	2,37	0,042	75,5	2006
							3	7,39	2,19	0,040	80	2167
3 25abr-14	8,30	35,7	0,104	216	2480	80	0	7,67	2,10	0,027	71,8	2160
							0,5	7,68	1,75	0,028	72,8	2073
							1	7,68	2	0,047	70,0	2160
							1,5	7,68	1,89	0,043	71,8	2095
							2	7,67	1,94	0,063	69,0	2180
							3	7,68	2,29	0,052	67,5	2265
4 28-abr-14	8,10	27,6	0,121	232	2400	80		7,54	2,27	0,065	110	2170
								7,54	1,93	0,044	90	2173
								7,54	2,05	0,046	87,3	2267
								7,56	1,68	0,049	88,3	2060
								7,54	1,54	0,053	84,2	2353
								7,56	2,06	0,041	88,4	2280

Fecha	pH inicial	Turbiedad Inicial (NTU)	Absorbancia inicial	Color Inicial (UPC)	DQO inicial (mg/L)	Dosis coagulante (mg/L)	Dosis flique (mg/L)	pH	Turbiedad (NTU)	Absorbancia	Color (UPC)	DQO (mg/L)
5 02-may-14	8,10	18,9	0,077	210	2440	80	0	7,44	2,08	0,032	91	2273
							0,5	7,42	1,79	0,033	92	2340
							1	7,42	1,96	0,038	93	2307
							1,5	7,44	2,02	0,041	97	2300
							2	7,44	2,08	0,038	92	2273
							3	7,44	2,02	0,032	90	2110

Tabla A.2.2 Resultado de las pruebas con el extracto de fique como ayudante de coagulación (rango: 4-10mg/L)

Fecha	pH inicial	Turbiedad Inicial (NTU)	Absorbancia Inicial	Color Inicial (UPC)	DQO inicial (mg/L)	Dosis coagulante (mg/L)	Dosis fique (mg/L)	pH	Turbiedad (NTU)	Absorbancia	Color (UPC)	DQO (mg/L)
1 05-may-14	8,30	29	0,097	217	2460	80	0	7,64	2,0	0,034	92	2180
							4	7,65	2,10	0,042	99	2380
							5	7,64	1,91	0,039	94	2286
							6	7,65	2,01	0,039	96,5	2320
							8	7,64	2,08	0,036	96,3	2620
							10	7,64	2,04	0,030	93	2514
2 06-may-14	8,27	30,3	0,092	223	2480	80	0	7,61	2,46	0,037	85	2253
							4	7,62	2,11	0,045	91,3	2493
							5	7,62	1,90	0,035	87	2413
							6	7,62	2,08	0,042	85	2680
							8	7,63	2,39	0,034	87	2613
							10	7,62	2,18	0,037	87	2563
3 09-may-14	8,16	27,6	0,112	223	2480	80	0	7,57	2,18	0,034	85	2169
							4	7,59	2,11	0,046	92	2593
							5	7,59	2,16	0,041	90	2640
							6	7,60	2,09	0,048	92	2547
							8	7,57	2,49	0,050	92	2580
							10	7,60	2,31	0,044	94	2686
4 20-may-14	8,33	42	0,120	245	2537	80	0	7,71	2,22	0,036	88	2220
							4	7,74	2,56	0,035	90	2585
							5	7,74	2,04	0,035	82	2660
							6	7,73	1,95	0,039	84,5	2640
							8	7,72	2,11	0,040	84,3	2750
							10	7,72	2,07	0,037	84,3	2765

Fecha	pH inicial	Turbiedad Inicial (NTU)	Absorbancia inicial	Color Inicial (UPC)	DQO inicial (mg/L)	Dosis coagulante (mg/L)	Dosis flique (mg/L)	pH	Turbiedad (NTU)	Absorbancia	Color (UPC)	DQO (mg/L)
5 21-may-14	8,06	15	0,080	167	2577	80	0	7,63	2,22	0,034	87	2179
							4	7,66	2,45	0,042	88	2500
							5	7,65	2,41	0,045	88	2650
							6	7,63	2,52	0,042	92,3	2615
							8	7,62	2,13	0,048	90	2675
							10	7,64	2,36	0,044	85,3	2680

Anexo 3. Procesamiento estadístico de los datos para DQO

Tabla A.3.1. Resumen estadístico para datos de DQO (Rango: 0,5 a 3mg/L)

<i>Dosis con fique (mg/L)</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
0	5	2194,0	46,7386	2,13029%	2160,0	2273,0
0,5	5	2214,4	135,018	6,09726%	2073,0	2373,0
1	5	2214,8	137,879	6,22536%	2000,0	2340,0
1,5	5	2086,8	178,521	8,55477%	1813,0	2300,0
2	5	2163,8	156,102	7,21423%	2006,0	2353,0
3	5	2161,8	120,298	5,56473%	1987,0	2280,0
Total	30	2172,6	131,076	6,03313%	1813,0	2373,0

Tabla A.3.2. Prueba de Shapiro Wilk para datos de DQO (Rango: 0,5 a 3mg/L)

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,949294	0,253108

Figura A.3.1 Distribución normal para datos de DQO (Rango: 0,5 a 3mg/L)

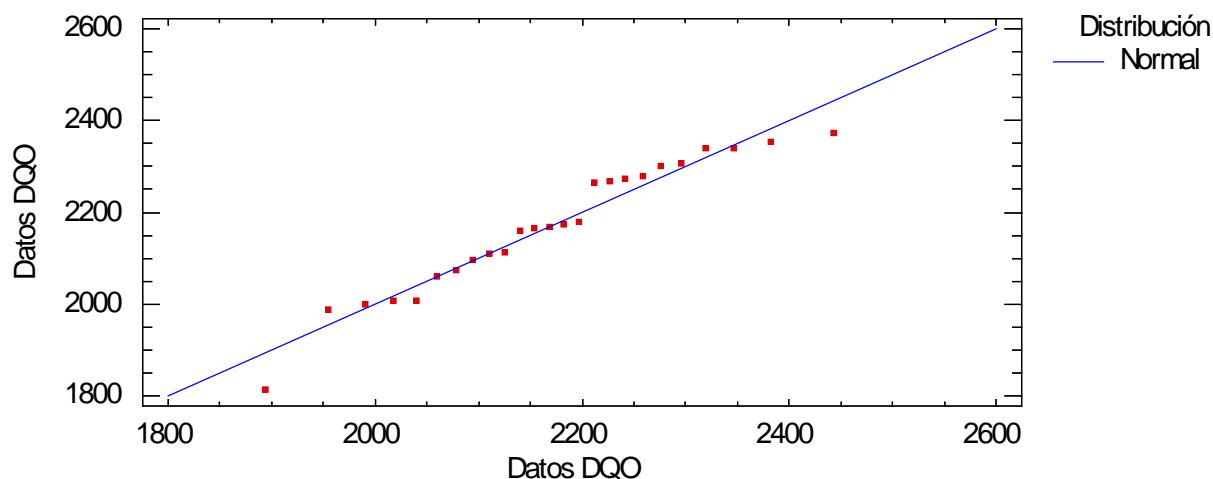


Tabla A.3.3. Verificación de varianza para datos de DQO (Rango: 0,5 a 3mg/L)

	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	0,79522	0,56377

Tabla A.3.4. Resumen estadístico para datos de DQO (Rango: 4 a 10mg/L)

<i>Dosis fique (mg/L)</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
0	5	2423,8	158,377	6,53423%	2180,0	2566,0
4	5	2510,2	86,3174	3,43867%	2380,0	2593,0
5	5	2529,8	170,752	6,74962%	2286,0	2660,0
6	5	2560,4	142,823	5,57814%	2320,0	2680,0
8	5	2647,6	66,6431	2,51711%	2580,0	2750,0
10	5	2641,8	101,093	3,82665%	2515,0	2765,0
Total	30	2552,27	139,796	5,47731%	2180,0	2765,0

Tabla A.3.5. Prueba de Shapiro Wilk para datos de DQO (Rango: 4 a 10mg/L)

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,923983	0,0654729

Figura A.3.2. Distribución normal para datos de DQO (Rango: 4 a 10mg/L)

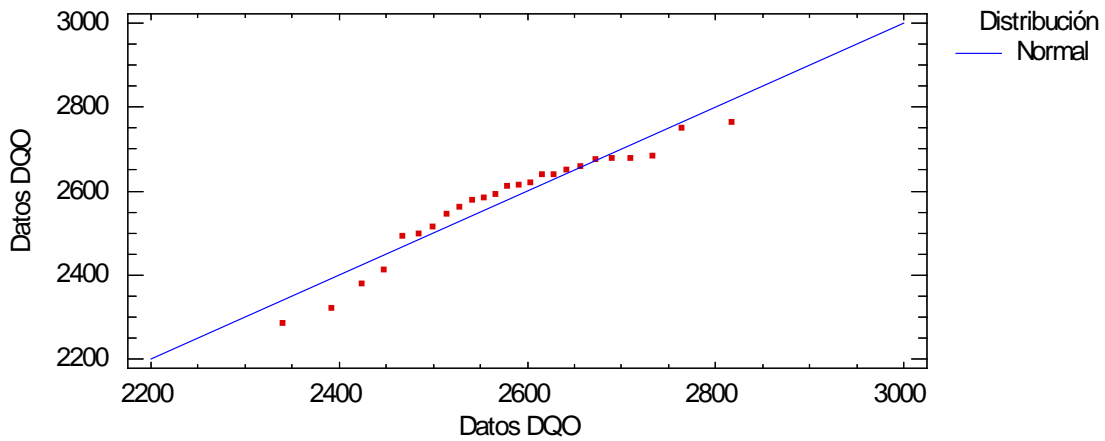


Tabla A.3.6 Verificación de varianza para datos de DQO (Rango: 4 a 10mg/L)

	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	0,401742	0,842734

Anexo 4. Procesamiento estadístico de los datos para Absorbancia

Tabla A.4.1. Resumen estadístico para datos de absorbancia (Rango: 0,5 a 3mg/L)

<i>Dosis fique (mg/L)</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coefficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
0	5	0,039	0,0156365	40,0936%	0,027	0,065
0,5	5	0,0372	0,00653452	17,5659%	0,028	0,044
1	5	0,0438	0,00852643	19,4667%	0,033	0,055
1,5	5	0,0444	0,00343511	7,73674%	0,041	0,049
2	5	0,0468	0,0109407	23,3777%	0,038	0,063
3	5	0,0402	0,00749667	18,6484%	0,032	0,052
Total	30	0,0419	0,00933422	22,2774%	0,027	0,065

Tabla A.4.2. Prueba de Shapiro Wilk para datos de absorbancia (Rango: 0,5 a 3mg/L)

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,970174	0,655744

Figura A.4.1. Distribución normal para datos de absorbancia (Rango: 0,5 a 3mg/L)

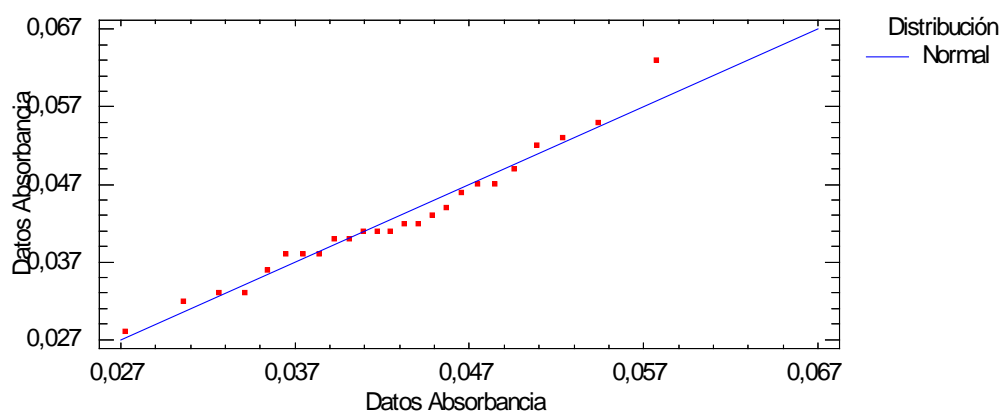


Tabla A.4.3. Verificación de varianza para datos de absorbancia (Rango: 0,5 a 3mg/L)

	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	0,647966	0,665704

Tabla A.4.4. Resumen estadístico para datos de absorbancia Rango:(4 a10mg/L)

<i>Dosis fique (mg/L)</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coefficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
0	5	0,0348	0,00130384	3,74667%	0,034	0,037
4	5	0,042	0,00430116	10,2409%	0,035	0,046
5	5	0,039	0,00424264	10,8786%	0,035	0,045
6	5	0,042	0,00367423	8,74818%	0,039	0,048
8	5	0,0406	0,00589915	14,5299%	0,034	0,048
10	5	0,0376	0,00512835	13,6392%	0,03	0,044
Total	30	0,0393333	0,00472946	12,0241%	0,03	0,048

Tabla A.4.5. Prueba de Shapiro Wilk para datos de absorbancia (Rango: 4 a 10mg/L)

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,972373	0,709121

Figura A.4.2. Distribución normal para datos de absorbancia (Rango: 4 a 10mg/L)

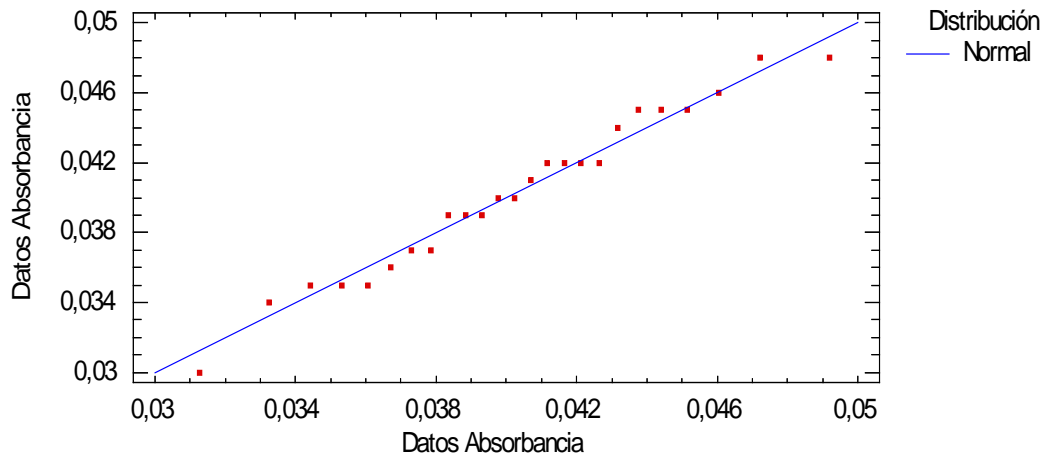


Tabla A.4.6 Verificación de varianza para datos de absorbancia (Rango: 4 a 10mg/L)

	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	1,1014	0,385542

Anexo 5. Procesamiento estadístico de los datos para turbiedad

Tabla A.5.1. Resumen estadístico para datos de turbiedad (Rango: 0,5 a 3mg/L)

<i>Dosis fique (mg/L)</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coefficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
0	5	1,968	0,262812	13,3543%	1,64	2,27
0,5	5	1,956	0,264537	13,5244%	1,75	2,41
1	5	1,95	0,10198	5,22976%	1,78	2,05
1,5	5	1,886	0,137405	7,2855%	1,68	2,02
2	5	1,966	0,301131	15,3169%	1,54	2,37
3	5	2,046	0,23586	11,5279%	1,67	2,29
Total	30	1,962	0,213661	10,89%	1,54	2,41

Tabla A.5.2. Prueba de Shapiro Wilk para datos de turbiedad (Rango: 0,5 a 3mg/L)

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,969625	0,642459

Figura A.5.1 Distribución normal para datos de turbiedad (Rango: 0,5 a 3mg/L)

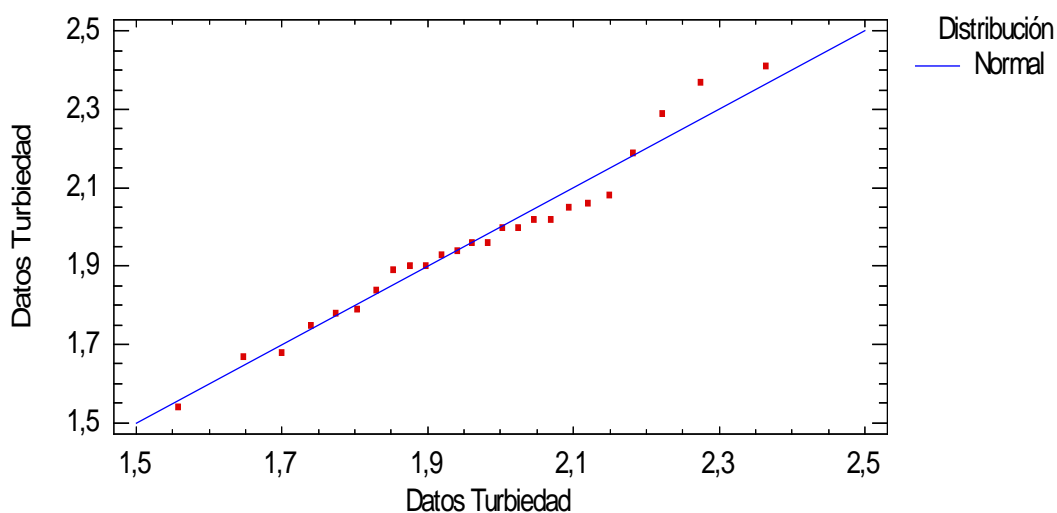


Tabla A.5.3. Verificación de varianza para datos de turbiedad (Rango: 0,5 a 3mg/L)

	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	0,582814	0,712838

Tabla A.5.4. Resumen estadístico para datos de turbiedad Rango: (4 a 10mg/L)

Dosis fiqué (mg/L)	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
0	5	2,216	0,163951	7,39852%	2,0	2,46
4	5	2,266	0,221653	9,78168%	2,1	2,56
5	5	2,072	0,207292	10,0044%	1,9	2,41
6	5	2,13	0,225278	10,5764%	1,95	2,52
8	5	2,24	0,186815	8,33997%	2,08	2,49
10	5	2,192	0,141669	6,46298%	2,04	2,36
Total	30	2,186	0,188526	8,62425%	1,9	2,56

Tabla A.5.5. Prueba de Shapiro Wilk para datos de turbiedad (Rango: 4 a 10mg/L)

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,895826	0,0143103

Figura A.5.2. Distribución normal para datos de turbiedad (Rango: 4 a 10mg/L)

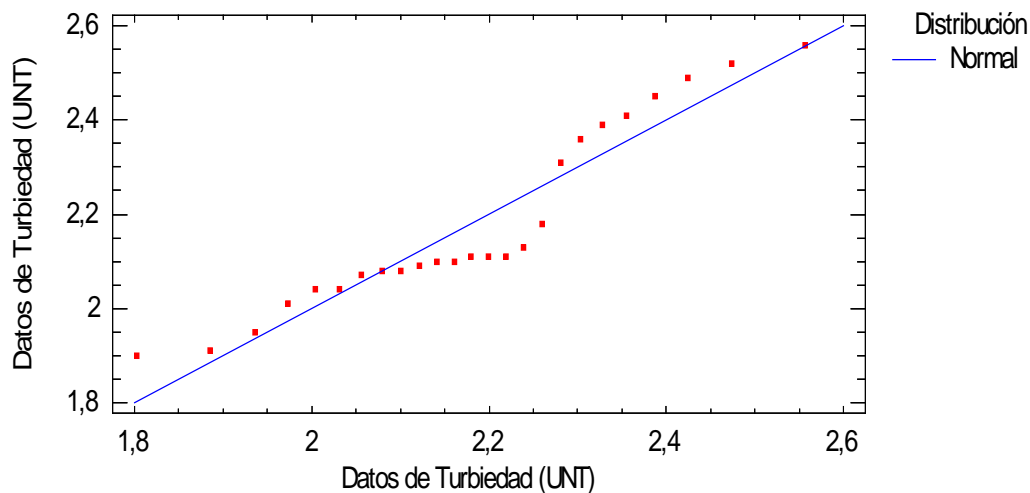


Tabla A.5.6. Verificación de varianza para datos de turbiedad (Rango: 4 a 10mg/L)

	Prueba	Valor-P
Levene's	0,0945194	0,992249

Anexo 6. Procesamiento estadístico de los datos para color

Tabla A.6.1. Resumen estadístico para los datos de color (Rango: 0,5 a 3mg/L)

<i>Dosis fique (mg/L)</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coefficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
0	5	78,26	25,1861	32,1826%	41,0	110,0
0,5	5	80,5	10,8683	13,501%	66,7	92,0
1	5	81,86	8,74631	10,6845%	70,0	93,0
1,5	5	83,87	10,918	13,0177%	71,8	97,0
2	5	80,34	8,70793	10,8388%	69,0	92,0
3	5	83,78	10,3001	12,2942%	67,5	93,0
Total	30	81,435	12,6479	15,5313%	41,0	110,0

Tabla A.6.2. Prueba de Shapiro Wilk para datos de color (Rango: 0,5 a 3mg/L)

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,934399	0,115209

Figura A.6.1 Distribución normal para datos de color (Rango: 0,5 a 3mg/L)

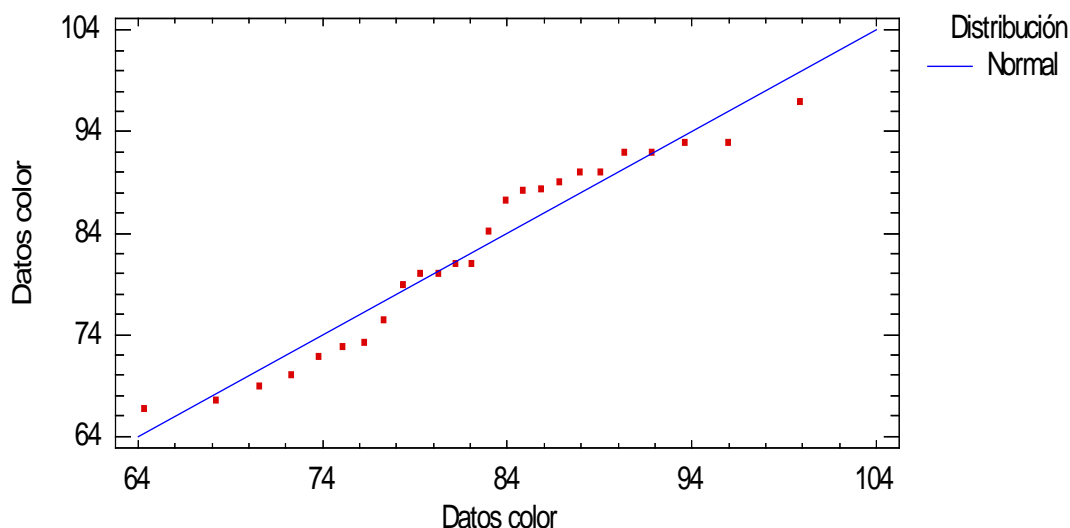


Tabla A.6.3. Verificación de varianza para datos de color (Rango: 0,5 a 3mg/L)

	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	1,01769	0,429194

Tabla A.6.4. Resumen estadístico para datos de color Rango: (4 a 10mg/L)

<i>dosis 4 a 10.DOSIS</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
0	5	87,4	2,88097	3,29631%	85,0	92,0
4	5	92,06	4,16749	4,52693%	88,0	99,0
5	5	88,2	4,38178	4,96801%	82,0	94,0
6	5	90,06	5,16653	5,73676%	84,5	96,5
8	5	89,92	4,61378	5,13099%	84,3	96,3
10	5	88,72	4,48297	5,05294%	84,3	94,0
Total	30	89,3933	4,23531	4,73784%	82,0	99,0

Tabla A.6.5. Prueba de Shapiro Wilk para datos de color (Rango: 4 a 10mg/L)

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,972353	0,708636

Figura A.6.2. Distribución normal para datos de color (Rango: 4 a 10mg/L)

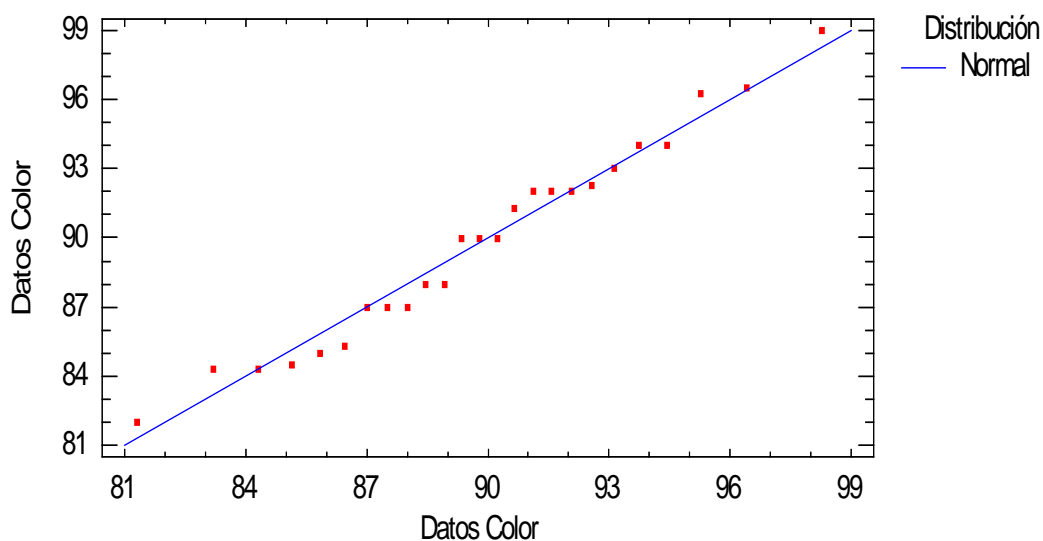


Tabla A.6.6. Verificación de varianza para datos de color (Rango: 4 a 10mg/L)

	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	0,275714	0,921902

Anexo 7. Registro fotográfico

Figura A.7.1 Obtención del extracto de fique (a) despalme, (b) macerado, (c) exprimido, (d) filtración



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura A.7.2 Pruebas de jarras con coagulante primario sulfato de aluminio

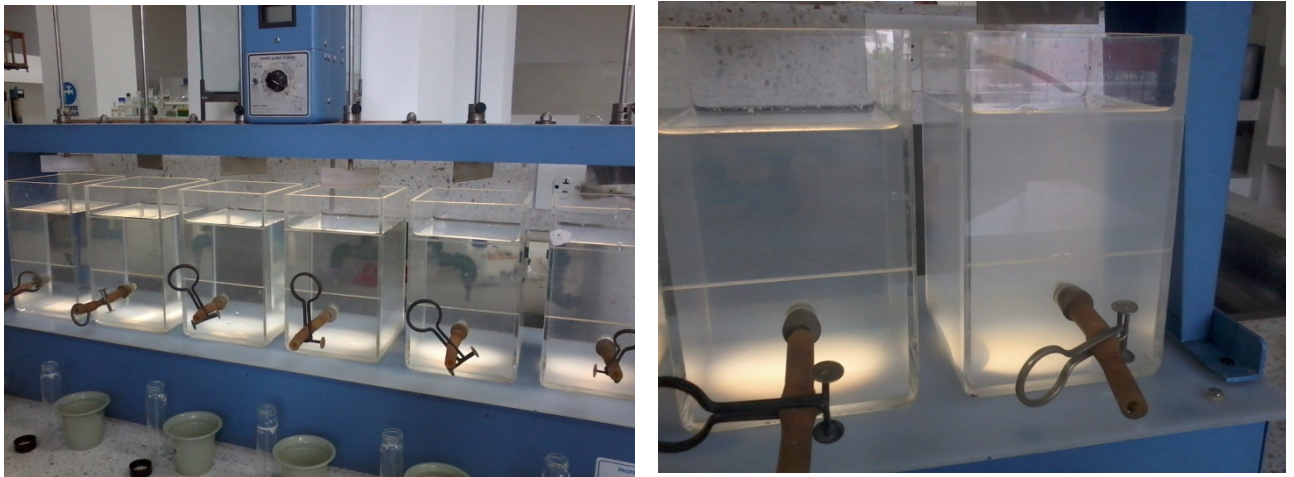


Figura A.7.3 Pruebas de jarras utilizando el extracto de fique como ayudante de coagulación

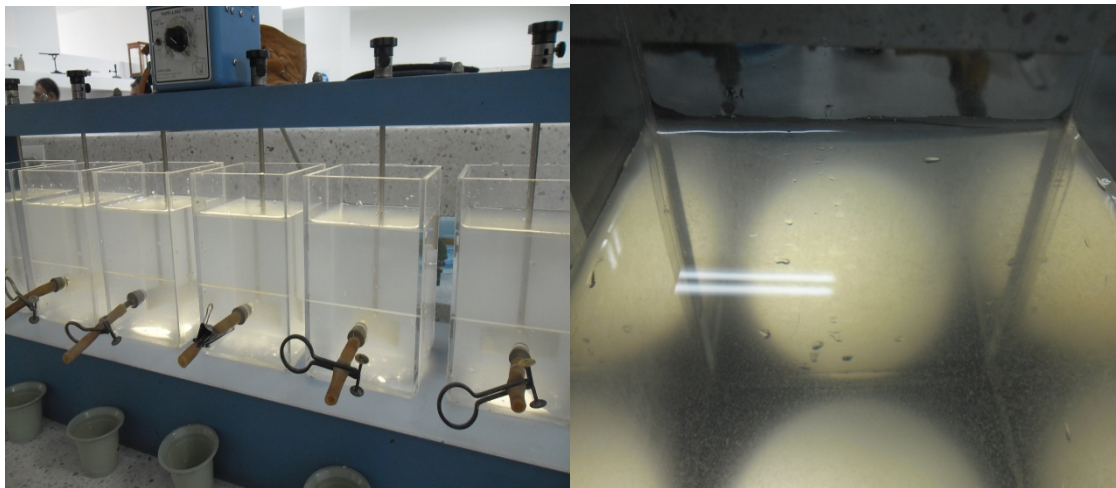


Figura A.7.4 Toma de muestras

