



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA BIOLÓGICA Y BIOMÉDICA

TÍTULO DE INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL

**Tratamiento por proceso de coagulación-floculación de un efluente de
máquina flexográfica, ubicada en la ciudad de Cuenca**

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTOR: Brigss Torres, Stalin Fabián

DIRECTOR: Aguilar Ramírez, Silvio David, Mgs

CENTRO UNIVERSITARIO CUENCA

2019



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2019

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Magíster

Silvio David Aguilar Ramírez

DIRECTOR DE TITULACIÓN

El presente trabajo de titulación: “**Tratamiento por proceso de coagulación-floculación de un efluente de máquina flexográfica, ubicada en la ciudad de Cuenca**”, realizado por Stalin Fabián Brigss Torres, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, 26 de abril de 2019

Atentamente

M.Sc. Silvio David Aguilar Ramírez
Director del Trabajo de Titulación
CI: 0703596692

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo. Stalin Fabián Brigss Torres declaro ser autor del presente trabajo de titulación: tratamiento por proceso de coagulación-floculación de un efluente de máquina flexográfica, ubicada en la ciudad de Cuenca, de la Titulación de Ingeniero en Gestión Ambiental, siendo el m.sc. Silvio David Aguilar Ramírez director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

f.

Autor: Stalin Fabián Brigss Torres

Cédula. 0102808631

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Dios por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida, quien supo guiarme por el buen camino, darme la fuerza necesaria para afrontar las adversidades que se me presentaban, mostrándome el sendero correcto para mantenerme firme sin perder nunca la dignidad, ni desfallecer en el intento.

A mi querida familia, a quienes les debo lo que soy, para ti Any, mi amada esposa, abnegada y dedicada, te quiero agradecer infinitamente por estar a mi lado en este arduo camino y compartir conmigo todos los momentos de fracasos y alegrías en mi vida.

A mis hijos: Alex, Wendy y Lexy que son el motor principal de mí día a día y me motivan en seguir creciendo y superándome como persona.

A mi madre, que a pesar de la distancia siempre está pendiente de mis propósitos y metas.

*Por ustedes.
Stalin*

“Cuando se nace pobre, estudiar es el mayor acto de rebeldía contra el sistema. El saber rompe las cadenas de la esclavitud” Tomás Bulat.

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi profundo agradecimiento al Ing. Rafael Simón Gaviño por el apoyo brindado de forma desinteresada en busca de mi crecimiento personal y profesional durante estos años.

Al Ing. Jhonny Vega, quien me ayudó y me motivó en ese primer paso, fundamental para empezar a romper las cadenas de la esclavitud.

A la UTPL por demostrarme que se puede ser más, y a sus docentes que me enseñaron a valorar los estudios y a superarme cada día.

Al Ing. Silvio Aguilar, director del presente trabajo de fin de titulación, por depositar su confianza en este proyecto y apoyarme incondicionalmente en la realización del mismo.

A mi amigo y compañero M.Sc. Mario Morocho por su infinito apoyo en la realización de este trabajo de investigación.

Al Ing. Modesto Casajoana por enseñarme que el estudio es una siembra para el alma y el conocimiento.

Al Ing. José Guerrero por su ayuda en el desarrollo de este trabajo de investigación, un abrazo enorme sensei.

A la empresa Cartopel S.A.I., por el apoyo brindado para la realización de este proyecto, con el aporte de equipos de laboratorio y en financiamiento del mismo.

A todos y cada uno de ustedes, muchas gracias.

Stalin

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	VIII
ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA.....	3
INTRODUCCIÓN.....	4
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	7
1.1 Agua residual.....	8
1.2 Toxicidad de las aguas de imprenta o problemas que causan.....	9
1.3 Coagulación.....	9
1.3.1 Mecanismos de coagulación.....	10
1.3.1.1 Compresión de doble capa revisar.	10
1.3.1.2 Absorción y neutralización de cargas.	10
1.3.1.3 Atrapamiento de Partículas dentro de un Precipitado	11
1.3.1.4 Absorción y Puente	12
1.4 Dispositivos de difusión	13
1.4.1 Flocladores.....	13
1.4.2 Floclación.	14
1.4.2.1 Factores que influyen en la Floclación.....	14
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	17
2.1 Área de estudio	18
2.2 Metodología	18
2.3 Recopilación, organización y análisis de datos.....	21

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
3.1 Resultados	30
3.1.1 Caracterización del agua residual, empresa Cartopel.....	30
3.1.2 Prueba de Jarras	31
3.1.3 Análisis estadístico	37
DISCUSIÓN.....	42
CONCLUSIONES	44
RECOMENDACIONES.....	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
ANEXOS.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación Tensoactivo	15
Tabla 2. Tratamientos para el Proceso de Coagulación y Floculación	21
Tabla 3. Tratamientos y Niveles (ml)	22
Tabla 4. ANOVA experimento factorial y replicaciones.....	26
Tabla 5. Distribución del Coeficiente de Correlación.....	27
Tabla 6. Caracterización del agua residual, Tratamiento Testigo (T0)	30
Tabla 7. Eficiencia de Remoción de los Tratamientos del proceso de coagulación y floculación	30
Tabla 8. Ensayo 1. Prueba de Jarras del proceso de coagulación y floculación	32
Tabla 9. Ensayo 2. Pruebas de Jarras del proceso de coagulación y floculación	32
Tabla 10. Ensayo 3 Prueba de Jarras del proceso de coagulación y floculación	32
Tabla 11. Ensayo 4 Prueba de Jarras del proceso de coagulación y floculación	32
Tabla 12. Ensayo 5 Prueba de Jarras del proceso de coagulación y floculación	33
Tabla 13. Tratamiento 2.1, Prueba de Jarras del proceso de coagulación y floculación	34
Tabla 14. Tratamiento 2.2 Prueba de Jarras del proceso de coagulación y floculación	34
Tabla 15. Prueba de normalidad del porcentaje de mejora debido al DBO5	37
Tabla 16. Prueba de normalidad del porcentaje de mejora debido al DQO.	38
Tabla 17. Prueba de normalidad del porcentaje de mejora debido al PH.....	38
Tabla 18. Prueba de normalidad del porcentaje de los Sólidos suspendidos.....	38
Tabla 19. Prueba de normalidad del porcentaje de mejora debido al Cromo	39
Tabla 20. Prueba de normalidad del porcentaje de mejora debido al Plomo	39
Tabla 21. Prueba de homogeneidad de varianzas.....	40

Tabla 22. Análisis de Varianza factorial para el estudio.....	41
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fuerzas de atracción y repulsión	10
Figura 2: Reestabilización de partículas coloidales.....	11
Figura 3: Atrapamiento de las Partículas en un <i>Floc</i>	12
Figura 4: Efecto de Puente de las Partículas de suspensión.....	12
Figura 5: Dispositivos de ensayo Jar-Test para coagulantes	13
Figura 6. Ubicación de la Empresa Cartopel S.A.I.	18
Figura 7. Prueba de Jarras.....	22
Figura 8. Muestras de tratamientos para Laboratorio.....	23
Figura 9. Intervalo de nivel de significancia	24
Figura 10. Prueba de Hipótesis.....	24
Figura 11. Clarificación de tinta Tratamiento 1	33
Figura 12. Clarificación de tinta Tratamiento 2	34
Figura 13. Clarificación de tinta Prueba de Jarras 1	35
Figura 14. Clarificación de tinta Prueba de Jarras 2.....	35
Figura 15. Clarificación de tinta, Tratamientos 1 y 2.....	36

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Pruebas de agua cruda.....	50
Anexo 2: Pruebas de Saneamiento en Laboratorio.....	52
Anexo 3: Cálculo de la Eficiencia de Remoción de contaminantes del agua residual.....	59

RESUMEN

El presente estudio tiene por objetivo evaluar procesos de coagulación floculación para la remoción de contaminantes presentes en aguas residuales producidas por una industria flexo gráfica ubicada en la ciudad de Cuenca-Ecuador.

Para cumplir con los objetivos de este estudio se utilizó el equipo Jar-Test, considerando dos coagulantes (PAC, Sulfato de Aluminio) y dos floculantes (Floculan329, TR 10-F) a diferentes niveles de concentración y manteniendo constantes parámetros como pH, temperatura, agitación y como variable respuesta se evaluó el porcentaje de remoción en los siguientes parámetros: DBO, DQO, sólidos suspendidos cromo y plomo.

Los resultados muestran, que el tratamiento 1 combinación de PAC y Floculan 329 (T1) floculante Aniónico remueve cerca del 57%; y, el tratamiento 2 la combinación de Sulfato de aluminio y TR 10-F (T2) floculante Catiónico remueve un 61%. Dentro del análisis de las seis pruebas, se mostró que el tratamiento 1 y su prueba 2, reflejó una mayor significación del proceso de coagulación y floculación en la remoción de contaminantes de las aguas residuales generadas por la empresa.

Palabras claves: *Coagulación, Floculación, Test de Jarras.*

ABSTRACT

The present study aims to evaluate flocculation coagulation processes for the removal of contaminants present in wastewater produced by a flexo-graphic industry located in the city of Cuenca-Ecuador.

The objectives of this study Jar-Test equipment was used, considering two coagulants (PAC, Aluminum Sulphate) and two flocculants (Floculan329, TR 10-F) at different concentration levels and maintaining constant parameters such as pH, temperature, agitation and as a variable response the percentage of removal was evaluated in the following parameters: BOD, COD, suspended solids chromium and lead.

The results show that the treatment 1 combination of PAC and Floculan 329 (T1) anionic flocculant removes about 57%; and, treatment 2 the combination of aluminum sulphate and TR 10-F (T2) Cationic flocculant removes 61%. In the analysis of the six tests, it was shown that treatment 2 and its test 2, reflected a greater significance of the coagulation and flocculation process in the removal of contaminants from the wastewater generated by the company.

Keywords: *Coagulation, Flocculation, Jar test.*

ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

DBO₅: Demanda bioquímica de oxígeno a 5 días.

DQO: Demanda química de oxígeno.

Cr: Cromo.

SST: Sólidos suspendidos totales.

pH: Potencial Hidrogeno.

MAE: Ministerio del Ambiente Ecuatoriano.

TULAS: Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria.

PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

DBCA: Diseño de bloques completamente al azar.

EDAR: Estación de Depuración de Aguas Residuales.

(Al)₂(SO₄)₃: SULFATO DE ALUMINIO: Coagulante usado para tratamiento de aguas.

(C₃H₅NO)_n: POLIACRILAMIDA ALTO PESO MOLECULAR: Polímero resínico sintético usado para tratamiento de aguas.

CGA: Comisión de Gestión Ambiental.

EIA: Evaluación de Impacto Ambiental.

EPA: Agencia de Protección Ambiental.

AR: Agua residual.

TFQ: Tratamiento físico químico.

PB: Plomo

Al: Aluminio

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un problema mundial que se debe encarar como un reto para la humanidad (Silva, 2007). Una de las causas para el acelerado cambio climático es la actividad humana (IPCC, 2013); razón por la cual, en la presente investigación se expone a la actividad industrial como una de las fuentes contaminantes del agua.

Recursos naturales como el agua, suelo y aire deben ser cuidados mediante el principio de precaución y para esto se toman medidas preventivas dentro de las industrias para mitigar el impacto que estas producen en el ambiente (Lazaar, 2012). La industria del papel y la industria gráfica se divide principalmente en dos subsectores: manipulados de papel y cartón, y artes gráficas.

La flexografía es un sistema directo de impresión rotativa en el que se emplean planchas flexibles, que transfieren la imagen directamente de la plancha a cualquier tipo de sustrato, utilizando tintas fluidas con disolventes volátiles (Montes, 2015). El secado de la tinta después de la impresión es muy rápido, razón por la cual, la flexografía es muy empleada en la industria cartonera. Las tintas flexográficas son líquidas y están compuestas por varios elementos tales como: pigmentos, resinas, aditivos y solventes. Una vez utilizada la tinta no se debe echar el sobrante por el desagüe pues esto contaminaría las aguas. Este residuo se debe tratar con técnicas eficientes (Perez, 2004).

Las aguas residuales que provienen de las operaciones de impresión pueden contener aceites lubricantes, restos de tinta, solventes para la limpieza, productos químicos fotográficos, ácidos, álcalis, baños para las placas, así como metales, como la plata, el hierro (Fe), el cromo (Cr), el cobre (Cu) y bario (Ba) (Cámara de Comercio e Industria de Zaragoza, 2006). La contaminación del agua también provoca que parte de los ecosistemas acuáticos terminen desapareciendo por la rápida proliferación de otras especies invasoras que se nutren de este tipo de residuos (Vazquez, 2017).

Los componentes químicos que provienen del arrastre de tintas y demás compuestos de la impresión flexográfica, en su mayoría son tóxicos. Es una de las razones que imposibilita el vertido en el alcantarillado sin tratamiento previo por su alto contenido en pigmentos insolubles (Istobal España, 2007). Las exposiciones prolongadas pueden causar efectos neurotóxicos: alteraciones del comportamiento y del control motor, neuropatías, nefropatías, hepatopatías, enfermedades cardiovasculares, principalmente (Chaple, 1999).

Dentro del análisis de floculantes, los polímeros aniónicos: Son polielectrolitos cargados negativamente y caracterizados por la coexistencia de grupos que permiten la adsorción y grupos ionizados negativamente (carboxílicos o sulfúricos), cuyo papel consiste en provocar la extensión del polímero. Entre éstos podemos mencionar las poliacrilamidas parcialmente hidrolizadas con sosa cáustica; por otro lado, polímeros catiónicos: son polielectrolitos cargados positivamente que poseen en sus largas cadenas una carga eléctrica positiva, debido a grupos aminos, amonio cuaternario, capaz de remover la turbidez y el color, acondicionador de lodos, con peso molecular entre 104-106 g/mol y pueden usarse junto a coagulantes inorgánicos, resistentes al cloro, su densidad de carga no es sensible a cambios de pH (Orellana, 2015).

La eliminación de sólidos disueltos y suspendidos, uno de los objetivos del tratamiento primario de aguas residuales, influye directamente en la disminución de la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, de fosfatos, grasas, aceites, turbidez, metales y color, entre otros parámetros característicos del agua residual. Esta se realiza mediante la desestabilización química de los coloides en el proceso de coagulación-floculación (Guardián y Coto, 2011).

Este proyecto de investigación pretende evaluar un tratamiento para disminuir la carga contaminante del efluente de la máquina flexográfica de Cartopel, este estudio nace de la necesidad de la empresa para cumplir con la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, misma que se encarga de regular y controlar las descargas de efluentes al sistema de alcantarillado y que exige límites máximos permisibles con respecto a algunos de los contaminantes mencionados.

También se pretende estandarizar el uso de coagulante y floculante adecuado, que permitan una alta eficiencia en el proceso. Las pruebas más representativas para determinar el comportamiento óptimo de los de los tratamientos primario a escala pequeña es el Ensayo de Prueba de Jarra (Andía, 2014). Cabe mencionar que los coagulantes y floculantes empleados en el tratamiento físico-químico han sido objeto de múltiples investigaciones y pueden ser usados solos o en combinación (Calidra, 2002).

Cartopel cuenta con una planta de tratamiento de aguas industriales a la cual ingresa un efluente líquido con alta carga contaminante de color negro, debido a la mezcla de los colores primarios, este efluente objeto de estudio será caracterizado para en función de su composición y concentración de las sustancias determinadas proponer el tipo de coagulante y floculante más adecuado y así evaluar las diferentes concentraciones e identificar el mejor

tratamiento a implementar en la PTAR de esta empresa, teniendo un aporte a largo plazo en este tipo de efluentes y siendo un referente para otras industrias del mismo tipo, esto brindará un aporte a la mitigación de impactos al medio ambiente.

Para los ensayos de laboratorio se considerarán variables como tipo y concentración de coagulante y floculante, tiempo de reacción, todas estas variables se evaluarán manteniendo algunas constantes como el pH, temperatura. Variables de salida consideraremos: DQO, Sólidos Suspendidos y en los ensayos considerados como más eficientes se realizará pruebas de cromo y plomo como elementos de control de proceso.

Objetivos

Objetivo General

Analizar la alternativa de tratamiento coagulación-floculación para disminuir la carga contaminante de un efluente del proceso flexográfico en una industria de la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay.

Objetivos Específicos

- Caracterizar el agua residual del efluente generado del proceso flexográfico.
- Evaluar mediante ensayos de laboratorio los coagulantes: Policloruro de Aluminio (PAC) y Sulfato de Aluminio; y dos floculantes de Poliacrilamida Alto Peso Molecular.
- Comparar estadísticamente la mejor alternativa de tratamiento coagulación-floculación, que permitan identificar criterios para la aplicación de polímeros ayudantes de floculación.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Agua residual

El agua residual (AR) es aquella que ha sufrido una alteración en sus características físicas, químicas o biológicas por la introducción ciertos contaminantes que pueden ser residuos sólidos, biológicos, químicos, industriales, etc., afectando así los ecosistemas y su entorno (Novotny, 2003; Sánchez, 2003) La contaminación de las aguas puede proceder de fuentes naturales o de actividades humanas. En la actualidad la más importante, sin duda, es la provocada por el hombre. El desarrollo y la industria (Barba, 2002).

Las Aguas residuales establecidas en la (Norma de Calidad Ambiental y descarga de efluente: Recurso Agua Libro VI anexo 1) son aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, que hayan sufrido degradación en su calidad original. Existen límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional (Norma de Calidad Ambiental y descarga de efluente: Recurso Agua Libro VI anexo 1, 2004).

En una planta de tratamiento de aguas residuales. Es necesario hacer una evaluación del nivel óptimo de tratamiento requerido, al igual que una evaluación práctica de cuáles métodos de tratamiento está dentro del presupuesto. En general, las aguas residuales consisten en dos componentes, un efluente líquido y un constituyente sólido, conocido como lodo (Reynolds, 2002).

Los tratamientos de las aguas residuales se dividen en primario, secundario y terciario indicando así el nivel de remoción de contaminantes que se alcanza a medida que se pasa de un tratamiento a otro (Orozco & Salazar, 1989). El tratamiento primario tiene como objetivo eliminar los sólidos en suspensión por medio de un proceso de sedimentación simple por gravedad o asistida por coagulantes y floculantes.

Características de las aguas residuales flexográficas

Por lo general las tintas líquidas que han sido usadas en la fuente de impresión, usualmente se encuentran contaminadas con fibras de papel, solventes y tintas de otro color. Las características físicas más importantes del agua residual flexográfica son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad. En cuanto a las características químicas importantes de las aguas residuales flexográficas incluyen sustancias orgánicas, sustancias inorgánicas en solución y gases (Espigares y Pérez, 2003).

1.2 Toxicidad de las aguas de imprenta o problemas que causan

Las aguas de imprenta se ven contaminadas especialmente en el proceso de imágenes e impresión, siendo los solventes y diluyentes de tinta, los principales problemas de contaminación, razón por la cual, estos no deben ser vertidos en la red de alcantarillado ni derramado en el suelo. Estas aguas se generan al momento del enjuague, compuestos reveladores y aceites lubricantes.

Al momento de lavar las zonas no expuestas, y eliminar las tintas de las soluciones humedecedoras puede contaminar el agua con tinta, disolventes y productos de limpieza, así mismo, el agua se contamina con pigmentos de tinta, restos de la lámina con la copia de diazo, éster, cetona e hidrocarburos aromáticos (Fundación Entorno, 1998).

1.3 Coagulación

Los procesos de coagulación se utilizan para remover partículas, no obstante, son capaces de mover patógenos que se encuentran adheridos a estas partículas, mejorando la calidad del agua, y de manera intrínseca la salud de las personas (Llano, Cardona, Ocampo y Ríos, 2014). Su aplicación aporta a la remoción de especies en suspensión¹ a través del aditamento de coagulantes químicos; según Guzmán, Villabona, Tejada y García (2013) su aplicación trae desventajas como elevados costos de adquisición, producción de grandes volúmenes de lodo; y la afectación del pH del agua tratada.

Al respecto, la coagulación persigue desestabilizar las partículas coloidales que se encuentran en suspensión, cuyo propósito es favorecer su aglomeración; dando como resultado la eliminación de materia en suspensión estable. La coagulación a decir de Andía (2014) es el proceso más eficaz para el tratamiento de agua, sin embargo, también representa un coste elevado cuando no se realiza adecuadamente; es igual un método global porque elimina una gran cantidad de sustancias de diferente naturaleza y de peso de materia que son eliminados al menor costo, comparándolos con otros procedimientos.

De igual forma, el proceso de coagulación mal realizado puede provocar una degradación rápida de la calidad del agua, representando gastos operativos injustificados. Razón por la cual, se considera a la dosis del coagulante un condicionante para el funcionamiento de las unidades de decantación, siendo posible realizar una clarificación, si la cantidad de coagulante está mal ajustada Andía (2014).

¹ Constituyen una serie de diminutos cuerpos sólidos de gotas de líquidos dispersos en la atmósfera, se producen por una actividad antropogénica, por ejemplo, la quema de carbón o actividad volcánica (Leyva-Mir, S. G., Vega-Portillo, H. E., Villaseñor-Mir, H. E., Tlapal-Bolaños, B., Vargas-Hernández, M., Camacho-Tapia, M., y Tovar-Pedraza, J. M., 2017)

1.3.1 Mecanismos de coagulación.

Los mecanismos fisicoquímicos son los que ayudan a la desestabilización:

- Compresión de doble capa
- Adsorción y neutralización de cargas
- Atrapamiento de partículas en un precipitado
- Adsorción y puente

1.3.1.1 *Compresión de doble capa revisar.*

Las partículas coloidales tienen un exceso de carga superficial, que se obtiene a través de procesos de ionización de grupos funcionales ($-\text{COO}^-$, $-\text{SiO}^-$, $-\text{NH}^+$, etc.) o de adsorción de otros iones que están en el medio de dispersión (Rodríguez, 2016). Es así, que cuando se aproximan dos partículas semejantes, sus capas difusas interactúan, generando una fuerza de repulsión «cuyo potencial se relaciona en la distancia que los separa» y cae con el incremento de iones de carga opuesta; esto solo se consigue con los iones del coagulante

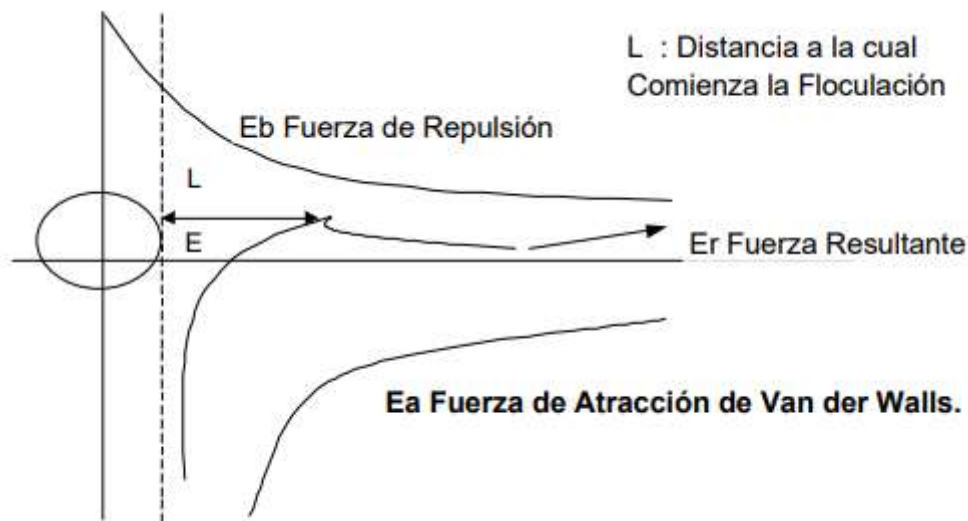


Figura 1: Fuerzas de atracción y repulsión
Fuente: Rodríguez (2016)
Elaborado por: Rodríguez (2016)

1.3.1.2 *Absorción y neutralización de cargas.*

Las partículas coloidales (-) atraen iones positivos que se encuentran dentro de la solución dentro del agua, formando la primera capa adherida. Para Feria, Bermúdez, y Estrada (2014) las partículas coloidales poseen carga negativa en las superficies «primarias» atraen los iones positivos que se encuentra en solución dentro del agua y se forma la primera capa, el potencial en la superficie del plano de cizallamiento se lo conoce como potencial electrocinético.

Posterior a la teoría de la doble capa la coagulación se precisa como la anulación del potencial obtenido por añadidura de productos de coagulación – floculación; cuya fuerza natural de mezcla tomando en cuenta al movimiento *browniano* no es suficiente requiriéndose una energía complementaria necesaria, tal como se muestra en la Figura 2.

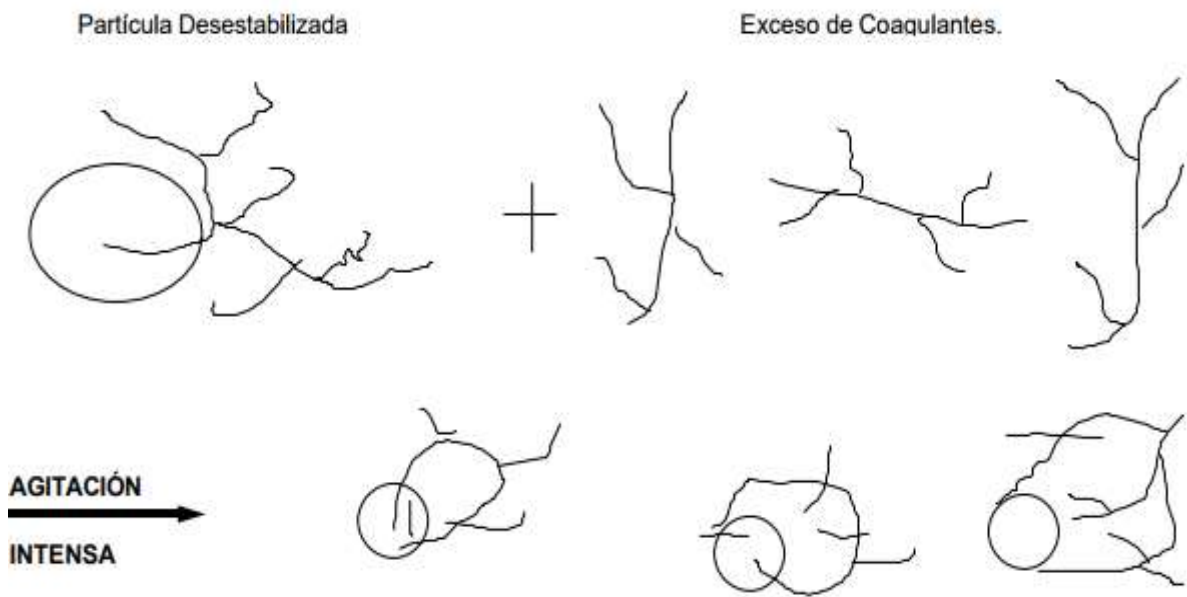


Figura 2: Reestabilización de partículas coloidales
 Fuente: Bermúdez (2016)
 Elaborado por: Bermúdez (2016)

1.3.1.3 Atrapamiento de Partículas dentro de un Precipitado.

Las partículas coloidales desequilibradas, pueden ser enganchadas dentro de un *floc*², cuando se añade una cantidad suficiente de coagulantes «sales de metales trivalente como el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, o Cloruro Férrico $FeCl_3$ » el *floc* está formado de moléculas de $Al(OH)_3$ o de $Fe(OH)_3$.

La presencia de ciertos aniones y de las partículas coloidales acelera la formación del precipitado. Las partículas coloidales juegan el rol de anillo durante la formación del *floc*; este fenómeno puede tener una relación inversa entre la turbiedad y la cantidad de coagulante requerida.

² Conglomerado de partículas sólidas que se genera mediante procesos de coagulación y floculación, se constituye por sólidos que se separan del agua, así como sólidos que aportan el coagulante. Aún más, en los procesos de flotación con aire.

En otras palabras, una concentración importante de partículas en suspensión puede requerir menor cantidad de coagulante. (Andía, 2014).

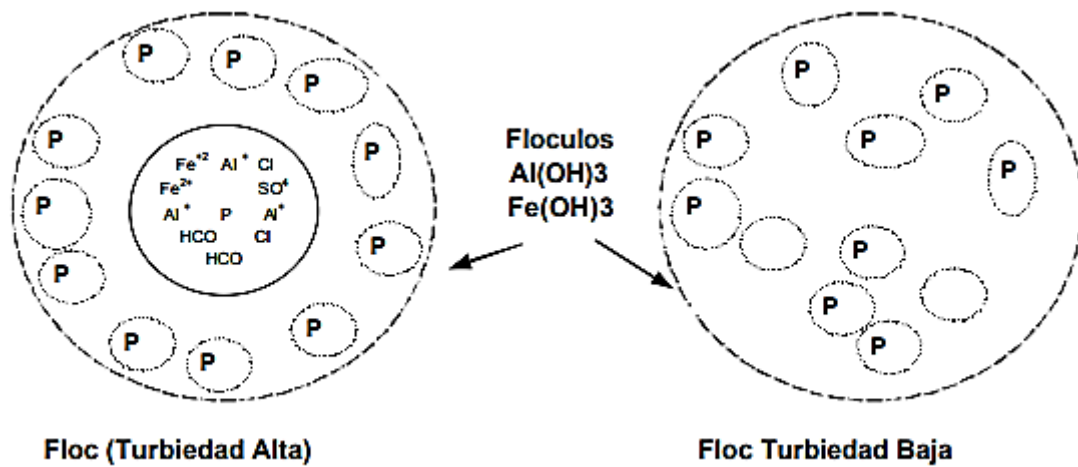


Figura 3: Atrapamiento de las Partículas en un *Floc*
Fuente: Rodríguez (2016)
Elaborado por: Rodríguez (2016)

1.3.1.4 Absorción y Puente.

Este método se fundamenta en la actuación de los polímeros orgánicos sintéticos como agentes desestabilizadores para el tratamiento del agua residual. Observando que asiduamente que el tratamiento más económico se consigue con un polímero aniónico, a pesar que, las partículas sólidas del agua estén cargadas negativamente (Aguilar, Sáez, Lloréns, Soler, & Ortuño, 2012).

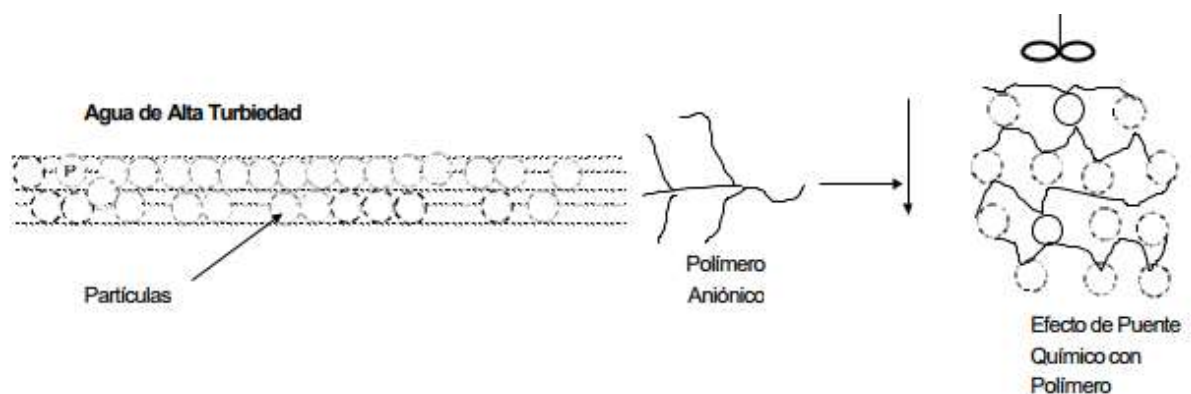


Figura 4: Efecto de Puente de las Partículas de suspensión
Fuente: Paredes (2016)
Elaborado por: Paredes (2016)

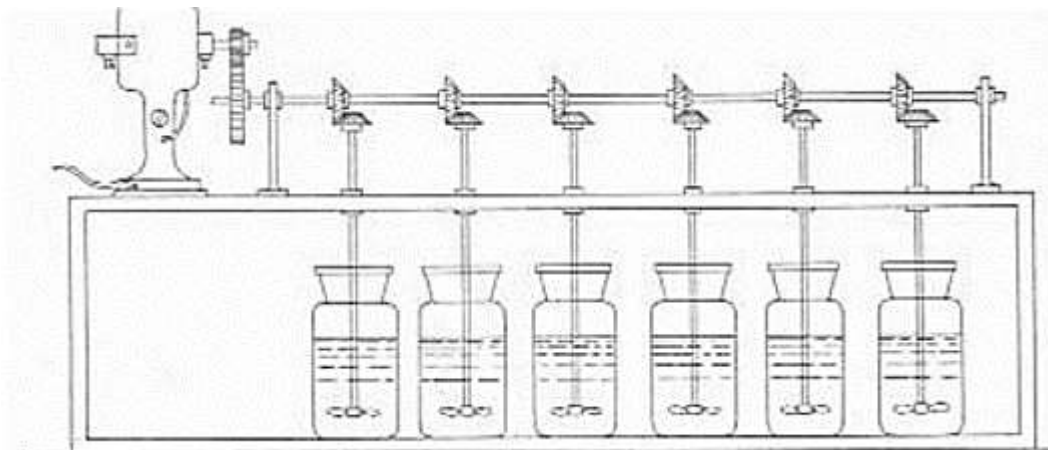


Figura 5: Dispositivos de ensayo Jar-Test para coagulantes

Fuente: Rodríguez (2016)

Elaborado por: Rodríguez (2016)

1.4 Dispositivos de difusión

Partiendo del hecho, que la efectividad del coagulante a introducir en el agua cruda está asociado a su rápida difusión y de su contacto con las partículas coloidales, es necesario diseñar un dispositivo de difusión del coagulante en la masa de agua cruda. Estos dispositivos tienen como función originar una agitación violenta del agua, con el propósito de producir una dispersión del coagulante agregado, por lo regular, el tiempo requerido es corto «minuto» siempre y cuando la turbulencia sea suficiente, siendo la velocidad mínima sugerida de 1,50 m/s (Mompremier, 2012).

Mompremier (2012) señala que los dispositivos pueden ser estanques con desviaciones, resalto hidráulico, estanque de flujo tangencial, estructuras de agitación metálica y estanques de agitación por aire.

1.4.1 Flocladores.

Luego que el coagulante se ha incorporado uniformemente en la masa de agua cruda, es necesario un tiempo de acondicionamiento, con el propósito que los microfloculos formados aumenten su tamaño. Esta fase se logra a través de una agitación suave del agua propensa a que las partículas se pongan en contacto y se adhieran entre sí «floculo sedimentable». Lo ideal para la formación del floculo es una agitación moderada continua decreciente, puesto que, el floculo se hace más frágil a medida que crece. La velocidad óptima debe variar entre 0,15 a 0,40 m/s (Guzmán et. al 2013).

Al respecto, Orellana (2015) afirma:

Los canales con tabiques son estructuras que precisan a la corriente de agua a cambios de dirección vertical u horizontal, pues, producen la agitación deseada. La

experiencia indica que la velocidad óptima para la floculación en este tipo de dispositivos varía de 0,30 a 0,40 m/s y se estima que los floculadores mecánicos deben diseñarse para velocidades tangenciales de este orden en los extremos de las paletas agitadoras. La coagulación entre otros factores es función de la velocidad y del tiempo de agitación. Se estima que períodos de 10 a 45 minutos es un buen término medio.
(p. 6)

1.4.2 Floculación.

Constituye un proceso a través del cual las partículas son aglutinadas, en donde su tamaño y densidad aumentan para que puedan ser retiradas del agua fácilmente en una fase posterior conocida como sedimentación (Matiz, 2008). Tan pronto como se agregan coagulantes a una suspensión coloidal, se inician una serie de reacciones hidrolíticas que adhieren iones a la superficie de las partículas presentes en la suspensión, las cuales tienen así oportunidad de unirse por sucesivas colisiones hasta formar flóculos que crecen con el tiempo.

Guardián y Coto (2011) señala que los contactos para una cinética de la floculación pueden realizarse por dos modos:

1. Floculación Pericinética: Se refiere a los contactos por bombardeo de las partículas producidas por el movimiento de las moléculas del líquido. Su característica es que actúa entre los 6 a 10 primeros segundos, siendo independiente del tamaño de la partícula
2. Floculación Ortocinética: Consiste en el contacto por turbulencia del líquido «diferentes velocidades y direcciones» aumentando la posibilidad de colisión, se caracteriza por actuar en el resto del proceso (20 a 30 min).

1.4.2.1 Factores que influyen en la Floculación.

Entre los factores que inciden en el proceso de floculación se tiene:

- **Concentración y naturaleza de las partículas**

La velocidad de formación del *floc* es proporcional a la concentración de partículas en el agua y del tamaño inicial de estas (Restrepo, 2009).

- **Tiempo de detección**

Se fundamenta que la velocidad de aglomeración de las partículas es ajustada al tiempo de detención, debiendo estar lo más cerca posible al óptimo determinado por medio de ensayos de Jarras, esto se puede lograr dividiendo la unidad de floculación en cámaras. Se puede

decir que una eficiencia dada, se obtiene en tiempos cada vez menores a medida que se aumenta el número de cámaras de floculación en serie. Por razones de orden práctico el número de cámaras no puede ser muy grande, estableciéndose un mínimo de tres (3) unidades (Restrepo, 2009)

- **Gradiente de velocidad**

Este es un factor proporcional a la velocidad de aglomeración de las partículas. Existe un límite máximo de gradiente que no puede ser sobrepasado, para evitar el rompimiento del *floc*. El gradiente a través de las cámaras debe ser decreciente y no se deben tener cámaras intermedias con gradientes elevados (Restrepo, 2009)

- **Clasificación**

En los productos de limpieza encontramos tres tipos de tenso activo, clasificados según su carga.

Tabla 1. Clasificación Tensoactivo

Tensoactivo	Carga	Uso
Catiónico	Positiva	Desinfectante
Aniónicos	Negativa	Espumante y desinfectante
No iónico	Sin carga	Espumante

Fuente: (Restrepo, 2009)

Elaborado por: Stalin Brigss

Catiónicos: son aquel compuesto que forman iones, es decir, el grupo hidrófobo de la molécula queda cargado positivamente. Por lo general son moléculas formadas por un grupo amonio o una amina

Aniónicos: son aquellos compuestos que en solución se ionizan y cuyo grupo hidrófobo queda cargado negativamente. Están constituidos por una cadena lineal o ramificada de átomos de carbono con un extremo polar cargado negativamente. Por lo general, son moléculas que contiene en su estructura un ion sulfato.

Polímeros catiónicos

Son polímeros cargados positivamente cuyos pesos moleculares son los más bajos de los tres grupos, habiendo algunos con valores inferiores a 100000 (en esos casos suelen ser ramificados) y no sobrepasando ninguna variedad de 5 millones

Los polímeros catiónicos pueden hacer función de agentes coagulantes por la formación de puentes, neutralización de cargas o de ambas a la vez. Su facultad principal es la de absorber la carga negativa para lo que se requieren pesos moleculares muy elevados.

La formación de los flóculos es consecuencia de la agrupación de las partículas descargadas al ponerse en contacto unas con otras. Puede ser causada por la colisión entre las partículas, debido a que cuando se acercan lo suficiente las superficies sólidas, las fuerzas de Van der Waals predominan sobre las fuerzas de repulsión, por la repulsión, por la reducción de la carga eléctrica que trae como consecuencia la disminución de la repulsión eléctrica (Barba, 2002).

La floculación puede ser orto cinética, que es la inducida por la energía comunicada al líquido por fuerzas externas (paletas giratorias) y es cuando los contactos son producidos por el movimiento del fluido, o pericinética que es la promovida dentro del líquido por el movimiento que tienen las partículas en él, debido a la agitación y por la gravedad y el peso de las partículas, las que se aglomeran al caer y es cuando el contacto entre las partículas es producido por el movimiento Browniano. El coagulante aplicado da lugar a la formación del flóculo, pero es necesario aumentar su volumen, su peso y especialmente su cohesión. Para favorecer el engrosamiento del flóculo será necesaria una agitación homogénea y lenta del conjunto, con el fin de aumentar las posibilidades de que las partículas descargadas eléctricamente se encuentren con una partícula flóculo (Andía, 2014).

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

La empresa Cartopel S.A. en donde se realizó el estudio, está ubicada al norte de la Ciudad de Cuenca, parque industrial Av. Cornelio Veintimilla y Carlos Tosi (Parque Industrial).

Coordenadas geográficas de la institución: latitud -2.873413, longitud -78.976786.



Figura 6. Ubicación de la Empresa Cartopel S.A.I.

Fuente: Cartopel (2018)

Elaborado por: Cartopel (2018)

Desde su fundación (1989) la empresa ha tenido una evolución importante desde el punto de vista de sus operaciones como crecimiento en el mercado. Para el año 2010 optimizó el sistema de efluentes que aportan a la mejor recuperación de agua; para el año 2016 se registra un hito importante en la ampliación de la velocidad de uno de sus molinos que les permite optimizar su producción.

En esta empresa se generan productos y servicios como son: empaques de cartón, papel, reciclados, integrándose con un servicio de ingeniería de paquetes, diseño gráfico, despacho y transporte, entre sus principales productos.

En la empresa Cartopel, para el presente estudio del proceso de coagulación y floculación, se considera su caudal, el agua tinta de la empresa es de $18\text{m}^3/\text{día}$ (metros cúbicos por día).

2.2 Metodología

Se realizó la caracterización del agua residual del efluente generada del proceso flexográfico de la empresa Cartopel en la ciudad de Cuenca, Azuay.

Para cumplir con este propósito se procedió a recolectar datos, utilizando la técnica de la observación que permitió comprobar las preguntas e hipótesis planteadas; la observación in situ permitió complementar a través de evidencias fotográficas la información descrita, para establecer el número de pruebas a realizar con los coagulantes y floculantes variando los tiempos de reacción. Así como establecer el estado inicial de la planta de tratamiento,

comprobar qué tipo de tratamiento se está utilizando y determinar los puntos de muestreo para este estudio.

Para caracterizar el agua residual de la EDAR en la empresa Cartopel S.A.I., se recogió muestras del efluente que sale del proceso siguiendo las normas NTE INEN 2226 (2000) (Spanish): Agua. Calidad del agua. Muestreo. Diseño de los programas de muestreo.

Para la caracterización físico-química se siguió la metodología descrita por *Estándar Methods* 2015, en el laboratorio de la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua potable, alcantarillado y Saneamiento (ETAPA, 2017).

El diseño investigativo es experimental, puesto que, consiste en el análisis de una variable experimental no comprobada, en condiciones controladas, que tiene como fin describir del modo o causa que se produce una situación en particular.

El análisis se lo realizó mediante ensayos de laboratorio del agua residual de la empresa Cartopel, la implementación de los coagulantes Policloruro de Aluminio (PAC) y Sulfato de Aluminio; y floculantes Poliacrilamida Alto Peso Molecular.

Considerando que el presente estudio está enfocado en evaluar la eficacia de remoción de contaminantes de un agua residual en base a la aplicación de dos coagulantes y dos floculantes, se plantea la realización de un experimento controlado en un Jar Test que permita identificar la incidencia de los elementos considerados variables de salida como: DBO5; DQO; pH; sólidos suspendidos totales, pigmentos de metales en el agua como: Cromo y Plomo.

Para ello, se realizó pruebas preliminares en laboratorio y se fijaron tres niveles de aplicación, nivel bajo, medio y alto tanto para el coagulante como floculante, teniendo en cuenta manejar siempre condiciones estándar de volumen, pH, temperatura y agitación para todos los experimentos; cada experimento se evaluó antes y después del tratamiento, posterior a ello, se analizó por medio de métodos estadísticos determinar su eficiencia.

De manera general, mediante el test de jarras, se evaluó el nivel de contaminación del efluente del agua residual de la empresa Cartopel, para conocer el nivel de remoción mediante seis pruebas de laboratorio, para determinar cuál de los tratamientos es el más efectivo, según el nivel de coagulante (PAC) y floculantes (CAL, FLOCULAN 329 y TR-10F).

Se procedió también a realizar un análisis y comparación de tratamientos coagulación-floculación; considerando que el presente estudio está enfocado en analizar la alternativa de tratamiento coagulación-floculación para disminuir la carga contaminante de un efluente del proceso flexográfico, se contempla para la investigación un diseño experimental factorial, utilizado en los estudios que involucran experimentos, en los cuales incide el análisis de dos o más factores. El diseño factorial permite que en cada ensayo se consideren todas las interrelaciones posibles de los factores (Arnau & Bono, 2000).

En el presente caso las variables son las siguientes:

Variable dependiente: Representa una cantidad cuyo valor depende de cómo se modifica la variable independiente, por lo tanto, son aquellas en las que se observa el resultado de los tratamientos; en este caso las variables dependientes son:

- DQO
- DBQ
- Sólidos suspendidos
- pH
- Cromo
- Plomo

Variables independientes: Es la variable que se manipula o cambia, esta variable es también la que afecta directamente los resultados. Según Díaz en el 2009, en los diseños experimentales las variables independientes que son importantes para el estudio se conocen como factores, los cuales se desagregan en niveles y representando éstos el nivel último de aplicación de la variable, combinados conforman el conjunto de tratamientos individuales que representan al experimento como tal (Díaz, 2009). Las variables independientes utilizadas en este estudio son:

- Concentración de coagulantes
- Concentración de floculantes
- Tiempo de reacción

Mediante el análisis estadístico en el software SPSS, se realizará un análisis mediante pruebas de hipótesis: test de normalidad, homogeneidad de las varianzas, test de Levene y análisis de varianza (ANOVA), se determinó la distribución de los datos de los parámetros en análisis, para establecer la homocedasticidad en sus medias y varianzas, para conocer la efectividad de los tratamientos analizados y su nivel de contaminación.

2.3 Recopilación, organización y análisis de datos

En el estudio una vez terminadas las pruebas de laboratorio, se ingresó los resultados en el software SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) utilizando el análisis de diseño estadístico al azar, para ello se realizará el siguiente procedimiento:

Tabla 2. Tratamientos para el Proceso de Coagulación y Floculación

	DBO5	DQO	pH	SS	Cr	Pb
Prueba 1						
1	900	33282	8,51	394	53	36
1	510	1462	6,77	28	19	39
1	380	1483	6,24	28	18	37
Prueba2						
2	830	53466	8,44	376	55,8	62
2	280	1972	6,76	14	19	40
2	383	1701	7,57	32	16	43
Prueba 3						
3	1060	29740	7,98	278	43	44
3	340	1948	6,71	17	19	41
3	500	1821	8,52	14	19	42
Prueba 4						
4	760	45174	8,21	370	43	46
4	410	1550	6,58	24	19	39
4	345	1700	6,97	14	16	38
Prueba 5						
5	900	35501	8,25	286	41,6	46
5	340	1417	7,12	20	19	41
5	390	1869	9,1	16	17	42
Prueba 6						
6	830	40923	8,37	252	53	42
6	530	1714	6,84	5	15	41
6	380	1184	7,11	5	16	40
Promedio	513,22	14328,17	7,56	120,72	27,86	42,17
Desviación estándar	247,69	19042,53	0,86	153,11	15,27	5,65

Fuente: Proceso de coagulación y floculación (2018)

Elaborado por: Stalin Brigss

Procedimiento Análisis de Prueba de Jarras (Jar-Test).

Para el presente estudio, el procedimiento de coagulación y floculación, encargada de romper la estabilidad de las partículas coloidales y su separación, se realizó mediante la Prueba de Jarras o Jar-Test; para esto se depositó en seis recipientes de igual tamaño con un litro de la muestra en cada uno.

Luego a cada Jarra se adicionó una cantidad diferente Coagulante: Policloruro de Aluminio (PAC), desde los 20 ml. a los 60 ml. y de Sulfato de Aluminio desde los 8 ml. a 16 ml respectivamente. Posterior a ello, los Floculantes: CAL de 2,5 gr. y del FLOCULAN desde los 8 ml. a los 33ml., y de igual manera, TR10-F desde los 15 ml. a los 70 ml respectivamente, tal como se muestra en la tabla 3.

Se estableció los rangos o niveles aplicados a cada tratamiento, para lo cual se realizó ensayos preliminares en laboratorio los cuales nos permitieron definir estos intervalos de trabajo.

Tabla 3. Tratamientos y Niveles (ml)

Tratamiento 1 (T1)		Niveles en ml
Coagulante	Policloruro de aluminio (PAC)	20 a 60
Floculante	Floculan 329	8 a 33
Tratamiento 2 (T2)		Niveles en ml
Coagulante	Sulfato de aluminio	8 a 16
Floculante	TR10-F	15 a 70

Fuente: Proceso de coagulación y floculación (2018)

Elaborado por: Stalin Brigss

Finalmente, la etapa de sedimentación la cual tuvo una duración de 20 min, para determinar la dosis óptima para mejorar las condiciones del agua.



Figura 7. Prueba de Jarras

Fuente: Proceso de coagulación y floculación (2018)

Elaborado por: Stalin Brigss



Figura 8. Muestras de tratamientos para Laboratorio
Fuente: Proceso de coagulación y floculación (2018)
Elaborado por: Stalin Brigss

- **Análisis estadístico**

Es una función estadística donde, un conjunto de variables se conoce que existe una posible estrecha relación inherente entre ellas. Es decir, una o dos variables dependientes pueden ser explicadas mediante los valores de las variables independientes. La regresión de forma gráfica trata de explicar de forma de recta o curva la dispersión de las frecuencias.

La regresión simple, se considera lineal y se presenta cuando, una variable dependiente se influencia por una variable independiente o explicativa, por otro lado, este tipo de regresión predice un dato desconocido, partiendo de los datos conocidos de otras variables.

La regresión múltiple, se presenta cuando dos o más variables explicativas o independientes pueden influir sobre una variable dependiente. $Y = f(x, s, t)$. Puede ser representada de la siguiente manera: $Y' = \alpha' + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$.

- **Coefficiente de Regresión (R)**

Indica la variabilidad unitaria de la variable dependiente “Y”, por efecto de los cambios que sufre por parte de la variable independiente “Xi”. Su cálculo es a partir de la Suma de Cuadrados de la Regresión (SSR) y la Suma Total de Cuadrados. Es decir, $(R = SSR/SST)$.

- **Intervalo de confianza**

Llamado también intervalo resultante, se determinada por los valores generados alrededor de la estimación puntual, y se construye tomando en consideración de que el intervalo contenga el verdadero valor del parámetro. Como podemos observar, con un nivel de confianza del 0.95, o un nivel de significancia del 5%, decimos que corresponde al 95% el intervalo de confianza.



Figura 9. Intervalo de nivel de significancia

Fuente: Cannavos (2015)

Elaborado por: Cannavos (2015)

- **Prueba de Hipótesis**

Se considera una prueba de hipótesis estadística, a una proposición sobre los parámetros de una o más poblaciones o universo. Por medio de una muestra aleatoria, y el cálculo de un estadístico de prueba podemos proyectarla, la cual puede aceptar o rechazar la hipótesis nula. Existen dos tipos de errores: si la hipótesis nula se rechaza cuando es verdadera ocurre un tipo de error tipo I, caso contrario, si no se rechaza cuando es falsa ocurre un error de tipo II (Mendenhall, Sincich, 2005).

- **Metodología de la prueba de hipótesis**

La prueba de hipótesis suele hacer referencia con alguna afirmación, teoría, o aseveración de una población sobre un parámetro específico.

H_0 = Hipótesis nula

H_a = Hipótesis alternativa

La H_0 se rechaza, cuando evidentemente exista mayor probabilidad de que la H_a sea cierta, según la evidencia muestral.

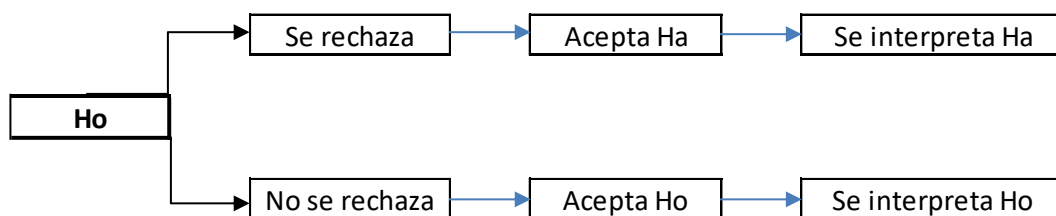


Figura 10. Prueba de Hipótesis

Fuente: Cannavos (2015)

Elaborado por: Cannavos (2015)

Al respecto de esta investigación, se aplicó las pruebas de hipótesis para determinar si los tratamientos influyen en la remoción de partículas; para ello, se planteó la hipótesis nula y alternativa y de acuerdo a criterios estadísticos se realizó el contraste de la misma.

- **Nivel de confianza y nivel crítico**

Debemos definir una región de rechazo y una de aceptación, dada a la relatividad que define la región de rechazo (Mendenhall, Sincich, 2005). Por ello debemos:

- ✓ Calcular el tamaño muestral necesario, para luego sustituirlas en la ecuación del estadístico de la prueba, luego calcular dicho valor.
- ✓ Analizamos con el valor del estadístico de prueba, si debemos rechazar o no la H_0 y definir la decisión del problema.

Para nuestro análisis el nivel de confianza es del 95%, siendo el nivel de significancia del 5%, respectivamente.

- **Análisis de Varianza**

Conocido como ANOVA, nos ayuda a evaluar las diferencias existentes entre varias poblaciones, aquellas que consideran a más de dos grupos asignados por niveles de factor, que pertenecen al factor de interés. Adaptando el análisis de la varianza para con ello, realizar una partición de la suma total de cuadrados, es decir, una parte se deba a la regresión y la otra se deba al error.

- **ANOVA Factorial**

Un experimento factorial, es un diseño experimental que permite obtener simultáneamente conclusiones acerca de dos o más factores. El Término factorial son condiciones experimentales que comprenden todas las posibles combinaciones de los factores, es decir, si se tienen a niveles del factor A y B, se obtendrán datos de AB combinaciones de tratamientos. Para efecto de cálculo, para el análisis de varianza permitirán responder lo siguiente: efecto principal del factor A, Efecto principal del factor B y el efecto de interacción (factor A y B).

Las hipótesis de interés para los efectos en el modelo son:

Ho: Efecto del factor A=0

Ha: Efecto del factor A \neq 0

Ho: Efecto del factor B=0

Ha: Efecto del factor B \neq 0

Ho: Efecto de interacción (AB)=0

Ha: Efecto de interacción (AB) \neq 0

La fórmula para la partición de las sumas total de cuadrados es:

$$STC = SCA + SCB + SCAB + SCE$$

Donde,

STC: Suma total de cuadrados

SCA: Suma de cuadrados del factor A

SCB: Suma de cuadrados del factor B

SCAB: Suma de cuadrados por la interacción

SCE: Suma de cuadrados debido al error.

Tabla 4. ANOVA experimento factorial y replicaciones

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor-p
Factor A	SCA	$a - 1$	$CMA = \frac{SCA}{a - 1}$	$\frac{CMA}{CME}$	$P(F > F_0^A)$
Factor B	SCB	$b - 1$	$CMB = \frac{SCB}{b - 1}$	$\frac{CMB}{CME}$	$P(F > F_0^B)$
Interacción	SCAB	$(a - 1)(b - 1)$	$CMAB = \frac{SCAB}{(a - 1)(b - 1)}$	$\frac{CMAB}{CME}$	$P(F > F_0^{AB})$
Error	SCE	$ab(r - 1)$	$CME = \frac{SCE}{ab(r - 1)}$		
Total	STC	$n_T - 1$			

Fuente: Cannavos (2005)

Elaborado por: Cannavos (2005)

En la Tabla 4, la notación a emplearse es la siguiente:

X: media muestral general de todas $n(t)$ observaciones

a: número de niveles (valores) del factor A

b: número de niveles (valores) del factor B

r: número de replicaciones

n(t): número total de observaciones realizadas en el experimento.

Para calcular los estadísticos F que se necesitan para las pruebas de significancia, de factor A, B y de la interacción, es necesario calcular:

1. Suma total de cuadrados, $STC = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c (X_{ijk} - x)^2$
2. Suma total de cuadrados del factor A, $STA = br \sum_{i=1}^a (X_i - x)^2$
3. Suma total de cuadrados del factor B, $STB = br \sum_{j=1}^b (X_j - x)^2$
4. Suma de cuadrados de la interacción $\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (X_{ij} - x_i - x_j + x)^2$
5. Suma de cuadrados debida al error $SCE = STC - SCA - SCB - SCAB$

La notación empleada en el anterior apartado es:

X_{ijk}: observación correspondiente a la réplica k del tratamiento i del factor A y del tratamiento j del factor B.

X_i: media muestral de las observaciones del tratamiento i (factor A)

X_j: media muestral de las observaciones del tratamiento j (factor B)

X_{ij} : media muestral de las observaciones correspondientes a la combinación del tratamiento i (factor A) y j (factor B).

- **Criterio de prueba de hipótesis**

Para probar cuál de los tratamientos son diferentes uno de otros, se considerará el siguiente criterio:

$|X_i - X_j| > T_\alpha$; Hay una diferencia estadística significativa entre los tratamientos

$|X_i - X_j| > T_\alpha$; No hay una diferencia estadística significativa entre los tratamientos.

Donde T_α , es el estadístico Tukey:

$$T_\alpha = q_\alpha (k, N - k) \sqrt{CME/n}$$

Donde,

$q_\alpha (k, N-K)$: valor normalizado de la distribución Tukey

CME: cuadrado medio de error, obtenido de la tabla ANOVA

n: número de datos.

- **Diseño experimental completamente al azar (DCA)**

Para el presente estudio y realizar un diseño flexible, el número de tratamientos y de repeticiones, al estar la variable en respuesta de un solo factor (unifactorial), a distintos niveles o tratamientos, los cuales son asignados a las unidades experimentales (homogéneas). La asignación de los tratamientos a las unidades experimentales se realiza de forma aleatoria. En nuestro proceso de coagulación y floculación, se tiene: como número de tratamientos es 2 y número de réplicas es de 6.

Ho: $\mu_i = \mu_j = \mu_k = \mu_l = \mu_m$ (medias de los tratamientos son iguales)

Ha: $\mu_i \neq \mu_j \neq \mu_k \neq \mu_l \neq \mu_m$ (medias de los tratamientos no son iguales)

Para inferir, si se rechaza Ho, significa que existen diferencias significativas entre los tratamientos. De tal manera, que hay que aplicar una prueba estadística para determinar entre cuales tratamientos existen diferencias.

- **Coefficiente de Correlación**

Siendo una versión no paramétrica, para nuestro estudio utilizaremos la *Correlación de Spearman*, que básicamente se basa en los rangos de los datos en lugar de hacerlo en los valores reales; por otro lado, es apropiada para datos reales o de los intervalos que no satisfagan el supuesto de normalidad; sus valores van de -1 a +1. El signo del coeficiente indica la relación entre las variables, de la misma manera, los valores absolutos mayores indican que la relación es mayor (Lopez, 2015).

Tabla 5. Distribución del Coeficiente de Correlación

Valor	Intensidad
1	Perfecta
0,81-0,99	Alta
0,61-0,80	Medio-alta
0,41-0,60	Media
0,21-0,40	Medio-baja
0,01-0,20	Baja
0	Nula

Fuente: López (2015)

Elaborado por: López (2015)

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados

3.1.1 Caracterización del agua residual, empresa Cartopel.

A continuación, se muestran los resultados de la caracterización del agua residual que se genera a través del proceso flexográfico en el efluente de la Empresa Cartopel, esta entidad mantiene un caudal aproximado de 18 metros cúbicos por día y aguas residuales. Los resultados de la caracterización del agua del efluente muestran una composición promedio de contaminantes tal como se aprecia en la Tabla 6.

Tabla 6. Caracterización del agua residual, Tratamiento Testigo (T0)

Parámetro	Valor promedio	Desviación estándar
DBO5 (mg/l)	764,29	102,57
DQO (mg/l)	38766,86	8706,15
pH (mg/l)	8,33	0,19
SS (mg/l)	2675,71	1744,38
Cr (mg/l)	54,46	20,47
Pb (mg/l)	51,76	8,31

Fuente: Proceso de coagulación y floculación (2018)
Elaborado por: Stalin Brigss

En la tabla anterior se observan los valores promedio de DBO5, DQO, Ph, SS, Cr y Pb que posee el agua residual que se genera en la empresa, los mismos que fueron obtenidos a través de pruebas de laboratorio. Estos valores son relativamente altos e incumplen con las normas de calidad ambiental y de descarga de efluente del recurso agua. Los valores observados anteriormente servirán como punto de comparación para los tratamientos realizados a fin de remover los componentes de las aguas.

De los tratamientos realizados en el proceso de coagulación-floculación del agua residual de la empresa Cartopel, el nivel de remoción de los tratamientos uno (T1) y dos (T2) (detallados en la sección anterior) se muestran en la Tabla 7. Para cada una de las seis pruebas realizadas se consideró un promedio de remoción en función de todos los parámetros evaluados dando un porcentaje de remoción general.

Tabla 7. Eficiencia de Remoción de los Tratamientos del proceso de coagulación y floculación

Pruebas	Promedio Remoción T1	Desviación estándar	Promedio Remoción T2	Desviación estándar
Prueba 1 (Coagulante-Floculante)	55,94%	36,03%	63,67%	30,31%
Prueba 2 (Coagulante-Floculante 9ml)	67,29%	31,52%	65,85%	34,06%

Prueba 3 (Coagulante- Floculante 14 ml)	56,94%	35,71%	53,17%	39,19%
Prueba 4 (Coagulante- Floculante 19 ml)	54,42%	39,20%	59,89%	33,82%
Prueba 5 (Coagulante- Floculante 24 ml)	52,28%	43,53%	58,59%	33,82%
Prueba 6 (Coagulante- Floculante 29 ml)	55,32%	38,33%	62,37%	29,83%
Promedios	57,03%	5,27%	60,59%	4,90%

Fuente: Proceso de coagulación y floculación (2018)
Elaborado por: Stalin Brigss

La tabla previa presenta los resultados del promedio de remoción en cada tratamiento, para las seis pruebas realizadas. Se observa que el tratamiento dos remueve en promedio una mayor proporción de componentes de las aguas residuales; mientras que, el uno remueve una proporción menor, con alrededor de cuatro puntos porcentuales por debajo del segundo.

Los resultados indican también que el tratamiento uno, en la prueba 2 (P2), es el que remueve un mayor porcentaje de componentes, con un 67,29% de eficiencia en promedio de los parámetros analizados (DBO₅, DQO, pH, Sólidos Suspendidos, Cr y Pb). Por su parte, el nivel de remoción más bajo se presentó en la prueba 5 del primer tratamiento. Para más detalles del proceso de cálculo de la eficiencia de remoción (ver anexo 3).

3.1.2 Prueba de Jarras.

En este apartado se presentan los resultados de la aplicación de la prueba de jarras, con el propósito de analizar el tipo de tratamiento de coagulación – floculación más adecuado para disminuir la carga contaminante de uno de los efluentes generado por el proceso flexográfico de Cartopel S.A.

El coagulante y floculante son reactivos usados para acelerar los procesos de sedimentación, los cuales dependen de condiciones de alcalinidad. A fin de identificar el mejor tratamiento, se realizaron ensayos de laboratorio con los coagulantes y floculantes, mismos que se detallan a continuación:

Los resultados de los ensayos del Tratamiento 1 de las pruebas de Jarras son presentados en la tabla 8, a continuación:

Tabla 8. Ensayo 1. Prueba de Jarras del proceso de coagulación y floculación

	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Policloruro de Aluminio	Testigo	20 ml	25 ml	30 ml	35 ml	40 ml
CAL	Testigo	2,5 g	2,5 g	2,5 g	2,5 g	2,5 g
FLOCULAN 329	Testigo	9 ml	10 ml	11 ml	12 ml	13 ml

Fuente: Proceso de coagulación y floculación (2018)

Elaborado por: Stalin Brigss

Como se muestra en la Tabla 8, partiendo con la dosificación, los resultados sugieren que en este Ensayo 1 no se observa representatividad en la precipitación de sólidos, por lo que esta combinación no tiene efectos significativos. Tomando en cuenta que los ensayos se tomaron a los cinco días de referencia con la primera muestra.

Tabla 9. Ensayo 2. Pruebas de Jarras del proceso de coagulación y floculación

	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Policloruro de Aluminio	Testigo	20 ml	25 ml	30 ml	35 ml	40 ml
CAL	Testigo	2,5 g	2,5 g	2,5 g	2,5 g	2,5 g
FLOCULAN 329	Testigo	14 ml	15 ml	16 ml	17 ml	18 ml

Fuente: Proceso de coagulación y floculación (2018)

Elaborado por: Stalin Brigss

Tabla 10. Ensayo 3 Prueba de Jarras del proceso de coagulación y floculación

	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Policloruro de Aluminio	Testigo	20 ml.	25 ml.	30 ml.	35 ml.	40 ml
CAL	Testigo	2,5 g	2,5 g	2,5 g	2,5 g	2,5 g
FLOCULAN 329	Testigo	19 ml	20 ml	21 ml	22 ml	23 ml

Fuente: Proceso de coagulación y floculación (2018)

Elaborado por: Stalin Brigss

En los datos de la Tabla 9, en el Ensayo 2, se empieza a observar físicamente una clarificación. De la misma manera en la Tabla 10, en el Ensayo 3, su tratamiento primario muestra un buen comportamiento.

Tabla 11. Ensayo 4 Prueba de Jarras del proceso de coagulación y floculación

	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Policloruro de Aluminio	Testigo	45 ml	50 ml	55 ml	60 ml	65 ml
CAL	Testigo	2,5 g	2,5 g	2,5 g	2,5 g	2,5 g
FLOCULAN 329	Testigo	24 ml	25 ml	26 ml	27 ml	28 ml

Fuente: Proceso de coagulación y floculación (2018)

Elaborado por: Stalin Brigss

Los resultados de la Tabla 11, evidencian que en el Ensayo 4 existió una mejoría en el tratamiento primario, observando una precipitación de aproximadamente el 15%, en el tratamiento de sedimentación por proceso de coagulación y floculación, respectivamente.

Tabla 12. Ensayo 5 Prueba de Jarras del proceso de coagulación y floculación

	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Policloruro de Aluminio	Testigo	47 ml	48 ml	49 ml	50 ml	51 ml
CAL	Testigo	2,5 g	2,5 g	2,5 g	2,5 g	2,5 g
FLOCULAN 329	Testigo	29 ml	30 ml	31 ml	32 ml	33 ml

Fuente: Proceso de coagulación y floculación (2018)

Elaborado por: Stalin Brigss

En el ensayo 5 descrito en la Tabla 12, resulta de la consecución de los cuatro primeros, como se puede observar, se presenta un 25% aproximadamente en la precipitación de los sólidos. Es decir, el Policloruro de Aluminio (PAC) con el 20% de concentración en un litro de agua se diluye 200 gr. de PAC, correspondiendo a 15 ml. de producto puro. Por otro lado, el Floculan 329 con el 0,06% de concentración se diluyó 0,60 gr. en un litro de agua. Los resultados analizados en el Tratamiento 1, puede ser observado en la figura 11, del proceso de clarificación del agua.



Figura 11. Clarificación de tinta Tratamiento 1

Fuente: Proceso de coagulación y floculación (2018)

Elaborado por: Stalin Brigss

Los resultados obtenidos de la Prueba de Jarras del Tratamiento 2, para el proceso de coagulación y floculación, se presentan en la Tabla 13:

Tabla 13. Tratamiento 2.1, Prueba de Jarras del proceso de coagulación y floculación

	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Sulfato de Aluminio	Testigo	12 ml	13 ml	14 ml	15 ml	16 ml
CAL	Testigo	2,5 g	2,5 g	2,5 g	2,5 g	2,5 g
TR 10-F	Testigo	50 ml	55 ml	60 ml	65 ml	70 ml

Fuente: Proceso de coagulación y floculación (2018)

Elaborado por: Stalin Brigss

Tabla 14. Tratamiento 2.2 Prueba de Jarras del proceso de coagulación y floculación

	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Sulfato de Aluminio	Testigo	12 ml	13 ml	14 ml	15 ml	16 ml
CAL	Testigo	2,5 g	2,5 g	2,5 g	2,5 g	2,5 g
TR 10-F	Testigo	50 ml	51 ml	52 ml	53 ml	54 ml

Fuente: Proceso de coagulación y floculación (2018)

Elaborado por: Stalin Brigss

Es posible notar que existe una dosificación directa, ya que, el Sulfato de Aluminio es líquido. Por otro lado, el floculante TR 10-F con el 0,06% de concentración, se diluye 0,60 gr de floculante en un litro de agua, como se observa en las tablas 13 y 14, respectivamente.



Figura 12. Clarificación de tinta Tratamiento 2

Fuente: Proceso de coagulación y floculación (2018)

Elaborado por: Stalin Brigss



Figura 13. Clarificación de tinta Prueba de Jarras 1
Fuente: Proceso de coagulación y floculación (2018)
Elaborado por: Stalin Briggs



Figura 14. Clarificación de tinta Prueba de Jarras 2
Fuente: Proceso de coagulación y floculación (2018)
Elaborado por: Stalin Briggs



Figura 15. Clarificación de tinta, Tratamientos 1 y 2
Fuente: Proceso de coagulación y floculación (2018)
Elaborado por: Stalin Brigss

Para el análisis del proceso de jarras, de los dos tratamientos realizados, se desarrolló lo siguiente:

- Primero, se dosifica el coagulante, posterior a ello, se dosifica la CAL, luego de dos minutos se aplica el floculante, después se agita por cinco minutos; se deja depositar por aproximadamente 20 minutos, para observar la precipitación de sólidos (decantación).
- Segundo, en el proceso de Test de Jarras, luego de proceder la agitación del ensayo con 120 rpm, se observa la dosificación del coagulante y la CAL (manteniendo las revoluciones), y, luego se muestra la dosificación del floculante bajando a 80 rpm, respectivamente. Hay que destacar la importancia de la violencia de la agitación en gran escala, pues el exceso de violencia en la agitación tiende a destruir el flóculo.
- Se observa, que, en comparación de los tratamientos realizados en el proceso de remoción de los niveles de contaminación, en relación a los parámetros analizados en el proceso de coagulación y floculación del agua residual de la empresa Cartopel, que los ensayos del tratamiento 2, son los más efectivos ya que el nivel de remoción es aproximadamente del 59,53%, en referencia del nivel de contaminación, clarificando y removiendo los contaminantes del agua residual.

3.1.3 Análisis estadístico.

- **Prueba de Normalidad**

Para este análisis, es necesario que la variable aleatoria dependiente siga una distribución normal, mediante la comparación entre medias de las observaciones secuenciales; para lo cual, se realizó el análisis de normalidad con el estadístico Shapiro-Wilk, donde la hipótesis a evaluar es el comportamiento normal de los datos.

Se rechaza la H_0 cuando el p_value es menor a 0,05; el test descrito, se utiliza cuando la muestra para cada grupo es menor que 50 (Pedrosa, 2015). De manera general, la prueba de hipótesis a plantear para la prueba de normalidad es:

H_0 : los datos de las variables tienen una distribución normal.

H_a : los datos de las variables son distinta a una distribución normal.

Por lo tanto, Si el **valor-p (Sig.) > 0,05 (nivel de significancia)** no podemos rechazar la hipótesis nula (H_0), es decir, asumimos que se **cumple el supuesto de Normalidad**. Este tipo de prueba permite determinar si un conjunto de datos se distribuye de una manera que es consistente con la distribución normal. Es de suma importancia que se mantenga esta distribución, debido a que, es uno de los supuestos para el posterior análisis de la varianza (ANOVA).

Tabla 15. Prueba de normalidad del porcentaje de mejora debido al DBO5

TRATAMIENTO	Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	
DBO5	P1	,923	3	,463
	P2	,934	3	,502
	P3	,907	3	,407
	P4	,864	3	,279
	P5	,816	3	,154
	P6	,964	3	,637

Fuente: Proceso de coagulación y floculación (2018)
Elaborado por: Stalin Brigss

En la siguiente sección, se muestra el análisis del supuesto de normalidad; para el presente estudio, se tiene muestras (gl.) menores a 50, por lo tanto, la prueba apropiada es la de Shapiro-Wilk, para cada uno de los parámetros de los diferentes tratamientos.

Los datos de la Tabla 15, presentan los resultados de la prueba de normalidad al analizar el test de Shapiro-Wilk, porque la muestra es menor a 50; se observa p_value (sig.) es mayor a

0,05 para cada uno de los tratamientos; por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula y se asume que los datos se distribuyen normalmente.

Tabla 16. Prueba de normalidad del porcentaje de mejora debido al DQO.

TRATAMIENTO	Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	
DQO	P1	,750	3	,006
	P2	,754	3	,009
	P3	,753	3	,008
	P4	,753	3	,006
	P5	,760	3	,022
	P6	,760	3	,022

Fuente: Proceso de coagulación y floculación (2018)
Elaborado por: Stalin Brigss

De acuerdo a lo que se observa en la tabla 16, al analizar la normalidad del promedio de porcentaje de mejora de DQO, se observa que el p_value es menor al nivel de significancia (0,05) para cada uno de los tratamientos, por lo que se asume la no normalidad de los datos.

Tabla 17. Prueba de normalidad del porcentaje de mejora debido al PH

TRATAMIENTO	Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	
PH	P1	,913	3	,430
	P2	,771	3	,961
	P3	,949	3	,563
	P4	,917	3	,441
	P5	,993	3	,844
	P6	,878	3	,317

Fuente: Proceso de coagulación y floculación (2018)
Elaborado por: Stalin Brigss

Los datos de la Tabla 17, muestran el estadístico de normalidad para el parámetro pH, donde se observa que el p_value es mayor al nivel de significancia (0,05), por lo que se concluye que los datos siguen una distribución normal.

Tabla 18. Prueba de normalidad del porcentaje de los Sólidos suspendidos

TRATAMIENTO	Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	
SOLIDOS SUSPENDIDOS	P1	,750	3	,010
	P2	,787	3	,084
	P3	,759	3	,019
	P4	,771	3	,047
	P5	,761	3	,025
	P6	,750	3	,006

Fuente: Proceso de coagulación y floculación (2018)
Elaborado por: Stalin Brigss

Según la prueba de normalidad en la Tabla 18, los datos muestran un p_value menor a 0,05, por lo tanto, el parámetro de Sólidos Suspendidos no sigue una distribución normal, excepto para la prueba dos.

Tabla 19. Prueba de normalidad del porcentaje de mejora debido al Cromo

TRATAMIENTO	Estadístico	Shapiro-Wilk		
		gl	Sig.	
CROMO	P1	,771	3	,048
	P2	,806	3	,129
	P3	,750	3	,010
	P4	,832	3	,194
	P5	,811	3	,140
	P6	,770	3	,044

Fuente: Proceso de coagulación y floculación (2018)
Elaborado por: Stalin Brigss

Al analizar la normalidad de parámetro cromo, se observa en la tabla 19, que el p_value es mayor al nivel de significancia en los casos de las pruebas uno, tres, y seis; es decir, no hay relación de los datos con la distribución normal.

Tabla 20. Prueba de normalidad del porcentaje de mejora debido al Plomo

TRATAMIENTO	Estadístico	Shapiro-Wilk		
		gl	Sig.	
PLOMO	P1	,964	3	,637
	P2	,850	3	,241
	P3	,964	3	,637
	P4	,842	3	,220
	P5	,893	3	,363
	P6	,770	3	,010

Fuente: Proceso de coagulación y floculación (2018)
Elaborado por: Stalin Brigss

Al analizar el Test de Shapiro-Wilk la prueba de normalidad, como se observa en la tabla 20, el p_value es mayor al nivel de significancia en cada tratamiento, excepto es seis; por lo que, se estima que los datos se comportan como una distribución normal.

De manera general, los datos mostrados en el apartado anterior reflejan que; al menos para uno de los tratamientos de los parámetros: DBO₅, DQO, Sólidos Suspendidos, pH, Cromo y Plomo; se sigue una distribución normal en sus datos, con un nivel de significancia del 5%, en contraste con la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk; razón por la cual, se considera que, en general, los datos se encuentran distribuidos normalmente y se procede a realizar el análisis de la varianza.

- **Homogeneidad de las varianzas**

En el siguiente apartado, se muestra la existencia o no de igualdad en las varianzas de cada uno de los parámetros siendo otro de los supuestos para el análisis ANOVA; este análisis será ejecutado mediante el Test de Levene, para comparar las poblaciones de los distintos tratamientos, cuya prueba de hipótesis se expresa a continuación:

Ho: las varianzas de los parámetros (DBO5, DQO, pH, SS, Cr, Pb) son iguales

Ha: las varianzas de los parámetros (DBO5, DQO, pH, SS, Cr, Pb) no son iguales

Es decir, si el valor_p es mayor a 0,05, entonces, no se Rechaza la Ho y concluimos que cumple el supuesto de homocedasticidad de las varianzas.

Tabla 21. Prueba de homogeneidad de varianzas

Parámetros	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
DBO5	,699	5	12	,635
DQO	,799	5	12	,571
PH	,210	5	12	,952
SOLIDOS_SUSPENDIDOS	,479	5	12	,785
CROMO	,769	5	12	,590
PLOMO	,174	5	12	,014

Fuente: Proceso de coagulación y floculación (2018)
Elaborado por: Stalin Brigss

Como podemos observar en la tabla 21, para que se cumpla el supuesto de homocedasticidad, las varianzas de los diferentes parámetros deben ser iguales, es decir debe cumplir que el p_value sea mayor al nivel de significancia (0,05); los resultados muestran que, con relación al estadístico de Levene, todos los parámetros tienen igualdad en sus varianzas (excepto por el plomo); por lo tanto, de forma general el conjunto de datos son homocedásticos.

Por lo anterior expuesto, se procede a realizar el análisis de varianza (ANOVA), debido a que, los supuestos de normalidad y homocedastidad se cumplen.

- **Análisis ANOVA**

Para el análisis de la variabilidad de las medias de los componentes aleatorios, se realiza a continuación un detalle del análisis factorial de varianzas. La forma general de la prueba de hipótesis es:

Ho: El parámetro: DBO₅-DQO-pH-SS-Cr-Pb, tiene efecto en los tratamientos.

Ha: El parámetro: DBO5-DQO-pH-SS-Cr-Pb, no tienen efecto en los tratamientos.

Si valor-p (Sig.) > 0,05 se Rechaza la Ho, nos permitirá verificar la existencia de diferencias significativas entre medias de los seis tratamientos, de los parámetros (DBO₅, DQO, pH, SS, Cr, Pb) analizados.

Tabla 22. Análisis de Varianza factorial para el estudio.

Parámetro		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
DBO5	Entre grupos	336651,11	5	67330,222	,890	,517
	Dentro de grupos	907616,00	12	75634,67		
	Total	1244267,11	17			
DQO	Entre grupos	127901891,83	5	25580378,36 7	,051	,998
	Dentro de grupos	6036601978,67	12	503050164,9		
	Total	6164503870,50	17			
pH	Entre grupos	1,94	5	,388	,434	,816
	Dentro de grupos	10,72	12	,89		
	Total	12,65	17			
SOLIDOS SUSPENDIDOS	Entre grupos	9289,61	5	1857,922	,057	,997
	Dentro de grupos	389228,00	12	32435,67		
	Total	398517,61	17			
CROMO	Entre grupos	55,69	5	11,138	,034	,999
	Dentro de grupos	3909,73	12	325,81		
	Total	3965,42	17			
PLOMO	Entre grupos	194,50	5	38,900	1,341	,312
	Dentro de grupos	348,00	12	29,00		
	Total	542,50	17			

Fuente: Proceso de coagulación y floculación (2018)
Elaborado por: Stalin Brigss

El ANOVA de un factor, como se observa en la Tabla 22, se muestra que cada uno de los parámetros analizados *el p_value* es mayor a 0,05, es decir, que las diferencias de media entre los grupos de tratamiento no son significativas; no se rechaza la hipótesis nula, lo cual sugiere que los parámetros: DBO5-DQO-pH-SS-Cr-Pb tienen efecto sobre los tratamientos realizados. El análisis de la varianza (ANOVA), en cuanto a su nivel de significancia, no se encontró diferencias significativas entre cada una de ellas.

DISCUSIÓN

Este estudio investigativo, tuvo como principal objetivo identificar, analizar y comprobar, la manera óptima para disminuir la carga contaminante de un efluente del proceso flexográfica en una industria de la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay.

Para la caracterización de los parámetros medidos y analizar sus valores promedio en las aguas, implementando los tratamientos con los niveles de floculante y coagulante, los valores de DQO indicaron gran contaminación química en el agua, al igual que los sólidos suspendidos, mediante el análisis estadístico de las diferencias significativas entre las variables y combinaciones, como lo afirma un estudio de la evaluación de los procesos de coagulación para el tratamiento de aguas residuales que analiza la eliminación por el proceso de coagulación y floculación para obtener características físicas y microbiológicas para su vertimiento y reúso de las aguas residuales, cuyos resultados mostraron efectos eficientes en contaminantes físico y químicos, respectivamente (Veliz y Llanes, 2015).

Dentro de los resultados obtenidos, como pudimos observar de las muestras de laboratorio mediante el Test de Jarras, que el proceso de coagulantes y floculantes, origina un proceso positivo en el tratamiento del agua residual calificándola; tal como señala, un estudio realizado sobre el proceso de coagulación y floculación para el tratamiento de aguas residuales implementado en México, donde, prueba la efectividad del proceso obteniendo resultados óptimos en el tratamiento de aguas residuales, contaminadas por empresas industriales (Ramirez y Durán).

Dentro de los resultados obtenidos del nivel de remoción de contaminación de las aguas residuales, y siendo el tratamiento 2 el más efectivo para eliminar contaminantes del agua residual de la empresa, un estudio sobre el proceso de coagulación y floculación de la reutilización en riego agrícola, se mostró que los principales niveles de contaminación de las aguas residuales dentro de los tratamientos realizados se reduce en un 60% el nivel de contaminantes, mediante parámetros físico-químico en 84% y microbiológicos en 99%, lo cual permite la reutilización del agua en riego agrícola; mostrando que la dosis óptima de contaminantes permite la correcta disminución de contaminantes en el agua (Asela, 2011).

De la misma manera, analizando la ozonización de aguas residuales mediante la combinación de procesos de coagulación y floculación (Véliz, 2010), para la eliminación de la carga orgánica y aumentar las concentraciones de oxígeno disuelto en las aguas tratadas, este estudio de tratamientos de aguas residuales mostró, que con la correcta dosis de Sulfato de

Aluminio (6/100 mg/l) y floculante de 0,5 mg/l, demostró la eficiencia de la turbiedad de las aguas residuales, reduciendo el nivel de contaminantes físico-químicos en un 90% y 99%; en cambio, en nuestro estudio con el nivel de dosis adecuada de floculante y coagulante se pudo clarificar un 68% de los niveles de contaminantes en el agua, dentro de los parámetros analizados.

CONCLUSIONES

- Del análisis de caracterización del agua residual de la industria cartonera Cartopel, las condiciones iniciales promedio, muestran un alto porcentaje de contaminantes, que incumplen la normativa ecuatoriana TULSMA, entre ellos DQO = 38766 mg/l; DBO = 764 mg/l; Cr = 54,46 ug/l ; Pb= 51,76 ug/l.
- De la experimentación realizada se determinó que el tratamiento dos (la combinación de sulfato de aluminio y TR10-F) es la más eficiente a la hora de remover este tipo de contaminantes dando una eficiencia de alrededor del 96% para DQO, aproximadamente 98% en sólidos suspendidos; 66% para el Cr y de 35% para el Pb.
- De la evaluación global con los parámetros evaluados en los tratamientos uno (T1) y dos (T2) se pudo determinar que los dos tratamientos aplicados logran remociones considerables de aproximadamente 57% y 60%, respectivamente. Por lo tanto, se puede apreciar que el tratamiento dos logra remover en mayor cantidad los contaminantes presentes en el agua residual analizada, por lo que se lo considera de momento como el más adecuado.
- En el análisis estadístico, la cual nos refleja si la composición de los datos es el adecuado para la distribución de las muestras, se obtuvo que los datos analizados de los tratamientos uno y dos, estadísticamente muestran una relación de normalidad; de igual manera, sus varianzas son homocedásticos y en sus medias no se encontraron diferencias significativas.

RECOMENDACIONES

- Calcular la dosificación de coagulante y floculante, mediante el Jar-Test o Test de Jarras que servirá como tratamiento primario, para la clarificación del agua contaminada por las empresas cartoneras, ya que, de no ser así dificultará a la dosificación correcta, afectando el proceso de tratamiento.
- Realizar una investigación a profundidad, donde se puedan plantear e implementar métodos como el aerobio y anaerobio, para luego de ello, comparar los porcentajes de remoción y conocer la efectividad entre ellos.
- Utilizar el método de dosificación planteado, con la finalidad, de suministrar de manera óptima el coagulante y floculante; con ello, traerá beneficios físico-químicos y económicos tanto a las industrias como al medio ambiente.
- Analizar el cambio del PAC por el Sulfato de Aluminio, puesto que, este último compuesto no es tóxico, no es peligroso y no produce daños internos en las tuberías.
- Conseguir que el floculante, genere un tamaño ideal adecuado para que el tiempo del floculador sea idóneo y con ello, garantizar la dosis de coagulante suministrado, tomando en consideración la velocidad y el tiempo de agitación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, M. I., Sáez, J., Lloréns, M., Soler, A., & Ortuño, J. F. (2012). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación*. Murcia: EDITUM.
- Andía. (2014). Tratamiento de agua: coagulación-floculación. *SEDAPAL*, 20, 1-44.
- Arnau, J., & Bono, R. (2000). *Diseños experimentales: prácticas*. Barcelona: Text guía.
- Asela. (2011). *Coagulación, floculación, filtración de agua residual en riego agrícola*. Mexico: Centro Nacional de Investigaciones Científicas Dirección de Medio Ambiente.
- Barba, L. (2002). *Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición*. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Calidra, G. (2002). *Manual de usos ecológicos de la cal*. México: Grupo Calidra Química Natural.
- Cámara de Comercio e Industria de Zaragoza. (2006). *Guía de Buenas Prácticas Ambientales en el sector de Artes Gráficas*. Zaragoza.
- Cannavos G. (2005). *Probabilidad y Estadística: aplicación y Métodos*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Cartopel. (18 de enero de 2018). <http://www.cartopel.com>. Obtenido de http://www.cartopel.com/ords/f?p=102:16:::P0_V_ID_IDIOMA_NR,P0_V_ID_PAGINA_NR,P0_V_ID_MENU_NR,P16_V_RST_YN:1,31,83,1
- Chaple, E. B. (1999). *Enfermedades transmitidas a través de las aguas*. La Habana, Cuba.
- Díaz, A. (2009). *Diseño estadístico de experimentos* (2da ed.). Antioquia, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.
- Espigares, M., & y Pérez, J. (2003). *Aguas residuales. Composición*. Granada.
- ETAPA. (2017). *Características de la Empresa*. Cuenca.
- Feria Díaz, J. J., Bermúdez Roa, S. y Estrada Tordecilla, A. M. (2014). Eficiencia de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *Producción+ Limpia*, 9(1), 9-22.
- Fundación Entorno. (1998). Informe medioambiental del sector artes gráficas.
- Gómez, N. (2015). Remoción de materia Orgánica por Coagulación - Floculación. 1 (113).
- Guardián, R., & Coto, J. (junio de 2011). Estudio preliminar del uso de la semilla de (tamarindus indica) en la coagulación-floculación de aguas residuales. *Tecnología en Marcha*, 18-26.
- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., y García, R. (. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 253-262.
- IPCC. (2013). *Cambio climático 2013: Bases físicas*.
- Istobal España. (2007). Las aguas bien tratadas. *Interempresas*.

- Lazaar, S. B. (2012). El principio de precaución en el derecho internacional del medio ambiente. *Tesis de maestría. Universidad Internacional de Andalucía.*
- Leyva-Mir, S. G., Vega-Portillo, H. E., Villaseñor-Mir, H. E., Tlapal-Bolaños, B., Vargas-Hernández, M., Camacho-Tapia, M., y Tovar-Pedraza, J. M. (2017). Caracterización de Especies de Fusarium Causantes de pudrición de Raíz de trigo en el Bajío. *Chilean journal of agricultural & animal sciences.*
- Llano, B. A., Cardona, J. F., Ocampo, D., y Ríos, L. A. (2014). Tratamiento Físicoquímico de las Aguas Residuales Generadas Tratamiento Físicoquímico de las Aguas Residuales Generadas en el Proceso de Beneficio de Arcillas y Alternativas de Uso de los Lodos Generados en el Proceso. *Información tecnológica, 25(3), 73-82.*
- Lopez. (2015). *Análisis de Coeficiente de Correlación* . Escuela Superior de Informática.
- Matiz, L. (2008). *Optimización del proceso de floculación en la planta de tratamiento de agua potable.* Bogotá.
- Mendenhall, Sincich. (2005). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y ciencias* . Mexico: Mc GrawHill Interamericana.
- Mompremier, R. (2012). *Difusión de Sustancias en redes de Tuberías a presión.*
- Montes, A. G. (2015). *¿Qué es la flexografía? gráfica.*
- Montgomery, D. (2004). *Diseño de Experimentos (2da. ed.).* México: Limusa.
- (2004). *Norma de Calidad Ambiental y descarga de efluente: Recurso Agua Libro VI anexo 1.*
Obtenido de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>
- Novotny, V. (2003). *Quality: Diffuse pollution y Watershed management.* Inc. Boston. USA.
- Orellana, J. (2015). Tratamiento de Aguas. *Ingeniería sanitaria, 1 (123).*
- Orozco, A., & Salazar, A. (1989). *Tratamiento biológico de la saguas residuales.* Medellin.
- Pedrosa. (2015). Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones simétricas, ¿qué estadístico utilizar? *Universitas Psychologica, 14(1), 245.*
- Perez, C. (2004). *Máquina de impresión flexográfica 4 colores.*
- Ramirez&Durán. (s.f.). *Proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de aguas residuales.* México: Instituto de Ingeniería UNAM.
- Restrepo, H. (2009). *Evaluación del Proceso de Coagulación-Floculación de una planta de tratamiento de agua potable.* Chile.
- Reynolds, K. (2002). Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica: identificación del problema. *Agua Latinoamericana, 1-4.*
- Rodríguez, L. (2016). Estabilidad de los Sistemas Coloidales.
- Sánchez, J. (2003). *Evaluación y monitoreo microbiológico y físicoquímico de una planta de tratamiento de agua residual por rizofiltración.* Bogota D.C. Colombia.
- Silva, M. G. (07 de Febrero de 2007). "El cambio climático es un desafío generacional. Tenemos que ser la generación que hizo lo que debía". *El País.*

- Vazquez, E. (2017). *Contaminación del agua: causas, consecuencias y soluciones*. México.
- Véliz. (2010). *Proceso de tratamiento de coagulación y floculación de aguas residuales municipales*. México: Centro de Investigaciones de Ozono.
- Veliz&LLanes. (2015). *Evaluación de la eficiencia de los procesos de coagulación y floculación*. Mexico: Universidad Autónoma de Sinaloa.

ANEXOS

Anexo 1: Pruebas de agua cruda

LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. – Cuenca Telf : 4175557 - 4175568	Laboratorio de Ensayo Acreditado por el OAE con Acreditación N° OAE LE 2C 06-004	INFORME DE RESULTADOS Página 1 de 1
---	---	---

FECHA: 2018/01/17

INFORME N°: 011/18

CLIENTE

NOMBRE: CARTONES NACIONALES CARTOPEL
 DIRECCIÓN: Cornelio Vintimilla y Carlos Tosi - Cuenca

MUESTRA

CODIGO: 011/01-02/18
 DESCRIPCIÓN: Efluente de proceso
 PROCEDENCIA: Cartopel
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2018/01/10
 ENTREGADAS POR: Ing. Mario Morocho

RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	AGUA PIGMENTO 011/01/18	AGUA TRATADA PIGMENTO 011/02/18
DBO5	PEE/L.S/FQ/01	2018/01/10 2018/01/15	mg/l	"	450
DQO	PEE/L.S/FQ/06	2018/01/12	mg/l	43611*	1497
pH	PEE/L.S/FQ/07	2018/01/10		8.77	7.74
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	PEE/L.S/FQ/04	2018/01/11	mg/l	10220*	74
CROMO	PEE/L.S/Al/04	2018/01/12	µg/l	66.8	< 20
PLOMO	PEE/L.S/Al/04	2018/01/12	µg/l	< 50	< 50

** La DBO es menor a la esperada, < 4000mg/l.
 SM: STANDARD METHODS. Edición 22

PARAMETRO	DBO5	DQO (>100)	DQO (<100)	SÓLIDOS SUSPEND.	CROMO	PLOMO	pH
INCERTIDUMBRE	16.12 % (95 % k=1.96)	12.7% (95 % k=1.96)	13.05% (95 % k=1.96)	10.70% (95 % k=1.96)	3.1 % (95 % k=1.96)	3.3 % (95 % k=1.96)	2.00 % (95 % k=2.01)

Atentamente,


 Ing. María José Chérrez
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.
- "Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE"

MCD006-13

LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. – Cuenca Telf : 4175557 - 4175568	Laboratorio de Ensayo Acreditado por el OAE con Acreditación N° OAE LE 2C 06-004	INFORME DE RESULTADOS Página 1 de 1
---	---	---

FECHA: 2018/01/17

INFORME N°: 012/18

CLIENTE

NOMBRE: CARTONES NACIONALES CARTOPEL
 DIRECCIÓN: Comello Vintimilla y Carlos Tosi - Cuenca

MUESTRA

CODIGO: 012/01/18
 DESCRIPCIÓN: Efluente de proceso
 PROCEDENCIA: Cartopel
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2018/01/10
 ENTREGADAS POR: Ing. Mario Moracho

RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	D1 012/01/18
DBO5	PEELLS/FQ/01	2018/01/10 2018/01/15	mg/l	715
DQO	PEELLS/FQ/06	2018/01/10	mg/l	1741
pH	PEELLS/FQ/07	2018/01/10		6,57
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	PEELLS/FQ/04	2018/01/11	mg/l	79

SM: STANDARD METHODS, Edición 22

PARAMETRO	DBO5	DQO (>100)	DQO (<100)	SÓLIDOS SUSPEND.	pH
INCERTIDUMBRE	18.12 % (85.5, k=1.98)	12.75 % (85.5, k=1.98)	13.05 % (96.5, k=1.99)	10.76 % (96.5, k=1.98)	3.03 % (96.5, k=2.01)

Atentamente,


 Bgd. María José Chérrez
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.
- "Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE"

Anexo 2: Pruebas de Saneamiento en Laboratorio

LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. - Cuenca Telf : 4175557 - 4175568	Laboratorio de Ensayo Acreditado por el OAE con Acreditación N° OAE LE 2C 06-004	INFORME DE RESULTADOS Página 1 de 1
---	---	---

INFORME N°: 125/18

CLIENTE

NOMBRE: CARTONES NACIONALES - CARTOPEL
 DIRECCIÓN: Cornelio Vintimilla y Carlos Tosi - Cuenca

MUESTRA

CODIGO: 125/01-02/18
 DESCRIPCIÓN: Efluente de proceso
 PROCEDENCIA: Cartopel
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2018/03/20
 ENTREGADAS POR: Sr. Stanlin Briges

RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	T	T2
				125/01/18	125/02/18
DBO5	PEE/LS/FQ/01	2018/03/20 2018/03/25	mg/l	900	380
ODD	PEE/LS/FQ/06	2018/03/20	mg/l	* 33282	1483
pH	PEE/LS/FQ/07	2018/03/20		8.51	6.24
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	PEE/LS/FQ/04	2018/03/20	mg/l	3940	28
CROMO	PEE/LS/Al/04	2018/03/23	µg/l	51.2	< 20
PLOMO	PEE/LS/Al/04	2018/03/23	µg/l	< 50	< 50

SM: STANDARD METHODS, Edición 23

PARAMETRO	DBO5	ODD (+103)	ODD (+103)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS	CROMO	PLOMO	pH
INTERVALLO	19.12%	10.7%	13.05%	13.76%	2.1%	3.3%	3.01%
	(28.1% ±1.05)	(25.5% ±1.99)	(26.7% ±1.98)	(25.5% ±1.89)	(23.5% ±1.80)	(21.5% ±1.78)	(26.5% ±2.01)

Atentamente,


 BIOD. María José Chérrez
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.
- "Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE"

MCO406-13

LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. - Cuenca Telf : 4175557 - 4175568	Laboratorio de Ensayo Acreditado por el OAE con Acreditación N° OAE LE 2C 05-004	INFORME DE RESULTADOS Página 1 de 1
---	---	---

INFORME N°: 129/18

CLIENTE

NOMBRE: CARTONES NACIONALES CARTOPEL
 DIRECCIÓN: Camello Vintimilla y Carlos Tosi - Cuenca

MUESTRA

CODIGO: 129/01-02/18
 DESCRIPCIÓN: Efluente de proceso
 PROCEDENCIA: Cartopel
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2018/03/21
 ENTREGADAS POR: Sr. Stalin Briggs

RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	T 12/01/18	T2 12/02/18
DBO5	PEE/LS/FQ/01	2018/03/21 2018/03/25	mg/l	**	383
DOO	PEE/LS/FQ/06	2018/03/21	mg/l	*53466	1701
pH	PEE/LS/FQ/07	2018/03/21		8.44	7.57
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	PEE/LS/FQ/04	2018/03/21	mg/l	3760	32
CROMO	PEE/LS/A/04	2018/03/23	µg/l	95.8	< 20
PLOMO	PEE/LS/A/04	2018/03/23	µg/l	68.3	< 50

*La DOO es menor a la esperada, < 2000mg/l.
 SM: STANDARD METHODS, Edición 23

PARAMETRO	DBO5	DOO (<100)	DOO (<100)	pH	SOLIDOS SUSPENDIDOS	CROMO	PLOMO
INCERTIDUMBRE	10.12%	12.7%	13.06%	3.03%	10.76%	3.1%	2.2%
	(0.5%, ±1.00)	(0.5%, ±1.30)	(0.5%, ±1.00)	(0.5%, ±0.03)	(0.5%, ±1.00)	(0.5%, ±1.00)	(0.5%, ±1.00)

Atentamente,


 Blog. María José Chérrez
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.
- "Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE"

MC0406-13

LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. – Cuenca Telf: 4175557 - 4175568	Laboratorio de Ensayo Acreditado por el OAE con Acreditación N° OAE LE 2C 06-004	INFORME DE RESULTADOS Página 1 de 1
--	---	---

INFORME N°: 152/18

CLIENTE

NOMBRE: CARTONES NACIONALES CARTOPEL
 DIRECCIÓN: Cornelio Vintimilla y Carlos Tosi - Cuenca

MUESTRA

CODIGO: 152/01-02/18
 DESCRIPCIÓN: Efluente de proceso
 PROCEDENCIA: Cartopel
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2018/04/09
 ENTREGADAS POR: Ing. Mario Morocho


RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	T 152/01/18	T2 152/02/18
DBO5	PEE/LS/FQ/01	2018/04/09 2018/04/14	mg/l	1060	500
DQO	PEE/LS/FQ/06	2018/04/09	mg/l	29740	1821
pH	PEE/LS/FQ/07	2018/04/09		7.98	8.52
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	PEE/LS/FQ/04	2018/04/09	mg/l	2780	14
CROMO	PEE/LS/A/04	2018/04/05	µg/l	44	< 20
PLOMO	PEE/LS/A/04	2018/04/16	µg/l	< 50	<50

SM: STANDARD METHODS, Edición 23

PARAMETRO	DBO5	DQO (>100)	DQO (<100)	pH	SOLIDOS SUSPEND.	CROMO	PLOMO
INCERTIDUMBRE	15.02 % (95 %, k=1.90)	12.7% (95 %, k=1.90)	13.06% (95 %, k=1.90)	3.03 % (95 %, k=2.01)	10.76% (95 %, k=1.90)	3.1 % (95 %, k=1.90)	3.3 % (95 %, k=1.90)

Atentamente,


 Bioq. María José Chérrez
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.
- "Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE"

MC0406-14

LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. - Cuenca Telf : 4175557 - 4175568	Laboratorio de Ensayo Acreditado por el OAE con Acreditación N° OAE LE 2C 06-004	INFORME DE RESULTADOS Página 1 de 1
---	---	---

INFORME N°: 174/18

CLIENTE

NOMBRE: CARTONES NACIONALES CARTOPEL
 DIRECCIÓN: Cornelio Vinimilla y Carlos Toal - Cuenca

MUESTRA

CODIGO: 174/01-03/18
 DESCRIPCIÓN: Efluente de proceso
 PROCEDENCIA: Cartopel
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2018/04/27
 ENTREGADAS POR: Ing. Mario Merocho

RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	T 174/01/18	T2 174/02/18
DBO5	PEE/LS/FQ/01	2018/04/27 2018/05/01	mg/l	700	410
DOO	PEE/LS/FQ/06	2018/04/27	mg/l	45174*	1550
pH	PEE/LS/FQ/07			8,21	8,58
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	PEE/LS/FQ/04	2018/04/27	mg/l	3700	24
CROMO	PEE/LS/A/04	2018/05/04	µg/l	44,4	< 20
PLOMO	PEE/LS/A/04	2018/05/04	µg/l	< 50	< 50

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	T1 174/03/18
DBO5	PEE/LS/FQ/01	2018/04/27 2018/05/01	mg/l	345
DOO	PEE/LS/FQ/06	2018/04/27	mg/l	1700
pH	PEE/LS/FQ/07			6,97
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	PEE/LS/FQ/04	2018/04/27	mg/l	14
CROMO	PEE/LS/A/04	2018/05/04	µg/l	< 20
PLOMO	PEE/LS/A/04	2018/05/04	µg/l	< 50

SM STANDARD METHODS, Edición 23

PARAMETRO	DBO5	DOO p-100	DOO (-100)	pH	SÓLIDOS SUSPEND.	CROMO	PLOMO
INCERTIDUMBRE	14,12 % (95 %, k=1,96)	12,75 % (95 %, k=1,96)	12,05 % (95 %, k=1,96)	3,03 % (90 %, k=1,281)	14,70 % (95 %, k=1,96)	2,1 % (95 %, k=1,96)	3,3 % (95 %, k=1,96)

Atentamente,


 Biot: María José Chávez
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.
- "Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE"

MC0406-14

LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. - Cuenca Telf : 4175557 - 4175568	Laboratorio de Ensayo Acreditado por el DAE con Acreditación N° OAE LE 2C 05-004	INFORME DE RESULTADOS Página 1 de 1
---	---	---

INFORME N°: 187/18

CLIENTE
 NOMBRE: CARTONES NACIONALES CARTOPEL
 DIRECCIÓN: Cornelio Vintimilla y Carlos Tola - Cuenca

MUESTRA
 CÓDIGO: 187/01-03/18
 DESCRIPCIÓN: Efluente de proceso
 PROCEDENCIA: Cartopel
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2018/05/11
 ENTREGADAS POR: Ing. Stanli Briggs

RESULTADOS


PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	T 187/01/18	T2 187/02/18
DBO5	PEE/LS/FQ/01	2018/05/11 2018/05/16	mg/l	900	340
DDO	PEE/LS/FQ/06	2018/05/11	mg/l	35501*	1417
pH	PEE/LS/FQ/07	2018/05/11		8.25	7.12
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	PEE/LS/FQ/04	2018/05/11	mg/l	2800	20
CROMO	PEE/LS/AI/04	2018/05/17	µg/l	42.6	< 20
PLÓMO	PEE/LS/AI/04	2018/05/17	µg/l	< 50	< 50

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	T1 187/03/18
DBO5	PEE/LS/FQ/01	2018/05/11 2018/05/16	mg/l	390
DDO	PEE/LS/FQ/06	2018/05/11	mg/l	1669
pH	PEE/LS/FQ/07	2018/05/11		9.10
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	PEE/LS/FQ/04	2018/05/11	mg/l	16
CROMO	PEE/LS/AI/04	2018/05/17	µg/l	< 20
PLÓMO	PEE/LS/AI/04	2018/05/17	µg/l	< 50

SM STANDARD METHODS, Edición 23

PARAMETRO	DBO5	DDO (1-100)	DDO (1-180)	pH	SÓLIDOS SUSPEND.	CROMO	PLÓMO
INCERTIDUMBRE	18.1% (95 %, k=1.96)	12.7% (95 %, k=1.96)	13.05% (95 %, k=1.96)	3.01% (95 %, k=1.96)	10.76% (95 %, k=1.96)	3.1% (95 %, k=1.96)	2.3% (95 %, k=1.96)

Atentamente,


 Biot. María José Chérrez
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.
- "Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE"

MC0405-14

LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. - Cuenca Telf : 4175557 - 4175568	Laboratorio de Ensayo Acreditado por el OAE con Acreditación N° OAE LE 2C 06-004	INFORME DE RESULTADOS Página 1 de 1
---	---	---

INFORME N°: 190/18

CLIENTE
 NOMBRE: CARTONES NACIONALES CARTOPEL
 DIRECCIÓN: Corralito Vintimilla y Carlos Tosi - Cuenca

MUESTRA
 CODIGO: 190/01-04/18
 DESCRIPCIÓN: Efluente de proceso
 PROCEDENCIA: Cartopel
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2018/05/15
 ENTREGADAS POR: Ing. Stanli Briggs

RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	T 190/01/18	T1 190/02/18
DBO5	PEE/LS/FQ/01	2018/05/15 2018/05/20	mg/l	830	530
DOO	PEE/LS/FQ/06	2018/05/15	mg/l	40023*	1714
pH	PEE/LS/FQ/07	2018/05/15		6.37	6.84
SÓLIDOS TOTALES	SUSPENDIDOS PEE/LS/FQ/04	2018/05/15	mg/l	2520	< 6
CROMO	PEE/LS/AI/04	2018/05/17	µg/l	55	< 20
PLOMO	PEE/LS/AI/04	2018/05/17	µg/l	< 50	< 50

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	T1.1 190/03/18	T2 190/04/18
DBO5	PEE/LS/FQ/01	2018/05/15 2018/05/20	mg/l	510	380
DOO	PEE/LS/FQ/06	2018/05/15	mg/l	1452	1184
pH	PEE/LS/FQ/07	2018/05/15		6.77	7.11
SÓLIDOS TOTALES	SUSPENDIDOS PEE/LS/FQ/04	2018/05/15	mg/l	28	< 6
CROMO	PEE/LS/AI/04	2018/05/17	µg/l	< 20	< 20
PLOMO	PEE/LS/AI/04	2018/05/17	µg/l	< 50	< 50

SM: STANDARD METHODS, Edición 23

PARAMETRO	DBO5	DOO (p=100)	DOO (p=150)	pH	SÓLIDOS SUSPEND.	CROMO	PLOMO
RECORRIDOS	- 19.12 % (06.5% a 1.00)	12.1% (03.5% a 1.00)	13.96% (05.5% a 1.00)	2.03 % (05.5% a 2.03)	10.70% (05.5% a 1.00)	3.1 % (05.5% a 1.00)	3.0 % (05.5% a 1.00)

Atentamente,


 Bíoq. María José Chérrez
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.
- "Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE"

MC0405-14

LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. – Cuenca Telf : 4175557 - 4175558	Laboratorio de Ensayo Acreditado por el OAE con Acreditación N° OAE LE 2C 06-004	INFORME DE RESULTADOS Página 1 de 1
---	---	---

INFORME N°: 209/18

CLIENTE
 NOMBRE: CARTONES NACIONALES CARTOPEL
 DIRECCIÓN: Cornelia Vintimilla y Carlos Toal - Cuenca

MUESTRA
 CODIGO: 209/01-02/18
 DESCRIPCIÓN: Efluente de proceso
 PROCEDENCIA: Cartopel
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2018/05/28
 ENTREGADAS POR: Ing. Stanli Briggs


RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	T 1 209/01/18	T1.1 209/02/18
DBO5	PEE/LS/FQ/01	2018/05/28 2018/06/02	mg/l	280	340
DOO	PEE/LS/FQ/08	2018/05/28	mg/l	1972	1948
pH	PEE/LS/FQ/07	2018/05/28		6.75	6.71
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	PEE/LS/FQ/04	2018/05/28	mg/l	14	17
CROMO	PEE/LS/A/04	2018/06/01	µg/l	< 20	< 20
PLOMO	PEE/LS/A/04	2018/06/01	µg/l	< 50	< 50

SM: STANDARD METHODS, Edición 23

PARAMETRO	DBO5	DOO (+100)	DOO (+100)	pH	SÓLIDOS SUSPEND.	CROMO	PLOMO
INCERTIDUMBRES	10.32 %	13.7%	13.03%	0.02 %	10.76%	3.1 %	3.3 %
	25 %, k=1.88	25 %, k=1.88	25 %, k=1.88	20 %, k=2.01	25 %, k=1.88	25 %, k=1.88	25 %, k=1.88

Atentamente,


 Biot. María José Chérrez
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.
- "Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE"

MC0408-14

Anexo 3: Cálculo de la Eficiencia de Remoción de contaminantes del agua residual

Prueba 1	T0	T1	T2	RT1	RT2
DBO5	900	510	380	43,33%	57,78%
DQO	33282	1462	1483	95,61%	95,54%
pH	8,51	6,77	6,24	20,45%	26,67%
SS	3940	28	28	99,29%	99,29%
Cr	51,2	20	16	60,94%	68,75%
Pb	50	42	33	16,00%	34,00%
Promedio				55,94%	63,67%
Prueba 2	T0	T1	T2	RT1	RT2
DBO5	830	280	383	66,27%	53,86%
DQO	53466	1972	1701	96,31%	96,82%
pH	8,44	6,76	7,57	19,91%	10,31%
SS	3760	14	32	99,63%	99,15%
Cr	95,8	19	16	80,17%	83,30%
Pb	68,3	40	33	41,43%	51,68%
Promedio				67,29%	65,85%
Prueba 3	T0	T1	T2	RT1	RT2
DBO5	1060	340	500	67,92%	52,83%
DQO	29740	1948	1821	93,45%	93,88%
pH	7,98	6,71	8,52	15,91%	-6,77%
SS	278	17	14	93,88%	94,96%
Cr	44	19	19	56,82%	56,82%
Pb	44	38	32	13,64%	27,27%
Promedio				56,94%	53,17%
Prueba 4	T0	T1	T2	RT1	RT2
DBO5	760	345	345	54,61%	54,61%
DQO	45174	1700	1550	96,24%	96,57%
pH	8,21	6,97	6,97	15,10%	15,10%
SS	3700	14	24	99,62%	99,35%
Cr	44,4	20	17	54,95%	61,71%
Pb	50	47	34	6,00%	32,00%
Promedio				54,42%	59,89%
Prueba 5	T0	T1	T2	RT1	RT2
DBO5	900	390	340	56,67%	62,22%
DQO	35501	1869	1417	94,74%	96,01%
pH	8,25	9,1	7,12	-10,30%	13,70%
SS	2860	16	20	99,44%	99,30%
Cr	41,6	17	19	59,13%	54,33%
Pb	50	43	37	14,00%	26,00%
Promedio				52,28%	58,59%
Prueba 6	T0	T1	T2	RT1	RT2
DBO5	830	530	380	36,14%	54,22%
DQO	40923	1714	1184	95,81%	97,11%
pH	8,37	6,84	7,11	18,28%	15,05%
SS	252	5	5	98,02%	98,02%
Cr	53	15	16	71,70%	69,81%
Pb	50	44	30	12,00%	40,00%
Promedio				55,32%	62,37%