



**UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**TESIS DE GRADO**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**INGENIERA EN RECURSOS NATURALES Y AMBIENTALES**

**TEMA:**

“Eficiencia del proceso de coagulación/floculación aplicado como tratamiento primario en efluentes industriales de refinación de aceites comestibles”.

**AUTORES:**

Geanella Lisbeth Cedeño Flores

Jaime Maximiliano Cedeño Cedeño

**DIRECTOR DE TESIS**

Blgo. Abrahan Isaac Velásquez Ferrín M. SC.

**MANTA - MANABI-ECUADOR**

**2018**

**UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**TESIS DE GRADO**

“Eficiencia del proceso de coagulación/floculación aplicado como tratamiento primario en efluentes industriales de refinación de aceites comestibles”.

**Tesis presentada al H. Consejo Directivo de la Facultad Ciencias Agropecuarias como requisito para obtener el título de:**

**INGENIERO/A EN RECURSOS NATURALES Y AMBIENTALES**

-----

Ing. Yessenia García Montes Mg.Sc

**DECANA DE LA FACULTAD**

-----

Blgo. Abrahan Velasquéz Ferrín Mg. Sc

**TUTOR DE TESIS**

**MIEMBROS DEL TRIBUNAL**

Ing. Xavier Anchundia Mg. Sc

-----

Blgo. Carlos Chinga Mg.Sc

-----

Blgo. David Mero del Valle Mg.Sc

-----

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

Blgo. Abraham Isaac Velásquez Ferrín. M. Sc certifica haber tutelado la tesis **“EFICIENCIA DEL PROCESO DE COAGULACIÓN/FLOCULACIÓN APLICADO COMO TRATAMIENTO PRIMARIO EN EFLUENTES INDUSTRIALES DE REFINACIÓN DE ACEITES COMESTIBLES.”**, que ha sido desarrollada por los estudiantes Jaime Maximiliano Cedeño Cedeño y Geanella Lisbeth Cedeño Flores, egresados de la carrera INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES Y AMBIENTALES previo a la obtención del título de Ingeniera en Recursos Naturales y Ambientales, de acuerdo al REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE LA TESIS DE GRADO DEL TERCER NIVEL, de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

---

**Blgo. Abraham Isaac Velásquez Ferrín M. Sc.**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

La responsabilidad de los hechos, ideas y doctrinas expuestos en la presente tesis, corresponde exclusivamente al tutor y el patrimonio intelectual de los autores, estudiantes de la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales y Ambientales de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

-----  
Sr. Jaime Maximiliano Cedeño Cedeño

**CI:** 131374230-4

-----  
Srta. Geanella Lisbeth Cedeño Flores

**CI:** 131257068-0

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente agradezco a Dios por haberme dado la vida y el valor de emprender nuevos retos a lo largo de mi carrera universitaria a pesar de las adversidades que se han presentado, gracias a Él he podido sobrellevar y solucionar cada obstáculo saliendo victoriosa de ello, así como también agradezco por haber puesto en mi camino a las personas correctas que me han motivado cada día a ser mejor hija, amiga y persona.

Agradezco a mis padres y abuelos por creer en mí desde un principio y brindarme su amor y apoyo incondicional pese a todas las decisiones erróneas que he tomado en ciertos momentos de mi juventud.

A mi compañero de vida que me enseñó una importante lección “hacer valer mis derechos” y no dejarme vencer fácilmente frente a las trabas que se interpongan en mi camino.

Así mismo quiero agradecer a mi tutor de tesis el biólogo Abrahan Velásquez Ferrín por haber guiado mis pasos al camino de la investigación y por ser parte esencial en el desarrollo de este proyecto, por otro lado, agradezco infinitamente a la doctora Soraya Silva por confiar en mí capacidad y aportar con sus conocimientos en mi formación académica además de ser mi mentor durante mi estancia como estudiante auxiliar en el Departamento de Investigación.

Agradezco a la universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí mi alma mater, por abrirme las puertas a un mundo lleno de oportunidades y conocimiento, a la facultad de ciencias Agropecuarias expreso mi infinita gratitud por permitirme estudiar lo que me apasiona, así como también a los docentes que brindaron toda su sabiduría para poder enfrentarme a la vida profesional.

Agradezco también a la Universidade do Porto por acogerme y brindarme su ayuda a adaptarme a un nuevo ambiente totalmente desconocido para mí, a los

profesores de dicha institución que me brindaron su mano amiga y tuvieron paciencia al explicar sus clases, y a los buenos amigos que hice en Portugal. Además agradezco al departamento de Relaciones Internacionales por confiar en mí ya que sin ellos no hubiese sido posible realizar la movilidad estudiantil y dejar en alto el nombre de la universidad y del Ecuador en el extranjero.

Expreso también mi eterna gratitud al ingeniero Fabián Peñaherrera analista del laboratorio de aguas de la Escuela Politécnica Agraria de Manabí, por dar apertura para realizar parte de los ensayos requeridos en la tesis en las instalaciones de dicho establecimiento.

Y para finalizar doy gracias a todos mis amigos y compañeros quienes han constituido una parte esencial en mi vida, muchas gracias a todos los llevaré en mi corazón por siempre.

**Geanella Cedeño Flores**

## **AGRADECIMIENTO**

Me complace expresar mis más grandes agradecimientos con papá Dios quien nos conduce por el camino del bien y nos fortalece en cada situación adversa que la vida nos presenta.

Agradezco a mi tía Ernestina (+) y a mi tío Telmo (+) por haber criado a mi mamá desde pequeña, el amor que le brindaron a ella hoy se refleja en este servidor que vivirá eternamente agradecido con estas dos grandes personas que ahora descansan en el cielo. Gracias infinitas mamá por todo el esfuerzo que usted ha dado por buscar siempre mi bienestar y mi felicidad.

Asimismo agradezco a mi papá que con su amor, ejemplo y sacrificio diario me ha ayudado a continuar ininterrumpidamente con mis estudios y no hay día que no se esfuerce por sacar adelante a su familia.

Así también quedo agradecido con mi tío Holger (+) quien fue como un padre para mí así como yo fui como un hijo para él, desde pequeño estuvo conmigo apoyándome y aunque no esté físicamente entre nosotros estoy seguro que ahora se encuentra en aquel lugar de descanso eterno donde algún día todos iremos y nos reencontraremos.

A la decana Mg. Sc. Yesenia García y a los Ingenieros César y Amado por permitirnos utilizar el laboratorio de nuestra prestigiosa facultad brindándonos la ayuda necesaria para la realización de los respectivos análisis que requirió esta investigación.

A nuestro tutor Ing. Abraham por habernos guiado en esta investigación, aportándonos conocimientos teóricos y prácticos para la realización e interpretación de los resultados obtenidos en este documento.

Al Ing. Fabián quien estuvo presto a ayudarnos y apoyarnos en la realización de algunos análisis en el laboratorio de la Escuela Superior Politécnica Agraria de Manabí.

A Geanella, mi compañera de tesis y amiga desde la escuela, por toda su paciencia y comprensión en cada traba o adversidad que se nos fueron presentando a lo largo de nuestro trabajo de investigación, estoy firmemente convencido que en un futuro cercano todo el tiempo, dinero y esfuerzo invertido en nuestra preparación académica y profesional tendrá su respectiva recompensa.

A mi compadre Henry, a mi comadre Vanessa, a mi ahijada Danya, a Daniel por cada consejo brindado, al pastor John y a toda su familia por cada momento agradable del cual he sido partícipe y por cada palabra de aliento que en su momento permitió que no declinara mi fe en Dios cuando las cosas en reiteradas ocasiones se pusieron difíciles, gracias mis hermanos en la fe, mi familia en Cristo Jesús.

**Jaime Cedeño Cedeño**

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo de manera especial a Dios, por darme la fortaleza de continuar y nunca rendirme cuando he estado a punto de desfallecer.

A mi madre, que es la fuente de mi inspiración, mi mano derecha, mi mejor amiga y el motor que me motiva día a día a impulsarme para seguir adelante en la construcción de mi vida profesional, fortaleciendo en mí las bases de la responsabilidad, el respeto, el amor, los deseos de superación y las ganas de luchar.

A mi padre, por su apoyo incondicional a lo largo de estos 15 años de estudios, por permanecer siempre pendiente de mí durante mi estancia fuera del país, por ser el soporte de mi familia en los momentos más duros y dolorosos vividos el 16A y por acompañarme en esta ardua labor que hoy en día se hace realidad.

Así mismo a mi hermano y mis abuelos les agradezco por alentarme durante toda mi vida en cada decisión que tomé, por creer en mi capacidad de sobresalir a pesar de las adversidades.

A mis amigos y compañeros pasados y presentes, a quienes de cierta manera me brindaron en su momento una mano amiga, una ayuda desinteresada, una amistad verdadera e hicieron de la etapa universitaria una experiencia increíble.

Esto es para ustedes....

**Geanella Cedeño Flores**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de investigación a Dios, quien me llena de sabiduría y fuerza de voluntad para seguir siempre adelante con una sonrisa en mi rostro aferrándome a cada promesa y a cada bendición que papá Dios tiene destinado para mi vida.

A mis padres, quienes lo han dado todo de sí para que yo pueda sobresalir en mis estudios y preparación personal, quienes lo han dado todo para que en nuestra casa nunca falte el pan de cada día, quienes cuidan y aman a cada uno mis seis hermanos(as), con quienes siempre he contado de su apoyo en cada decisión tomada, este trabajo es un gesto de agradecimiento hacia ustedes.

A mis hermanos mayores Mayra, Jacinto y Konny que con su ejemplo de perseverancia y esfuerzo hoy en día también son profesionales en sus respectivas áreas; y a mis hermanos menores Gabriela y Juan Fernando para que vean en mí un ejemplo de superación personal en lo académico y sobre todo en valores humanos como la ética, integridad, responsabilidad y perseverancia.

A Zulay (+) quien partió de este mundo mientras aún estaba preparándose en la academia, quienes te conocimos estamos orgullosos de la excelente persona que fuiste Zulita, en mi corazón queda guardado esa calidez de persona que hasta esa instancia de mi vida solo había observado en ti.

A Luis, Bryan, Miguel y Geanella, mis grandes amigos con quienes he compartido incontables buenos momentos a lo largo de nuestra experiencia y preparación académica, pues nada es más bello que ser felices junto a nuestros seres queridos, a nuestra familia y a nuestros amigos que de alguna u otra manera alegran nuestra existencia

**Jaime Cedeño Cedeño**

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
RESUMO .....	3
I. INTRODUCCION .....	4
II. EL PROBLEMA .....	5
III. CONTEXTUALIZACIÓN .....	6
3.1. Macro .....	6
3.2. Meso .....	7
3.3. Micro .....	8
IV. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA .....	9
4.1. Delimitación Espacial .....	9
4.2. Delimitación Temporal .....	9
V. OBJETIVOS .....	9
5.1. OBJETIVO GENERAL .....	9
5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
VI. JUSTIFICACIÓN .....	10
VII. MARCO TEÓRICO .....	12
7.1 AGUAS RESIDUALES .....	12
7.2 EFLUENTES INDUSTRIALES .....	13
7.2.1. Generalidades .....	13
7.3. AGUAS RESIDUALES DE LAS INDUSTRIAS ACEITERAS .....	14
7.3.1. Definición .....	14
7.3.2. Tipos de efluentes oleosos .....	15
7.3.2.1. Grasas libres .....	15
7.3.2.2. Grasas emulsionadas .....	15
7.3.2.3. Grasas dispersas e solubles .....	17
7.3.3. Problemas ambientales .....	17
7.4. TRATAMIENTOS UTILIZADOS PARA EFLUENTES INDUSTRIALES .....	18
7.4.1. Pretratamiento .....	18
7.4.2. Tratamiento Primario .....	19
7.4.2.1. Sedimentación en Decantadores .....	20
7.4.2.2. Tanques Imhoff .....	20
7.4.2.3. Coagulación/Floculación .....	21
7.4.3. Tratamiento Secundario .....	22

8.4.4. Tratamiento Terciario .....	23
7.5. COAGULACIÓN.....	24
7.5.1. Definición .....	24
7.5.2. Importancia.....	24
7.5.3. Tipos de agentes coagulantes.....	25
7.5.3.1. Sulfato de Aluminio .....	25
7.5.3.2. Cloruro Ferroso.....	25
7.5.4. Mecanismo de remoción.....	26
7.5.5. Factores que afectan el proceso de coagulación .....	27
7.5.5.1. Influencia del pH .....	27
7.5.5.2. Influencia de las Sales Disueltas.....	28
7.5.5.3. Influencia de la Temperatura del Agua.....	28
7.5.5.4. Influencia de la Dosis del Coagulante .....	28
7.5.5.5. Influencia de Mezcla .....	29
7.5.5.6. Influencia de la Turbiedad.....	29
7.5.6. Ventajas .....	29
7.5.7. Desventajas .....	30
7.6. FLOCULACIÓN.....	30
7.6.1. Definición .....	30
7.6.2. Importancia.....	31
7.6.3. Tipos de agentes floclante.....	31
7.6.3.1. Floclante polímero TQ-FLOC-PCAB .....	32
7.6.3.1. Floclante aniónico TQ-FLOC-A130 .....	32
7.6.4. Modelos de Floclación .....	33
7.6.4.1. Floclación Pericinética .....	33
7.6.4.2. Floclación Ortocinética.....	33
7.6.5. Factores que afectan el proceso de floclación .....	33
7.6.6. Ventajas .....	34
7.6.7. Desventajas .....	34
7.7. PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS .....	35
7.7.1. Características Físicas.....	35
7.7.1.1. Sólidos Disueltos totales (TDS).....	35
7.7.1.2. Turbidez.....	37
7.7.1.3. Temperatura .....	38
7.7.2. Características Químicas.....	39
7.7.2.1. Ph .....	39

7.7.2.2. Aceites&Grasas .....	40
7.7.2.3. Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	42
7.7.2.4. Demanda química de oxígeno .....	42
7.7.2.5. Ortofosfato .....	43
<b>7.8. MARCO LEGAL .....</b>	<b>44</b>
<b>VIII. HIPÓTESIS.....</b>	<b>53</b>
<b>IX. VARIABLES .....</b>	<b>53</b>
<b>9.1. Variable Independiente.....</b>	<b>53</b>
<b>9.2. Variable Dependiente.....</b>	<b>53</b>
<b>X. METODOLOGÍA.....</b>	<b>54</b>
<b>10.1 Métodos y técnicas .....</b>	<b>54</b>
<b>10.2. Diseño Experimental.....</b>	<b>55</b>
<b>10.2.1. Selección de los agentes coagulantes, floculantes y efluente.....</b>	<b>55</b>
<b>10.2.2. Proceso de coagulación y floculación mediante el uso de agitadores magnéticos .....</b>	<b>56</b>
<b>10.2.3. Análisis de sólidos disueltos totales (TDS).....</b>	<b>58</b>
<b>10.2.4. Análisis de Turbidez.....</b>	<b>59</b>
<b>10.2.5. Análisis de la Demanda química de oxígeno (DQO) .....</b>	<b>60</b>
<b>10.2.6. Análisis de la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) .....</b>	<b>62</b>
<b>10.2.7. Análisis de Ortofosfatos .....</b>	<b>63</b>
<b>10.2.8. Análisis de Aceites&amp;Grasas .....</b>	<b>65</b>
<b>10.3. Análisis de los datos .....</b>	<b>67</b>
<b>XI. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>67</b>
<b>11.1. Caracterización del efluente.....</b>	<b>67</b>
<b>11.2. ANOVA (TUKEY) .....</b>	<b>68</b>
<b>11.3. Presentación de los tratamientos y su remoción en cada parámetro a distintas concentraciones.....</b>	<b>80</b>
<b>11.4. Límites Máximos Permisibles .....</b>	<b>85</b>
<b>XII. DISCUSIÓN .....</b>	<b>87</b>
<b>XIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>89</b>
<b>13.1. CONCLUSIONES .....</b>	<b>89</b>
<b>13.2. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>90</b>
<b>XIII. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>91</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>1</b>
<b>Anexo 1. Proceso de coagulación y floculación mediante agitadores magnéticos.....</b>	<b>1</b>

<b>Anexo 2. Determinación de Sólidos disueltos totales (TDS)</b> .....	2
<b>Anexo 3. Determinación de Aceites &amp; Grasas</b> .....	2
<b>Anexo 4. Determinación de turbidez</b> .....	4
<b>Anexo 5. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno</b> .....	4
<b>Anexo 6. Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno</b> .....	5
<b>Anexo 7. Determinación de p-ortofosfatos</b> .....	5
<b>Anexo 8. Porcentajes de remoción de Sólidos Disueltos Totales</b> .....	6
<b>Anexo 9. Porcentajes de remoción de Turbidez</b> .....	6
<b>Anexo 10. Porcentajes de remoción de Aceites&amp;Grasas</b> .....	7
<b>Anexo 11. Porcentajes de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno</b> ....	7
<b>Anexo 12. Porcentajes de remoción de la Demanda Química de Oxígeno</b> .....	8
<b>PRUEBA DE TUKEY DE SOLIDOS DISUELTOS TOTALES</b> .....	9
<b>Anexo 14. Tratamiento C1</b> .....	9
<b>Anexo 15. Tratamiento C2</b> .....	9
<b>Anexo 16. Tratamiento F1</b> .....	9
<b>Anexo 17. Tratamiento F2</b> .....	10
<b>Anexo 18. Tratamiento C1+F1</b> .....	10
<b>Anexo 19. Tratamiento C1+F2</b> .....	11
<b>Anexo 20. Tratamiento C2+F1</b> .....	11
<b>Anexo 21. Tratamiento C2+F2</b> .....	12
<b>PRUEBA DE TUKEY DE TURBIDEZ</b> .....	12
<b>Anexo 22. Tratamiento C1</b> .....	12
<b>Anexo 23. Tratamiento C2</b> .....	13
<b>Anexo 24. Tratamiento F1</b> .....	13
<b>Anexo 25. Tratamiento F2</b> .....	13
<b>Anexo 26. Tratamiento C1+F1</b> .....	14
<b>Anexo 27. Tratamiento C1+F2</b> .....	14
<b>Anexo 28. Tratamiento C2+F1</b> .....	15
<b>Anexo 29. Tratamiento C2+F2</b> .....	15
<b>PRUEBA DE TUKEY DE ACEITES Y GRASAS</b> .....	16
<b>Anexo 30. Tratamiento C1</b> .....	16
<b>Anexo 31. Tratamiento C2</b> .....	16
<b>Anexo 32. Tratamiento F1</b> .....	16
<b>Anexo 33. Tratamiento F2</b> .....	17
<b>Anexo 34. Tratamiento C1+F1</b> .....	17
<b>Anexo 35. Tratamiento C1+F2</b> .....	18

Anexo 36. Tratamiento C2+F1 .....	18
Anexo 37. Tratamiento C2+F2 .....	19
<b>PRUEBA DE TUKEY DE DBO .....</b>	<b>19</b>
Anexo 38. Tratamiento C1 .....	19
Anexo 39. Tratamiento C2 .....	20
Anexo 40. Tratamiento F1 .....	20
Anexo 41. Tratamiento F2 .....	20
Anexo 42. Tratamiento C1+F1 .....	21
Anexo 43. Tratamiento C1+F2 .....	21
Anexo 44. Tratamiento C2+F1 .....	22
Anexo 45. Tratamiento C2+F2 .....	22
<b>PRUEBA DE TUKEY DE DQO .....</b>	<b>23</b>
Anexo 46. Tratamiento C1 .....	23
Anexo 47. Tratamiento C2 .....	23
Anexo 48. Tratamiento F1 .....	24
Anexo 49. Tratamiento F2 .....	24
Anexo 50. Tratamiento C1+F1 .....	24
Anexo 51. Tratamiento C1+F2 .....	25
Anexo 52. Tratamiento C2+F1 .....	25
Anexo 53. Tratamiento C2+F2 .....	26
<b>PRUEBA DE TUKEY DE P-ORTOFOSFATOS .....</b>	<b>26</b>
Anexo 54. Tratamiento C1 .....	26
Anexo 55. Tratamiento C2 .....	27
Anexo 56. Tratamiento F1 .....	27
Anexo 57. Tratamiento F2 .....	28
Anexo 58. Tratamiento C1+F1 .....	28
Anexo 59. Tratamiento C1+F2 .....	28
Anexo 60. Tratamiento C2+F1 .....	29
Anexo 61. Tratamiento C2+F2 .....	29
Anexo 62. Porcentajes promedios de remoción a 10 mg/l.....	30
Anexo 63. Porcentajes promedios de remoción a 20 mg/l.....	30
Anexo 64. Porcentajes promedios de remoción a 30 mg/l.....	30
Anexo 65. Porcentajes promedios de remoción a 40 mg/l.....	1
Anexo 66. Porcentajes promedios de remoción a 50 mg/l.....	1
<b>Anexo 67. Valores promedios de remoción a 10 mg/L comparados con los límites máximos permisibles establecidos por el TULSMA.....</b>	<b>1</b>

<b>Anexo 68. Valores promedios de remoción a 20 mg/L comparados con los límites máximos permisibles establecidos por el TULSMA.....</b>	<b>2</b>
<b>Anexo 69. Valores promedios de remoción a 30 mg/L comparados con los límites máximos permisibles establecidos por el TULSMA.....</b>	<b>2</b>
<b>Anexo 70. Valores promedios de remoción a 40 mg/L comparados con los límites máximos permisibles establecidos.....</b>	<b>2</b>
<b>Anexo 72. NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA. LIBRO VI. ANEXO 1. TABLA 9. Límite de descarga al sistema de alcantarillado público. ....</b>	<b>3</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Selección de los agentes coagulantes y floculantes.....</b>	<b>55</b>
<b>Tabla 2. Tratamientos y Concentraciones.....</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 3. Conversión de masa a volumen.....</b>	<b>57</b>
<b>Tabla 4. Caracterización del efluente.....</b>	<b>67</b>
<b>Tabla 5. Valores promedios de Sólidos disueltos totales.....</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 6. Valores promedios de Turbidez.....</b>	<b>70</b>
<b>Tabla 7. Valores promedios de Aceites y Grasas.....</b>	<b>72</b>
<b>Tabla 8. Valores promedios de DBO.....</b>	<b>75</b>
<b>Tabla 9. Valores promedios de DQO.....</b>	<b>76</b>
<b>Tabla 10. Valores promedios de p-ortofosfatos.....</b>	<b>78</b>
<b>Tabla 11. Valores promedios de remoción a 50 mg/L de los dos mejores tratamientos (F1 y C1+F1) comparados con los límites máximos permisibles establecidos por el TULSMA.....</b>	<b>85</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. Porcentajes promedios de remoción a 10 mg/L.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Figura 2. Porcentajes promedios de remoción a 20 mg/L.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Figura 3. Porcentajes promedios de remoción a 30 mg/l.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Figura 4. Porcentajes promedios de remoción a 40 mg/l.....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 5. Porcentajes promedios de remoción a 50 mg/L.....</b>	<b>84</b>

## RESUMEN

La presente investigación muestra los resultados de un estudio de la aplicación de los procesos de floculación y coagulación como mecanismos alternativos para el tratamiento primario de aguas residuales de una empresa refinadora de aceites comestibles. Se llevaron a cabo pruebas de laboratorio para encontrar el tratamiento más eficiente juntamente con su dosis óptima, además se aplicó el análisis ANOVA y el test de Fisher. Se utilizaron agitadores magnéticos para disolver concentraciones variadas de 10, 20, 30, 40 y 50 mg/L de dos coagulantes, sulfato de aluminio (C1) y cloruro ferroso (C2); y dos floculantes, floculante polímero (F1) y floculante aniónico (F2), colocando estos productos químicos en 1L de muestra del efluente de forma individual y de manera combinada (C1+F1, C1+F2, C2+F1, C2+F2), de modo que se obtuvieron un total de ocho tratamientos. Los mejores resultados se obtuvieron con el tratamiento F1 y el tratamiento combinado C1+F1, siendo la dosis óptima 50mg/L para ambos casos. La aplicación del floculante polímero F1 redujo el contenido de TDS en un promedio de 92,35% y A&G en un promedio de 73,75%. El tratamiento combinado C1+F1 disminuyó la DBO en un porcentaje promedio de 68,18%, la DQO con un promedio de 67,95% y la Turbidez con un promedio de 82,77%. Finalmente ambos tratamientos disminuyeron el contenido de P-Ortofosfato con un mismo promedio de remoción de 29,48%.

## **ABSTRACT**

The present investigation shows the results of a study of the application of the processes of flocculation and coagulation as alternative mechanisms for the primary treatment of wastewater of a refining company of edible oils. Laboratory tests were carried out to find the most efficient treatment unitedly with its ideal dose, in addition there was applied the analysis ANOVA and Fisher's test. Magnetic agitators were in use for dissolving varied concentrations of 10, 20, 30, 40 and 50 mg/L of two coagulants, sulfate of aluminium (C1) and ferrous chloride (C2); and two flocculating agents, flocculant polymer (F1) and anionic flocculating agent (F2), placing these chemical products in 1L of sample of the effluent one of individual form and of way combined (C1+F1, C1+F2, C2+F1, C2+F2), so that there were obtained a total of eight treatments. The best results were obtained by the treatment F1 and the combined treatment C1+F1, being the ideal dose 50mg/L for both cases. The application of the flocculant polymer F1 reduced TDS's content in an average of 92,35 % and A&G in an average of 73,75 %. The combined treatment C1+F1 diminished the DBO in an average percentage of 68,18 %, the DQO with an average of 67,95 % and the Turbidity with an average of 82,77 %. Finally both treatments diminished P-Ortofosfato's content with the same average of removal of 29,48 %.

## RESUMO

A presente investigação amostra os resultados dum estudo com aplicação dos processos da floculação e coagulação como mecanismo alterno para o tratamento primário das águas residuais duma indústria de refinação de óleo comestível. Por tanto foram realizadas testes de laboratorio para conhecer o que tratamento foi o mais eficiente juntamente com as suas dose ótima, além disso foi aplicado o análise de variância ANOVA com o teste de Fisher. Utilizou-se agitadores magnéticos para dissolver várias concentrações de 10, 20, 30, 40 y 50 mg/l de dois coagulantes, sulfato de alumínio (C1) e cloreto ferroso (C2); e dois floculantes, um floculante de polímero (F1) e floculante aniónico (F2), a pôr istos produtos químicos em 1L da amostra do efluente de maneira individual e combinada (C1+F1, C1+F2, C2+F1, C2+F2), de forma que foram obtidos oito tratamentos. Os melhores resultados foram arrajandos pelo tratamento F1 e o tratamento composto C1+F1, sendo a dose ótima 50 mg/l para os dois casos. A aplicação do floculante de polímero F1 tive reduzido o conteúdo de TDS em uma média de 92,35% e A&G em uma média de 73,75%. O tratamento composto de C1+F1 diminuiu a DBO numa porcentagem média de 68,18%, a DQO com uma média de 67,95% e a Turbidez com uma média de 82.77%. Finalmente, ambos tratamentos diminuíram o teor de p-ortofosfatos com a mesma média de remoção de 29,48%.

## I. INTRODUCCION

En el desarrollo de la humanidad es palpable observar una tendencia dentro de la sociedad de crear y obtener cada día productos de distintos usos para su posterior aprovechamiento, mediante el consumo masivo nace la industria y con ella surgen los beneficios para la competitividad y el incremento de la economía y a su vez el desencadenamiento de una problemática ambiental insostenible relacionado a la producción de las aguas residuales industriales (Mayorga 2014).

La generación de estas aguas pueden ser de diferentes fuentes y una de ellas es por parte de las industrias aceiteras. Este tipo de caudal está constituido principalmente por una emulsificación estable de aceites y grasas extraídas de la soya, palma africana y semillas de girasol, así como también agua y sustancias surfactantes (tensoactivos) que con el transcurso del tiempo provocan impactos ambientales considerables no solo al ecosistema sino también al desarrollo de las especies y a la salud humana (Manangón 2010).

Por tanto, las exigencias ambientales que hoy en día rigen el país y la limitación de espacios para la disposición de estos efluentes, incentivan a las industrias a crear cada día mejores tecnologías para el proceso de tratamiento de sus aguas residuales (Ramírez *et al.* s. f.).

Uno de los mayores limitantes en el tratamiento de estos efluentes corresponde a la presencia de grasas emulsionadas, las cuales no pueden ser retiradas de manera física, recurriendo a procedimientos físicos-químicos para su remoción, tal como es el caso del uso de coagulantes y floculantes. El uso de estos agentes cumplen la función de desestabilizar las partículas coloidales por medio de la neutralización de sus cargas eléctricas, estas partículas desestabilizadas al ponerse en contacto unas con otras dará lugar a la formación de flóculos los cuales por su peso se sedimentarán pudiendo ser retirados fácilmente (Olivero 2002).

De esta manera se puede vislumbrar esta opción como un tratamiento de bajo costo el cual las empresas puedan solventar, además este tipo de procesos ya

ha sido implementado en otros campos obteniendo resultados eficaces en la remoción de la demanda química y bioquímica de oxígeno, turbidez, sólidos suspendidos, aceites y grasas e inclusive compuestos hidrocarburíferos (Montalvo 2013).

## **II. EL PROBLEMA**

Durante décadas la ciudad de Manta ha sufrido problemas de contaminación ambiental debido a las descargas ilegales de efluentes de distintos orígenes (doméstico, industrial) a los cuerpos de agua que la atraviesan, con el paso del tiempo el sector productivo de la localidad ha incrementado de manera significativa y, la cantidad de industrias pesqueras, alimentarias, aceiteras entre otras, aportan diariamente con grandes cantidades de caudal al sistema de alcantarillado, dichos efluentes en su mayoría ingresan a la red sanitaria sin ningún tipo de tratamiento y en ciertos casos son enviadas de manera clandestina al mar o a los ríos estacionales cercanos (Montalvo 2013).

Las industrias dedicadas a la elaboración de aceites y grasas, usualmente tratan sus efluentes debido a la presencia de las grasas, ya que estos compuestos orgánicos afectan directamente la eficiencia de tratamientos de tipo biológico que se quieran realizar (Ortiz 2002).

En la sección de refinería de las fábricas de aceites comestible contribuyen generalmente con contenido oleoso a su efluente final mezclados con sustancias hidrocarburíferas y sales en altas concentraciones, por ello las interacciones químicas y mecánicas entre el agua y estas sustancias son muy complejas y frecuentemente se presentan dificultades para su remoción (Ortiz 2002).

El aceite puede estar presente en el agua en diferentes formas: libre, dispersión de gotas finas, emulsión químicamente estable y sólidos aceitosos. El tratamiento de las aguas residuales aceitosas en este tipo de empresas por lo general consiste primero, en la separación del aceite libre que flota fácilmente y

de los sólidos aceitosos, habitualmente se usan métodos y equipos que involucran la sedimentación y la flotación natural (Nacheva *et al.* 2002).

El tratamiento primario en este tipo de efluentes mayormente quedan residuos del aceite disperso y el emulsificado. Este efluente se somete entonces a una segunda y una tercera etapa de separación con el fin de remover el aceite disperso y el emulsificado para así romper la emulsión aceite/agua y acelerar la remoción del aceite disperso y del emulsificado (Nacheva *et al.* 2002).

Dado aquello, se pueden utilizar productos químicos como los coagulantes y floculantes, los cuales tienen propiedades adecuadas para la desestabilización de las emulsiones, ya que las características del agua y las bondades que ofrece el proceso de coagulación/floculación hacen adecuada su aplicación para el tratamiento de los efluentes de refinерías de aceite (Nacheva *et al.* 2002)..

### **III. CONTEXTUALIZACIÓN**

#### **3.1. Macro**

Durante décadas las aguas residuales industriales han representado un grave problema tanto para las comunidades vecinas como para la propia empresa, el sector industrial en el siglo XX no contaba con sistemas de tratamientos eficaces para la depuración de sus aguas y vertían sus efluentes al alcantarillado público, afectando de forma gradual los cuerpos de aguas receptores y la vida existente en dicha zona; sin embargo, con el paso del tiempo y los avances tecnológicos estas técnicas de tratamiento han mejorado con la finalidad de minimizar los impactos ambientales ocasionados, empleando métodos primarios, secundarios y en ciertos casos terciarios para la reutilización del efluente dentro del proceso productivo en la industria (Ramírez *et al.* s. f.).

Tradicionalmente uno de los métodos usados en la clarificación para potabilizar el agua era la utilización de coagulantes naturales de origen vegetal extraídos de semillas de almendras, durazno, lentejas entre otras; no obstante, la adición

de estos compuestos al efluente acrecentaba de manera significativa la carga orgánica en un 90% sin actuar como agente coagulante, posteriormente se lanzó al mercado la venta de coagulantes sintético orgánicos cuya función es aglomerar y decantar las partículas coloidales y en suspensión reduciendo progresivamente la turbidez y los sólidos disueltos totales presentes en el agua a tratar incrementando la demanda de este producto en el área industrial (Ganjidoust *et al.* 1997).

Años más tarde, se efectuó un modelo predilecto denominado “jar test” o prueba de jarra implementado por los científicos G. W. Fuller, J. Cairol y E. Theirault en 1910, el cual permitió determinar la dosis óptima de los reactivos (sulfato de aluminio, soda y polielectrolito), mediante la ejecución de hasta 6 ensayos simultáneos siendo mezclados a distintas revoluciones por minuto por una paleta magnética, controlando ciertos factores implicados como la velocidad y el tiempo (Díaz *et al.* 2007). Posteriormente en 1918 en la Universidad de California (EEUU) se realizó a nivel de laboratorio las primeras investigaciones sobre calidad de aguas a cargo de W. L. Langenlier usando coagulantes y floculantes sintéticos de distintos tipos, obteniendo valores variados de turbidez y sólidos disueltos (Coto 2011).

### **3.2. Meso**

A raíz de las primeras investigaciones, surgieron estudios relacionados a la aplicación de agentes coagulantes y floculantes en las aguas residuales industriales, en el año 2002 en México, se trataron los desechos líquidos oleosos de una mezcla de agua y aceite procedente del mantenimiento de los equipos de una central nuclear, este efluente contenía altas concentraciones de material radiactivo según el Instituto de Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ). La adición de 4 coagulantes y 2 floculantes lograron remover aceites & grasas (Gas), turbidez, Co, Co y Cr en un 94.11%, 98.6%, 82.3%, 94.8%, 99.9% respectivamente y disponer del efluente tratado para riego de plantas ornamentales (Ortiz 2002).

Por otro lado la investigación desarrollada en la ciudad de Manizales-Colombia por Gómez (2005) ha demostrado que, el uso de este proceso remueve la materia orgánica disuelta (MOD) presente en las aguas crudas mediante la coagulación con sales metálicas entre la combinación de hidróxido sólido y la precipitación química

En las industrias de grasas y aceites, se aplicó tres tipos de coagulantes metálicos: sulfato de aluminio, cloruro férrico y sulfato ferroso y, a través de las pruebas de jarra se determinó las condiciones óptimas para la remoción de 10.22% de DBO<sub>5</sub>, y de 10.92% de DQO siendo el más eficiente el Sulfato de Aluminio con una dosis de 75mg/L, una concentración de 5% y un pH de 7.32 (Gómez 2005).

Así mismo se probó el proceso de coagulación-floculación como pretratamiento de aguas residuales producidas en la ciudad de México, el cual se enfocó en utilizar seis productos de coagulantes y tres floculantes. El agente flocular zwitteriónico (2PNOD2R) fue desarrollado por la UNAM en el instituto de Ingeniería el cual redujo considerablemente los SST, turbidez, color y la producción de lodos bajo la dosis de coagulante de 20mg/L y dosis de floculante de 0.1 mg/L (Ramírez *et al.* s. f.).

### **3.3. Micro**

En Ecuador de la misma manera se ha aplicado este proceso en la mejora de la calidad del agua potable y residual, tal como el estudio realizado en la ciudad Quito en la planta de tratamiento de Conocoto usando 60 mg/l – 70 mg/l de Sulfato de Aluminio y 0.15 mg/l de Polímero LIPESA 1560 PWG removiendo los sólidos suspendidos en un 70-80% presentes (Vásquez 2013). No obstante, en otras localidades se ha acentuado la contaminación en los cuerpos de agua debido a que las autoridades municipales no aplican las políticas ambientales, incumpliendo las leyes y por falta de recursos económicos contaminan los cuerpos receptores (Espigares y Pérez 1985).

El cantón Manta, considerado como el primer puerto atunero de latinoamérica con gran potencial turístico es una de las ciudades con mayor contaminación ambiental de la provincia de Manabí, aportando de manera significativa el sector industrial el cual envía sus efluentes sin tratamiento a los ríos estacionarios y al mar. El sistema de coagulación y floculación es empleado únicamente con el fin de potabilizar el agua más no como tratamiento para los efluentes con grasas emulsionadas (Sanz s. f.).

## **IV. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

### **4.1. Delimitación Espacial**

La problemática en cuestión se suscita en la ciudad de Manta, provincia de Manabí-Ecuador, por parte de una empresa dedicada a la elaboración de aceites comestibles y derivados.

### **4.2. Delimitación Temporal**

El desarrollo de esta investigación tuvo inicio en el mes de Enero del 2017 y concluyó en Octubre del 2017, la etapa experimental se realizó a inicios del mes de Junio hasta finales del mes de Julio y tuvo lugar en el laboratorio de aguas de la facultad de ciencias Agropecuarias (ULEAM), además se contó con la colaboración del laboratorio de la Escuela Superior Politécnica Agraria de Manabí (ESPAM).

## **V. OBJETIVOS**

### **5.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la eficiencia del proceso de coagulación/floculación con distintos productos químicos aplicado como tratamiento primario en efluentes industriales de refinación de aceites comestibles.

## **5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar el efluente procedente de una industria de aceite comestible.
- Determinar qué tratamiento y dosificación implementado dentro del proceso de coagulación/floculación tuvo relevante eficacia en la desestabilización del aceite comestible en el efluente oleoso.
- Determinar cual tratamiento removi6 la mayor cantidad de los parámetros mencionados.
- Comparar los resultados obtenidos con los límites máximos permisibles del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente en el libro VI anexo 1.

## **VI. JUSTIFICACIÓN**

Los efluentes industriales contienen sustancias tanto disueltas como en suspensión, orgánicas e inorgánicas, las cuales pueden eliminarse del agua por simple sedimentación, sin embargo, resulta necesaria la aplicación de los procesos de coagulación/floculación como tratamiento primario para que las partículas de tamaño muy pequeño puedan aglomerarse y dar paso a la formación de partículas más pesadas que faciliten su decantación (Lorenzo 2006).

La importancia de este tratamiento físico químico radica en la remoción efectiva de ciertos parámetros como la turbidez, grasas y sólidos disueltos presentes en los efluentes oleosos los cuales constituyen un obstáculo al momento de ser tratados con sistemas biológicos, además disminuye considerablemente ciertos microorganismos patógenos, compuestos fosfatados y metales pesados siendo entre una de sus principales ventajas su bajo costo de aplicación (Vásconez 2013).

Las descargas de efluentes oleosos a cuerpos de agua afectan el consumo de oxígeno en las corrientes de agua (DQO), incrementan el pH, así como el contenido de sólidos en suspensión, sólidos disueltos, grasas y aceites, perjudicando la vida acuática. El fósforo también suele estar presente en estos efluentes y si no se controla su contenido, puede ocasionar crecimientos explosivos de algas y otros organismos biológicos (Gómez 2005).

Los procesos de coagulación/floculación permiten la remoción de turbiedad orgánica o inorgánica, remoción de color verdadero y aparente, la eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos y la decantación de precipitados químicos suspendidos, con lo cual se controla que la carga orgánica y demás parámetros no afecten significativamente la flora y fauna acuática presente en el cuerpo receptor, caso contrario la propagación de vectores se replicaría rápidamente quedando desprotegida la vida marina (Lorenzo 2006).

Las sustancias que se requieren para los procesos de coagulación/floculación conocidos como cuagulantes y floculantes son de fácil accesibilidad y se consiguen a un precio módico en el mercado, los costes de operación dependen de las características de agua residual a tratar, y especialmente de la dosis de coagulante/floculante necesaria para completar efectivamente el tratamiento (Martínez *et al.* 2016). Los efluentes tratados, dependiendo su calidad y desde el punto de vista fisicoquímico, podrían ser utilizados para actividades que no representan ningún riesgo a la salud tales como riego de áreas verdes, lavado de patios, intercambiadores de calor, calderas, lavado de flota vehicular, sanitarios, entre otros (Ramírez *et al.* s. f.).

Por tanto la aplicación de este tratamiento en los efluentes industriales de aceites y grasas de Manta a más de ser económicamente accesible podrán pasar por tratamientos secundarios y terciarios previo a su descarga al alcantarillado para asegurar el cumplimiento de los parámetros y límites permisibles para las

descargas en sistemas de alcantarillado o cuerpo receptor establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente (TULSMA) en el Libro VI Anexo 1 NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: Recurso agua.

## **VII. MARCO TEÓRICO**

### **7.1 AGUAS RESIDUALES**

Desde que aparecieron los primeros asentamientos humanos, la eliminación de los desechos producidos durante una actividad o al finalizar la misma ha constituido un problema primordial para las sociedades. En las últimas décadas las masas de aguas tales como: ríos, lagos, corrientes subterráneas y el mar, han sido incapaces de amortiguar la contaminación provocada en gran parte por el sector industrial, como consecuencia de esto, en numerosas ocasiones pierden aquellas condiciones mínimas afectando el equilibrio físico, químico y biológico presente en los cuerpos de aguas receptores (Espigares y Pérez 1985).

Se define como aguas residuales a la utilización o aprovechamiento del líquido vital destinado a una población o industria, como consecuencia de este uso, se produce la acumulación de material en suspensión y coloidal alterando las propiedades del mismo, dependiendo de la utilización las aguas residuales pueden poseer ciertas características diferentes y según su origen se las puede clasificar en: aguas residuales domésticas o urbanas, aguas residuales industriales, y aguas residuales agrícolas, cabe recalcar que sea cual fuera su procedencia estos tipos de efluentes representan una amenaza para el medio ambiente y los seres vivos que habitan en un determinado ecosistema (Fernández *et al.* s. f.).

## **7.2 EFLUENTES INDUSTRIALES**

### **7.2.1. Generalidades**

Según el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente (2015) se define como aguas residuales aquellos efluentes cuya composición procede de descargas de diferentes usos, ya sea municipales, industriales, comerciales, agrícolas, domésticos y en general de cualquier otro uso, que haya sufrido una alteración en su estado inicial.

No cabe duda que la industria es el motor del crecimiento económico y pieza clave para el progreso social de una ciudad, región o país, no obstante, la necesidad de acrecentar el proceso productivo excluye de la planificación elemental la protección al medio ambiente en su afán de incrementar sus retribuciones las fábricas generan más residuos y vierten sus aguas sin ningún pretratamiento previo a los recursos hídricos disponibles en el planeta (Freire 2012).

El grado de contaminación de las aguas residuales provenientes de los procesos industriales varían de acuerdo a ciertos indicadores tales como: su cantidad y composición de la actividad productiva desarrollada, de la tecnología aplicada y la calidad de la materia prima usada para la elaboración de un insumo (Salazar 2005).

Este tipo de efluente puede modificarse y desprenderse en subtipos que van desde aquellos con alto contenido de materia orgánica biodegradable (mataderos, industria de alimentos), otras con materia orgánica y compuestos químicos (industria de celulosa) y finalmente industrias cuyas aguas residuales contienen sustancias inorgánicas (metalúrgicas, textiles, químicas, minería) u orgánicas no degradables (Salazar 2005).

## 7.3. AGUAS RESIDUALES DE LAS INDUSTRIAS ACEITERAS

### 7.3.1. Definición

La principal fuente de contaminación de ríos, bahías, lagunas y acuíferos corresponde al vertido incontrolado de residuos los cuales proceden en su mayoría del sector productivo. La industria alimentaria es un sector socioeconómico con alta incidencia en la contaminación de las aguas a nivel local y nacional; siendo las industrias láctea, cárnica, productora de aceites vegetales y derivados las de mayor influencia debido al excesivo volumen de aguas residuales que generan (Abalos *et al.* 2007).

Las industrias dedicadas a la producción de aceites, jabones y derivados engloban una serie de procesos complejos para obtener un producto final elaborado a base soja o palma africana, partiendo del crudo conocido como materia prima, a este se le adiciona agua y ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) dando inicio a la primera fase del desgomado, esta etapa permite eliminar los fosfolípidos fácilmente hidratables y ciertos metales que se pudieran encontrar obteniendo como rechazo la lecitina de soja, posteriormente entra en la sección de neutralización de los ácidos grasos libres a través de la aplicación de hidróxido de sodio (NaOH) eliminando agua y jaboncillo ( Abalos *et al.* 2007).

La etapa de blanqueo es realizado con las tierras activadas con la finalidad de absorber todos los compuestos coloreados y descomponer los hidroperóxidos presentes, y como última fase el desodorizado, este permite eliminar compuestos volátiles tales como: aldehídos y cetonas mitigando los olores y dejándolos con bajos rangos de detección, tradicionalmente este proceso de desodorizado es efectuado con vapor usando bajas presiones y altas temperaturas, cabe recalcar que estas fases dos últimas fases generan gran cantidad compuesto fosfolipídicos, ácidos grasos libres, pigmentos y considerable contenido oleoso emulsionado como efluente resultante (Sanz s. f.).

Por tanto un efluente oleoso en términos generales se define como aquellas aguas que presentan cantidades variables de grasa, óleos y lubricantes además de materiales en suspensión que pueden incluir como arena, tierra, arcilla etc. y una gama de sustancias coloidales y disueltas tales como detergentes, metales pesados y sales (EngenhoNovo s. f.).

### **7.3.2. Tipos de efluentes oleosos**

Cuando se pretende separar la grasa presente en una agua oleosa es importante recordar que no es suficiente retirar este compuesto de forma superficial, sino también es indispensable una remoción más profunda por los aceites emulsionados en el medio. Según American Petroleum Institute (1990) las grasas pueden encontrarse en las aguas de distintas formas:

#### *7.3.2.1. Grasas libres.*

Es aquel que corresponde a una fase visiblemente distinta a la acuosa, es decir, que ambos compuestos permanecen inmiscibles y por su densidad aparece fluctuando en la superficie siendo fácilmente identificable (Santos s. f.).

Las grasas libres se pueden encontrar completamente estratificadas del agua y pueden ser removidas con facilidad ya sea usando un decantador, hidrociclón, centrífuga o flotador el cual sea capaz de brindar todas las condiciones óptimas para que las gotas más pequeñas de óleo sean separadas, vale la pena mencionar que esta separación es un proceso exclusivamente físico y no presenta mayores complejidad (EngenhoNovo s. f.).

#### *7.3.2.2. Grasas emulsionadas.*

Según Martínez (2007) una emulsión es un sistema líquido disperso conformado a nivel microscópico por dos fases inmiscibles, por lo que la apariencia macroscópica (a simple vista) es la de un líquido homogéneo. El líquido que se presenta en mayor proporción dentro

de este sistema se denomina fase externa, y el que se presenta en menor proporción fase interna.

De igual manera Santos (s. f.) sostiene que se define como grasas emulsionadas cuando estas se encuentran mezcladas de cierta manera que su presencia en el agua no puede ser distinguida por el ojo humano, este sistema se lo conoce como “monofásico” agua-grasa y da paso a la emulsión compuesta por innumerables micelas y unidades básicas.

Martínez (2007) argumenta que un sistema emulsionado es estable por la existencia de una diferencia de potencial entre las fases, dado que la superficie de las microgotas de la fase interna se carga negativamente. Esta carga impide, por repulsión electrostática que las cargas se unan y, por tanto, este fenómeno es el que confiere apariencia al líquido de homogeneidad (apariencia de líquido uniforme). La ruptura de la emulsión consiste en separar las dos fases de las que consta la emulsión, mediante la coalescencia irreversible de las gotas y para romper la emulsión es necesario desestabilizar las cargas de las microgotas de la fase interna.

Los efluentes emulsionados se los puede clasificar en dos grandes grupos basados en la regla de Bancroft (Lui 2009).

- i. Las emulsiones del tipo O/W (Oil/Water) emplean emulsificantes que son más solubles en agua que en aceite.
- ii. Las emulsiones del tipo W/O (Water/Oil) utilizan emulsificantes que son más solubles en aceite que en agua.

En condiciones de equilibrio en un sistema de aceite-agua (O/W) no ocurren formaciones de emulsión, dejando los óleos libres en

suspensión. Para que exista una emulsión según Kosegarten y Jiménez (2012) son necesarias dos condiciones específicas.

- i. Debe existir una dispersión mecánica de aceite y agua con introducción de minúsculas gotas de una fase en el interior de la otra.
- ii. El medio debe contener algún agente químico que sea capaz de estabilizar todas las gotículas su fusión, es decir, que se unan unas con las otras.

El tratamiento para efluentes emulsionados con grasas requiere de procesos sofisticados como centrifugación asociados a el uso de ciertos productos químicos denominados coagulantes y floculantes.

#### *7.3.2.3. Grasas dispersas e solubles.*

Se denomina grasas dispersas a aquella sustancia que se encuentra en la fase dispersa, discontinua o interna dispersa, es aquel líquido dispersado en una sustancia circundante denominada fase continua o externa (Lui 2009).

#### **7.3.3. Problemas ambientales**

Toda actividad antrópica al ser finalizada genera desechos o sustancias que al ser depositadas en una zona puede generar impactos ambientales severos según la composición química que posea y la duración de biodegradación. Las sustancias de tipo oleaginosas según Gómez (2009) citado por Toapanta menciona que “las sustancias de naturaleza lipídica al ser inmiscibles con el agua tienden a permanecer en la superficie dando la aparición de natas y espumas las cuales entorpecen los tratamientos químicos y biológicos, por lo que deben eliminarse mediante un tratamiento previo”.

Las trampas de grasas son sistemas depuradores de aguas grasosas usados previo a la aplicación de un tratamiento secundario, este tipo de sistema es aplicado frecuentemente por la industria para eliminar las sustancias oleosas y agentes tensoactivos que por densidad tienen a permanecer suspendidas en la superficie; no obstante, según su origen esas sustancias inmiscibles pueden encontrarse de forma emulsionada en el efluente invalidando la función de este sistema antes mencionado (Gómez 2009).

Entre las principales fuentes aportadoras de Aceites&Grasas se encuentran: la industria automotriz de motores de lanchas y barcos, industrias petroleras y las industrias alimenticias de aceites. Estos efluentes al ser vertidos en cuerpos de aguas pueden ocasionar efectos que interfieren en el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera en casos excepcionales puede conducir a una acidificación del agua mediante la liberación de ácidos grasos junto a niveles deficientes de oxígeno disuelto (Toapanta s. f.).

Los efluentes resultantes de la actividad realizada por parte de las empresas productoras de Aceites&Grasas, pueden llegar a ocasionar impactos ambientales negativos en el área donde desemboque el efluente, pudiendo alterar de cierta forma las propiedades físico-química de los cuerpos de aguas receptoras, el suelo y poniendo en riesgo la salud de los seres vivos que viven y se desarrollan en dicho territorio (Martínez *et al.* 2016).

## **7.4. TRATAMIENTOS UTILIZADOS PARA EFLUENTES INDUSTRIALES**

### **7.4.1. Pretratamiento**

Según Fernández *et al.* (2006) las operaciones para eliminar las partículas en suspensión presente en las aguas residuales industriales suelen ser las

primeras en efectuarse. Asimismo González *et al.* (2004) mencionan que en un pretratamiento existe un conjunto de elementos estáticos o dinámicos que permiten eliminar los sólidos gruesos y finos (arena), puesto que su paso a los tratamientos posteriores dificultaría o perturbaría la operatividad de los mismos.

Rossi (2010) plantea que esta etapa no afecta a la materia orgánica contenida en un agua residual, sino que pretende la eliminación de cuerpos gruesos y/o arenosos cuya presencia en el efluente. En el pretratamiento se efectúa un desbaste (rejas) para la eliminación de las sustancias de tamaño excesivo y un tamizado para eliminar las partículas en suspensión. Un desarenado, para eliminar las arenas y sustancias sólidas densas en suspensión y un desengrasado para eliminar los aceites presentes en el agua residual así como elementos flotantes.

#### **7.4.2. Tratamiento Primario**

Carrión (2008) establece que los tratamientos primarios ayudan a reducir aceites, grasas, arenas y sólidos gruesos; es decir el proceso de asentamiento de los sólidos. Rigola (s. f.) también menciona que estos tratamientos permiten remover aquellos contaminantes que pueden ser sedimentados, como por ejemplo los sólidos sedimentables, algunos suspendidos o aquellos que pueden flotar como las grasas.

Rossi (2010) agrega que este tipo de tratamiento tiene como finalidad la remoción de sólidos suspendidos floculantes bien mediante sedimentación o floculación, en la neutralización de la acidez o alcalinidad excesivas y en la remoción de compuestos inorgánicos mediante precipitación química.

En la opinión de CENTA (2008) los tratamientos primarios a más de centrarse en la eliminación de sólidos en suspensión, consigue además

cierta reducción de la contaminación biodegradable, dado que una parte de los sólidos que se eliminan está constituida por materia orgánica.

Rigola (s. f.) argumenta que el tratamiento primario presenta diferentes alternativas según la configuración general y el tipo de tratamiento que se haya adoptado. Dicho con palabras de Rossi (2010) entre los principales procesos y operaciones de tratamiento primario están:

#### *7.4.2.1. Sedimentación en Decantadores*

Rossi (2010) afirma que la sedimentación se puede utilizar para separar los sólidos en suspensión presentes en el agua residual, ya que remueve aquella fracción de los sólidos que es sedimentable y además la carga orgánica asociada con dichos sólidos.

De igual manera Hernández (1998) agrega que la sedimentación tiene por objeto fundamental la reducción de los sólidos en suspensión decantables existentes en el agua residual y como consecuencia de esta reducción de sólidos suspendidos el tratamiento primario da origen a una reducción de la DBO asociada con los sólidos suspendidos que son retirados.

#### *7.4.2.2. Tanques Imhoff*

Según la OPS (2005) el tanque imhoff es una unidad de tratamiento primario cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos que integran la sedimentación del agua y a digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad, por ese motivo también se les llama tanques de doble cámara.

Vázquez y López (2011) argumentan que el tanque imhoff es uno de los mecanismos más antiguos empleados en la estabilización de la materia orgánica y sólidos biológicos, debido a los bajos costos de

servicio y a que no se emplean equipos de aireación, aunque tienen un coeficiente de producción de biomasa inferior que los sistemas aeróbicos.

Según Rossi (2010) los tanques Imhoff tienen una operación muy simple y no requiere de partes mecánicas, sin embargo, para su uso concreto es necesario que las aguas residuales pasen por los procesos de tratamiento preliminar de cribado y de remoción de arenas.

#### *7.4.2.3. Coagulación/Floculación*

Rossi (2010) manifiesta que la coagulación consiste en la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico llamado coagulante, no obstante la floculación también es un proceso complementario de separación de líquido-sólido utilizado para la agrupación y remoción de partículas o sólidos suspendidos en las aguas residuales.

De igual manera Ruiz (s. f.) define este proceso en dos etapas, en la primera etapa de coagulación se elimina la doble capa eléctrica que caracteriza a los coloides, y la floculación se da a continuación y consiste básicamente en la aglomeración de los coloides mediante la atracción de las partículas con el aglutinamiento que se logra por la presencia de sustancias conocidas como floculantes.

Rossi (2010) expresa que el mecanismo de coagulación sirve para la desestabilización de la suspensión coloidal, mientras que la floculación se limita a los fenómenos de transporte de las partículas coaguladas para provocar colisiones entre ellas promoviendo su aglomeración.

Los tratamientos de coagulación/floculación se utilizan principalmente para la separación de grasas, aceites, material fibroso y otros sólidos de densidad baja (Rossi, 2010).

#### **7.4.3. Tratamiento Secundario**

Según Carrión (2008) este tipo de tratamiento es designado para degradar el contenido biológico de las aguas residuales que se derivan desperdicios generados por el hombre: desechos fecales, orines, residuos de comida, jabones y detergentes. Rossi (2010) expresa que la finalidad del tratamiento secundario es la reducción de la materia orgánica presente en las aguas residuales una vez superadas las fases de pretratamiento y tratamiento primario.

González *et al.* (2004) declara que los tratamientos secundarios eliminan la materia orgánica biodegradable a través de un proceso biológico, mediante microorganismos que actúan en condiciones controladas. CENTA (2008) enfatiza que el tratamiento biológico se realiza con la ayuda de microorganismos (fundamentalmente bacterias) que en condiciones aerobias actúan sobre la materia orgánica presente en las aguas residuales.

Como lo hace notar González *et al.* (2004) estos tratamientos constan de dos procesos, uno de naturaleza bioquímica, en el que las bacterias, a través de reacciones metabólicas, producen la degradación y mineralización de la materia orgánica (catabolismo), generando nuevas células (anabolismo), y otro, de naturaleza fisico-química, durante el cual se produce la decantación de los llamados fangos secundarios, compuestos fundamentalmente por biomasa de microorganismos vivos y muertos.

Rossi (2010) concluye que entre estos tratamientos se encuentran: lagunas aireadas, lodos activados, procesos anaeróbicos, lechos o filtros bacterianos.

#### **8.4.4. Tratamiento Terciario**

Rossi (2010) sostiene que el objetivo del tratamiento terciario es eliminar la carga orgánica remanente de un tratamiento secundario, eliminar microorganismos patógenos, eliminar color y olor indeseables, remover detergentes, fosfatos y nitratos residuales, que ocasionan espuma y eutrofización respectivamente.

Carrión (2008) lo define como la etapa final de los tratamientos que permite aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que éste sea descargado al ambiente receptor (mar, río, lago, campo, etc.); se puede utilizar más de un proceso terciario de tratamiento en una planta de tratamiento como microfiltración o desinfección.

Asimismo Marsilli (2005) argumenta que los tratamientos terciarios están dirigidos a la reducción final de la DQO, metales pesados y/o contaminantes químicos específicos y la eliminación de patógenos y parásitos. CENTA (2008) manifiesta que los tratamientos terciarios permiten obtener efluentes finales de mejor calidad para que puedan ser vertidos en zonas donde los requisitos son más exigentes o puedan ser reutilizados.

Según González *et al.* (2004) entre los tratamientos terciarios más utilizados en aguas residuales industriales se encuentran: arrastre con vapor de agua o aire, procesos de membrana, empleo de ozono, microfiltración, radiación UV, nanofiltración, ósmosis inversa, pervaporación y electrodiálisis.

## 7.5. COAGULACIÓN

### 7.5.1. Definición

Cárdenas (2000) define la coagulación como el proceso de desestabilización química de partículas coloidales producido al neutralizarse las fuerzas que las mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado. De igual manera, González *et al.* (2004) define la coagulación como la desestabilización de las partículas coloidales debido a la neutralización de su carga eléctrica, lo cual permite su eliminación a través de la decantación.

### 7.5.2. Importancia

Martínez (2007) detalla que en las industrias la operación de coagulación se realiza en grandes depósitos a los cuales se les adiciona el coagulante a través de bombas dosificadoras, donde el efluente a tratar es agitado mecánicamente. Desde el punto de vista de Cárdenas (2000) este procedimiento ayuda a la industrias a desestabilizar las partículas que se encuentran en suspensión y poderlas eliminar por decantación cuando se aglomeran.

Asimismo, Cárdenas (2000) estima que la coagulación es un proceso empleado a nivel mundial pues elimina gran cantidad de sustancias suspendidas y el costo que se requiere para hacerlo es muy bajo en comparación con otros métodos.

Rossi (2010) manifiesta que la importancia de la coagulación radica en que además de eliminar la turbiedad también disminuye considerablemente la concentración de materia orgánica y microorganismos, por lo que la coagulación actúa como un proceso complementario para la sedimentación.

### **7.5.3. Tipos de agentes coagulantes**

Cárdenas (2000) establece que existen dos tipos de coagulación, por adsorción y por barrido; la primera se realiza cuando el efluente presenta una alta concentración de partículas coloidales, al adicionar el coagulante éste absorbe los coloides y los convierte en flóculos de manera casi instantánea. Por el contrario, la coagulación por barrido ocurre cuando la cantidad de partículas coloides es pequeña, en este caso las partículas son atrapadas y decantadas al producirse una sobresaturación de precipitado de sulfato de aluminio o cloruro ferroso.

#### *7.5.3.1. Sulfato de Aluminio*

El sulfato de aluminio es el producto químico más utilizado para el tratamiento de aguas industriales, su fórmula química es  $Al_2(SO_4)_3$  y funciona en el agua cuando se lo añade en una zona de pH entre 5 y 8. Es granulado y de coloración blanca. En el mercado un kilogramo se lo encuentra a un valor de 90 ctvs + IVA (Cepis 2002).

Sidesa (s.f.) manifiesta que el sulfato de aluminio es un producto económico y efectivo en la eliminación del fósforo en las plantas de tratamiento de agua residual, tanto municipal e industrial y clarifica el agua al precipitar los sólidos suspendidos. Aldar (s.f.) lo califica como un coagulante inorgánico utilizado en la clarificación de agua cruda durante procesos industriales, funciona como auxiliar de la coagulación en la desestabilización de emulsiones en el agua y también permite remover el color del efluente.

#### *7.5.3.2. Cloruro Ferroso*

Es un coagulante frecuentemente utilizado para conseguir la sedimentación de los precipitados de aguas residuales y también

permite remover metales pesados de aguas residuales, funciona en un pH cercano a 10 (Soto *et al.* 2004). El cloruro ferroso es un coagulante de uso industrial en plantas de tratamiento de aguas residuales, muy utilizado por su elevada eficiencia en remoción de sustancias orgánicas y metales pesados (Cepis 2002).

El uso del cloruro ferroso supone un ahorro de costes de tratamiento de aguas para las industrias pues al existir la aplicación de cantidades pequeñas de este coagulante, esto representa un ahorro económico para quien lo adquiere (Clariant 2014). Un kilogramo de cloruro ferroso se lo consigue en el mercado a \$1.20 + IVA.

#### **7.5.4. Mecanismo de remoción**

Según Cárdenas (2000) son cuatro los mecanismos fisicoquímicos que permiten la desestabilización producida por los coagulantes:

- Compresión de la doble capa.- establece que cuando dos partículas semejantes se aproximan, sus capas interactúan entre sí y generan una fuerza de repulsión, cuyo potencial dependerá de la distancia que los separa, cayendo rápidamente con el incremento de iones de carga opuesta al de las partículas. Existe por otro lado un potencial de atracción o fuerzas de atracción  $E_a$ , entre las partículas llamadas fuerzas de Van der Waals, que depende de los átomos que constituyen las partículas y de la densidad de estos últimos (Cárdenas 2000).
- Adsorción y neutralización de cargas.- las partículas coloidales poseen carga negativa en su superficie, estas cargas atraen los iones positivos que se encuentran en solución dentro del agua y forman la capa que se adhiere al coloide. Cuando la fuerza natural de mezcla no es suficiente es cuando se requiere de una energía complementaria, por ejemplo realizar una agitación mecánica o hidráulica (Cárdenas 2000).

- Atrapamiento de partículas en un precipitado.- cuando se coloca una adecuada cantidad de coagulante las partículas coloidales desestabilizadas quedan atrapadas dentro de un floc, habitualmente sales de metales trivalente como el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  o Cloruro Ferroso  $FeCl_2$  (Cárdenas 2000).
- Adsorción y puente.- Existen coagulantes en forma de polímeros contenedores de grupos químicos que pueden absorber las partículas coloidales. La molécula del polímero puede absorber una partícula coloidal en una de sus extremidades, mientras que los otros sitios son libres para absorber otras partículas; por tal motivo se hace mención que las moléculas de los polímeros forman un puente entre las partículas coloidales (Cárdenas 2000).

#### **7.5.5. Factores que afectan el proceso de coagulación**

Según Cárdenas (2000) existen ciertos factores que influyen en la optimización de la coagulación: pH, sales disueltas, temperatura del agua, dosis del coagulante, condiciones de mezcla y la turbiedad; donde la interrelación entre cada uno de ellos permite predecir cuál es la cantidad idónea del coagulante a adicionar.

##### *7.5.5.1. Influencia del pH*

El pH es una medida de la actividad del ion hidrógeno en una solución. El pH es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente. El rango de pH es en función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza del agua a tratar, para sales de aluminio el rango de pH es de 6.5 a 8.0 y para las sales de hierro, el rango de pH óptimo es de 5.5 a 8.5 (Cárdenas 2000).

#### *7.5.5.2. Influencia de las Sales Disueltas*

Según las investigaciones de Cárdenas (2000) las sales contenidas dentro del agua influyen directamente sobre el rango de pH óptimo, el tiempo requerido para la coagulación y la cantidad del coagulante requerido.

#### *7.5.5.3. Influencia de la Temperatura del Agua*

Cárdenas (2000) establece que la variación de 1°C en la temperatura del agua conduce a la variación de su densidad, por lo que la coagulación se hace más lenta, pues la disminución de una unidad de decantación conlleva al aumento de su viscosidad, lo cual se traduce en una sedimentación tardía del floc.

#### *7.5.5.4. Influencia de la Dosis del Coagulante*

La cantidad del coagulante a utilizar tiene una influencia directa en la eficiencia de la coagulación, ya que poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microflóculos es muy escasa y por lo tanto la turbiedad residual es elevada. Una alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microflóculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación son muy bajas, por lo tanto la turbiedad residual es igualmente elevada (Cárdenas 2000).

La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación generalmente se determina mediante ensayos de pruebas de jarra, pero en esta investigación se adaptó esta técnica utilizando agitadores magnéticos.

#### *7.5.5.5. Influencia de Mezcla*

Cárdenas (2000) asegura que el grado de agitación determina si la coagulación es completa; turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra parte tenga poco o casi nada; la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar que la mezcla entre el agua y el coagulante haya sido bien hecho.

En el transcurso de la coagulación se producen dos etapas, en la primera etapa la mezcla es enérgica y de corta duración (60 segundos máximo) llamado mezcla rápida; esta mezcla tiene por objeto dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua a tratar, y en la segunda etapa la mezcla es lenta y tiene por objeto desarrollar los microflóculos (Cárdenas 2000).

#### *7.5.5.6. Influencia de la Turbiedad*

La turbiedad es una forma indirecta de medir la concentración de las partículas suspendidas ya que estima el efecto de la dispersión que estas partículas presentan al paso de la luz. Para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante, con el que se obtiene la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima, pero cuando la turbiedad es baja, la coagulación se realiza muy difícilmente y la cantidad del coagulante es igual o mayor que si la turbiedad fuese alta (Cárdenas 2000).

### **7.5.6. Ventajas**

El proceso de coagulación se emplea comúnmente para la eliminación de distintos contaminantes presentes en efluentes acuosos pues su principal ventaja es la de disminuir el contenido de partículas inorgánicas, partículas orgánicas como microorganismos patógenos y materia orgánica disuelta,

además de eliminar contaminantes como el flúor o el arsénico (Martínez 2007).

Cárdenas (2000) considera que una concentración importante de partículas en suspensión puede requiere una menor cantidad de coagulante. Por su parte, Martínez (2007) también expresa que cuando la cantidad de sólidos disueltos es notorio a simple vista, la cantidad del coagulante que normalmente se requiere es baja.

#### **7.5.7. Desventajas**

Los coagulantes metálicos como sales de hierro y aluminio tienen el inconveniente de ser muy sensibles a un cambio de pH, es decir que si éste no está dentro del intervalo adecuado, la clarificación es pobre y el Fe ó Al se puede solubilizar generando problemas, asimismo las temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación (Cárdenas 2000).

La coagulación puede representar un gasto elevado cuando no está bien realizado, pues una mala coagulación puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua, lo que significaría gastos de operación no planificados. Si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto la dosis requerida es alta (Cárdenas 2000).

## **7.6. FLOCULACIÓN**

### **7.6.1. Definición**

Cárdenas (2000) define la floculación como un proceso complementario de la coagulación, consiste en la agitación de la masa coagulada para permitir la aglomeración de los flóculos recién formados y aumentar el tamaño y peso necesarios para que posteriormente se sedimenten.

Martínez (2010) también menciona que en el tratamiento de un efluente el proceso de floculación se consigue agitando suavemente el agua residual para favorecer el movimiento de las partículas coloidales; pues como lo explica Cárdenas (2000) cuando se aplica un floculante, este tiende a crear un puente entre las partículas individuales que les permite aglomerarse y formar flóculos más grandes y sedimentables.

### **7.6.2. Importancia**

Rossi (2010) argumenta que la floculación al acelerar la velocidad de sedimentación de las partículas suspendidas incrementa también la remoción de partículas coloidales por sedimentación.

González *et al.* (2004) expresa que los productos químicos floculantes por lo general son de naturaleza polimérica, ya que estos establecen puntos de unión entre los flóculos para disminuir el contenido de partículas coloidales, donde la presencia de ciertos floculantes aniónicos permiten acelerar la formación del precipitado y la reducción de los sólidos suspendidos del efluente.

### **7.6.3. Tipos de agentes floculante**

Cárdenas (2000) establece que los floculantes pueden ser de naturaleza mineral, entre los cuales se encuentra la sílice activada; orgánico natural, que son polímeros naturales extraídos de sustancias animales o vegetales; y orgánico de síntesis, que son los más utilizados ya que al ser macromoléculas de gran cadena, se pueden clasificar de acuerdo a la ionicidad de los mismos:

- Aniónicos (generalmente copolímeros de la acrilamida y del ácido acrílico).
- Neutros o no iónicos (poliacrilamidas).
- Catiónicos (copolímero de acrilamidas + un monómero catiónico).

#### *7.6.3.1. Floculante polímero TQ-FLOC-PCAB*

Es un producto líquido que contiene en su formulación polímeros inorgánicos, utilizado para clarificar tanto aguas de procesos como aguas residuales, funciona mediante coagulación/floculación separando los sólidos suspendidos en el agua. Tiene una coloración café, densidad de 1.24g/cm<sup>3</sup> y funciona con un pH cercano a 4.4 (Tesquimsa s.f.).

La dosificación de este floculante se establece en función de la turbidez del agua a tratarse, por lo cual resulta necesario hacer pruebas de ensayo para encontrar un valor más exacto de su dosificación. Este químico puede causar irritación a la piel y a los ojos, por lo que se debe evitar el contacto prolongado o repetido con la piel mediante el uso de guantes de caucho y anteojos de seguridad. Un kilo de este producto químico se lo encuentra en el mercado a \$1.60 + IVA (Tesquimsa s.f.).

#### *7.6.3.1. Floculante aniónico TQ-FLOC-A130*

Es un producto líquido viscoso cuya característica principal es la de ser un floculante con carga aniónica a base de poliacrilamida. Este floculante es utilizado como auxiliar de coagulación para reducir el contenido de lodos en aguas residuales y de proceso, mejorado la velocidad de sedimentación. Es incoloro, tiene una densidad de 1g/cm<sup>3</sup> y trabaja con un pH cercano a 6.7 (Tesquimsa s.f.).

Es un producto de baja toxicidad pues no se ha detectado que cause irritación en los ojos y en la piel. La dosificación del floculante estará en función de la calidad del agua a tratarse, por ello se necesitan hacer pruebas de ensayo para encontrar un valor más exacto para su dosificación. Es recomendable aplicar este floculante al efluente mediante una bomba dosificadora, además puede ser utilizado en

plantas de tratamiento tipo batch. Un kilo de este floculante está en el mercado a \$1.55 + IVA (Tesquimsa s.f.).

#### **7.6.4. Modelos de Floculación**

##### *7.6.4.1. Floculación Pericinética*

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

##### *7.6.4.2. Floculación Ortocinética*

Se basa en las colisiones de las partículas debido al movimiento del agua, mismo que es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico. Después que el agua ha sido coagulada es necesario que se produzca la aglomeración de los microfloculos mediante una floculación pericinética y posteriormente se realiza una floculación ortocinética (Cárdenas 2000).

#### **7.6.5. Factores que afectan el proceso de floculación**

Según Hernández (1998) los factores que influyen sobre el proceso de floculación pueden concentrarse en:

- Tipo de floculante
- Cantidad de floculante
- Características de las aguas
- pH
- Tiempo de mezcla
- Temperatura del agua
- Agitación de la mezcla
- Presencia de partículas en las aguas

Según Ruiz (s. f.) una de las variables más importantes para lograr la floculación de los coloides es el mezclado, primero se realiza un mezclado

rápido para lograr la desestabilización de las partículas y segundo un mezclado lento que favorezca una variación gradual del gradiente del flujo. Este último es el requerido para llevar a cabo la floculación.

Para acotar, Rossi (2010) destaca que los factores que también pueden promover la floculación son el gradiente de la velocidad, el tiempo, y el pH; los dos primeros factores aumentan la probabilidad de que las partículas se unan y por otra parte el pH es un factor prominente en el retiro de coloides.

#### **7.6.6. Ventajas**

González *et al.* (2004) sostiene que la floculación favorece la formación de flóculos más voluminosos pues al agrupar las partículas desestabilizadas en agregados de mayor tamaño, los flóculos se sedimentan más fácilmente a través de la gravedad.

Asimismo, Cárdenas (2000) manifiesta que cuando las partículas están cargadas negativamente se obtiene un tratamiento más económico utilizando polímeros aniónicos.

#### **7.6.7. Desventajas**

Hernández (1998) sostiene que aunque existe cierta relación entre la turbiedad del agua bruta y la dosis del floculante apropiado, la cantidad exacta solo puede ser determinada mediante ensayos, donde la cantidad puede variar con otros factores como el tiempo de mezcla y la temperatura del agua.

Rossi (2010) argumenta que existe una zona de pH para cada floculante en la cual se produce la floculación en un tiempo corto, pero cuando se deja de operar en la zona óptima del efluente, se produce un desperdicio del producto químico y un descenso del rendimiento del mismo, por tal motivo es importante ajustar el pH antes de agregar el floculante.

## **7.7. PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS**

Se define como calidad de aguas al patrón que se emplea para calibrar la aceptabilidad de la misma bajo ciertas características físicas, químicas, biológicas y radiológicas, una agua bruta (sin tratar) para entrar en el rango de aceptabilidad debe ser sometida a un sistema de tratamiento dentro de una PTAR (planta de tratamiento de aguas residuales) y así ser analizada la calidad del agua cruda (Pérez s. f.).

La calidad de agua cruda está clasificada con base a las características que posee:

### **7.7.1. Características Físicas**

Las características físicas son definidas como todo aquel material en suspensión, coloidal o en disolución que puede alterar los aspectos organolépticos del agua como: olor, color y sabor. En los efluentes residuales y en especial los resultantes de las industrias aceiteras contienen material particulado provocando cambios en los parámetros físicos tales como: sólidos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, turbidez, color, densidad, temperatura etc (Marín s. f.).

#### *7.7.1.1. Sólidos Disueltos totales (TDS)*

El término sólido hace alusión al material suspendido o disuelto en un medio acuoso, la concentración de sólidos disueltos totales es equivalente a la suma de las sustancias orgánicas e inorgánicas en forma molecular presentes en el efluente pudiéndose encontrar minerales, sales, metales, cationes, aniones y gases producto de la descomposición de la materia orgánica, que dan olor, color, sabor y eventualmente toxicidad al agua que los contiene (Toasa 2012).

Según Argandoña y Macías (2013) mencionan que las aguas residuales se distinguen dos tipos de sustancias sólidas conocidas como: los sólidos orgánicos e inorgánicos.

Los sólidos de origen orgánicos son sustancias que están conformadas principalmente de carbono, hidrógeno y oxígeno, los cuales pueden llegar a combinarse con otras moléculas como nitrógeno, azufre o fósforo originando compuesto más complejos como proteínas, carbohidratos y grasas, siendo susceptibles a la degradación por parte de las bacterias y demás organismos vivos (Argandoña y Macías 2013).

Por otro lado también están presentes los sólidos inorgánicos los cuales son considerados como sustancias inertes designándoseles mayormente como minerales. Estos compuestos minerales corresponden a las arenas, metales y sales disueltas en el agua que comúnmente no son degradadas por la actividad microbiológica (Argandoña y Macías 2013).

Vale la pena mencionar que en cuerpos de agua dulce y salobres existe una correlación entre la conductividad y la concentración de sólidos disueltos totales (TDS), es decir, que la cantidad de TDS es directamente proporcional a la conductividad eléctrica de este tipo de cuerpos hídricos; sin embargo, dicha correlación no se aplica a ambientes “hipersalinos” con rangos de salinidad mayor al 5% ya que es afectada por la composición de iones presentes en el agua (Toasa 2012).

La implementación de los procesos de coagulación-floculación en aguas residuales industriales tienen como misión sustraer las sustancias coloidales del agua cuya extraordinaria estabilidad hace que no puedan ser eliminadas por decantación simple, en este

sentido, el tiempo de sedimentación a 1 m de profundidad de una partícula coloidal de 1 a 0,1µm de tamaño sería de 2 años, y para partículas coloidales de 0,1 a 0,01µm ascendería a 20 años, por lo cual, la formación de flóculos usando este método puede acelerar el tiempo de decantación y por gravedad los flocs formados tienden a depositarse en el sustrato (Marín 2014).

#### 7.7.1.2. Turbidez

Se define como turbidez al efecto óptico que impide el paso de la luz a través del agua debido a la presencia de materiales en suspensión tales como: arcilla, silte, coloides orgánicos y ciertos microorganismos que originan la turbidez. Según Marín (s. f.) enuncia que este tipo de partículas presentan dimensiones variadas que abarcan desde 10 nm hasta 0.1mm procedentes de la erosión del suelo ricas en rocas revestidas con restos orgánicos y sales minerales, en las aguas naturales la turbidez se presenta de manera homogénea mediante el aporte de las lluvias y la escorrentía superficial.

En el caso de las plantas potabilizadoras la turbidez se manifiesta por un tratamiento deficiente debido a que el sedimento queda en suspensión y en rangos elevados las partículas coloidales pueden llegar a proteger a los microorganismos y anular los efectos de la desinfección por cloro, por tanto, la turbidez debe ser baja para que la desinfección sea eficaz (Marcó *et al.* 2004).

La turbidez es considerada también como uno de los parámetros más visibles en las aguas residuales de cualquier origen, por ende uno de los métodos más comunes para minimizar la presencia de materiales en suspensión es el uso de agentes coagulantes-floculantes, decantación o filtración cruzada implementada en ciertas industrias (Sánchez 2016).

En los efluentes procedentes de industrias aceiteras utilizan como sistemas de tratamientos integrales un DAF (Flotación por Aire Disuelto) combinado con agentes coagulantes-floculantes los cuales pueden llegar a reducir significativamente la turbidez residual hasta un 98.5%, esto radica en su eficiencia de separar los materiales indeseados, su bajo costo capital, su versatilidad de operación y baja producción de lodos (Ortiz y Flores 2003).

#### *7.7.1.3. Temperatura*

La temperatura es uno de los parámetros más importantes debido a que su influencia ocasiona ciertos problemas en las aguas residuales, es decir, a mayor temperatura, mayor actividad microbiana y posterior disminución del oxígeno disuelto generando condiciones anaerobias que desencadenan malos olores y sabores (Pérez s. f.).

La temperatura en las aguas residuales por lo general varían entre 10°C a 20°C, sin embargo, dependiendo de la posición geográfica puede alcanzar temperaturas elevadas incrementando la velocidad del metabolismo microbiano, la difusión de las reacciones químicas y bioquímicas, la desinfección y entorpece los procesos de floculación, sedimentación y filtración (Barrenechea 2013).

La temperatura es uno de los factores que interfieren en el proceso de coagulación-floculación ya que modifica el tiempo de formación del floc, entre más fría el agua, la reacción es más lenta y el tiempo de formación del floc es mayor (Restrepo 2009).

### **7.7.2. Características Químicas**

Se define como características químicas al conjunto de parámetros analizados en diferentes cuerpos de agua o en efluentes domésticos, industriales y agrícolas, los cuales han sufrido alguna alteración en su composición debido a la presencia de ciertos materiales orgánicos, inorgánicos e inclusive tóxicos (Cubillo 1970).

Entre los parámetros más comunes están: pH, fosfatos, aceites&grasas, demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno.

#### *7.7.2.1. Ph*

El potencial de hidrógeno más conocido como pH, se define como el logaritmo de la inversa concentración de protones existentes en una sustancia, es decir, que este factor mide el grado de acidez y alcalinidad de un medio acuoso a más de su influencia en algunos fenómenos que ocurren en el agua, tales como: la corrosión y las incrustaciones en redes de drenaje que si bien es cierto no ocasionan efectos directos en la salud, si impiden el proceso eficaz de ciertos tratamientos realizados a los vertidos como lo es la coagulación y desinfección (Barrenechea 2013).

El pH es un parámetro de suma importancia en los sistemas químicos y biológicos de las aguas naturales, ya que los valores extremos de pH pueden originar la muerte de peces, drásticas alteraciones en la flora y fauna y reacciones secundarias dañinas por ejemplo, cambios en la solubilidad de los nutrientes, formación de precipitados, etc. (Charry y Castellanos 2016).

Por lo general, las aguas naturales o no contaminadas poseen un pH semi neutro que varía entre 5 a 9, no obstante, existen zonas donde las aguas llegan a tener un potencial de hidrógeno inferior a

4 por lo cual las denominan como “aguas ácidas”, para ello se realiza la corrección del mismo mediante la adición de un álcali (por lo general, cal) para optimizar los procesos de coagulación (Barrenechea 2013).

En los efluentes resultantes de fábricas dedicadas a la elaboración de aceites comestibles y derivados presentan valores de pH ácido comúnmente de 4 ó 2 debido a la liberación de los ácidos grasos presentes en la soja y palma africana durante el proceso de neutralización. Las plantas de tratamientos de aguas residuales (PTAR) usualmente utilizan como medida correctiva la soda cáustica para elevar el pH y mantenerlo neutro para así aplicar los procesos de tratamiento como la coagulación o el DAF (Navarro *et al.* 2006).

En el método de coagulación existe por lo menos un rango óptimo de pH para que los coagulantes actúen de manera eficiente al momento de la aplicación, sin embargo, cada agente funciona bajo un valor determinado de pH condicionado de ciertos factores como el tiempo de agitación y la dosis suministrada por cada litro de agua (Singley 1977).

#### *7.7.2.2. Aceites&Grasas*

Las grasas y aceites son compuestos orgánicos constituidos por ácidos grasos procedentes de tres fuentes: de origen animal, encontrado en el sebo extraído del tejido adiposo de los ganados vacunos, ovinos, porcinos y peces; de origen vegetal debido a que se encuentra en las semillas de girasol, soja, palma africana, algodón etc, y de origen hidrocarbúricos del petróleo (Mendoza 2004).

Las industrias aceiteras utilizan como materia prima las grasas procedentes de la soja y la palma africana, durante los procesos que se ejecutan dentro de la planta para tener como producto final el aceite de cocina, jabones, detergentes y otros derivados se emplean grandes cantidades de agua los cuales convergen a un mismo sitio denominado PTAR (Toapanta s. f.).

En la PTAR los efluentes industriales oleosos suelen acumularse en la superficie formando progresivamente capas de natas espesas creando condiciones anaerobias debido a la baja densidad y solubilidad que poseen, por otra parte, cuando estos compuestos se encuentran de manera emulsionada es difícil detectar el material flotante, mostrando un color amarillento con aspecto lechoso anulando de esta manera cualquier tipo de biodegradación, por tanto, son estas sustancias de naturaleza lipídica las que entorpecen cualquier tipo de tratamiento químico en el caso de no ser retiradas de la superficie (Abalos *et al.* 2007).

El impacto ambiental de la industria aceitera se concentra básicamente en la problemática de los riesgos potenciales de explosiones, efluentes líquidos y olores extremadamente fuertes que trae consigo, por ende, muchas empresas dedicadas a esta actividad optan en las plantas de tratamiento el uso de las trampas de grasas para evitar la posterior solidificación de las mismas en las tuberías y brindar otros tipos de tratamiento al efluente (CNMA 1998).

Un tipo de tratamiento físico-químico usado frecuentemente es la coagulación/floculación mediante la adición de agentes coagulantes, floculantes y polímeros en efluentes oleosos los cuales pueden remover más del 93% de materia suspendida y grasas emulsionadas en un 96% según un estudio realizado por Díaz *et al.* (2017).

### 7.7.2.3. Demanda Bioquímica de Oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se define como la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica presente en una muestra de agua por medio de la actividad bioquímica aerobia, es decir, que la dbo es una medida (mg/l) que cuantifica la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos para biodegradar los desechos orgánicos existentes en un cuerpo de agua natural, efluente industrial etc (Freire 2012).

El término biodegradabilidad o biodegradación es una característica propia de los compuestos orgánicos que tienen cierta relación con el nivel de susceptibilidad de ser degradados por las bacterias, en las aguas residuales domésticas que contengan materia orgánica natural, la degradación es relativamente fácil a diferencia de otros tipos de efluentes como los oleosos donde la biodegradación se torna más compleja (Osorio y Peña s. f.).

La concentración de las grasas y aceites o cualquier otro tipo de sustrato presentes en los efluentes residuales de las industrias aceiteras, están sujetos al entorno ambiental y condiciones específicas para generar la descomposición bacteriana, para lo cual, es indispensable que las comunidades microbianas heterogéneas metabolicen simultáneamente los compuestos carbonados manteniendo una demanda bioquímica equilibrada (Martínez *et al.* 2016).

### 7.7.2.4. Demanda química de oxígeno

La demanda química de oxígeno (DQO) es la medida que determina la cantidad de oxígeno consumido por los cuerpos oxidantes presentes en el agua sin la intervención de los microorganismos

vivos, representando el contenido orgánico total de la muestra degradable por dicromato en solución ácida (León 2009).

La eliminación de la materia orgánica se efectúa mediante el uso de la coagulación/floculación, sedimentación o filtración, no obstante, cuando la carga orgánica y bacteriana es demasiado grande en un efluente es necesario aplicar otros tipos de aspectos físico-químicos como la precloración controlada (Barrenechea 2013).

Por otro lado cabe recalcar que existen ciertas limitaciones en la determinación de la DQO, ya que no revela si la materia orgánica es o no biodegradable debido a que no brinda un porcentaje de materia biológicamente activa, sin embargo, existen muchas ventajas en lo que respecta al tiempo requerido para su análisis (3 horas) además de que el valor de la DQO siempre será mayor al de la DBO5 (Salazar 2005).

#### *7.7.2.5. Ortofosfato*

El fósforo es un compuesto esencial para el desarrollo de todo organismo, el cual interviene en el almacenamiento y transferencia de la energía en las células en el ATP, estos al ser elementos carentes en organismos inertes constituyen un nutriente limitante para la productividad primaria tanto en cuerpos de aguas como en la tierra (Maisterrena 1999).

Las especies químicas compuestas por fósforo tales como las rocas terrestres tienden a oxidarse rápidamente presentándose en el agua en forma de ortofosfatos, fosfatos condensados (piro-meta y polifosfatos) y compuestos organofosforados, sin embargo, la presencia de este nutriente combinado con el nitrógeno está asociada a la eutrofización de las aguas con problemas de crecimiento de algas indeseables en embalses y lagos con acumulación de sedimento (Sánchez 2001).

En las industrias dedicadas a la producción de aceites, jabones, detergentes etc, es común detectar la presencia de compuestos fosforados en el efluente residual, debido a que en la etapa de refinación se realiza como primer paso el engomado mediante la adición de ácido fosfórico para reducir la coloración del aceite, siendo esta una fuente de la presencia de este nutriente (MAE 2013). Por otra parte los fosfolípidos presentes en los tejidos de la soja, palma africana y oliva contienen lecitina también conocida como fosfatidilcolina un constituyente importante del sistema nervioso (Domínguez *et al.* 1993).

Otra fuente importante de fosfatos en las aguas residuales industriales son las descargas de compuestos tensoactivos (detergentes) cuyas concentraciones bajas de compuestos fosforados intervienen en los procesos de coagulación durante el tratamiento del agua (Pohl y Lenz 2016).

## **7.8. MARCO LEGAL**

### **Constitución política de la República del Ecuador**

La Constitución Política de la República del Ecuador (2008) reconoce en el Art. 14 el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. También declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados. De igual manera el Art. 71 señala que la naturaleza tiene derecho a que se respete integralmente su existencia, el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

## **Título VII: Régimen del buen vivir**

El Régimen del Buen Vivir instaurado en la Constitución, en el Art. 389. establece que el Estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad. El sistema nacional descentralizado de gestión de riesgo está compuesto por las unidades de gestión de riesgo de todas las instituciones públicas y privadas en los ámbitos local, regional y nacional. El Estado ejercerá la rectoría a través del organismo técnico establecido en la ley.

Art. 390. Los riesgos se gestionarán bajo el principio de descentralización subsidiaria, que implicará la responsabilidad directa de las instituciones dentro de su ámbito geográfico. Cuando sus capacidades para la gestión del riesgo sean insuficientes, las instancias de mayor ámbito territorial y mayor capacidad técnica y financiera brindarán el apoyo necesario con respeto a su autoridad en el territorio y sin relevarlos de su responsabilidad.

Art. 396. La responsabilidad por daños ambientales es objetiva, y que por lo tanto, todo daño al ambiente, además de las sanciones correspondientes, implicará también la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas; además, las acciones legales para perseguir y sancionar por daños ambientales serán imprescriptibles.

Art. 397. En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental.

### **Ley orgánica de salud (2006)**

Art. 103. Se prohíbe a toda persona, natural o jurídica, descargar o depositar aguas servidas y residuales, si el tratamiento apropiado, conforme lo disponga en el reglamento correspondiente, en ríos, mares, canales, quebradas, lagunas, lagos y otros similares. Se prohíbe también su uso en la cría de animales o actividades agropecuarias.

Art. 104. Todo establecimiento industrial, comercial o de servicios, tiene la obligación de instalar sistemas de tratamiento de aguas contaminadas y de residuos tóxicos que se produzcan por efecto de sus actividades. Las autoridades de salud, en coordinación con los municipios, serán responsables de hacer cumplir esta disposición.

Art. 105. Las personas naturales o jurídicas propietarias de instalaciones o edificaciones, públicas o privadas, ubicadas en las zonas costeras e insulares, utilizarán las redes de alcantarillado para eliminar las aguas servidas y residuales producto de las actividades que desarrollen; y, en los casos que inevitablemente requieran eliminarlos en el mar, deberán tratarlos previamente, debiendo contar para el efecto con estudios de impacto ambiental; así como utilizar emisarios submarinos que cumplan con las normas sanitarias y ambientales correspondientes.

Art. 111.- La autoridad sanitaria nacional, en coordinación con la autoridad ambiental nacional y otros organismos competentes, dictará las normas técnicas para prevenir y controlar todo tipo de emanaciones que afecten a los sistemas respiratorios, auditivo y visual.

### **Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua (2004)**

Art. 3. El objeto de la presente Ley es garantizar el derecho humano al agua así como regular y controlar la autorización, gestión, preservación, conservación, restauración, de los recursos hídricos, uso y aprovechamiento del agua, la

gestión integral y su recuperación, en sus distintas fases, formas y estados físicos, a fin de garantizar el *sumak kawsay* o buen vivir y los derechos de la naturaleza establecidos en la Constitución.

Art. 80. Vertidos: prohibiciones y control. Se consideran como vertidos las descargas de aguas residuales que se realicen directa o indirectamente en el dominio hídrico público. Queda prohibido el vertido directo o indirecto de aguas o productos residuales, aguas servidas, sin tratamiento y lixiviados susceptibles de contaminar las aguas del dominio hídrico público.

La Autoridad Ambiental Nacional ejercerá el control de vertidos en coordinación con la Autoridad Única del Agua y los Gobiernos Autónomos Descentralizados acreditados en el sistema único de manejo ambiental. Es responsabilidad de los gobiernos autónomos municipales el tratamiento de las aguas servidas y desechos sólidos, para evitar la contaminación de las aguas de conformidad con la ley.

Art. 81. Autorización administrativa de vertidos. La autorización para realizar descargas estará incluida en los permisos ambientales que se emitan para el efecto. Los parámetros de la calidad del agua por ser vertida y el procedimiento para el otorgamiento, suspensión y revisión de la autorización, serán regulados por la Autoridad Ambiental Nacional o acreditada, en coordinación con la Autoridad Única del Agua.

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados en el ámbito de su competencia y dentro de su jurisdicción emitirán la autorización administrativa de descarga prevista en esta Ley con sujeción a las políticas públicas dictadas por la Autoridad Ambiental Nacional.

### **Ley de prevención y control de la contaminación ambiental (2004)**

Art. 6. Queda prohibido descargar de aguas residuales sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas

marítimas, así como infiltrar en terrenos, las aguas residuales que contengan contaminantes que sean nocivos a la salud humana, a la fauna, a la flora y a las propiedades.

Art. 8. Los Ministerios de Salud y del Ambiente, en sus respectivas áreas de competencia, fijarán el grado de tratamiento que deban tener los residuos líquidos a descargar en el cuerpo receptor, cualquiera sea su origen.

Art. 9.- Los Ministerios de Salud y del Ambiente, en sus respectivas áreas de competencia, también, están facultados para supervisar la construcción de las plantas de tratamiento de aguas residuales, así como de su operación y mantenimiento, con el propósito de lograr los objetivos de esta Ley.

#### **Ley de gestión ambiental (2004)**

Art. 1. La presente Ley establece los principios y directrices de política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia.

Art. 2. La gestión ambiental se sujeta a los principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables y respecto a las culturas y prácticas tradicionales.

Art. 13. Los consejos provinciales y los municipios, dictarán políticas ambientales seccionales con sujeción a la Constitución Política de la República y a la presente Ley. Respetarán las regulaciones nacionales sobre el Patrimonio de Áreas Naturales Protegidas para determinar los usos del suelo y consultarán a los representantes de los pueblos indígenas, afroecuatorianos y poblaciones locales para la delimitación, manejo y administración de áreas de conservación y reserva ecológica.

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

Art. 41. Con el fin de proteger los derechos ambientales individuales o colectivos, concédase acción pública a las personas naturales, jurídicas o grupo humano para denunciar la violación de las normas de medio ambiente, sin perjuicios de la acción de amparo constitucional previsto en la Constitución Política de la República.

### **Código orgánico de organización territorial, autonomía y descentralización - COOTAD (2010)**

Art. 136.- Ejercicio de las competencias de gestión ambiental.- De acuerdo con lo dispuesto en la Constitución, el ejercicio de la tutela estatal sobre el ambiente y la corresponsabilidad de la ciudadanía en su preservación, se articulará a través de un sistema nacional descentralizado de gestión ambiental, que tendrá a su cargo la defensoría del ambiente y la naturaleza a través de la gestión concurrente y subsidiaria de las competencias de este sector, con sujeción a las políticas, regulaciones técnicas y control de la autoridad ambiental nacional, de conformidad con lo dispuesto en la ley.

Los gobiernos autónomos descentralizados municipales establecerán, en forma progresiva, sistemas de gestión integral de desechos, a fin de eliminar los vertidos contaminantes en ríos, lagos, lagunas, quebradas, esteros o mar, aguas residuales provenientes de redes de alcantarillado, público o privado, así como eliminar el vertido en redes de alcantarillado.

## **Código orgánico integral penal (2014)**

Art. 251. Delitos contra el agua.- La persona que contraviniendo la normativa vigente, contamine, deseeque o altere los cuerpos de agua, vertientes, fuentes, caudales ecológicos, aguas naturales afloradas o subterráneas de las cuencas hidrográficas y en general los recursos hidrobiológicos o realice descargas en el mar provocando daños graves, será sancionada con una pena privativa de libertad de tres a cinco años. Se impondrá el máximo de la pena si la infracción es perpetrada en un espacio del Sistema Nacional de Áreas Protegidas o si la infracción es perpetrada con ánimos de lucro o con métodos, instrumentos o medios que resulten en daños extensos y permanentes.

## **Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente (TULSMA)**

Libro VI reformado mediante Acuerdo Ministerial 061 el 04 de Mayo del 2015.

Art. 1. Ámbito.- El presente Libro establece los procedimientos y regula las actividades y responsabilidades públicas y privadas en materia de calidad ambiental, entendiéndose por calidad ambiental al conjunto de características del ambiente y la naturaleza que incluye el aire, el agua, el suelo y la biodiversidad, en relación a la ausencia o presencia de agentes nocivos que puedan afectar al mantenimiento y regeneración de los ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos de la naturaleza.

Art. 2. Principios.- Sin perjuicio de aquellos contenidos en la Constitución de la República del Ecuador y las leyes y normas secundarias de cualquier jerarquía que rijan sobre la materia, los principios contenidos en este Libro son de aplicación obligatoria y constituyen los elementos conceptuales que originan, sustentan, rigen e inspiran todas las decisiones y actividades públicas, privadas, de las personas naturales y jurídicas, pueblos, nacionalidades y comunidades respecto a la gestión sobre la calidad ambiental, así como la responsabilidad por daños ambientales. Para la aplicación de este Libro, las autoridades administrativas y jueces observarán los principios de la legislación ambiental.

El Ministerio del Ambiente (MAE) ejerce la potestad de Autoridad Ambiental Nacional y se encarga del control y seguimiento de cumplimiento de las normas legales, administrativas y técnicas así como de los parámetros, estándares, límites permisibles y demás; es competencia del MAE emitir sanciones cuando existan infracciones establecidas en la Ley de prevención y control de la Contaminación Ambiental y en la Ley de gestión ambiental (Acuerdo Ministerial 061 2015).

Para cumplir con todos los requerimientos que la Ley ecuatoriana establece, los funcionarios del MAE utilizan como mecanismo de control estos límites máximos permisibles para asegurarse que las descargas de las industrias estén dentro del marco legal que rige al país.

El TULSMA está compuesto de nueve libros, de los cuales algunos tienen sus respectivos anexos. En el LIBRO VI del Acuerdo Ministerial 028 del 13 de Febrero del 2015 ANEXO 1: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA. TABLA 9 se describen los límites de descarga al sistema de alcantarillado público.

Art. 210. Prohibición.- De conformidad con la normativa legal vigente:

- a) Se prohíbe la utilización de agua de cualquier fuente, incluida las subterráneas, con el propósito de diluir los efluentes líquidos no tratados;
- b) Se prohíbe la descarga y vertido que sobrepase los límites permisibles o criterios de calidad correspondientes establecidos en este Libro, en las normas técnicas o anexos de aplicación;
- c) Se prohíbe la descarga y vertidos de aguas servidas o industriales, en quebradas secas o nacimientos de cuerpos hídricos u ojos de agua; y,
- d) Se prohíbe la descarga y vertidos de aguas servidas o industriales, sobre cuerpos hídricos, cuyo caudal mínimo anual no esté en capacidad de soportar la descarga; es decir que, sobrepase la capacidad de carga del cuerpo hídrico.

La Autoridad Ambiental Nacional, en coordinación con las autoridades del Agua y agencias de regulación competentes, son quienes establecerán los criterios bajo los cuales se definirá la capacidad de carga de los cuerpos hídricos mencionados.

## **Normas generales para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado**

5.2.3.1 Se prohíbe la descarga de residuos líquidos sin tratar hacia el sistema de alcantarillado provenientes del lavado y/o mantenimiento de vehículos aéreos y terrestres, así como el de aplicadores manuales y aéreos, recipientes, empaques y envases que contengan o hayan contenido agroquímicos u otras sustancias tóxicas. Las descargas tratadas deben cumplir con los valores establecidos en la Tabla 9.

5.2.3.2 Las descargas líquidas provenientes de sistemas de potabilización de agua no deberán disponerse en sistemas de alcantarillado, a menos que exista capacidad de recepción en la planta de tratamiento de aguas residuales, ya sea en funcionamiento o proyectadas en los planes maestros o programas de control de la contaminación, en implementación. En cuyo caso se deberá contar con la autorización de la Autoridad Ambiental Nacional o la Autoridad Ambiental competente que corresponda.

5.2.3.3 Cuando los sujetos de control, aun cumpliendo con las normas de descarga, contribuyan con una concentración que afecte a la planta de tratamiento, la Entidad Prestadora de Servicio podrá exigirles valores más restrictivos en la descarga, previo a los estudios técnicos que deberán realizar para justificar esta decisión.

5.2.3.4 Se prohíbe descargar en un sistema público de alcantarillado sanitario, combinado o pluvial cualquier sustancia que pudiera bloquear los colectores o sus accesorios, formar vapores o gases tóxicos, explosivos o de mal olor, o que pudiera deteriorar los materiales de construcción en forma significativa. Esto incluye las siguientes sustancias y materiales, entre otros:

a) Fragmentos de piedra, cenizas, vidrios, arenas, basuras, fibras, fragmentos de cuero, textiles, etc. (los sólidos no deben ser descargados ni aún después de haber sido triturados). b) Resinas sintéticas, plásticos, cemento, hidróxido de calcio. c) Residuos de malta, levadura, látex, bitumen, alquitrán y sus emulsiones de aceite, residuos líquidos que tienden a endurecerse. d) Gasolina, petróleo,

aceites vegetales y animales, aceites minerales usados, hidrocarburos clorados, ácidos, y álcalis. e) Cianuro, ácido hidrazoico y sus sales, carburos que forman acetileno y sustancias tóxicas.

5.2.3.5 La EPS podrá solicitar a la Entidad Ambiental de Control, la autorización necesaria para que los regulados, de manera parcial o total descarguen al sistema de alcantarillado efluentes, cuya calidad se encuentre por encima de los estándares para descarga a un sistema de alcantarillado, establecidos en la presente norma. La EPS deberá cumplir con los parámetros de descarga hacia un cuerpo de agua, establecidos en esta Norma.

5.2.3.6 Las descargas al sistema de alcantarillado provenientes de actividades sujetas a regularización, deberán cumplir, al menos, con los valores establecidos en la TABLA 9, en la cual las concentraciones corresponden a valores medios diarios.

## **VIII. HIPÓTESIS.**

La aplicación del proceso de coagulación/floculación como tratamiento primario en efluentes de refinación de aceites comestibles removerá los parámetros fisicoquímicos en estudio.

## **IX. VARIABLES**

### **9.1. Variable Independiente**

Aplicación de diferentes dosis de floculantes y coagulantes y combinaciones entre los mismos

### **9.2. Variable Dependiente**

Remoción de parámetros fisicoquímicos (Aceites & Grasas, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Turbidez, Ortofosfato y Sólidos Disueltos Totales).

## X. METODOLOGÍA

### 10.1 Métodos y técnicas

En la realización del presente proyecto investigativo se implementó los siguientes métodos y técnicas:

- **Método Deductivo.** Se empleó el método deductivo partiendo de aspectos generales de la investigación para llegar a situaciones particulares, dando a conocer conceptos de agua residual, aguas oleosas, parámetros máximos permisibles y tipos de tratamientos primarios, secundarios y terciarios, haciendo énfasis en la floculación y coagulación como tratamientos alternativos para la descontaminación del efluente.

- **Método Experimental.** En el desarrollo del proyecto investigativo se estableció la fase experimental realizada en los laboratorios de dos instituciones académicas, las cuales permitieron la realización de un conjunto de ensayos en tres repeticiones para la obtención de datos y su posterior tratamiento mediante la aplicación de métodos estadísticos y cálculos matemáticos, para así, comprobar si la hipótesis planteada es acertada o no.

- **Método Analítico-Sintético.** Se utilizó el análisis de un problema en general para descomponerlo en las partes que lo constituyen y poder tratar los elementos que lo originan, así se desglosó que la separación del aceite es el principal factor que repercute en un tratamiento efectivo a estas aguas. Asimismo se empleó la síntesis de la información recolectada para determinar los elementos que pueden mejorar la eficiencia de los tratamientos empleados.

- **Técnica bibliográfica.** La aplicación de esta técnica constituyó el punto de partida para poder realizar nuestro trabajo investigativo, ya que el tema de coagulación y floculación aplicado en efluentes oleosos es

prácticamente poco conocido en el campo ambiental, por lo cual, la búsqueda exhaustiva de fuentes bibliográficas como artículos científicos, tesis, libros y websites fueron de vital importancia para establecer los procedimientos aplicados en este proyecto.

## 10.2. Diseño Experimental

### 10.2.1. Selección de los agentes coagulantes, floculantes y efluente.

Como parte fundamental de este estudio previo a su ejecución, se procedió a seleccionar los tipos de coagulantes y floculantes los cuales fueron utilizados en la etapa experimental y las concentraciones usadas, para ello, se contactó con la empresa de químicos Tesquimsa S.A, dicha entidad proporcionó los dos coagulantes y dos floculantes: sulfato de aluminio (C1), cloruro ferroso (C2), coagulante floculante polímero TQ-FLOC-PCAB (F1) y floculante aniónico (F2) respectivamente.

**Tabla 1.** Selección de los agentes coagulantes y floculantes

REACTIVOS	NOMBRE	NOMENCLATURA
<b>Coagulantes</b>	Sulfato de aluminio	C1
	Cloruro ferroso	C2
<b>Floculantes</b>	Coagulante floculante polímero TQ FLOC PCAB	F1
	Floculante aniónico TQ FLOC A150	F2

Posteriormente se realizó la gestión respectiva en una industria aceitera de la localidad para la obtención del efluente a tratar, una vez conseguida la autorización se programó tres visitas para recoger las muestras en tres canecas de 20 litros cada una recaudando 60 litros en cada repetición y durante toda la investigación 180 litros. La fase experimental tuvo inicio a principios del mes de junio hasta finales de julio.

### 10.2.2. Proceso de coagulación y floculación mediante el uso de agitadores magnéticos

Antes de iniciar el proceso de coagulación/floculación se realizó una adaptación del método del “Jar test” mediante el uso de agitadores con sus respectivos imanes.

Se estableció un total de ocho tratamientos agregando los compuestos de manera individual (C1, C2, F1, F2) y de manera combinada (C1+F1, C1+F2, C2+F1, C2+F2). La dosificación de los productos adquiridos se efectuó de manera progresiva de 10, 20, 30, 40 y 50 mg/l además se usó un blanco al cual no se le añadió ningún tipo de coagulante o floculante.

**Tabla 2.** Tratamientos y Concentraciones

REACTIVOS	TRATAMIENTO	CONCENTRACIONES
<b>REACTIVOS INDIVIDUALES</b>	Tratamiento control	--
	C1	C1 (10mg/L)
		C1 (20mg/L)
		C1 (30mg/L)
		C1 (40mg/L)
		C1 (50mg/L)
	C2	C2 (10mg/L)
		C2 (20mg/L)
		C2 (30mg/L)
		C2 (40mg/L)
		C2 (50mg/L)
	F1	F1 (10mg/L)
		F1 (20mg/L)
		F1 (30mg/L)
		F1 (40mg/L)
		F1 (50mg/L)
	F2	F2 (10mg/L)
		F2 (20mg/L)
		F2 (30mg/L)
		F2 (40mg/L)
F2 (50mg/L)		

Posteriormente se pesó en una balanza analítica el sulfato de aluminio (C1) obteniendo cada una de las concentraciones antes mencionada, por otro lado, los demás productos C2, F1 y F2 en estado líquido se calculó

la cantidad equivalente a las dosis establecidas usando la densidad de cada agente coagulante/floculante y el volumen requerido.

**Tabla 3.** Conversión de masa a volumen

REACTIVOS	DOSIFICACIÓN REQUERIDA	DENSIDAD	VOLUMEN
C2	10 mg/l	1,45 g/cc	1 l
	20 mg/l		
	30 mg/l		
	40 mg/l		
	50 mg/l		
F1	10 mg/l	1,24 g/cc	1 l
	20 mg/l		
	30 mg/l		
	40 mg/l		
	50 mg/l		
F2	10 mg/l	1 g/cc	1 l
	20 mg/l		
	30 mg/l		
	40 mg/l		
	50 mg/l		

### **Materiales, reactivos y equipos**

- 5 Matraces Erlenmeyer de 1000 ml
  - 2 Embudos
  - Papel absorbente
  - 2 Agitadores magnéticos con sus respectivos imanes
  - 4 Productos coagulantes y floculantes (C1, C2, F1 y F2)
  - Efluente a tratar
  - 2 Micropipetas de 1000 ul
- a. Antes de iniciar el proceso se determinó el pH en el efluente ya que este es un factor indispensable, el valor fue de 6,6 por lo cual no fue necesario añadir sustancias correctivas del potencial de hidrógeno.
  - b. Se procedió inmediatamente a verter un litro el efluente previamente homogenizado en cada uno de los matraces erlenmeyer con el imán en su interior.
  - c. Posteriormente se añadió las dosificaciones de (10, 20, 30, 40 y 50 mg/l) de sulfato de aluminio (C1) en cada unidad.

- d. Se estableció un tratamiento control (efluente natural) para efectuar la respectiva caracterización del mismo y, compararlo con cada uno de los tratamientos implementados.
- e. Se colocó el matraz sobre el agitador magnético mezclando a velocidad rápida de 100 rpm durante 1 minuto, sucesivamente se redujo la velocidad a 40 rpm (velocidad lenta) durante un lapso de 15 minutos.
- f. Se apagó el agitador y se dejó reposar por 20 minutos observándose conforme transcurre el tiempo la formación de los floc en cada módulo.
- g. Después de la decantación de los flóculos se retiró el efluente tratado mediante una manguera, de forma que no pasen los flocs al envase plástico al cual fue almacenado y refrigerado.
- h. Este mismo proceso se realizó con los productos (C2, F1 y F2) con las concentraciones equivalentes expuestas en el gráfico anterior usando las micropipetas de 1000 ul.
- i. Con los productos combinados (C1+F1, C1+F2, C2+F1, C2+F2) se realizó el mismo proceso con la diferencia que se dividieron las dosis para cumplir con las concentraciones estipuladas, es decir, para completar 10 mg se usó 5 mg de sulfato de aluminio (C1) y 5 mg del floculante coagulante polímero (F1) y de esta misma forma se hizo en las concentraciones de 20, 30, 40 y 50 mg/l.
- j. Al finalizar esta etapa de la investigación se procedió a determinar los parámetros de sólidos disueltos totales TDS, turbidez, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), aceites&grasas y ortofosfatos.

### **10.2.3. Análisis de sólidos disueltos totales (TDS)**

#### **Materiales, reactivos y equipos**

- 2 Vasos precipitados de 100 ml
- 1 Piseta
- Agua destilada
- 1 Multiparámetros

- Efluente tratado

### **Procedimiento**

- a. Una vez ya tratado el efluente con los coagulantes y floculantes se dió paso a la determinación de sólidos disueltos totales.
- b. Se encendió el multiparámetros y se presionó la opción (MODE) para buscar el parámetro que se va a analizar.
- c. Una vez ya seleccionado la opción de (TDS), se vertió en uno de los vasos precipitados de 100 ml aproximadamente 50 ml de la muestra.
- d. Se introdujo la sonda dentro el vaso precipitado con la muestra.
- e. Después se procedió a la lectura de los datos expresados en (g/l).
- f. Este proceso fue realizado con cada una de las muestras, limpiando la sonda entre cada medición para evitar interferencias por la presencia de la grasa emulsionada sobrante.

#### **10.2.4. Análisis de Turbidez**

##### **Materiales, reactivos y equipos**

- 5 Probetas de 10 ml
- Papel de seda
- 40 tubos de ensayo plásticos de 15 ml
- 1 Espectrofotómetro de Merck
- 2 Cubetas cilíndricas de 10 ml
- Agua destilada
- 1 piseta
- Efluente tratado

### **Procedimiento**

- a. Antes de efectuar la medición de turbidez en el efluente tratado, se requirió hacer una dilución de 1:10 debido a que la muestra como tal superaba el rango detectable por el espectrofotómetro.
- b. Después se encendió el espectrofotómetro de Merck y seguidamente se buscó el parámetro de turbidez.

- c. Al empezar la lectura se hizo un “cero”, vertiendo agua destilada en una de las cubetas cilíndricas la cual fue previamente limpiada con el papel de seda y después sellada con su respectiva tapa para ser introducida en el equipo, se pulsó el botón (ZERO) y el mismo fue aceptado y guardado por el dispositivo.
- d. Una vez ya aceptado el cero, se comenzó con la medición del tratamiento control añadiendo 1 ml de la muestra en la probeta y llevarlo a 10 ml con agua destilada.
- e. La dilución fue colocada en la cubeta cilíndrica vacía para la medición, esta fue ubicada en su posición y se presionó la opción (TEST).
- f. Los valores fueron expresados en unidades nefelométricas (FAU), y este mismo proceso se lo realizó a las 40 muestras de la primera repetición y de las futuras repeticiones.

#### **10.2.5. Análisis de la Demanda química de oxígeno (DQO)**

##### **Materiales, reactivos y equipos.**

- 41 Tubos de ensayo de vidrio
- 3 pipetas de 3 ml, 1ml y 5ml
- Solución A para DQO
- solución B para DQO
- Termoreactor
- Sorbona o campana de extracción de gases
- 3 peras
- Gradilla
- Efluente a tratar
- Agua destilada
- Piseta
- Espectrofotómetro de Merck

## Procedimiento

- a. Para la realización del parámetro de DQO se inició lavando los tubos de ensayo con jabón líquido neutro enjuagándolos con agua destilada los cuales serán usados para este análisis.
- b. Los tubos de ensayos completamente limpios, secos y rotulados, fueron colocados en la gradilla y se procedió a pipetear 2.85 ml de la solución B y 0.30 ml de la solución A.
- c. Una vez agregadas las soluciones ácidas al tubo de ensayo se añadió con la pipeta 3 ml de la muestra.
- d. Este proceso se hizo con cada muestra del agua tratada inclusive el tratamiento control.
- e. Una vez preparados los tubos de ensayos son llevados al termoreactor, los cuales son introducidos para su digestión.
- f. Se traslada el termoreactor a la sorbona o campana de extracción de gases y se encendió el digestor.
- g. Se colocó los tubos en las celdas del termoreactor para digerir las muestras cuando el equipo alcance los 148 grados celsius, posteriormente a ello se espera un lapso de 2 horas.
- h. Concluido este periodo se retiró con mucho cuidado los tubos debido a que se encuentran calientes y se los coloca uno a uno en la gradilla para mantenerlos en reposo y enfriando de 15 a 30 minutos.
- i. Una vez ya fríos se limpiaron bien los tubos antes de la lectura para evitar interferencias en el paso de la luz.
- j. Seguidamente se encendió el espectrofotómetro de Merck y se selecciona el método adecuado para la medición de la DQO.
- k. Empezó la lectura y se hizo un “cero”, vertiendo agua destilada en un tubo de ensayo, este fue previamente limpiado con el papel de seda y después sellada con su respectiva tapa para ser introducida en el equipo, se pulsó el botón (ZERO) y el mismo fue aceptado y guardado por el dispositivo.
- l. Una vez ya aceptado el cero, se comenzó con la lectura del tratamiento control.

m. Este mismo proceso se realizó con todas las muestras y los valores fueron expresados en (g/l) de oxígeno.

#### **10.2.6. Análisis de la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

##### **Materiales, reactivos y equipos.**

- 3 botellas ámbar de 250 ml
- Solución de ácido glutámico
- Solución de fosfato
- Solución de sulfato de magnesio
- Solución de cloruro de calcio
- Solución de cloruro de hierro (III)
- Capucha o caperuza
- Incubador controlado a 20°C
- Buretas
- Probetas de 1000 ml
- Sensor para determinar el oxígeno disuelto (OD)
- Pipeta de 1, 2, 5, 10.

##### **Preparación de las soluciones**

- a. Solución de ácido Glutámico: Se dejó secar el ácido glutámico y la glucosa a 103°C durante 1 hora, y se añadió 150 mg de glucosa y 150 mg del ácido aforado en 1 litro de agua destilada.
- b. Solución de Fosfato: Se disolvió 8.5 g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 21.75 g de  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , 33.4 g de  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 1.7 g de  $\text{NaH}_4\text{Cl}$  aforado en 500 ml de agua destilada diluído en 1 litro, se almacenó en una botella ámbar máximo un mes.
- c. Solución de Sulfato de magnesio: se disolvió 22.5 g de  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  aforado en 1 litro de agua destilada.
- d. Solución de Cloruro de calcio: se disolvió 27.4 g de  $\text{CaCl}_2$  aforado en 1 litro de agua destilada.
- e. Solución de Cloruro de hierro (III): Se disolvió 0.25 g de  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  en 1 litro de agua destilada.

## **Procedimiento**

- a. Se preparó agua de dilución, saturándola de oxígeno mediante un aireador, por cada litro de agua se añade 1 ml de cada una de las soluciones salinas preparadas con antelación (solución fosfato, sulfato de magnesio, cloruro de calcio y cloruro férrico).
- b. Se trató la muestra con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1N o con NaOH 1N y se obtuvo un pH de 6.4 y 8.
- c. Se ajustó la temperatura a 20 grados celsius (temperatura constante)
- d. Se añadió la solución en la botella ámbar y se colocó la capucha con el medidor de oxígeno disuelto (OD).
- e. Se selló herméticamente con un sello hidráulico y se colocó las muestras en la incubadora a 20 grados durante cinco días.
- f. Al concluir los 5 días se midió el OD expresados en mg/l según la fórmula establecida en el libro de Standart Methods.

### **10.2.7. Análisis de Ortofosfatos**

#### **Materiales, reactivos y equipos**

- Agua Destilada
- Balones volumétricos de 25, 50 y 100 mL.
- Balanza analítica
- 2 Probetas de 100 mL
- Matraces erlenmeyers de 125 ml, 250 ml y 1L
- Espectrofotómetro para lectura de absorbancia a 880 nm
- Espatula
- 2 Micropipetas
- Peras
- Papel limpia celdas o absorbente
- Pipetas graduadas de 5, 10 y 20 mL
- 2 cubetas de cuarzo
- Ácido Clorhídrico al 10%
- Ácido Sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 5N
- Ácido Ascórbico ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ ) 0.1 M
- Fenolftaleína

### **Preparación de los ácidos**

- a. Solución de ácido clorhídrico, HCl, 1 N [preparación: se diluyó cuidadosamente 41.5 mL de HCl concentrado hasta 500 mL con agua destilada].
- b. Solución ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) 5N, 5 mL [preparación: se diluyó cuidadosamente 70 mL de  $H_2SO_4$  concentrado hasta 500 mL con agua destilada].
- c. Solución alcohólica del indicador fenolftaleína [preparación: se pesó 0,5 g de fenolftaleína, se transfirió a un balón volumétrico de 100 mL, se agregó 50 mL de alcohol etílico o iso propílico 95%, se mezcló y aforó con agua destilada].
- d. Solución de ácido ascórbico ( $C_6H_8O_6$ ) 0.1 M [preparación: se pesó 1,76 g de ácido ascórbico y diluyó a 100 mL con agua destilada].
- e. Reactivo combinado (método del ácido ascórbico) [preparación: se mezcló en un erlenmeyer de 250 mL, 50 mL de  $H_2SO_4$  5 N, 5 mL de la solución de  $K(SbO)C_4H_4O_6$  15 mL de la solución de  $(NH_4)_6 Mo_7O_{24}$  y 30 mL de la solución de ácido ascórbico].
- f. Solución de hidróxido de amonio,  $NH_4OH$ , 1N [preparación: se diluyó 70 mL de  $NH_4OH$  concentrado hasta 1000 mL con agua destilada].

### **Procedimiento**

Concluida la preparación de los ácidos y el reactivo combinado, se procedió inmediatamente a la determinación del ortofosfato mediante la curva de calibración.

- a. Se lavó previamente todo el material de vidrio a utilizar con una solución de HCl concentrado al 10%.
- b. Se añadió 100 mL de agua destilada en un erlenmeyer de 250 mL como el tratamiento control.
- c. Se colocó 0.5ml de la muestra del efluente en un vaso de precipitación de 250 mL, diluir a 100 mL con agua destilada y se agitó la dilución.
- d. Se colocó 4 gotas de la solución indicadora de fenolftaleína.

- e. Se ajustó el pH de la muestra a aproximadamente 8, empleando la solución de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,5 N. El pH adecuado se consigue cuando se observa la aparición de un color rosa pálido con el uso del indicador.
- f. Se filtró las muestras si se observa material en suspensión.
- g. Se agregó 4 mL del reactivo combinado y se agitó inmediatamente además se dejó reposar 10 minutos.
- h. Se agitó nuevamente y se realizó las lecturas de absorbancia a 880 nm, antes de que hayan transcurrido 30 minutos, a partir de la adición del reactivo combinado.
- i. Se usó un tratamiento control de reactivos como solución de referencia y celdas de 1 cm de trayecto óptico.
- j. Se agregó en la cubeta de cuarzo la solución y se realiza la lectura en el espectrofotómetro con la longitud de onda establecida.

#### **10.2.8. Análisis de Aceites&Grasas**

##### **Materiales, reactivos y equipos**

- Agua destilada.
- Agitador magnético.
- Muestra de efluente.
- Balones de fondo plano de 250 mL.
- Matraces erlenmeyer de 125 mL.
- Embudo cuello corto.
- Embudo gibson
- Probetas de 100 mL
- Papel filtro
- Papel absorbente
- Hexano
- Vaso de precipitación de 100 mL
- Campana de extracción de gases
- Extractor Soxhlet
- Estufa
- Balanza analítica
- Desecador grande

## Procedimiento

- a. Se pesó el balón de 250 mL en la balanza analítica y se registró su peso inicial (P1).
- b. Se agregó en un vaso de precipitación 50 mL de muestra del efluente y posteriormente se lo colocó en un matraz erlenmeyer de 125 mL.
- c. Se calentó el matraz en el agitador magnético a 50°C por 1 minuto y luego se colocó el efluente en el embudo gibson.
- d. Se añadió 50 mL de hexano en un vaso precipitado de 100 mL y después se lo pasó al embudo gibson.
- e. Se colocó la tapa al embudo gibson y dentro de la cámara de extracción de gases y se agitó el embudo.
- f. Se abrió la llave suavemente para liberar la presión generada por el hexano.
- g. Se agitó 4 o 5 veces el embudo gibson y después de cada agitación se abrió la llave para expulsar toda la presión contenida.
- h. Se colocó el embudo gibson en el soporte.
- i. Se abrió la llave del embudo gibson y se dejó fluir el agua residual en un vaso precipitado de 125ml hasta dejar solamente el hexano combinado con la grasa y luego cerrar la llave.
- j. Se colocó el papel filtro en un embudo cuello corto y un balón debajo del embudo gibson.
- k. Se abrió nuevamente la llave del embudo gibson y se liberó el hexano mezclado dentro del balón.
- l. Se calentó el balón en un agitador magnético a 300°C y se lo conectó al extractor Soxhlet para recuperar el hexano en estado gaseoso.
- m. Cuando se evaporó todo el hexano, se colocó el balón en la estufa durante 2 horas a 105 °C.
- n. Posterior a ello se puso el balón en el desecador por 30 minutos.
- o. Se retiró el balón del desecador y se esperó 6-9 minutos hasta que se enfríe el balón.
- p. Se pesó el balón en la balanza analítica.
- q. Y se registró el peso final (P2) se aplicó la fórmula de diferencia de peso inicial y final del balón para obtener los valores de aceites y grasas.

### 10.3. Análisis de los datos

Una vez finalizada la fase experimental se inició la etapa del tratamiento de datos, para la realización del cálculo estadístico se utilizó el programa de Microsoft Excel 2010 para Windows 10 y en él se elaboró tablas de datos, curva de calibración, porcentajes de remoción y medias aritméticas.

Además se empleó el software estadístico InfoStat en su versión libre 2008, para realizar el análisis de varianza (ANOVA) y la separación de medias a través de la prueba de Tukey, con la finalidad de determinar las diferencias significativas entre las medias de tratamientos (C1, C2, F1, F2, C1+F1, C1+F2, C2+F1 y C2+F2) con sus distintas concentraciones (10, 20, 30, 40 y 50 mg/l).

Finalmente se estableció una comparación con datos promedios de cada parámetro en distintas concentraciones con la tabla del TULSMA para efluentes descargados al sistema de alcantarillado

## XI. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 11.1. Caracterización del efluente

En la Tabla 1 se presentan los datos obtenidos a partir de la caracterización inicial del efluente que corresponden a los valores de cada parámetro analizado en cada una de sus tres repeticiones y medias.

**Tabla 4.** Caracterización del efluente

PARAMETROS	REPETICIONES			MEDIA	UNIDADES
	1	2	3		
TDS	6325	4310	4865	5166,67	mg/l
ACEITES&GRASAS	23,61	24,213	17,56	21,79	mg/l
DBO	2337,104	3730,713	3308,368	3125,4	mg/l
DQO	5390	8610	7630	7210	mg/l
TURBIDEZ	190	250	440	293,33	FAU
P-ORTOFOSFATO	461769,95	519361,48	609862,47	530331,3	mgP- PO4/L

## 11.2. ANOVA (TUKEY)

Se evaluó la eficiencia de los coagulantes y floculantes utilizados en los distintos tratamientos (C1, C2, F1, F2, C1+F1, C1+F2, C2+F1 y C2+F2) mediante porcentajes de remoción obtenidos a partir de los datos en (mg/l) de cada parámetro en sus distintas dosificaciones.

### Sólidos Disueltos Totales (SDT)

Mediante los datos obtenidos a partir de los ensayos realizados en el laboratorio se calculó los porcentajes de remoción para la determinación del análisis de varianza del parámetro de SDT y su respectivo test de Tukey.

**Tabla 5.** Valores promedios de Sólidos disueltos totales.

CONCENTRACIONES	TRATAMIENTOS							
	C1	C2	F1	F2	C1+F1	C1+F2	C2+F1	C2+F2
10 mg/l	22,32 <sup>A</sup>	23,69 <sup>A</sup>	63,24 <sup>A</sup>	26,3 <sup>A</sup>	49,52 <sup>A</sup>	26,29 <sup>A</sup>	39,45 <sup>A</sup>	21,13 <sup>A</sup>
20 mg/l	24,19 <sup>A</sup>	27,48 <sup>A</sup>	64,45 <sup>A</sup>	28,24 <sup>A</sup>	61,08 <sup>AB</sup>	31,09 <sup>AB</sup>	40,21 <sup>A</sup>	15,71 <sup>A</sup>
30 mg/l	28,4 <sup>A</sup>	37,74 <sup>A</sup>	76,77 <sup>AB</sup>	26,52 <sup>A</sup>	68,31 <sup>B</sup>	34,64 <sup>ABC</sup>	38,85 <sup>A</sup>	14,43 <sup>A</sup>
40 mg/l	29,47 <sup>A</sup>	41,39 <sup>A</sup>	87,66 <sup>B</sup>	26,45 <sup>A</sup>	71,98 <sup>B</sup>	36,01 <sup>BC</sup>	38,41 <sup>A</sup>	13,63 <sup>A</sup>
50 mg/l	36,42 <sup>A</sup>	40,74 <sup>A</sup>	92,35 <sup>B</sup>	28,24 <sup>A</sup>	76,66 <sup>B</sup>	41,5 <sup>C</sup>	39,6 <sup>A</sup>	20,03 <sup>A</sup>

*Tratamientos con mismas letras son iguales estadísticamente.*

- Los valores medios obtenidos en el tratamiento C1 reflejan que todas las concentraciones son estadísticamente iguales, ya que se encuentran en la categoría A y por ende su función en la remoción de sólidos disueltos totales es semejante sin diferencia entre sus dosis (Anexo 14).
- Así mismo los datos medios obtenidos en el tratamiento C2 se definen como iguales estadísticamente ya que se agrupan en la misma categoría A (Anexo 15).
- En el tratamiento F1 se diferencian dos tipos de grupos el A y B en el cual se observa comportamientos iguales en las concentraciones de 40 y 50

mg/l siendo estas B y las mejores dentro de este tratamiento, por otro lado las dosis de 10 y 20 mg/l trabajan de manera igual entre ellas perteneciendo al grupo A, y su vez se diferencian de B debido a su capacidad de remoción en este parámetro, y la dosis de 30 mg/l comparte características tanto de A y B (Anexo 16).

- En el tratamiento F2 solo se encuentra el rango A en todas las concentraciones dentro del parámetro de sólidos disueltos totales, estableciendo que todas las concentraciones de este tratamiento son iguales estadísticamente sin ninguna diferencia entre ellas (Anexo 17).
- Dentro del tratamiento C1+F1 existen dos rangos de diferenciación A y B, donde las concentraciones de 30, 40 y 50 mg/l se encuentran en la categoría B siendo entre ellas semejantes estadísticamente y las que mejores resultados obtuvieron en la remoción de SDT, por otra parte la dosis de 10 mg/l fue la que menos removió en comparación con las demás y la dosis de 20 mg/l comparte comportamientos tanto de A y B pudiendo ser igual a A y B (Anexo 18).
- Se refleja en este tratamiento C1+F2 la existencia de tres rangos A, B y C en donde la concentración de 50mg/l (C) se sitúa como la mejor de dosis en el tratamiento C1+F2 compartiendo características con 40 y 30 mg/l, las concentraciones de 20, 30 y 40 mg/l reúnen semejanzas agrupandolas en la categoría B siendo entre ellas estadísticamente iguales, así mismo ocurre con A donde las dosis de 10, 20 y 30 mg/l poseen similitud por pertenecer al grupo A siendo iguales (Anexo 19).
- Los valores medios obtenidos en el tratamiento C2+F1 solo se encuentra un rango A en todas las concentraciones dentro del parámetro de SDT, por lo cual se define que todas las concentraciones dentro de este tratamiento son iguales estadísticamente sin ninguna diferencia entre ellas (Anexo 20).
- De la misma manera en el tratamiendo C2+F2 todas las concentraciones

dentro del parámetro de sólidos disueltos totales pertenecen al mismo grupo A, por lo cual se define que todas las concentraciones dentro de este tratamiento son iguales estadísticamente sin ninguna diferencia entre ellas (Anexo 21).

- En síntesis, el tratamiento F1 compuesto de policloruro de aluminio en la concentración de 50 mg/l resultó ser el mejor entre todos los tratamientos reduciendo el 92.35 % de sólidos disueltos totales presentes en el efluente industrial, de esta manera se establece este floculante como el idóneo para tratar este parámetro de manera eficiente.

## Turbidez

Mediante los datos obtenidos a partir de los ensayos realizados en el laboratorio se calculó los porcentajes de remoción para la determinación del análisis de varianza del parámetro de Turbidez.

**Tabla 6.** Valores promedios de Turbidez

CONCENTRACIONES	TRATAMIENTOS							
	C1	C2	F1	F2	C1+F1	C1+F2	C2+F1	C2+F2
10 mg/l	39,36 <sup>A</sup>	35,78 <sup>A</sup>	69,6 <sup>A</sup>	36,57 <sup>A</sup>	78,53 <sup>A</sup>	58,24 <sup>A</sup>	64,76 <sup>A</sup>	56,44 <sup>A</sup>
20 mg/l	49,13 <sup>A</sup>	48,2 <sup>AB</sup>	80,95 <sup>A</sup>	37,73 <sup>A</sup>	74,71 <sup>A</sup>	69,11 <sup>A</sup>	71,57 <sup>A</sup>	57,75 <sup>A</sup>
30 mg/l	54,05 <sup>A</sup>	50,89 <sup>AB</sup>	88,31 <sup>A</sup>	44,41 <sup>A</sup>	78,02 <sup>A</sup>	71,17 <sup>A</sup>	78,29 <sup>A</sup>	55,02 <sup>A</sup>
40 mg/l	64,4 <sup>A</sup>	65,6 <sup>AB</sup>	91,31 <sup>A</sup>	48,42 <sup>A</sup>	75,68 <sup>A</sup>	68,84 <sup>A</sup>	68,84 <sup>A</sup>	64,04 <sup>A</sup>
50 mg/l	62,14 <sup>A</sup>	70,27 <sup>B</sup>	78,78 <sup>A</sup>	53,52 <sup>A</sup>	82,77 <sup>A</sup>	61 <sup>A</sup>	59,39 <sup>A</sup>	55,93 <sup>A</sup>

*Tratamientos con mismas letras son iguales estadísticamente.*

- En este tratamiento C1 (sulfato de aluminio) solo se encuentra un rango A en todas las concentraciones dentro del parámetro de Turbidez, por lo cual se define que todas las concentraciones dentro de este tratamiento son estadísticamente iguales sin ninguna diferencia entre ellas (Anexo 22).

- Los valores obtenidos en el tratamiento C2 establece que la concentración de 50 mg/l se encuentra en la categoría B y por ende se la define como la dosis de mejor remoción en el tratamiento aplicado en comparación a la concentración de 10 mg/l con el rango A el cual tiene comportamientos distintos a B, por otra parte las dosis de 20, 30 y 40 mg/l comparten semejanzas con A y B siendo estadísticamente iguales entre ellos (Anexo 23).
- En este tratamiento F1 se distingue un rango de diferenciación A en todas las concentraciones dentro del parámetro de, por lo cual se define que todas las concentraciones dentro de este tratamiento son estadísticamente iguales sin ninguna diferencia entre ellas. Cabe recalcar que las medias obtenidas en este tratamiento son las más altas en el parámetro de turbidez (Anexo 24).
- En el tratamiento F2 se distingue la categoría A en todas las concentraciones dentro del parámetro de Turbidez, puntualizando que todas las concentraciones dentro de este tratamiento son estadísticamente iguales sin ninguna diferencia entre ellas (Anexo 25).
- Se establece en este tratamiento C1+F1 compuesto de sulfato de aluminio+ TQ FLOC PCAB que todas las concentraciones presentes en este parámetro son estadísticamente iguales sin diferencia alguna (Anexo 26).
- En este tratamiento C1+F2 se distingue un rango A en todas las concentraciones, por lo cual se define que todas las dosis dentro de este tratamiento son estadísticamente iguales sin ninguna diferencia entre ellas ya que trabajan de la misma manera (Anexo 27).
- En este tratamiento C2+F1 (cloruro ferroso + TQ FLOC PCAB) al igual que los demás, se distingue un rango A en todas las concentraciones, por tanto se define que todas las dosis dentro de este tratamiento son estadísticamente iguales sin ninguna diferencia entre ellas (Anexo 28)

- En este tratamiento C2+F2 (cloruro ferroso + TQ FLOC A130) se distingue un rango A en todas las concentraciones por lo cual se define que todas las concentraciones dentro de este tratamiento son estadísticamente iguales sin ninguna diferencia entre ellas (Anexo 29).
- En síntesis se establece que gran parte de los tratamientos aplicados en la remoción de la turbidez trabajaron de manera semejantes entre sus concentraciones, sin embargo, vale la pena destacar el tratamiento F1 en su dosis de 40mg/l el cual logró remover el 91.31 % de este parámetro siendo así el de mejor entre los demás.

### Aceites y grasas

Mediante los datos obtenidos a partir de los ensayos realizados en el laboratorio se calculó los porcentajes de remoción para la determinación del análisis de varianza del parámetro de A&G.

**Tabla 7.**Valores promedios de Aceites y Grasas

CONCENTRACIONES	TRATAMIENTOS							
	C1	C2	F1	F2	C1+F1	C1+F2	C2+F1	C2+F2
10 mg/l	23,96 <sup>A</sup>	12,39 <sup>A</sup>	35,99 <sup>A</sup>	7,33 <sup>A</sup>	22,48 <sup>A</sup>	6,14 <sup>A</sup>	13,74 <sup>A</sup>	0,43 <sup>A</sup>
20 mg/l	24,71 <sup>A</sup>	21,67 <sup>AB</sup>	42,71 <sup>AB</sup>	3,56 <sup>A</sup>	30,1 <sup>A</sup>	10,47 <sup>AB</sup>	18,98 <sup>A</sup>	4,02 <sup>AB</sup>
30 mg/l	25,06 <sup>A</sup>	29,23 <sup>B</sup>	55,59 <sup>ABC</sup>	10,6 <sup>A</sup>	30,23 <sup>A</sup>	13,02 <sup>AB</sup>	25,11 <sup>A</sup>	7,53 <sup>AB</sup>
40 mg/l	27,93 <sup>A</sup>	29,71 <sup>B</sup>	66,2 <sup>BC</sup>	11,66 <sup>A</sup>	37,86 <sup>AB</sup>	18,57 <sup>B</sup>	30,35 <sup>A</sup>	8,3 <sup>AB</sup>
50 mg/l	35,85 <sup>A</sup>	24,44 <sup>B</sup>	73,75 <sup>C</sup>	4,47 <sup>A</sup>	52,16 <sup>B</sup>	30,12 <sup>C</sup>	29,83 <sup>A</sup>	14,39 <sup>B</sup>

*Tratamientos con mismas letras son iguales estadísticamente.*

- En el parámetro de Aceites&Grasas el tratamiento C1 presenta una igualdad entre todas las concentraciones del 10, 20, 30, 40 y 50 mg/l, es decir, que todas las dosis estadísticamente no presentan diferencias alguna y remueven por igual este parámetro (Anexo 30).
- En este caso el tratamiento C2 compuesto por cloruro ferroso presenta dos rangos de diferenciación A y B, donde se define como las mejores

dosis, las concentraciones de 30, 40 y 50 mg/l ubicándose en la categoría B, estas a su vez trabajan de manera diferente a la dosis de 10 mg/l (A) siendo esta la que menos reduce los aceites y grasas presentes y la concentración de 20mg/l comparte características tanto con A y B (Anexo 31).

- Dentro del tratamiento F1 existen tres rangos de diferenciación A, B y C entre las concentraciones, con una media de 73.75 se encuentra la concentración de 50mg/l (C) definiéndose como la que mejor resultados tuvo, compartiendo semejanzas en su capacidad de remoción con las dosis de 40 y 30 mg/l, por otra parte estas concentraciones de 40, 30 y 20 mg/l comparten características tipo B siendo iguales estadísticamente entre ellas, y por último las concentraciones de 10, 20 y 30 mg/l poseen similitud de tipo A siendo iguales, por lo cual se determina que su remoción de aceites y grasas varía significativamente en cada concentración (Anexo 32).
  
- En el tratamiento F2 se descartan diferencias mínimas entre sus dosis, siendo todas estadísticamente iguales (Anexo 33).
  
- En el tratamiento C1+F1 (sulfato de aluminio + TQ FLOC PCAB) se diferencian dos rangos A y B donde la concentración de 50 mg/l (B) con una media de 52.16 es designado como la mejor dosis compartiendo semejanzas con la dosis de 40 mg/l, estas a su vez posee similitud con las de categoría A siendo diferentes en su capacidad de remoción a las concentraciones de 10, 20 y 30 mg/l y entre ellas son estadísticamente iguales (Anexo 34).
  
- En este tratamiento C1+F2 se reflejan tres rangos A, B y C, en la cual se sobrepone la concentración de 50 mg/l (C), vale la pena mencionar que tanto la dosis de 40, 30 y 20 mg/l son iguales ya que poseen características similares entre ellos de tipo B así mismo 10, 20 y 30 son significativamente semejantes compartiendo rasgos de tipo A entre sí, por

tanto, A, B y C son estadísticamente diferentes En este tratamiento tan solo se reflejan dos rangos, donde las concentraciones de 50 y 40 mg/l (B) son estadísticamente iguales y las mejores de este tratamiento, por otro lado las dosis restantes son poco significativas e iguales entre ellas (Anexo 35).

- En el tratamiento C2+F1 se evidencia claramente que todas las concentraciones de este tratamiento son estadísticamente iguales, es decir, en todas las concentraciones el floculante trabaja de la misma manera (Anexo 36).
- Se establece en este tratamiento C2+F2 dos rangos de discrepancia A y B, siendo la concentración de 50 mg/l la que dio mejor resultados, en comparación con la dosis de 10 mg/l siendo estas dos diferentes entre si, sin embargo comparten semejanzas con las concentraciones de 20, 30 y 40 mg/l siendo estadísticamente iguales y compatibles con A y B (Anexo 37).
- En síntesis el tratamiento F1 en su concentración de 50 mg/l fue la dosis que obtuvo mejores resultados en la remoción de aceites y grasas presente en el efluente industrial obteniendo un porcentaje de 73.75% en comparación al C2+F2 el cual en su dosis de 10 mg/l fue el que menos redujo este parámetro siendo inferior al 1%.

### **Demanda Bioquímica de Oxígeno**

Mediante los datos obtenidos a partir de los ensayos realizados en el laboratorio se calculó los porcentajes de remoción para la determinación del análisis de varianza del parámetro de la DBO.

**Tabla 8.** Valores promedios de DBO

CONCENTRACIONES	TRATAMIENTOS							
	C1	C2	F1	F2	C1+F1	C1+F2	C2+F1	C2+F2
10 mg/l	13,75 <sup>A</sup>	41,35 <sup>A</sup>	39,07 <sup>A</sup>	34,33 <sup>A</sup>	31,59 <sup>A</sup>	38,71 <sup>A</sup>	46,15 <sup>A</sup>	-19,04 <sup>A</sup>
20 mg/l	10,69 <sup>A</sup>	56,11 <sup>A</sup>	48,6 <sup>A</sup>	40,42 <sup>A</sup>	47,2 <sup>A</sup>	34,56 <sup>A</sup>	39,22 <sup>A</sup>	17,02 <sup>B</sup>
30 mg/l	26,51 <sup>A</sup>	28,2 <sup>A</sup>	42,17 <sup>A</sup>	35,19 <sup>A</sup>	45,28 <sup>A</sup>	38,66 <sup>A</sup>	27,99 <sup>A</sup>	25,94 <sup>B</sup>
40 mg/l	31,17 <sup>A</sup>	38,61 <sup>A</sup>	45,99 <sup>A</sup>	45,31 <sup>A</sup>	62,39 <sup>A</sup>	38,42 <sup>A</sup>	31,73 <sup>A</sup>	23,9 <sup>B</sup>
50 mg/l	46,73 <sup>A</sup>	26,92 <sup>A</sup>	35,79 <sup>A</sup>	49,59 <sup>A</sup>	68,18 <sup>A</sup>	8,23 <sup>A</sup>	34,61 <sup>A</sup>	25,23 <sup>B</sup>

*Tratamientos con mismas letras son iguales estadísticamente*

- Los datos obtenidos en el tratamiento C1 se aprecia que todas las concentraciones de este tratamiento comparten semejanzas (A) en su capacidad de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno por tanto estadísticamente son iguales entre ellos sin ninguna diferencia (Anexo 38).
- De la misma manera en el tratamiendo C2 todas las concentraciones de 10 a 50 mg/l trabajan de la misma forma por ende se las agrupa en el rango A siendo iguales entre sí (Anexo 39).
- En el tratamiento F1 (TQ FLOC PCAB) se evidencia claramente que todas las concentraciones de este tratamiento son estadísticamente iguales, es decir, en todas las concentraciones existe una buena eficiencia de remoción de DBO (Anexo 40).
- En el tratamiento F2 (TQ FLOC A130) se evidencia que todas las concentraciones de este tratamiento son estadísticamente iguales (Anexo 41).
- En el tratamiento C1+F1 se establece que todas las dosis trabajan de la misma manera ya todas pertenecen a la categoría A y por tanto son iguales estadísticamente (Anexo 42).
- En este tratamiento C1+F2 todas las concentraciones pertenecen a un

mismo rango (A) por lo cual se determina que todas las dosis son equivalentes sin ninguna diferencia entre sí (Anexo 43).

- En este tratamiento C2+F1 (cloruro ferroso + TQ FLOC PCAB) todas las concentraciones pertenecen a un mismo rango (A) por lo cual se determina que todas las dosis son equivalentes sin ninguna diferencia entre sí (Anexo 44).
- Dentro de este tratamiento C2+F2 las concentraciones de 20, 30, 40 y 50 mg/l pertenecen a un mismo rango (B) por lo cual se determina que todas las dosis son equivalentes sin ninguna diferencia entre sí a más de ser las mejores de este tratamiento, por otro lado está la dosis de 10 mg/l cuyo dato es negativo demuestra que no removió la DBO sino todo lo contrario aumentó por ende el rango de A es la de menor eficiencia de todas (Anexo 45).
- En síntesis el mejor tratamiento que removió gran parte de la DBO fue el tratamiento C1+F1 con su dosis de 50 mg/l con un porcentaje de 68.18 por otro lado de que no redujo y al contrario incrementó la demanda bioquímica fue el tratamiento C2+F2 con la concentración de 10 mg/l siendo esta la menos eficiente.

### **Demanda Química de Oxígeno**

Mediante los datos obtenidos a partir de los ensayos realizados en el laboratorio se calculó los porcentajes de remoción para la determinación del análisis de varianza del parámetro de la DQO.

**Tabla 9.** Valores promedios de DQO

CONCENTRACIONES	TRATAMIENTOS							
	C1	C2	F1	F2	C1+F1	C1+F2	C2+F1	C2+F2
10 mg/l	13,15 <sup>A</sup>	40,05 <sup>A</sup>	36,96 <sup>A</sup>	34,59 <sup>A</sup>	31,56 <sup>A</sup>	38,67 <sup>A</sup>	46,36 <sup>A</sup>	-15,57 <sup>A</sup>
20 mg/l	8,65 <sup>A</sup>	55,82 <sup>A</sup>	46,34 <sup>A</sup>	40,87 <sup>A</sup>	47,03 <sup>A</sup>	34,48 <sup>A</sup>	39,4 <sup>A</sup>	19,22 <sup>AB</sup>

<b>30 mg/l</b>	24,8 <sup>A</sup>	27,7 <sup>A</sup>	39,22 <sup>A</sup>	35,69 <sup>A</sup>	45,13 <sup>A</sup>	38,48 <sup>A</sup>	28,29 <sup>A</sup>	27,75 <sup>B</sup>
<b>40 mg/l</b>	28,76 <sup>A</sup>	38,2 <sup>A</sup>	43,46 <sup>A</sup>	45,73 <sup>A</sup>	62,14 <sup>A</sup>	38,34 <sup>A</sup>	32,05 <sup>A</sup>	27,32 <sup>B</sup>
<b>50 mg/l</b>	45,79 <sup>A</sup>	26,5 <sup>A</sup>	34,18 <sup>A</sup>	44,91 <sup>A</sup>	67,95 <sup>A</sup>	8,21 <sup>A</sup>	34,89 <sup>A</sup>	25,24 <sup>B</sup>

*Tratamientos con mismas letras son iguales estadísticamente.*

- Los valores obtenidos en el tratamiento C1 muestra las concentraciones con características semejantes (A) cuya capacidad de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno es igual en todas las dosis, por tanto estadísticamente son iguales entre ellos sin ninguna diferencia (Anexo 46).
- De la misma manera en el tratamiento C2 todas las concentraciones de 10 a 50 mg/l trabajan de la misma forma por ende se las agrupa en el rango A siendo iguales entre sí (Anexo 47).
- En el tratamiento F1 se evidencia claramente que todas las concentraciones de este tratamiento son estadísticamente iguales, es decir, en todas las concentraciones existe una buena eficiencia de remoción de DBO (Anexo 48).
- En el tratamiento F2 (TQ FLOC A130) se evidencia que todas las concentraciones de este tratamiento son estadísticamente iguales (Anexo 49).
- En el tratamiento C1+F1 se establece que todas las dosis trabajan de la misma manera ya todas pertenecen a la categoría A y por tanto son iguales estadísticamente (Anexo 50).
- En este tratamiento C1+F2 todas las concentraciones pertenecen a un mismo rango (A) por lo cual se determina que todas las dosis son equivalentes sin ninguna diferencia entre sí (Anexo 51).
- En este tratamiento C2+F1 (cloruro ferroso + TQ FLOC PCAB) todas las concentraciones pertenecen a un mismo rango (A) por lo cual se estipula

que todas las dosis son equivalentes sin ninguna diferencia entre sí (Anexo 52).

- Dentro de este tratamiento C2+F2 las concentraciones de 20, 30, 40 y 50 mg/l pertenecen a un mismo clase (B) por lo cual se determina que todas las dosis son equivalentes sin ninguna diferencia entre sí a más de ser las mejores de este tratamiento, por otro lado está la dosis de 10 mg/l cuyo dato es negativo indica que no removió la DBO sino todo lo contrario aumentó por ende el rango de A es la de menor eficiencia de todas (Anexo 53).
- En síntesis En síntesis el mejor tratamiento que removió gran parte de la DBO fue el tratamiento C1+F1 con su dosis de 50 mg/l con un porcentaje de 68.18 por otro lado de que no redujo y al contrario incrementó la demanda bioquímica fue el tratamiento C2+F2 con la concentración de 10 mg/l siendo esta la menos eficiente.

### P-Ortofosfatos

Mediante los datos obtenidos a partir de los ensayos realizados en el laboratorio se calculó los porcentajes de remoción para la determinación del análisis de varianza del parámetro de p-ortofosfatos.

**Tabla 10.** Valores promedios de p-ortofosfatos

CONCENTRACIONES	TRATAMIENTOS							
	C1	C2	F1	F2	C1+F1	C1+F2	C2+F1	C2+F2
10 mg/l	18,62 <sup>A</sup>	19,13 <sup>A</sup>	27,92 <sup>A</sup>	22,24 <sup>A</sup>	26,89 <sup>A</sup>	23,27 <sup>A</sup>	25,86 <sup>A</sup>	20,68 <sup>A</sup>
20 mg/l	21,2 <sup>A</sup>	25,86 <sup>AB</sup>	26,37 <sup>A</sup>	20,68 <sup>A</sup>	27,92 <sup>A</sup>	26,89 <sup>A</sup>	27,41 <sup>A</sup>	22,24 <sup>A</sup>
30 mg/l	23,27 <sup>A</sup>	22,24 <sup>B</sup>	28,44 <sup>A</sup>	21,72 <sup>A</sup>	25,86 <sup>A</sup>	26,37 <sup>A</sup>	23,27 <sup>A</sup>	22,75 <sup>A</sup>
40 mg/l	21,72 <sup>A</sup>	27,41 <sup>B</sup>	26,89 <sup>A</sup>	19,65 <sup>A</sup>	28,96 <sup>A</sup>	25,86 <sup>A</sup>	26,89 <sup>A</sup>	24,3 <sup>A</sup>
50 mg/l	23,27 <sup>A</sup>	24,82 <sup>B</sup>	29,48 <sup>A</sup>	19,65 <sup>A</sup>	29,48 <sup>A</sup>	25,34 <sup>A</sup>	24,82 <sup>A</sup>	23,27 <sup>A</sup>

*Tratamientos con mismas letras son iguales estadísticamente.*

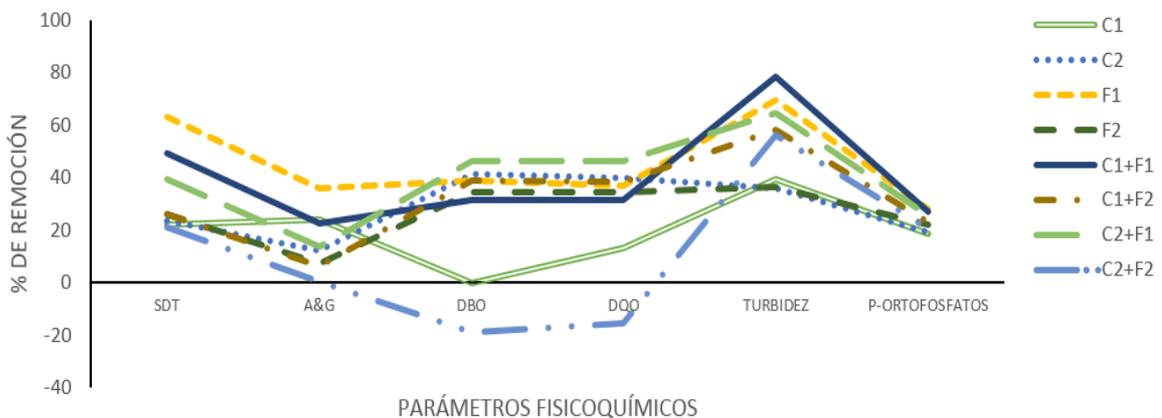
- En la remoción de p-ortofosfatos, el tratamiento C1 estableció que todas las concentraciones pertenecientes al rango A son estadísticamente iguales sin ninguna distinción entre ellas debido a que trabajan de forma similares (Anexo 54).
- En este tratamiento C2 (cloruro ferroso) se se define dos escalas A y B de diferenciación en donde las concentraciones de 20, 30, 40 y 50 mg/l (B) actúan de la misma manera siendo estadísticamente iguales entre sí, por otra parte la misma concentración de 20 mg/l también comparte características semejantes a la dosis de 10 mg/l siendo categoría A, por ende A y B poseen diferencias significativas en su remoción (Anexo 55).
- En el tratamiento F1 (TQ FLOC PCAB) todas las concentraciones presentan solo un rango A, por lo cual se define que todas las dosis son completamente iguales debido a que sus medias son muy próximas (Anexo 56).
- Así mismo en este tratamiento F2 todas las concentraciones dentro del parámetro p-ortofosfatos son estadísticamente iguales (A) entre todas las dosis de 10 a 50 mg/l (Anexo 57).
- En este tratamiento C1+F1 las concentraciones definidas de 10 a 50 mg/l presentan un mismo rango (A) por lo cual indiferentemente cualquier dosis utilizada para remover p-ortofosfatos estadísticamente tendrá el mismo resultado (Anexo 58).
- En el tratamiento C1+F2, se marca únicamente una escala de diferenciación (A), por tanto todas las concentraciones usadas dentro de este tratamiento son iguales sin diferencia entre ellas debido a su cercanía en las medias (Anexo 59).
- En el tratamiento C2+F1, se presenta un solo rango de distinción (A) en todas las concentraciones por lo cual son consideradas estadísticamente iguales sin diferencia entre ellas (Anexo 60).

- En el tratamiento C2+F2 se establece un rango de diferenciación (A) en todas las concentraciones, es decir, todas las dosis de 10 a 50 mg/l no representan ninguna diferencia y estadísticamente cualquier concentración usada para remover p-ortofosatos en este tratamiento reduce significativamente lo mismo (Anexo 61).

### 11.3. Presentación de los tratamientos y su remoción en cada parámetro a distintas concentraciones.

Para la realización de los siguientes gráficos estadísticos se procedió a realizar medias entre los porcentajes de remoción en las tres repeticiones en las cinco concentraciones establecidas de 10 a 50 mg/l. A continuación, se describe en cada concentración el tratamiento que logró el mayor porcentaje de remoción para cada parámetro.

**Figura 1. Porcentajes promedios de remoción a 10mg/L**



#### Sólidos Disueltos Totales

El tratamiento F1 consiguió un promedio de remoción de Sólidos Disueltos Totales de 63,24%, obteniendo en cada repetición remociones de 48,28%, 71,48% y 69,95% respectivamente.

#### Aceites y grasas

El tratamiento F1 disminuyó el contenido de Aceites&Grasas en un promedio de 35,99%, obteniendo remociones de 35,19%, 33,49% y 39,3%.

## Demanda Bioquímica de Oxígeno

El tratamiento C2+F1 redujo la DBO en un promedio de 46,15% obteniendo remociones en cada repetición de 50,16%, 38,22% y 50,08%.

## Demanda Química de Oxígeno

El tratamiento C2+F1 disminuyó la DQO en un promedio 46,36%, con remociones de 50,28%, 38,21% y 50,59% respectivamente.

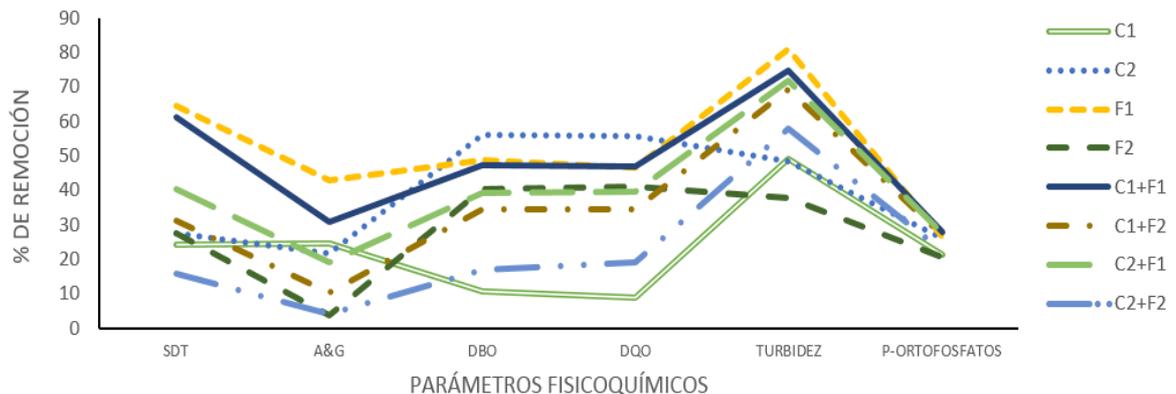
## Turbidez

El tratamiento C1+F1 disminuyó el contenido de Turbidez en un promedio de 78,53%, resultando en remociones de 78,95%, 68% y 88,64% en cada repetición.

## P-Ortofosfatos

El tratamiento F1 redujo el Fósforo encontrado como Ortofosfato en un promedio de 27,92% seguido por el tratamiento combinado C1+F1 que consiguió remover el 26,89%.

Figura 2. Porcentajes promedios de remoción a 20mg/L



## Sólidos Disueltos Totales

El tratamiento F1 disminuyó el contenido de SDT en un promedio de 64,45%, con remociones 49,26%, 71,32% y 72,76%. Asimismo, el tratamiento combinado C1+F1 redujo considerablemente los Sólidos Disueltos Totales con un promedio de remoción de 61,08%, obteniendo remociones de 67,56%, 56,08% y 59,61% respectivamente en cada repetición.

## Aceites y grasas

El tratamiento F1 redujo Aceites&Grasas en un promedio de 42,71%, con remociones de 41,12%, 34,08% y 52,93%.

## Demanda Bioquímica de Oxígeno

El tratamiento C2 removió la DBO en un promedio de 56,11%, con remociones de 49,21%, 54,05% y 65,07%.

## Demanda Química de Oxígeno

El tratamiento C2 redujo la DQO con un promedio de 55,82% obteniendo remociones de 48,98%, 53,73% y 64,74%.

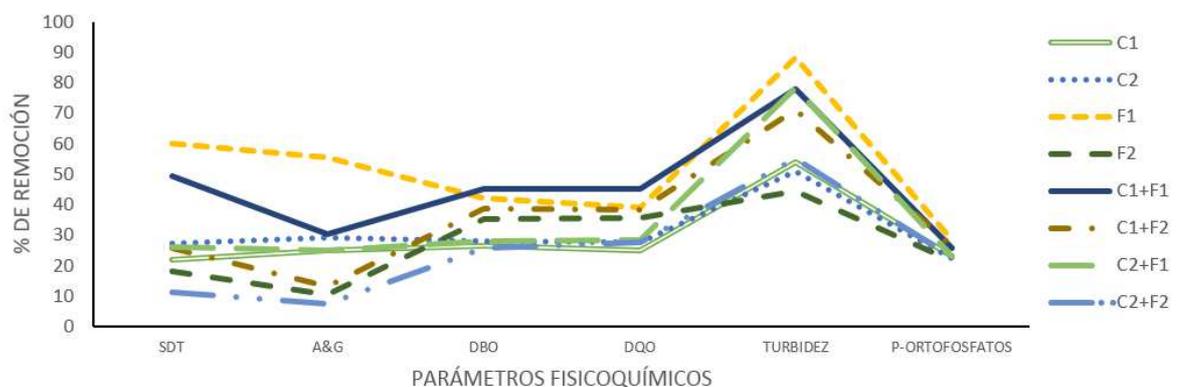
## Turbidez

El tratamiento F1 logró disminuir la Turbidez en un promedio de 80,95% con remociones de 73,68%, 76% y 93,18%. A su vez, los tratamientos combinados C1+F1 y C2+F1 redujeron significativamente la Turbidez con remociones promedios de 74,71% y 71,57% respectivamente.

## P-Ortofosfatos

Los tratamientos combinados C1+F1 y C2+F1 removieron el P-Ortofosfato en promedios de 27,92% y 27,41% respectivamente.

Figura 3. Porcentajes promedios de remoción a 30mg/L



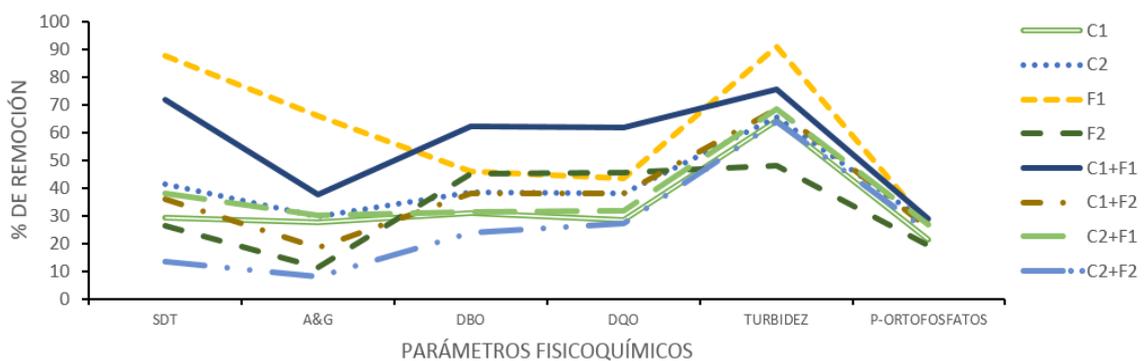
El tratamiento F1 disminuyó el contenido de TDS en un promedio de 76,77% con remociones de 79,34%, 74,32% y 76,65%. Asimismo removió Aceites&Grasas en un promedio de 53,89% obteniendo remociones de 50,78%, 45,90% y 70,10%.

De igual manera redujo la Turbidez en un promedio de 88,31% con remociones de 89,47%, 80% y 95,45% respectivamente en cada repetición. También consiguió la disminución del P-Ortofosfato con un promedio de 28,44% obteniendo remociones de 28,44%, 26,89% y 29,99% (Anexo 10. Ver Tabla 15).

El tratamiento combinado C1+F1 consiguió reducir la DBO en un promedio de 45,28% con remociones de 49,07%, 34,19% y 52,57%. Asimismo disminuyó la DQO en un promedio de 45,13%, con remociones de 47,87%, 34,84% y 52,69%.

Los tratamientos combinados C2+F1 y C1+F1 también lograron disminuir considerablemente la Turbidez, con unas remociones promedios de 78,29% y 78,02% respectivamente.

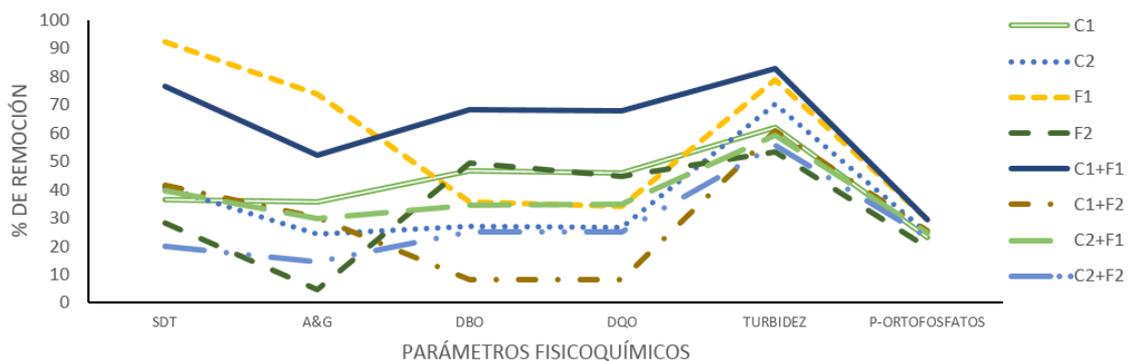
**Figura 1. Porcentajes promedios de remoción a 40 mg/l**



El tratamiento F1 consiguió reducir el contenido de TDS en un promedio de 87,66%, obteniendo remociones de 90,10%, 87,84% y 85,04%. De igual manera redujo Aceites&Grasas en un promedio de 66,20% con remociones de 59,12%, 60,26% y 79,21%. También disminuyó la Turbidez en un promedio de 91,31% consiguiendo remociones de 84,21%, 92% y 97,73% en cada repetición (Anexo 10. Ver Tabla 16).

El tratamiento combinado C1+F1 removió la DBO en un promedio de 62,39%, consiguiendo remociones de 65,74%, 47,04 y 74,38%. Del mismo modo redujo el contenido de DQO en un promedio de 62,14%, obteniendo remociones de 64,94%, 47,04% y 74,44%. También disminuyó el P-Ortofosfato en un promedio de 28,96%, seguido del tratamiento C2 que consiguió un promedio de remoción de P-Ortofosfato de 28,96%.

**Figura 2. Porcentajes promedios de remoción a 50 mg/L**



El tratamiento F1 y el tratamiento combinado C1+F1, ambos con una dosificación de 50mg/L removieron la mayor cantidad de los parámetros analizados (Anexo 10. Ver Tabla 17). El tratamiento F1 consiguió disminuir el contenido de TDS en un promedio de 92,35%, consiguiendo remociones de 93,66%, 91,58% y 91,80%. Del mismo modo, redujo Aceites&Grasas en un promedio de 73,75%, con remociones de 74,03%, 64,21% y 83%. También disminuyó conjuntamente con el tratamiento C1+F1 el contenido de P-Ortofosfato con un mismo promedio de remoción de 29,48%.

También el tratamiento combinado C1+F1 consiguió reducir la DBO con un promedio de 68,18%, obteniendo remociones de 68,64%, 49,83% y 86,07% en cada repetición. De igual manera disminuyó la DQO con un promedio de 67,95%, logró remociones de 67,90%, 49,83% y 86,11%. Finalmente redujo la Turbidez con un promedio de 82,77%, alcanzando remociones de 84,21%, 80% y 84,09% en cada repetición.

### **Desestabilización de la emulsión**

El tratamiento F1 con la dosificación de 50mg/L obtuvo los mejores porcentajes de remoción de Aceites&Grasas en relación a los demás

tratamientos, con una remoción promedio de 73,75% consiguió reducir en las tres repeticiones los siguientes valores:

- de 23,61mg/L a 6,13mg/L (74,03% de remoción),
- de 24,21mg/L a 8,66mg/L (64,21% de remoción) y;
- de 17,56mg/L a 2,98mg/L (83% de remoción).

Este mismo tratamiento F1 con la dosificación de 40mg/L también logró una considerable reducción del contenido de Aceites&Grasas con un promedio de 66,20% en las tres repeticiones disminuyó los siguientes valores:

- de 23,61mg/L a 9,65 (59,12% de remoción),
- de 24,21mg/L a 9,62mg/L (60,26% de remoción) y;
- de 17,56mg/L a 3,65mg/L (79,21% de remoción).

#### 11.4. Límites Máximos Permisibles

Siendo los tratamientos F1 y C1+F1, ambos con una dosis de 50mg/L los que removieron la mayor cantidad de parámetros físicoquímicos (Tabla 11), se los consideró como valores de referencia para determinar si los valores obtenidos con los procesos de coagulación y floculación cumplen o no cumplen con los límites máximos permisibles que establece el TULSMA.

**Tabla 11.** Valores promedios de remoción a 50 mg/L de los dos mejores tratamientos (F1 y C1+F1) comparados con los límites máximos permisibles establecidos por el TULSMA

TRATAMIENTOS  ⇒	Tratamiento Control	F1	C1+F1	LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (TULSMA)	EXPRESADO COMO
PARAMETROS  ↓↓					
TDS (mg/L)	5166,67	388,33	1171,33	1 600	mg/L
A&G (mg/L)	21,79	5,93	10,76	70	mg/L
DBO (mg/L)	3125,40	2076,54	1021,79	250	mg/L
DQO (mg/L)	7210,00	4913,33	2370,00	500	mg/L
TURBIDEZ (FAU)	293,33	50,00	50,00	--	--
P-ORTOFOSTATOS (mgP-PO4/L)	530331,30	374011,42	374011,42	15	Fósforo Total mg/L

El valor de Sólidos Disueltos Totales luego del tratamiento quedó por debajo del límite máximo permisible cuyo valor es de 1600mg/L, por lo tanto si cumple con lo permitido por la legislación ambiental.

El TULSMA establece como límite máximo permisible el valor de 100mg/L para el contenido de Aceites&Grasas al sistema de alcantarillado, por tanto si cumple el valor que estipula la legislación ambiental.

La legislación ambiental establece 250mg/L como el límite máximo permisible para la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el sistema de alcantarillado, es así que ningún tratamiento aplicado pudo disminuir los valores de la DBO por debajo de este valor, así que no cumple.

La legislación ambiental establece que el límite máximo permisible para la Demanda Química de Oxígeno en el sistema de alcantarillado es de 500mg/L, sin embargo, ningún tratamiento aplicado pudo disminuir los valores de la DBO por debajo de este valor, así que no cumple.

La legislación ambiental no considera la turbidez como un parámetro que amerite ser controlado en la descarga de efluentes al sistema del alcantarillado, por lo tanto la turbidez no aplica entre los parámetros establecidos en el TULSMA.

La legislación ambiental establece 15mg/L como límite máximo permisible del contenido de Fósforo Total, pero en la presente investigación se calculó la cantidad de fósforo expresada como Ortofosfato (P-Ortofosfato) motivo por el cual no fue posible comparar el valor obtenido con el que establece el TULSMA

## XII. DISCUSIÓN

El floculante F1 (TQ-FLOC-PCAB) es un polímero perteneciente a la familia de floculantes catiónicos a base de policloruro de aluminio, tipo B. Su aplicación en el efluente oleoso en la dosis de 50mg/L consiguió los mayores porcentajes de remoción de varios parámetros fisicoquímicos, tales como el contenido de TDS en un promedio de 92,35%, Aceites&Grasas en un promedio de 73,75%, P-Ortofosfato con un mismo promedio de remoción de 29,48%, DBO en un promedio de 35,79%, DQO en un promedio de 34,18% y Turbidez en un promedio de 78,78%.

Resultados similares obtuvieron Mijaylova *et.al* (2002) al emplear el policloruro de aluminio POLYCAT para remover el aceite emulsionado en las aguas residuales de una refinería de México, la adición de este polímero catiónico en dosis de 0.4-1.2 mg/L permitió el rompimiento de la emulsión rápido y efectivamente, consiguiendo porcentajes de remoción de A&G al 98.2-99.8%, la DQO al 89.1- 90.6% y la Turbidez al 84.8-92%.

Romero *et. al* en 2007 resaltaron que las principales ventajas en la utilización del polímero de aluminio son la formación de mejores coágulos y un menor volumen de lodos, aquí también se observó la disminución de la turbidez, color y pH, permitiendo una clarificación eficiente del efluente de una planta de tratamiento. Los resultados obtenidos por Ramírez *et. al* (s.f.) con el policloruro de aluminio PAX XL60 también señalan eficiencias de remoción para SST del 88%, Color del 92%, Turbiedad del 98% y DQO del 82%, obteniendo elevados valores de remoción como los obtenidos con el floculante polímero TQ-FLOC-PCAB.

La Comisión Nacional del Ministerio de Ambiente (1998) menciona que la presencia de sólidos suspendidos en aguas emulsionadas interfiere en la lectura de turbidez en el espectrofotómetro, restringiendo el paso de la luz y dificultando la lectura de las longitudes de ondas para su medición. El floculante F1 con dosis de 50mg/L disminuyó la Turbidez de 293,33 FAU a 50 FAU y esta misma

disminución se obtuvo al combinar el floculante F1 con el coagulante C1 en dosis de 50mg/L.

Díaz *et al.* (2007) señalan que el fósforo se encuentra en aguas naturales y residuales casi exclusivamente en forma de fosfatos: fósforo orgánico, ortofosfatos, y polifosfatos. Ronsano y Dapena (s.f.) establecen que los ortofosfatos son fácilmente precipitables y pueden proceder directamente de los vertidos o del resultado de una degradación en el proceso del tratamiento de los polifosfatos orgánicos o inorgánicos.

De este modo, el fósforo soluble en el agua residual se lo encuentra en forma de ion ortofosfato  $PO_4^{3-}$ , los cuales constituyen entre un 15-35% del fósforo total disuelto y permanecen de manera estable en soluciones acuosas, mientras que los polifosfatos constituyen el 65-85% restante y estos pueden revertirse a ortofosfatos mediante hidrólisis aunque dicho proceso es lento (Illana, 2014).

El elevado valor promedio obtenido de ortofosfato en esta investigación (530331,30 mgP- $PO_4$ ) durante la caracterización el efluente se debió a la naturaleza de la actividad de donde procede, en este caso de una industria refinadora de aceite, dado que en la composición de este tipo de efluentes existe mucho contenido de fosfatos que progresivamente se convertirán en ortofosfatos. Con la aplicación del floculante F1 con dosis de 50mg/L se disminuyó el valor inicial hasta 374011,42 mgP- $PO_4$  y este mismo resultado se obtuvo al ser combinado con el coagulante C1 en dosis de 50mg/L.

## **XIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **13.1. CONCLUSIONES**

- Se comprobó que al caracterizar el agua residual proveniente de la refinación de aceites comestibles, esta presentó un elevado contenido de Aceites&Grasas y fósforo de forma de p-ortofosfatos los cuales precisan ser removidos con el respectivo tratamiento primario.
- Los tratamientos, C1, C2, C1+F2 y C2+F1 en todas sus distintas dosificaciones mantuvieron un comportamiento similar y consiguieron remover algunos de los parámetros, sin embargo, la remoción realizada por estos productos fue poco eficiente; por otro lado, el floculante F1 compuesto de policloruro de aluminio tipo B (PCAB) consiguió porcentajes de remoción elevados siendo este tratamiento el de mejor eficiencia, logrando reducir todos los parámetros establecidos, así mismo el tratamiento combinado de C1+F1 tuvo un desempeño similar siendo la segunda mejor opción, finalizando los tratamientos F2 y C2+F2 obtuvieron índices de remoción extremadamente bajos en todas sus dosificaciones estableciendo diferencias claras y marcadas en todas las repeticiones realizadas durante la investigación.
- En la ejecución de esta investigación se destacaron dos tratamientos que mostraron un patrón similar de remoción en las distintas concentraciones establecidas, siendo el tratamiento combinado C1+F1 y floculante F1 los que disminuyeron la mayor cantidad de parámetros analizados, observándose la mayor remoción de la DBO, la DQO y p-ortofosfatos en el tratamiento C1+F1 y la mayor disminución de TDS, Turbidez y Aceites&Grasas con el tratamiento F1, mismo que en la dosificación de 50 mg/l alcanzó el más alto porcentaje de remoción de Aceites&Grasas disminuyendo el 73.75% de su contenido en el efluente.
- Los valores obtenidos de Sólidos Disueltos Totales y Aceites&Grasas en los mejores tratamientos C1+F1 y F1, ambos con concentraciones de

50mg/L, si cumplen con la legislación ambiental, sin embargo los valores de la DBO y DQO no cumplen con los límites máximos permisibles del TULSMA, no obstante el contenido de fósforo expresado como P-Ortofosfato está muy elevado comparado al valor del TULSMA por lo que el efluente tampoco cumple este parámetro y para acotar, la turbidez no está contemplada en la legislación ambiental como un parámetro a tomar en cuenta en descargas al sistema de alcantarillado.

## **13.2. RECOMENDACIONES**

- Al concluir este proyecto investigativo y a partir de los datos obtenidos, surge como recomendación la implementación de un sistema de tratamiento que integre el proceso de coagulación/floculación evaluado en este estudio, proyectándose a futuro tratar otros tipos de efluentes de distintas fuentes y composición para establecer comparaciones con la capacidad de remoción que tienen estos productos hacia los contaminantes, nutrientes y partículas.
- Implementar un sistema de tratamiento que integre el proceso de coagulación/floculación evaluado en este estudio a efluentes de industrias oleosas.
- Se recomienda para futuros trabajos de investigación considerar si la remoción del fósforo encontrado en este tipo de efluentes en forma de p-ortofosfatos, después de aplicar el proceso de coagulación/floculación, podría determinar si la eliminación de este nutriente aumenta o no la eficiencia del proceso.

### XIII. BIBLIOGRAFÍA

- Acuerdo Ministerial 028 (2015). Libro VI del Texto Unificado De Legislación Secundaria. Recuperado de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155123.pdf>
- Aldar, H. (s.f.). Sulfato de aluminio. Recuperado de: [http://www.aniq.org.mx/pqta/pdf/SULFATO%20DE%20ALUMINIO%20L%C3%8DQUIDO%20\(HT\).pdf](http://www.aniq.org.mx/pqta/pdf/SULFATO%20DE%20ALUMINIO%20L%C3%8DQUIDO%20(HT).pdf)
- American Petroleum Institute, (1990). Design and Operation of Oil-Water Separators. Publication 421, Washington, D.C., American Petroleum Institute.
- Abalos, A; Marañón, A; Fernández, J M; Aguilera, I y Despaigne, M. (2007). Caracterización de las aguas residuales de la planta refinadora de aceites comestibles ERASOL. Revista CENIC Ciencias Biológicas, Vol. 38, No. 3.
- Argandoña Zambrano, L y Macías García, R. (2013). Determinación de sólidos totales, suspendidos, sedimentados y volátiles, en el efluente de las lagunas de oxidación situadas en la parroquia colón, cantón Portoviejo, provincia de Manabí, durante el período de marzo a septiembre 2013. Universidad Técnica de Manabí. Recuperado de: <http://repositorio.utm.edu.ec>
- Barrenechea M, A. (2013). Aspectos físicos-químicos de la calidad del agua. Recuperado de: <http://www.ingenieroambiental.com>
- Cárdenas, A. (2000). Tratamiento de agua: coagulación y floculación. Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima *SEDAPAL*. Perú. Recuperado de:

[http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154)

- Carrión, G. (2008). Sistema de tratamiento de aguas residuales para albergues en zonas rurales. Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. Lima-Perú. Recuperado de: <http://blogdelagua.com/wp-content/uploads/2013/01/aguas-servidas-ctp.pdf>
  
- Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua - CENTA. (2008). Manual de depuración de aguas residuales urbanas. Edición Ideasmares. España. Recuperado de: <http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>
  
- Cepis (2002). Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua: manual de capacitación para operadores. Lima. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/operacion/cap8.pdf>
  
- Charry Vasquez, M y Castellanos Caro, N (2016). Evaluación de la calidad físico-química y biológica de la laguna de ubaque para el diseño y actualización de las medidas de manejo ambiental (Tesis inédita de grado). Universidad Libre Colombia. Bogotá. Recuperado de: <http://repository.unilibre.edu.co/>
  
- Clariant Ibérica Producción S.A. (2014). Disolución de cloruro ferroso utilizado como coagulante en la depuración de aguas residuales. Recuperado de: <http://www.residuorecurso.com/es/blog/2014/10/28/disolucion-de-cloruro-ferroso-utilizada-como-coagulante-en-la-depuracion-de-aguas-residuales-2>
  
- Código Orgánico Integral Penal. (2014). Recuperado de:

[http://www.justicia.gob.ec/wpcontent/uploads/2014/05/c%C3%B3digo\\_org%C3%A1nico\\_integral\\_penal\\_-\\_coip\\_ed.\\_sdn-mjdhc.pdf](http://www.justicia.gob.ec/wpcontent/uploads/2014/05/c%C3%B3digo_org%C3%A1nico_integral_penal_-_coip_ed._sdn-mjdhc.pdf)

- Comisión Nacional del Ministerio de Ambiente (CNMA) 1998. Guía para el control y prevención de la contaminación industrial fabricación de grasas y aceites vegetales y subproductos. Santiago-Chile. Recuperado de: [http://www.sinia.cl/1292/articles-26410\\_pdf\\_grasas.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-26410_pdf_grasas.pdf)
- Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía Y Descentralización - COOTAD (2010). Recuperado de: [http://www.finanzas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/CODIGO\\_ORGANIZACION\\_TERRITORIAL.pdf](http://www.finanzas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/CODIGO_ORGANIZACION_TERRITORIAL.pdf)
- Coto, R. (2011). Estudio preliminar del uso de los coagulantes químicos en la coagulación-floculación de aguas residuales Tecnología en Marcha. (Tesis inédita de maestría). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador.
- La Constitución Política de la República del Ecuador (2008). Recuperado de: [http://www.asambleanacional.gob.ec/sites/default/files/documents/old/constitucion\\_de\\_bolsillo.pdf](http://www.asambleanacional.gob.ec/sites/default/files/documents/old/constitucion_de_bolsillo.pdf)
- Cubillo, A. (1970). Parámetros y características de las aguas residuales. División de protección de la salud ambiental. Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente. Perú-Lima. Recuperado de: <http://bvspers.paho.org/>
- Díaz, M; Rivas, L; Fernández, D; Salazar, D; Miller, S. y La Maza, N. (2017). Selection of chemical treatment program for oily wastewater. Centro de Investigación Churruca. Cen.az.vol 44-2.

- Díaz, W; Gonzaga, B y Contreras, N. (2007). Determinación del coagulante que permita la máxima remoción de fosfatos en agua cruda del río Otún. Scientia et Technica Año XIII, No 34. Universidad Tecnológica de Pereira. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/html/849/84934103/>
  
- Domínguez, H; Núñez, M J y Lema, J (1993). Eliminación de ácido clorogénico durante el procesado acuoso de las almendras de girasol. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Santiago de Compostela. Vol. 44 Faso. 4-5.
  
- Espigares, M y Pérez, J.A (1985). Aguas Residuales Composición. Universidad de Granada-Granada. Recuperado de: [http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)
  
- Engenhonovo. SF. Tratamento de águas oleosas nas indústrias. Recuperado de: <http://www.engenovo.com.br/pt/artigostecnicos/taoind.pdf>
  
- Fernández Alba, A; Letón García, P; Rosal García, R; Dorado Valiño, M; Villar Fernández, S y Sanz Garcia, J. (SF) . Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. (en línea). Madrid, ES, Biblioteca virtual Consejería de Educación Comunidad de Madrid. 137 p. Recuperado de <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM001696.pdf>
  
- Freire, P. A (2012). Análisis y evaluación de un sistemas de tratamientos de aguas residuales para empresa TEIMSA-AMBATO. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Recuperado de : <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2337/1/15T00504.pdf>

- Ganjidoust, H. Tatsumi, K. Yamagishi, T. y Gholian R. (1997). Effect of syntethic and natural coagulant on ligning removal from pulp and paper waste water. *Water Science Technology*, 35, 286-29. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article122396009432>.
- Gómez Puentes, NA. 2005. Remoción de la materia orgánica por Coagulación-Floculación. Tesis de Grado. Manizales, Colombia. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1214/1/nestoralejandrogomezpuentes.2005.pdf>
- González, M.; Orozco, C.; Pérez, A.; Alfayate, J, y Rodríguez, F. (2004). Contaminación ambiental: una visión desde la química. Editorial Paraninfo. Recuperadode: <https://books.google.com.ec/books?id=nUoOx-8knyUC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Hernández, A. (1998). Depuración de aguas residuales. Cuarta Edición. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Editorial Paraninfo S.A. Paracuellos del Jarama-Madrid
- Illana, M. (2014). Estudio de la adsorción de fosfatos en aguas de depuradora mediante intercambiadores iónicos. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/22649/Estudio%20de%20la%20adsorci%C3%B3n%20de%20fosfatos%20en%20aguas%20de%20depuradora%20m.pdf?sequence=1>
- Kosegarten, M y Jiménez, M. (2012). Factores principales que intervienen en la estabilidad de una emulsión doble. Tema selectos de ingeniería de alimentos 6-2. Recuperado de: <http://web.udlap.mx/tsia/files/2013/12/TSIA-62Kosegarten-Conde-et-al-2012.pdf>

- León Gil, C (2009). Estandarización y validación de una técnica para medición de la demanda bioquímica de oxígeno por el método respirométrico y la demanda química de oxígeno por el método colorimétrico. Universidad Tecnológica de Pereira. Recuperado de: <http://repositorio.utp.edu.co>
  
- Ley de prevención y control de la contaminación ambiental. (2004). Recuperado de: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-PREVENCION-Y-CONTROL-DE-LA-CONTAMINACION-AMBIENTAL.pdf>
  
- Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (2014). Recuperado de: <http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/LEYD-E-RECURSOS-HIDRICOS-II-SUPLEMENTO-RO-305-6-08-204.pdf>
  
- Ley de Gestión Ambiental (2004). Recuperado de: <http://www.ambiente.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTIONAMBIENTAL.pdf>
  
- Ley Orgánica de Salud. (2006). Recuperado de: [http://www.todaunavida.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2015/04/SALUD-LEY\\_ORGANICA\\_DE\\_SALUD.pdf](http://www.todaunavida.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2015/04/SALUD-LEY_ORGANICA_DE_SALUD.pdf)
  
- Lorenzo, Y. 2006. Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. Revista ICIDCA. Ciudad de La Habana, Cuba Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223120664002.pdf>
  
- Lui, D. (2009). Emulsiones. Departamento Académico de Farmacotecnia y Administración Farmacéutica (DAFAF) FARMACIA Y BIOQUIMICA U.N.M.S.M. Recuperado de:

[http://www.digemid.minsa.gob.pe/UpLoad/UpLoaded/PDF/EURacMed/TrabSalud/ReuTec/RTM\\_Marzo\\_2009/5\\_DL\\_EMULSIONES.pdf](http://www.digemid.minsa.gob.pe/UpLoad/UpLoaded/PDF/EURacMed/TrabSalud/ReuTec/RTM_Marzo_2009/5_DL_EMULSIONES.pdf)

- Maisterrena, V. (1999). Determinación de ortofosfatos en agua. Recuperado de <http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/pubpdf/anuavet/n1999a33maisterrena.pdf>
  
- Manangón, L. (2010). Evaluación de procesos no convencionales de tratamiento de efluentes acuosos generados por una empresa de mantenimiento de motores. Escuela politécnica Nacional. Facultad de ingeniería química y agroindustrial. Recuperado de: <http://bibdigital.epn.edu.ec>
  
- Marcó, L; Azario, R; Metzler, C y García, MC. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina). Higiene y Sanidad Ambiental 4-72-82.
  
- Marín, G. R. (2014). Tratamiento y depuración industrial de aguas. Madrid, ES: Ediciones Díaz de Santos. Recuperado de: <http://site.ebrary.com/lib/ulearnecsp/reader.action?ppg=9&docID=11038436&tm=1489449678464>
  
- Marín Galvín, R. sf. Características físicas, químicas y biológicas e las aguas. Recuperado de: [http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:48101/componente48099.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:48101/componente48099.pdf)
  
- Marsilli, A. (2005). Tratamiento de aguas residuales. Recuperado de: <http://www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm>

- Martínez, P; Domínguez, E; Rodríguez, I; Leiva, J y Pérez, M (2016). Minimización del impacto ambiental de las aguas oleosas mediante columna rellena con bagazo de caña de azúcar. Revista Centro Azúcar. Vol 30. Recuperado de: <http://centroazucar.uclv.edu.cu>
  
- Martínez, F. (2007). Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional. Recuperado de:  
<https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/984/251Tratamientodeaguasresidualesindustriales.pdf?sequence=1>
  
- Mayorga, G. (2014). Optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa TINTEXRIVER. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Escuela de ingeniería química. Recuperado de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec>
  
- Mendoza López, A. (2004). Validación de aceites y grasas en aguas residuales. Instituto tecnológico de Sonora-México. Recuperado de: <http://biblioteca.itson.mx>.
  
- Ministerio de Ambiente (2013) Estudio de potenciales impactos ambientales y vulnerabilidad relacionada con las sustancias químicas y tratamiento de desechos peligrosos en el sector productivo del Ecuador. Quito-Ecuador. Recuperado de: [www.ambiente.gob.ec](http://www.ambiente.gob.ec)
  
- Mijaylova, P.; Sandoval, L.; Villalobos, M.; Mantilla, G.; Sánchez, M.; Ramírez, E.; Garzón, M.; Moeller, G. y Domínguez, V. (2002). Remoción de aceite emulsificado en efluentes de refinerías mediante desestabilización de la emulsión y flotación. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Cancún, México. Recuperado de:  
[https://www.researchgate.net/profile/Gabriela\\_Mantilla/publication/268371902\\_REMOCION\\_DE\\_ACEITE\\_EMULSIFICADO\\_EN\\_EFLUENTES\\_D](https://www.researchgate.net/profile/Gabriela_Mantilla/publication/268371902_REMOCION_DE_ACEITE_EMULSIFICADO_EN_EFLUENTES_D)

E\_REFINERIAS\_MEDIANTE\_DESESTABILIZACION\_DE\_LA\_EMULSION\_Y\_FLOTACION/links/54b941bd0cf253b50e29115f.pdf

- Montalvo, R (2013). Remoción de aceite en aguas residuales de refinación del petróleo mediante adición de reactivos químicos y separación por flotación natural o con aire disuelto. Universidad Autónoma de México. Recuperado de: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/6145/Tesis.pdf?sequence=1>
- Nacheva, P.; Sandoval, L.; Villalobos, M.; Morales, G.; Sánchez, M.; Ramírez, E.; Garzón, M. (2002). Remoción de aceite emulsificado en efluentes de refinarias mediante desestabilización de la emulsión y flotación. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/268371902\\_REMOCION\\_DE\\_ ACEITE\\_EMULSIFICADO\\_EN\\_EFLUENTES\\_DE\\_REFINERIAS\\_MEDIANTE\\_DESESTABILIZACION\\_DE\\_LA\\_EMULSION\\_Y\\_FLOTACION](https://www.researchgate.net/publication/268371902_REMOCION_DE_ ACEITE_EMULSIFICADO_EN_EFLUENTES_DE_REFINERIAS_MEDIANTE_DESESTABILIZACION_DE_LA_EMULSION_Y_FLOTACION)
- Navarro, A; Gez, MI; Mercado, L; Senatra, L y González, G. (2006). Caracteres físico-químicos de efluentes de fábricas de aceite de oliva. Rev. FCA UNCuyo. Tomo XXXVIII. N° 1. 87-97. Mendoza-Argentina.
- Organización Panamericana de la Salud - OPS (2005). Guía para el diseño de tanque séptico, tanque Imhoff y laguna de estabilización. Recuperado de: [http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d24/053\\_Dise%C3%B1o\\_tanques\\_s%C3%A9pticos\\_Imhoff\\_lag/Dise%C3%B1o\\_tanques\\_s%C3%A9pticos\\_Imhoff\\_lagunas\\_estabilizaci%C3%B3n.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d24/053_Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lag/Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lagunas_estabilizaci%C3%B3n.pdf)
- Ortiz Oliveros, HB. 2002. Tratamiento de aguas oleosas por flotación. Tesis de Grado. Toluca, México. Universidad Autónoma del Estado de México. Recuperado de

[http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/33/041/33041634.pdf](http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/33/041/33041634.pdf)

- Ortiz Oliveros, H y Flores Espinoza, R. (2003). Separación de Materiales Oleosos en Aguas Residuales Radiactivas por Flotación- Determinación de Parámetros de Operación y Control. Energía Nuclear y Seguridad Radiológica: Nuevos Retos y Perspectivas XIV Congreso Anual de la SNM/XXI Reunión Anual de la SMSR Guadalajara, Jalisco, México.
- Pérez, J .s.f. Tratamiento de aguas- Calidad de aguas. Universidad Nacional- Facultad de Minas. Recuperado de [http://www.bdigital.unal.edu.co/70/3/45\\_-\\_2\\_Capi\\_1.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/70/3/45_-_2_Capi_1.pdf).
- Pohl, S y D, Lenz (2016). Utilização de efluente tratado em complexo industrial automotivo. Eng Sanit Ambient. Vol 22 n.3. 551-562
- Osorio P, Peña D. (s.f) .Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf>
- Quimpac (s.f.). Cloruro ferroso. Recuperado de: <http://www.quimpac.com.co/index.php/cloruro-ferroso>
- Ramírez, R.; Durán, A.; Bernal, A. y Orta, M. (s.f.). Proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de aguas residuales: desarrollo y utilización de nuevos compuestos para la reducción de lodos. Facultad de Química, UNAM Programa de Ingeniería Química y Química Ambiental, México. Recuperado de: <http://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/59/66/3330.pdf>

- Acuerdo Ministerial 061 (2015). Reforma Del Libro VI Del Texto Unificado De Legislación Secundaria. Recuperado de: <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185880/ACUERDO+061+REFORMA+LIBRO+VI+TULSMA++R.O.316+04+DE+MAYO+2015.pdf/3c02e9cb-0074-4fb0-afbe-0626370fa108>
  
- Restrepo, H. (2009). Evaluación del proceso de coagulación– floculación de una planta de tratamiento de agua potable. Universidad Nacional de Colombia-Medellín. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co>
  
- Rigola L. (s.f.). Tratamiento de aguas industriales. Recuperado de: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/tratamientosresiduales/tratamientosresiduales.html>
  
- Rossi, M. (2010). Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales en el Perú. Fondo Nacional del Ambiente FONAM. Recuperado de: [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/0605A78F2E41896205257DC800592EF0/\\$FILE/Oportunidades\\_Mejoras\\_Ambientales.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/0605A78F2E41896205257DC800592EF0/$FILE/Oportunidades_Mejoras_Ambientales.pdf)
  
- Romero, C.; Solórzano, R.; Abreu, O.; Brizuela, L.; Pérez, Z. (2007). Síntesis de un polímero inorgánico de aluminio y su uso para clarificación de agua. Revista INGENIERÍA UC, vol. 14, núm., pp. 16-23. Universidad de Carabobo Valencia, Venezuela. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/707/70711260003.pdf>
  
- Ronzano, E. y Dapena, J. (s.f.). Eliminación del fósforo en las aguas residuales. Recuperado de: <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/fosforo.pdf>

- Ruiz, O. (s.f.). Tratamiento físico-químico de aguas residuales. México  
<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/mexicon/R-0196.pdf>
  
- Salazar Miranda, P. I (2005). SISTEMA TOHÁ; UNA ALTERNATIVA ECOLÓGICA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN SECTORES RURALES. Universidad Austral de Chile (tesis). Recuperado de  
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcis161s/doc/bmfcis161s.pdf>
  
- Sánchez, M. (2016). Eliminar la turbidez del agua. Agua y ambiente la revista de saneamiento ambiental en México. Recuperado de :  
<https://aguayambiente.com>
  
- Sánchez, J (2001). El fósforo, parámetro crítico de calidad de agua técnicas analíticas y de muestreo. XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Carabobo- Venezuela.
  
- Santos, C. s.f. A INDÚSTRIA DE REFINAÇÃO DE PETRÓLEO Características e Tratamento das Águas Residuais. Universidade do Porto. Recuperado de  
<http://recil.grupolusofona.pt/bitstream/handle/10437/2853/A%20IND%C3%9ASTRIA%20DE%20REFINA%C3%87%C3%83O%20DE%20PETR%C3%93LEO.pdf?sequence=1>
  
- Sanz Tejedor, A. s.f. Tecnologías de aceites, grasas y ceras. Universidad de Valladolid. Recuperado de <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-02.php>.
  
- Sidesa (s.f.) Sulfato de Aluminio. Recuperado de  
<http://www.pqcorp.com/espc/es-mx/LATAM-Espa%C3%B1ol/Productos/Sulfato-de-Aluminio>

- Singley, J. (1972). Revisión de la teoría de la coagulación del agua. Presentado en simposio sobre nuevos métodos de tratamiento de aguas. Universidad de Florida. Estados Unidos. Recuperado de : <http://www.bvsde.ops-oms.org>
- Soto, E.; Lozano, T; Barbarín, J. y Alcalá, M. (2004). Remoción de metales pesados en aguas residuales mediante agentes químicos. Recuperado de: [http://eprints.uanl.mx/10138/1/23\\_p46a51\\_soto.pdf](http://eprints.uanl.mx/10138/1/23_p46a51_soto.pdf)
- Tesquimsa (s.f.). Coagulantes y floculantes para clarificación y tratamientos de aguas. Tecnología de Servicios Químicos C.A.
- Toapanta Vera, M. s.f. Calidad del agua- Grasas y Aceites. Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/.../2/GRASASYACEITES.doc>
- Toasa Llumigusín, F. 2012. Validación de los métodos de ensayo para fenoles, tensoactivos, sólidos suspendidos y total de sólidos disueltos (TDS). Universidad Central del Ecuador. Recuperado de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/894/1/T-UCE-0017-19.pdf>
- Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente - TULSMA (2015). Recuperado de: <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185880/ACUERDO+061+REFORMA+LIBRO+VI+TULSMA+-+R.O.316+04+DE+MAYO+2015.pdf/3c02e9cb-0074-4fb0-afbe-0626370fa108>
- Vásconez Flores, D V. 2013. Reducción del nivel de sólidos suspendidos del agua de retrolavado en la etapa de filtración. Tesis de Grado. Quito, Ecuador. Universidad Central del Ecuador. Recuperado en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1500/1/T-UCE-0017-40.pdf>

- Vázquez, M. y López, G. (2011). Evaluación Técnica de un tanque Imhoff para el tratamiento de aguas residuales. Revista UNACAR Tecnociencia. Recuperado de:[http://www.unacar.mx/contenido/tecnociencia/tecnociencia\\_enero\\_junio11/tema\\_5\\_evaluacion\\_tecnica\\_de\\_un\\_tanque.pdf](http://www.unacar.mx/contenido/tecnociencia/tecnociencia_enero_junio11/tema_5_evaluacion_tecnica_de_un_tanque.pdf)

# ANEXOS

## Anexo 1. Proceso de coagulación y floculación mediante agitadores



Figura 6. Montaje de las unidades en los agitadores magnéticos con sus respectivos imanes



Figura 7. Adición del agente coagulante y floculante a la unidad a través de una micropipeta



Figura 9. Formación de los flóculos y sedimentación de los mismos en 20 minutos de reposo.



Figura 8. Proceso de coagulación y floculación con velocidad rápida de 1 minuto y velocidad lenta de 15



Figura 10. Almacenaje del efluente tratado para sus posteriores análisis.

## Anexo 2. Determinación de Sólidos disueltos totales (TDS)



Figura 11. Uso del Multiparámetros para medir TDS



Figura 12. Determinación de sólidos disueltos Totales

## Anexo 3. Determinación de Aceites & Grasas



Figura 14. Colocación del efluente en el embudo de decantación con hexano.



Figura 16. Separación del efluente con el hexano y la grasa



Figura 15. Extracción de gases del embudo de decantación en la sorbona



Figura 17. Filtración de hexano con la grasa



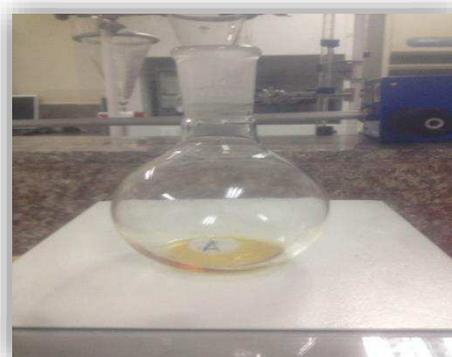
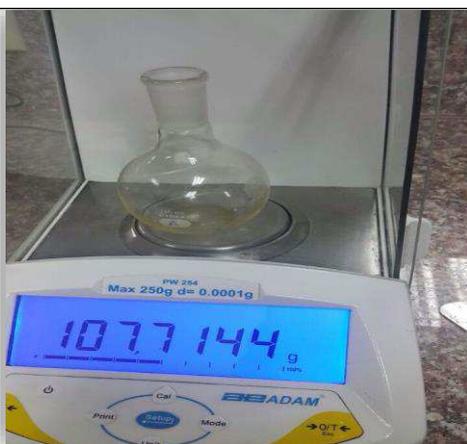
Figura 18. Recuperación del Hexano en el extractor soxhlet



Figura 20. Extracción de la humedad en el desecador



Figura 19. Secado en la estufa a 105 grados



#### Anexo 4. Determinación de turbidez



Figura 23. Determinación de turbidez en el espectrofotómetro de Merck



Figura 24. Equipo de espectrofotometría de Merck

#### Anexo 5. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno



Figura 25. Preparación de los tubos para DQO



Figura 26. Adición de las soluciones A y B los tubos de ensayos

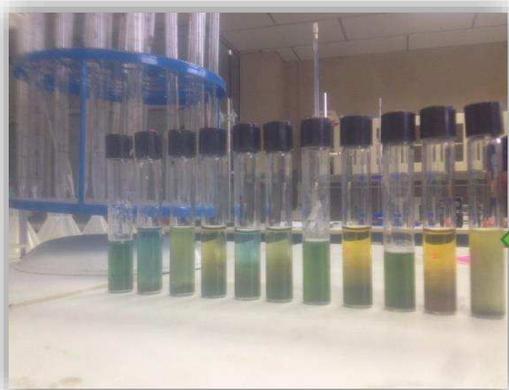


Figura 28. Lectura de la DQO



## Anexo 6. Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno



Figura 29. Determinación de DBO colocación de las botellas en la incubadora por 5 días



Figura 30. Incubación de la DBO5

## Anexo 7. Determinación de p-ortofosfatos



Figura 31. Adicción de la solución indicadora de fenolftaleína



Figura 32. Titulación con el reactivo combinado



Figura 34. Lectura de la absorbancia en el espectrofotómetro



Figura 33. Tiempo de reposo de 20 minutos antes de la lectura

## Anexo 8. Porcentajes de remoción de Sólidos Disueltos Totales

TRATAMIENTOS								
Concentraciones	C1	C2	F1	F2	C1+F1	C1+F2	C2+F1	C2+F2
10	18,96	28,28	48,28	29,55	52,65	26,47	54,26	10,37
10	24,39	24,11	71,48	21,23	44,9	26,61	30,16	26,38
10	23,62	18,68	69,95	28,12	51	25,8	33,92	26,64
20	21,96	30,92	49,26	27,87	67,56	33,03	55,79	6,78
20	24,57	24,41	71,32	21,42	56,08	30,51	25,43	20,42
20	26,04	27,11	72,76	32,89	59,61	29,72	39,4	19,9
30	30,99	39,02	79,34	29,38	76,77	33,47	55,19	17,57
30	25,52	49,4	74,32	19,84	64,52	39,42	25,17	18,52
30	28,69	24,79	76,65	30,34	63,64	31,02	36,18	7,19
40	31,62	40,82	90,1	31,7	80,47	36,47	54,34	10,78
40	25,59	49,33	87,84	17,77	63,53	32,9	25,73	16,57
40	31,2	34,02	85,04	29,87	71,94	38,66	35,15	13,55
50	49,57	40,95	93,66	34,13	80,92	37,83	55,02	19,98
50	25,78	49,58	91,58	16,38	68,75	39,49	23,41	21,42
50	33,92	31,68	91,8	34,2	80,31	47,19	40,37	18,68

## Anexo 9. Porcentajes de remoción de Turbidez

TRATAMIENTOS								
Concentraciones	C1	C2	F1	F2	C1+F1	C1+F2	C2+F1	C2+F2
10	10,53	25,26	57,89	15,79	78,95	63,16	47,37	73,68
10	28	48	60	28	68	32	56	32
10	79,55	34,09	90,91	65,91	88,64	79,55	90,91	63,64
20	31,58	28,95	73,68	18,42	57,89	68,42	55,26	68,42
20	34	52	76	30	76	48	64	32
20	81,82	63,64	93,18	64,77	90,23	90,91	95,45	72,73
30	15,79	42,11	89,47	21,05	63,16	63,16	73,68	63,16
30	60	56	80	44	80	64	68	36
30	86,36	54,55	95,45	68,18	90,91	86,36	93,18	65,91
40	38,95	52,63	84,21	20,53	57,89	57,89	57,89	73,68
40	58,8	76	92	52	82,8	60	60	48
40	95,45	68,18	97,73	72,73	86,36	88,64	88,64	70,45
50	45,79	63,16	63,16	42,11	84,21	52,63	36,34	68,42
50	52	84	80	48	80	44	60	38
50	88,64	63,64	93,18	70,45	84,09	86,36	81,82	61,36

## Anexo 10. Porcentajes de remoción de Aceites&Grasas.

TRATAMIENTOS								
Concentraciones	C1	C2	F1	F2	C1+F1	C1+F2	C2+F1	C2+F2
10	23,97	8,13	35,19	5,98	30,87	5,5	16,73	2,66
10	20,41	14,55	33,49	5,15	21,73	9,38	13,35	0,95
10	27,51	14,48	39,3	10,87	14,84	3,53	11,14	-2,31
20	30,88	25,33	41,12	2,93	32,09	9,51	22,24	6,54
20	15,15	21,37	34,08	2,49	32,41	13,14	17,99	2,69
20	28,09	18,3	52,93	5,27	27,93	8,77	16,72	2,83
30	21,01	33,79	50,78	8,26	35,49	10,89	23,62	9,95
30	19,81	31,81	45,9	8,86	32,96	13,32	32,58	9,2
30	34,37	22,1	70,1	14,69	22,24	14,86	19,13	3,43
40	25,32	30,87	59,12	12,66	36,52	16,88	35,28	4,88
40	19,57	33,77	60,26	6,45	39,61	21,81	35,24	15,63
40	38,91	24,48	79,21	15,88	37,44	17,03	20,52	4,38
50	36,34	22,4	74,03	1,87	46,44	31,3	39,02	6,69
50	28,7	25,866	64,21	8,25	42,23	36,53	33,78	19,91
50	42,52	25,05	83	3,3	67,81	22,54	16,68	16,56

## Anexo 11. Porcentajes de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

TRATAMIENTOS								
Concentraciones	C1	C2	F1	F2	C1+F1	C1+F2	C2+F1	C2+F2
10	18,55	30,56	40,18	57,13	42,54	65,99	50,16	-37,59
10	12,57	54,02	24,11	26,25	26,68	31,21	38,22	-4,52
10	10,14	39,48	52,91	19,62	25,56	18,94	50,08	-15,02
20	12,07	49,21	43,72	53,4	44,9	57,35	41,42	12,48
20	11,42	54,05	52,48	37,82	28,09	13,6	17,43	11,16
20	8,57	65,07	49,61	30,05	68,6	32,73	58,82	27,43
30	23,58	24,1	45,67	48,74	49,07	34,37	32,87	14,93
30	17,52	41,87	61,25	15,18	34,19	11,97	25,91	20,33
30	38,43	18,64	19,6	41,66	52,57	69,65	25,19	42,56
40	14,99	27,79	61,06	57,13	65,74	29,96	36,59	20,76
40	21,22	29,07	53,78	18,12	47,04	26,6	38,45	37,67
40	57,3	58,96	23,14	60,67	74,38	58,69	20,16	13,28
50	30,72	28,2	51,02	57,13	68,64	2,39	41,18	11,85
50	64,91	28,15	21,26	28,85	49,83	8,49	47,51	29,39
50	44,55	24,42	35,09	62,78	86,07	13,81	15,13	34,46

## Anexo 12. Porcentajes de remoción de la Demanda Química de Oxígeno.

TRATAMIENTOS								
Concentraciones	C1	C2	F1	F2	C1+F1	C1+F2	C2+F1	C2+F2
10	18,55	30,24	37,9	57,33	41,19	65,68	50,28	-35,62
10	10,81	50,99	23,58	26,25	27,41	31,21	38,21	-4,53
10	10,09	38,93	49,41	20,18	26,08	19,13	50,59	-6,55
20	11,87	48,98	41	53,62	43,6	56,96	41,56	13,73
20	5,57	53,73	52,15	38,44	28,8	13,59	17,4	11,15
20	8,52	64,74	45,87	30,54	68,68	32,9	59,24	32,77
30	23,93	23,75	43,04	48,98	47,87	33,77	33,02	16,14
30	12,08	41,46	60,98	16,03	34,84	11,96	25,9	20,33
30	38,4	17,89	13,63	42,07	52,69	69,72	25,95	46,79
40	12,99	27,46	59,18	57,33	64,94	29,31	36,73	21,89
40	16,03	28,57	53,77	18,93	47,04	26,6	38,44	40,42
40	57,27	58,58	17,43	60,94	74,44	59,11	20,97	19,66
50	30,72	28,2	51,02	42,12	67,9	1,48	41,19	11,86
50	62,6	27,64	21,25	29,56	49,83	8,48	47,5	29,38
50	44,04	23,72	30,28	63,04	86,11	14,68	15,99	34,47

## Anexo 13. Porcentajes de remoción de p-ortofosfatos.

TRATAMIENTOS								
Concentraciones	C1	C2	F1	F2	C1+F1	C1+F2	C2+F1	C2+F2
10	19,13	19,13	28,44	26,89	23,79	25,34	23,79	20,68
10	17,58	16,03	26,89	12,93	28,44	16,03	26,89	22,24
10	19,13	22,24	28,44	26,89	28,44	28,44	26,89	19,13
20	20,68	25,34	26,89	25,34	26,89	22,24	22,24	17,58
20	25,34	23,79	23,79	12,93	26,89	29,99	28,44	28,44
20	17,58	28,44	28,44	23,79	29,99	28,44	31,54	20,68
30	23,79	22,24	28,44	19,13	26,89	20,68	20,68	23,79
30	28,44	20,68	26,89	14,48	20,68	28,44	19,13	26,89
30	17,58	23,79	29,99	31,54	29,99	29,99	29,99	17,58
40	11,38	28,44	26,89	19,13	28,44	22,24	25,34	22,24
40	28,44	26,89	23,79	14,48	28,44	26,89	26,89	28,44
40	25,34	26,89	29,99	25,34	29,99	28,44	28,44	22,24
50	16,03	23,79	28,44	20,68	29,99	22,24	22,24	19,13
50	26,89	23,79	28,44	16,03	28,44	23,79	22,24	26,89
50	26,89	26,89	31,54	22,24	29,99	29,99	29,99	23,79

## PRUEBA DE TUKEY DE SOLIDOS DISUELTOS TOTALES

### Anexo 14. Tratamiento C1

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C1	15	0,50	0,30	21,19

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	359,65	4	89,91	2,53	0,1070
Concentraciones	359,65	4	89,91	2,53	0,1070
Error	355,94	10	35,59		
Total	715,59	14			

### Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=16,03183

Error: 35,5943 gl: 10

Concentraciones	Medias	n	E.E.
10,00	22,32	3	3,44 A
20,00	24,19	3	3,44 A
30,00	28,40	3	3,44 A
40,00	29,47	3	3,44 A
50,00	36,42	3	3,44 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

### Anexo 15. Tratamiento C2

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C2	15	0,55	0,37	23,59

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	787,65	4	196,91	3,02	0,0709
Concentraciones	787,65	4	196,91	3,02	0,0709
Error	651,00	10	65,10		
Total	1438,65	14			

### Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=21,68113

Error: 65,0995 gl: 10

Concentraciones	Medias	n	E.E.
10,00	23,69	3	4,66 A
20,00	27,48	3	4,66 A
30,00	37,74	3	4,66 A
50,00	40,74	3	4,66 A
40,00	41,39	3	4,66 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

### Anexo 16. Tratamiento F1

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
F1	15	0,75	0,64	10,97

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2088,50	4	522,12	7,34	0,0050
Concentraciones	2088,50	4	522,12	7,34	0,0050
Error	711,80	10	71,18		
Total	2800,29	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=22,67101***Error: 71,1796 gl: 10*

Concentraciones	Medias	n	E.E.
10,00	63,24	3	4,87 A
20,00	64,45	3	4,87 A
30,00	76,77	3	4,87 A B
40,00	87,66	3	4,87 B
50,00	92,35	3	4,87 B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )***Anexo 17. Tratamiento F2**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
F2	15	0,02	0,00	26,17

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	8,13	4	2,03	0,04	0,9963
Concentraciones	8,13	4	2,03	0,04	0,9963
Error	498,57	10	49,86		
Total	506,70	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=18,97388***Error: 49,8570 gl: 10*

Concentraciones	Medias	n	7 E.E.
10,00	26,30	3	4,08 A
40,00	26,45	3	4,08 A
30,00	26,52	3	4,08 A
20,00	27,39	3	4,08 A
50,00	28,24	3	4,08 A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )***Anexo 18. Tratamiento C1+F1**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C1+F1	15	0,75	0,65	10,21

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1348,22	4	337,05	7,53	0,0046
Concentraciones	1348,22	4	337,05	7,53	0,0046
Error	447,75	10	44,77		
Total	1795,97	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=17,98088**

*Error: 44,7750 gl: 10*

Concentraciones	Medias	n	E.E.
10,00	49,52	3	3,86 A
20,00	61,08	3	3,86 A B
30,00	68,31	3	3,86 B
40,00	71,98	3	3,86 B
50,00	76,66	3	3,86 B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

#### **Anexo 19. Tratamiento C1+F2**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C1+F2	15	0,78	0,69	9,80

#### **Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	385,74	4	96,44	8,73	0,0027
Concentraciones	385,74	4	96,44	8,73	0,0027
Error	110,46	10	11,05		
Total	496,21	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=8,93110**

*Error: 11,0465 gl: 10*

Concentraciones	Medias	n	E.E.
10,00	26,29	3	1,92 A
20,00	31,09	3	1,92 A B
30,00	34,64	3	1,92 A B C
40,00	36,01	3	1,92 B C
50,00	41,50	3	1,92 C

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

#### **Anexo 20. Tratamiento C2+F1**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C2+F1	15	2,7E-03	0,00	37,61

#### **Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5,81	4	1,45	0,01	0,9999
Concentraciones	5,81	4	1,45	0,01	0,9999
Error	2184,99	10	218,50		
Total	2190,80	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=39,72078**

*Error: 218,4989 gl: 10*

Concentraciones	Medias	n	E.E.
40,00	38,41	3	8,53 A
30,00	38,85	3	8,53 A
10,00	39,45	3	8,53 A
50,00	39,60	3	8,53 A

20,00                      40,21                      3                      8,53 A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

### Anexo 21. Tratamiento C2+F2

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C2+F2	15	0,26	0,00	36,90

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	137,59	4	34,40	0,88	0,5117
Concentraciones	137,59	4	34,40	0,88	0,5117
Error	392,72	10	39,27		
Total	530,31	14			

### Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=16,83971

*Error: 39,2720 gl: 10*

Concentraciones	Medias	n	E.E.
40,00	13,63	3	3,62 A
30,00	14,43	3	3,62 A
20,00	15,70	3	3,62 A
50,00	20,03	3	3,62 A
10,00	21,13	3	3,62 A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

## PRUEBA DE TUKEY DE TURBIDEZ

### Anexo 22. Tratamiento C1

#### C1

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C1	15	0,12	0,00	57,09

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1236,97	4	309,24	0,33	0,8532
Concentraciones	1236,97	4	309,24	0,33	0,8532
Error	9439,73	10	943,97		
Total	10676,70	14			

### Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=82,56062

*Error: 943,9733 gl: 10*

Concentraciones	Medias	n	E.E.
10,00	39,36	3	17,74 A
20,00	49,13	3	17,74 A
30,00	54,05	3	17,74 A
50,00	62,14	3	17,74 A
40,00	64,40	3	17,74 A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

### Anexo 23. Tratamiento C2

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C2	15	0,60	0,44	23,13

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2323,06	4	580,76	3,70	0,0424
Concentraciones	2323,06	4	580,76	3,70	0,0424
Error	1568,91	10	156,89		
Total	3891,96	14			

#### Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=33,65825

Error: 156,8906 gl: 10

Concentraciones	Medias	n	E.E.
10,00	35,78	3	7,23 A
20,00	48,20	3	7,23 A B
30,00	50,89	3	7,23 A B
40,00	65,60	3	7,23 A B
50,00	70,27	3	7,23 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

### Anexo 24. Tratamiento F1

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
F1	15	0,36	0,10	15,35

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	874,55	4	218,64	1,39	0,3065
Concentraciones	874,55	4	218,64	1,39	0,3065
Error	1576,65	10	157,66		
Total	2451,20	14			

#### Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=33,74116

Error: 157,6645 gl: 10

Concentraciones	Medias	n	E.E.
10,00	69,60	3	7,25 A
50,00	78,78	3	7,25 A
20,00	80,95	3	7,25 A
30,00	88,31	3	7,25 A
40,00	91,31	3	7,25 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

### Anexo 25. Tratamiento F2

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
F2	15	0,10	0,00	53,00

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
------	----	----	----	---	---------

Modelo.	614,46	4	153,61	0,28	0,8838
Concentraciones	614,46	4	153,61	0,28	0,8838
Error	5469,68	10	546,97		
Total	6084,13	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=62,84547**

Error: 546,9678 gl: 10

Concentraciones	Medias	n	E.E.
10,00	36,57	3	13,50 A
20,00	37,73	3	13,50 A
30,00	44,41	3	13,50 A
40,00	48,42	3	13,50 A
50,00	53,52	3	13,50 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Anexo 26. Tratamiento C1+F1**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C1+F1	15	0,07	0,00	16,34

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	117,60	4	29,40	0,18	0,9429
Concentraciones	117,60	4	29,40	0,18	0,9429
Error	1622,34	10	162,23		
Total	1739,93	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=34,22660**

Error: 162,2338 gl: 10

Concentraciones	Medias	n	E.E.
20,00	74,71	3	7,35 A
40,00	75,68	3	7,35 A
30,00	78,02	3	7,35 A
10,00	78,53	3	7,35 A
50,00	82,77	3	7,35 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Anexo 27. Tratamiento C1+F2**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C1+F2	15	0,09	0,00	30,56

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	387,85	4	96,96	0,24	0,9088
Concentraciones	387,85	4	96,96	0,24	0,9088
Error	4026,79	10	402,68		
Total	4414,64	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=53,92280**

Error: 402,6788 gl: 10

Concentraciones	Medias	n	E.E.
10,00	58,24	3	11,59 A
50,00	61,00	3	11,59 A
40,00	68,84	3	11,59 A
20,00	69,11	3	11,59 A
30,00	71,17	3	11,59 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

#### Anexo 28. Tratamiento C2+F1

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C2+F1	15	0,13	0,00	28,91

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	607,01	4	151,75	0,39	0,8139
Concentraciones	607,01	4	151,75	0,39	0,8139
Error	3930,26	10	393,03		
Total	4537,28	14			

#### Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=53,27260

Error: 393,0263 gl: 10

Concentraciones	Medias	n	E.E.
50,00	59,39	3	11,45 A
10,00	64,76	3	11,45 A
40,00	68,84	3	11,45 A
20,00	71,57	3	11,45 A
30,00	78,29	3	11,45 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

#### Anexo 29. Tratamiento C2+F2

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C2+F2	15	0,04	0,00	31,85

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	156,15	4	39,04	0,12	0,9742
Concentraciones	156,15	4	39,04	0,12	0,9742
Error	3392,56	10	339,26		
Total	3548,71	14			

#### Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=49,49450

Error: 339,2561 gl: 10

Concentraciones	Medias	n	E.E.
30,00	55,02	3	10,63 A
50,00	55,93	3	10,63 A
10,00	56,44	3	10,63 A
20,00	57,72	3	10,63 A
40,00	64,04	3	10,63 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

## PRUEBA DE TUKEY DE ACEITES Y GRASAS

### Anexo 30. Tratamiento C1

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C1	15	0,33	0,06	27,92

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	288,64	4	72,16	1,22	0,3606
Concentraciones	288,64	4	72,16	1,22	0,3606
Error	589,85	10	58,98		
Total	878,49	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=20,63776**

Error: 58,9847 gl: 10

Concentraciones	Medias	n	E.E.
10,00	23,96	3	4,43 A
20,00	24,71	3	4,43 A
30,00	25,06	3	4,43 A
40,00	27,93	3	4,43 A
50,00	35,85	3	4,43 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

### Anexo 31. Tratamiento C2

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C2	15	0,77	0,67	18,17

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	597,42	4	149,36	8,20	0,0034
Concentraciones	597,42	4	149,36	8,20	0,0034
Error	182,06	10	18,21		
Total	779,48	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=11,46569**

Error: 18,2060 gl: 10

Concentraciones	Medias	n	E.E.
10,00	12,39	3	2,46 A
20,00	21,67	3	2,46 A B
50,00	24,44	3	2,46 B
30,00	29,23	3	2,46 B
40,00	29,71	3	2,46 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

### Anexo 32. Tratamiento F1

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
F1	15	0,76	0,66	17,85

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2968,01	4	742,00	7,74	0,0041
Concentraciones	2968,01	4	742,00	7,74	0,0041
Error	958,19	10	95,82		
Total	3926,20	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=26,30388***Error: 95,8194 gl: 10*

Concentraciones	Medias	n	E.E.
10,00	35,99	3	5,65 A
20,00	42,71	3	5,65 A B
30,00	55,59	3	5,65 A B C
40,00	66,20	3	5,65 B C
50,00	73,75	3	5,65 C

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )***Anexo 33. Tratamiento F2**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
F2	15	0,57	0,40	45,48

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	154,94	4	38,73	3,31	0,0570
Concentraciones	154,94	4	38,73	3,31	0,0570
Error	117,17	10	11,72		
Total	272,11	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=9,19830***Error: 11,7173 gl: 10*

Concentraciones	Medias	n	E.E.
20,00	3,56	3	1,98 A
50,00	4,47	3	1,98 A
10,00	7,33	3	1,98 A
30,00	10,60	3	1,98 A
40,00	11,66	3	1,98 A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )***Anexo 34. Tratamiento C1+F1**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C1+F1	15	0,71	0,59	22,72

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1497,77	4	374,44	6,02	0,0099
Concentraciones	1497,77	4	374,44	6,02	0,0099
Error	622,06	10	62,21		
Total	2119,83	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=21,19378**

*Error: 62,2058 gl: 10*

Concentraciones	Medias	n	E.E.
10,00	22,48	3	4,55 A
30,00	30,23	3	4,55 A
20,00	30,81	3	4,55 A
40,00	37,86	3	4,55 A B
50,00	52,16	3	4,55 B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

### **Anexo 35. Tratamiento C1+F2**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C1+F2	15	0,87	0,82	24,91

### **Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1026,67	4	256,67	16,85	0,0002
Concentraciones	1026,67	4	256,67	16,85	0,0002
Error	152,33	10	15,23		
Total	1179,00	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=10,48798**

*Error: 15,2334 gl: 10*

Concentraciones	Medias	n	E.E.
10,00	6,14	3	2,25 A
20,00	10,47	3	2,25 A B
30,00	13,02	3	2,25 A B
40,00	18,57	3	2,25 B
50,00	30,12	3	2,25 C

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

### **Anexo 36. Tratamiento C2+F1**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C2+F1	15	0,53	0,34	31,26

### **Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	615,31	4	153,83	2,83	0,0832
Concentraciones	615,31	4	153,83	2,83	0,0832
Error	544,18	10	54,42		
Total	1159,48	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=19,82270**

*Error: 54,4176 gl: 10*

Concentraciones	Medias	n	E.E.
10,00	13,74	3	4,26 A
20,00	18,98	3	4,26 A
30,00	25,11	3	4,26 A

50,00	29,83	3	4,26 A
40,00	30,35	3	4,26 A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

### Anexo 37. Tratamiento C2+F2

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C2+F2	15	0,59	0,43	68,12

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	325,50	4	81,38	3,65	0,0441
Concentraciones	325,50	4	81,38	3,65	0,0441
Error	223,00	10	22,30		
Total	548,50	14			

### Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=12,68960

*Error: 22,3002 gl: 10*

Concentraciones	Medias	n	E.E.
10,00	0,43	3	2,73 A
20,00	4,02	3	2,73 A B
30,00	7,53	3	2,73 A B
40,00	8,30	3	2,73 A B
50,00	14,39	3	2,73 B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

## PRUEBA DE TUKEY DE DBO

### Anexo 38. Tratamiento C1

#### C1

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C1	15	0,57	0,40	53,65

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2522,39	4	630,60	3,30	0,0572
Concentraciones	2522,39	4	630,60	3,30	0,0572
Error	1911,04	10	191,10		
Total	4433,43	14			

### Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=37,14740

*Error: 191,1044 gl: 10*

Concentraciones	Medias	n	E.E.
20,00	10,69	3	7,98 A
10,00	13,75	3	7,98 A
30,00	26,51	3	7,98 A
40,00	31,17	3	7,98 A
50,00	46,73	3	7,98 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

### Anexo 39. Tratamiento C2

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C2	15	0,56	0,38	30,26

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1673,90	4	418,47	3,12	0,0655
Concentraciones	1673,90	4	418,47	3,12	0,0655
Error	1339,27	10	133,93		
Total	3013,16	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=31,09757**

Error: 133,9265 gl: 10

Concentraciones	Medias	n	E.E.
50,00	26,92	3	6,68 A
30,00	28,20	3	6,68 A
40,00	38,61	3	6,68 A
10,00	41,35	3	6,68 A
20,00	56,11	3	6,68 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

### Anexo 40. Tratamiento F1

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
F1	15	0,11	0,00	38,06

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	318,66	4	79,67	0,31	0,8669
Concentraciones	318,66	4	79,67	0,31	0,8669
Error	2595,64	10	259,56		
Total	2914,30	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=43,29280**

Error: 259,5645 gl: 10

Concentraciones	Medias	n	E.E.
50,00	35,79	3	9,30 A
10,00	39,07	3	9,30 A
30,00	42,17	3	9,30 A
40,00	45,99	3	9,30 A
20,00	48,60	3	9,30 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

### Anexo 41. Tratamiento F2

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
F2	15	0,13	0,00	45,57

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	512,30	4	128,08	0,37	0,8266
Concentraciones	512,30	4	128,08	0,37	0,8266
Error	3486,06	10	348,61		
Total	3998,37	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=50,17193***Error: 348,6065 gl: 10*

Concentraciones	Medias	n	E.E.
10,00	34,33	3	10,78 A
30,00	35,19	3	10,78 A
20,00	40,42	3	10,78 A
40,00	45,31	3	10,78 A
50,00	49,59	3	10,78 A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )***Anexo 42. Tratamiento C1+F1**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C1+F1	15	0,53	0,34	29,43

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2545,87	4	636,47	2,83	0,0828
Concentraciones	2545,87	4	636,47	2,83	0,0828
Error	2246,90	10	224,69		
Total	4792,77	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=40,27959***Error: 224,6901 gl: 10*

Concentraciones	Medias	n	E.E.
10,00	31,59	3	8,65 A
30,00	45,28	3	8,65 A
20,00	47,20	3	8,65 A
40,00	62,39	3	8,65 A
50,00	68,18	3	8,65 A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )***Anexo 43. Tratamiento C1+F2**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C1+F2	15	0,32	0,04	67,12

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2105,42	4	526,36	1,16	0,3838
Concentraciones	2105,42	4	526,36	1,16	0,3838
Error	4531,96	10	453,20		
Total	6637,39	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=57,20530**

*Error: 453,1963 gl: 10*

Concentraciones	Medias	n	E.E.
50,00	8,23	3	12,29 A
20,00	34,56	3	12,29 A
40,00	38,42	3	12,29 A
30,00	38,66	3	12,29 A
10,00	38,71	3	12,29 A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

#### **Anexo 44. Tratamiento C2+F1**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C2+F1	15	0,25	0,00	37,18

#### **Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	593,31	4	148,33	0,83	0,5354
Concentraciones	593,31	4	148,33	0,83	0,5354
Error	1785,88	10	178,59		
Total	2379,19	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=35,91035**

*Error: 178,5883 gl: 10*

Concentraciones	Medias	n	E.E.
30,00	27,99	3	7,72 A
40,00	31,73	3	7,72 A
50,00	34,61	3	7,72 A
20,00	39,22	3	7,72 A
10,00	46,15	3	7,72 A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

#### **Anexo 45. Tratamiento C2+F2**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C2+F2	15	0,71	0,60	90,72

#### **Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4397,88	4	1099,47	6,26	0,0087
Concentraciones	4397,88	4	1099,47	6,26	0,0087
Error	1757,11	10	175,71		
Total	6154,99	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=35,61988**

*Error: 175,7109 gl: 10*

Concentraciones	Medias	n	E.E.
10,00	-19,04	3	7,65 A
20,00	17,02	3	7,65 B
40,00	23,90	3	7,65 B
50,00	25,23	3	7,65 B



#### Anexo 48. Tratamiento F1

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
F1	15	0,09	0,00	43,53

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	287,49	4	71,87	0,24	0,9113
Concentraciones	287,49	4	71,87	0,24	0,9113
Error	3037,30	10	303,73		
Total	3324,79	14			

#### Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=46,83136

Error: 303,7297 gl: 10

Concentraciones	Medias	n	E.E.
50,00	34,18	3	10,06 A
10,00	36,96	3	10,06 A
30,00	39,22	3	10,06 A
40,00	43,46	3	10,06 A
20,00	46,34	3	10,06 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

#### Anexo 49. Tratamiento F2

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
F2	15	0,09	0,00	45,21

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	314,73	4	78,68	0,24	0,9115
Concentraciones	314,73	4	78,68	0,24	0,9115
Error	3329,58	10	332,96		
Total	3644,31	14			

#### Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=49,03292

Error: 332,9579 gl: 10

Concentraciones	Medias	n	E.E.
10,00	34,59	3	10,53 A
30,00	35,69	3	10,53 A
20,00	40,87	3	10,53 A
50,00	44,91	3	10,53 A
40,00	45,73	3	10,53 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

#### Anexo 50. Tratamiento C1+F1

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C1+F1	15	0,54	0,35	29,01

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2517,37	4	629,34	2,90	0,0782
Concentraciones	2517,37	4	629,34	2,90	0,0782
Error	2168,62	10	216,86		
Total	4685,99	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=39,57169***Error: 216,8618 gl: 10*

Concentraciones	Medias	n	E.E.
10,00	31,56	3	8,50 A
30,00	45,13	3	8,50 A
20,00	47,03	3	8,50 A
40,00	62,14	3	8,50 A
50,00	67,95	3	8,50 A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )***Anexo 51. Tratamiento C1+F2**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C1+F2	15	0,32	0,04	67,42

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2094,25	4	523,56	1,15	0,3880
Concentraciones	2094,25	4	523,56	1,15	0,3880
Error	4550,66	10	455,07		
Total	6644,91	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=57,32320***Error: 455,0662 gl: 10*

Concentraciones	Medias	n	E.E.
50,00	8,21	3	12,32 A
20,00	34,48	3	12,32 A
40,00	38,34	3	12,32 A
30,00	38,48	3	12,32 A
10,00	38,67	3	12,32 A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )***Anexo 52. Tratamiento C2+F1**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C2+F1	15	0,25	0,00	36,62

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	584,97	4	146,24	0,83	0,5344
Concentraciones	584,97	4	146,24	0,83	0,5344
Error	1756,95	10	175,69		
Total	2341,92	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=35,61823**

Error: 175,6947 gl: 10

Concentraciones	Medias	n	E.E.
30,00	28,29	3	7,65 A
40,00	32,05	3	7,65 A
50,00	34,89	3	7,65 A
20,00	39,40	3	7,65 A
10,00	46,36	3	7,65 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

### Anexo 53. Tratamiento C2+F2

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C2+F2	15	0,67	0,54	83,74

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4066,00	4	1016,50	5,14	0,0164
Concentraciones	4066,00	4	1016,50	5,14	0,0164
Error	1977,61	10	197,76		
Total	6043,61	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=37,78882**

Error: 197,7609 gl: 10

Concentraciones	Medias	n	E.E.
10,00	-15,57	3	8,12 A
20,00	19,22	3	8,12 A B
50,00	25,24	3	8,12 B
40,00	27,32	3	8,12 B
30,00	27,75	3	8,12 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

## PRUEBA DE TUKEY DE P-ORTOFOSFATOS

### Anexo 54. Tratamiento C1

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C1	15	0,12	0,00	26,79

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	43,96	4	10,99	0,33	0,8531
Concentraciones	43,96	4	10,99	0,33	0,8531
Error	335,34	10	33,53		
Total	379,30	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=15,56087**

Error: 33,5337 gl: 10

Concentraciones	Medias	n	E.E.
-----------------	--------	---	------

10,00	18,62	3	3,34 A
20,00	21,20	3	3,34 A
40,00	21,72	3	3,34 A
30,00	23,27	3	3,34 A
50,00	23,27	3	3,34 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

#### Anexo 55. Tratamiento C2

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C2	15	0,75	0,64	8,71

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	127,40	4	31,85	7,35	0,0050
Concentraciones	127,40	4	31,85	7,35	0,0050
Error	43,32	10	4,33		
Total	170,72	14			

#### Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=5,59297

Error: 4,3321 gl: 10

Concentraciones	Medias	n	E.E.
10,00	19,13	3	1,20 A
30,00	22,24	3	1,20 A B
50,00	24,82	3	1,20 B
20,00	25,86	3	1,20 B
40,00	27,41	3	1,20 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

#### Anexo 56. Tratamiento F1

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
F1	15	0,30	0,02	7,48

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	18,29	4	4,57	1,06	0,4270
Concentraciones	18,29	4	4,57	1,06	0,4270
Error	43,32	10	4,33		
Total	61,61	14			

#### Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=5,59297

Error: 4,3321 gl: 10

Concentraciones	Medias	n	E.E.
20,00	26,37	3	1,20 A
40,00	26,89	3	1,20 A
10,00	27,92	3	1,20 A
30,00	28,44	3	1,20 A
50,00	29,48	3	1,20 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

### Anexo 57. Tratamiento F2

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
F2	15	0,04	0,00	32,53

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	16,69	4	4,17	0,09	0,9831
Concentraciones	16,69	4	4,17	0,09	0,9831
Error	457,28	10	45,73		
Total	473,96	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=18,17118**

Error: 45,7278 gl: 10

Concentraciones	Medias	n	E.E.
40,00	19,65	3	3,90 A
50,00	19,65	3	3,90 A
20,00	20,68	3	3,90 A
30,00	21,72	3	3,90 A
10,00	22,24	3	3,90 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

### Anexo 58. Tratamiento C1+F1

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C1+F1	15	0,28	0,00	9,44

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	26,31	4	6,58	0,95	0,4732
Concentraciones	26,31	4	6,58	0,95	0,4732
Error	68,99	10	6,90		
Total	95,31	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=7,05822**

Error: 6,8993 gl: 10

Concentraciones	Medias	n	E.E.
30,00	25,86	3	1,52 A
10,00	26,89	3	1,52 A
20,00	27,92	3	1,52 A
40,00	28,96	3	1,52 A
50,00	29,48	3	1,52 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

### Anexo 59. Tratamiento C1+F2

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C1+F2	15	0,10	0,00	18,42

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
------	----	----	----	---	---------

Modelo.	23,43	4	5,86	0,26	0,8941
Concentraciones	23,43	4	5,86	0,26	0,8941
Error	221,42	10	22,14		
Total	244,84	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=12,64446**

Error: 22,1419 gl: 10

Concentraciones	Medias	n	E.E.
10,00	23,27	3	2,72 A
50,00	25,34	3	2,72 A
40,00	25,86	3	2,72 A
30,00	26,37	3	2,72 A
20,00	26,89	3	2,72 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Anexo 60. Tratamiento C2+F1**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C2+F1	15	0,17	0,00	15,85

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	33,05	4	8,26	0,50	0,7368
Concentraciones	33,05	4	8,26	0,50	0,7368
Error	165,26	10	16,53		
Total	198,31	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=10,92394**

Error: 16,5262 gl: 10

Concentraciones	Medias	n	E.E.
30,00	23,27	3	2,35 A
50,00	24,82	3	2,35 A
10,00	25,86	3	2,35 A
40,00	26,89	3	2,35 A
20,00	27,41	3	2,35 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Anexo 61. Tratamiento C2+F2**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C2+F2	15	0,11	0,00	18,12

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	21,50	4	5,38	0,32	0,8589
Concentraciones	21,50	4	5,38	0,32	0,8589
Error	168,47	10	16,85		
Total	189,97	14			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=11,02949**

Error: 16,8471 gl: 10

Concentraciones	Medias	n	E.E.
10,00	20,68	3	2,37 A
20,00	22,24	3	2,37 A
30,00	22,75	3	2,37 A
50,00	23,27	3	2,37 A
40,00	24,30	3	2,37 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

### Anexo 62. Porcentajes promedios de remoción a 10 mg/l

TRATAMIENTOS ⇒  PARAMETROS ↓	C1	C2	F1	F2	C1+F1	C1+F2	C2+F1	C2+F2
TDS	22,32	23,69	63,24	26,3	49,52	26,29	39,45	21,13
A&G	23,96	12,39	35,99	7,33	22,48	6,14	13,74	0,43
DBO	13,75	41,35	39,07	34,33	31,59	38,71	46,15	-19,04
DQO	13,15	40,05	36,96	34,59	31,56	38,67	46,36	-15,57
TURBIDEZ	39,36	35,78	69,6	36,57	78,53	58,24	64,76	56,44
P-ORTOFOSFATOS	18,62	19,13	27,92	22,24	26,89	23,27	25,86	20,68

### Anexo 63. Porcentajes promedios de remoción a 20 mg/l

TRATAMIENTOS ⇒  PARAMETROS ↓	C1	C2	F1	F2	C1+F1	C1+F2	C2+F1	C2+F2
TDS	24,19	27,48	64,45	27,39	61,08	31,09	40,21	15,70
A&G	24,71	21,67	42,71	3,56	30,81	10,47	18,98	4,02
DBO	10,69	56,11	48,60	40,42	47,20	34,56	39,22	17,02
DQO	8,65	55,82	46,34	40,87	47,03	34,48	39,40	19,22
TURBIDEZ	49,13	48,20	80,95	37,73	74,71	69,11	71,57	57,72
P-ORTOFOSFATOS	21,20	25,86	26,37	20,68	27,92	26,89	27,41	22,24

### Anexo 64. Porcentajes promedios de remoción a 30 mg/l

TRATAMIENTOS ⇒  PARAMETROS ↓	C1	C2	F1	F2	C1+F1	C1+F2	C2+F1	C2+F2
TDS	28,40	37,74	76,77	26,52	68,31	34,64	38,85	14,43
A&G	25,92	26,00	53,89	24,10	34,76	20,85	28,19	9,19
DBO	26,51	28,20	42,17	35,19	45,28	38,66	27,99	25,94
DQO	24,80	27,70	39,22	35,69	45,13	38,48	28,29	27,75
TURBIDEZ	54,05	50,89	88,31	44,41	78,02	71,17	78,29	55,02
P-ORTOFOSFATOS	23,27	22,24	28,44	21,72	25,86	26,37	23,27	22,75

### Anexo 65. Porcentajes promedios de remoción a 40 mg/l

TRATAMIENTOS ⇒  PARAMETROS ↓	C1	C2	F1	F2	C1+F1	C1+F2	C2+F1	C2+F2
TDS	29,47	41,39	87,66	26,45	71,98	36,01	38,41	13,63
A&G	27,93	29,71	66,20	11,66	37,86	18,57	30,35	8,30
DBO	31,17	38,61	45,99	45,31	62,39	38,42	31,73	23,90
DQO	28,76	38,20	43,46	45,73	62,14	38,34	32,05	27,32
TURBIDEZ	64,40	65,60	91,31	48,42	75,68	68,84	68,84	64,04
P-ORTOFOSFATOS	21,72	27,41	26,89	19,65	28,96	25,86	26,89	24,30

### Anexo 66. Porcentajes promedios de remoción a 50 mg/l

TRATAMIENTOS ⇒  PARAMETROS ↓	C1	C2	F1	F2	C1+F1	C1+F2	C2+F1	C2+F2
TDS	36,42	40,74	92,35	28,24	76,66	41,50	39,60	20,03
A&G	35,85	24,44	73,75	4,47	52,16	30,12	29,83	14,39
DBO	46,73	26,92	35,79	49,59	68,18	8,23	34,61	25,23
DQO	45,79	26,52	34,18	44,91	67,95	8,21	34,89	25,24
TURBIDEZ	62,14	70,27	78,78	53,52	82,77	61,00	59,39	55,93
P-ORTOFOSFATOS	23,27	24,82	29,48	19,65	29,48	25,34	24,82	23,27

### Anexo 67. Valores promedios de remoción a 10 mg/L comparados con los límites máximos permisibles establecidos por el TULSMA

TRATAMIENTOS ⇒  PARAMETROS ↓	C1	C2	F1	F2	C1+F1	C1+F2	C2+F1	C2+F2	LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (TULSMA)	EXPRESADO COMO
TDS (mg/L)	4034,33	3921,67	1988,00	3783,33	2585,33	3808,67	3040,00	4137,67	1 600	mg/L
A&G (mg/L)	16,65	19,13	14,02	20,27	16,74	20,40	18,75	21,31	70	mg/L
DBO (mg/L)	2665,95	1780,11	1924,53	2137,41	2180,27	2014,23	1707,03	3639,93	250	mg/L
DQO (mg/L)	6309,67	4213,33	4595,67	4913,33	5020,00	4647,67	3923,33	8146,67	500	mg/L
TURBIDEZ (FAU)	146,67	187,33	73,33	163,33	56,67	110,00	83,33	126,67	--	FAU
P-ORTOFOSFATOS (mgP-PO4/L)	431602,96	428860,50	382238,79	412405,78	387723,69	406920,87	393208,60	420633,14	15	Fósforo Total mg/L

**Anexo 68. Valores promedios de remoción a 20 mg/L comparados con los límites máximos permisibles establecidos por el TULSMA**

TRATAMIENTOS   ⇒   PARAMETROS   ↓	C1	C2	F1	F2	C1+F1	C1+F2	C2+F1	C2+F2	LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (TULSMA)	EXPRESADO COMO
TDS (mg/L)	3929,00	3725,00	1924,00	3738,67	1970,67	3550,67	2986,67	4408,33	1 600	mg/L
A&G (mg/L)	16,50	17,00	12,71	21,05	15,02	19,47	17,61	20,90	70	mg/L
DBO (mg/L)	2794,84	1352,28	1584,98	1907,58	1669,83	2148,53	1937,30	2586,95	250	mg/L
DQO (mg/L)	6620,00	3141,33	3810,00	4366,67	3853,33	4960,00	4456,67	5810,00	500	mg/L
TURBIDEZ (FAU)	125,00	138,33	46,67	161,67	61,00	76,67	65,00	116,67	--	FAU
P-ORTOFOSTATOS (mgP-PO4/L)	417890,6 9	393208,6 0	390466,1 5	420633,1 4	382238,7 9	387723,6 9	384981,2 4	412405,7 8	15	Fósforo Total mg/L

**Anexo 69. Valores promedios de remoción a 30 mg/L comparados con los límites máximos permisibles establecidos por el TULSMA**

TRATAMIENTOS   ⇒   PARAMETROS   ↓	C1	C2	F1	F2	C1+F1	C1+F2	C2+F1	C2+F2	LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (TULSMA)	EXPRESADO COMO
TDS (mg/L)	3682,00	3233,00	1184,00	3771,00	1589,67	3392,33	3055,33	4414,33	1 600	mg/L
A&G (mg/L)	16,53	15,27	9,99	19,57	15,04	18,99	16,18	20,07	70	mg/L
DBO (mg/L)	2300,00	2211,34	1791,76	2097,40	1738,23	1940,67	2269,33	2286,88	250	mg/L
DQO (mg/L)	5456,67	5138,33	4340,00	4800,00	4010,00	4486,67	5213,33	5146,67	500	mg/L
TURBIDEZ (FAU)	106,67	140,00	30,00	143,33	53,33	73,33	53,33	126,67	--	FAU
P-ORTOFOSTATOS (mgP-PO4/L)	406920,8 7	412405,7 8	379496,3 3	415148,2 3	393208,6 0	390466,1 5	406920,8 7	409663,3 3	15	Fósforo Total mg/L

**Anexo 70. Valores promedios de remoción a 40 mg/L comparados con los límites máximos permisibles establecidos**

TRATAMIENTOS   ⇒   PARAMETROS   ↓	C1	C2	F1	F2	C1+F1	C1+F2	C2+F1	C2+F2	LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (TULSMA)	EXPRESADO COMO
TDS (mg/L)	3627,00	3046,33	626,67	3759,33	1391,33	3298,67	3082,00	4482,33	1 600	mg/L
A&G (mg/L)	15,94	15,21	7,64	19,35	13,53	17,71	14,97	19,89	70	mg/L
DBO (mg/L)	2112,84	1897,15	1725,71	1786,02	1207,97	1913,92	2139,84	2348,66	250	mg/L
DQO (mg/L)	5060,00	4406,67	4160,00	4086,67	2800,00	4416,67	4913,33	5156,67	500	mg/L
TURBIDEZ (FAU)	79,67	96,67	20,00	130,33	61,00	76,67	76,67	103,33	--	FAU
P-ORTOFOSTATOS (mgP-PO4/L)	415148,2 3	384981,2 4	387723,6 9	426118,0 5	376753,8 8	393208,6 0	387723,6 9	401435,9 6	15	Fósforo Total mg/L

**Anexo 71. Valores promedios de remoción a 50 mg/L comparados con los límites máximos permisibles establecidos**

TRATAMIENTOS  ⇒  PARAMETROS ↓	C1	C2	F1	F2	C1+F1	C1+F2	C2+F1	C2+F2	LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (TULSMA)	EXPRESADO COMO
TDS (mg/L)	3202,00	3078,00	388,33	3657,67	1171,33	3037,00	3016,33	4135,33	1 600	mg/L
A&G (mg/L)	14,13	16,48	5,93	20,79	10,76	15,06	15,02	18,69	70	mg/L
DBO (mg/L)	1587,50	2286,36	2076,54	1748,30	1021,79	2848,96	2046,84	2287,50	250	mg/L
DQO (mg/L)	3741,33	5306,67	4913,33	4001,67	2370,00	6566,67	4700,00	5277,00	500	mg/L
TURBIDEZ (FAU)	91,00	90,00	50,00	123,33	50,00	96,67	100,00	128,33	--	--
P-ORTOFOSTATOS (mgP-PO4/L)	406920,8 7	398693,5 1	374011,4 2	426118,0 5	374011,4 2	395951,0 6	398693,5 1	406920,8 7	15	Fósforo Total mg/L

**Anexo 72. NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA. LIBRO VI. ANEXO 1. TABLA 9. Límite de descarga al sistema de alcantarillado público.**

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Solubles en hexano	mg/l	70,0
Explosivos o inflamables	Sustancias	mg/l	Cero
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN-	mg/l	1,0
Cinc	Zn	mg/l	10,0
Cloro activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1

Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos fenólicos	fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Cromo Hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO5	mg/l	250
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	60
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de	pH		6-9

hidrógeno			
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables		ml/l	20
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	220
<b>Sólidos totales</b>		<b>mg/l</b>	<b>1 600</b>
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/l	400
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 40
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tetracloruro de Carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0