

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA AMBIENTAL

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS AMBIENTALES

TEMA:
TRATAMIENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS PROVENIENTES DE POSTCOSECHA
DE FLORÍCOLAS MEDIANTE OXIDACIÓN AVANZADA

Autores:
LUIS EDUARDO BASANTES JÁCOME
KEVIN STEVE GARCÍA QUISHPE

DOCENTE TUTOR:
RENATO GABRIEL SÁNCHEZ PROAÑO

Quito, marzo 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Luis Eduardo Basantes Jácome, con documento de identificación N° 1722506498 y Kevin Steve García Quishpe, con documento de identificación N° 1722074687, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: **“TRATAMIENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS PROVENIENTES DE POSTCHSECHA DE FLORÍCOLAS MEDIANTE OXIDACIÓN AVANZADA”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Ambientales, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nombre: Luis Eduardo Basantes Jácome

Cédula: 172250649-8



Nombre: Kevin Steve García Quishpe

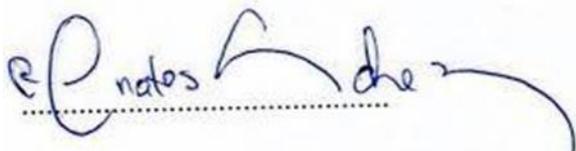
Cédula: 172207468-7

Marzo, 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de investigación, **“TRATAMIENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS PROVENIENTES DE POSTCHSECHA DE FLORÍCOLAS MEDIANTE OXIDACIÓN AVANZADA”** realizado por: Luis Eduardo Basantes Jácome y Kevin Steve García Quishpe, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, marzo del 2020

A handwritten signature in blue ink, reading "Renato Sánchez Proaño", written over a horizontal dotted line. The signature is cursive and includes a long horizontal stroke at the end.

Renato Gabriel Sánchez Proaño

171554240-1

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a toda mi familia que siempre ha estado apoyándome en este camino brindándome palabras de aliento y motivación para finalizar mi carrera, en especial a mis padres Ana Quishpe y Hugo García que han sido mi inspiración y motor porque gracias a su esfuerzo y sacrificio he podido cumplir con mi sueño. A mi hermano Andrés García, porque a pesar de la distancia que tuvimos a lo largo del término de mis estudios siempre estuvo apoyándome y alentándome a seguir adelante y nunca dejarme vencer por nada.

A mi novia Katherine Alvear por todo su apoyo, ayuda y paciencia en la realización de esta tesis, ya que con ella todo lo vivido y aprendido fue más ameno y por hacer que mis últimos semestres en la universidad sean mucho mejores.

A mis queridos amigos y compañeros de aventuras los CTMs : Sox, R, SO, Jeff, Gato, Wuacho, Pulpo, Lanchis, Jou y Pancho . Que hicieron de mi paso por la Universidad una experiencia amena, aprendiendo juntos sobre la verdadera amistad y sobre todo siendo un apoyo no solo en los estudios, sino también en conflictos y adversidades, muchas gracias mis hermanos.

Kevin Steve García Quishpe

*A mis padres **Luis** y **Rocío**, gracias por todo su apoyo y su amor infinito; sin ustedes nada de esto sería posible, a Bryan mi hermano que con su gran carácter me transformo de por vida; pronto te veré en Portugal lo espero con ansias, a Jhelan mi hermano menor que con sus juegos siempre logro hacer más ameno el momento; gracias familia son lo mejor.*

Hermanos CTM mi segunda familia... con esto culmina una etapa más en la cual compartimos momentos alegres al igual que tristes; mil gracias hermanos por su apoyo.

Luis Eduardo Basántes Jácome

AGRADECIMIENTO

A Dios, porque cada paso de mi vida lo he tenido con él a mi lado, a mi familia en especial a mis padres por su apoyo y consejo en los diferentes obstáculos presentados, los quiero.

A la Universidad Politécnica Salesiana, y los docentes que la conforman porque con su capacidad y sabiduría me inculcaron conocimientos, tanto intelectuales como personales, en especial a mi Tutor Msc. Renato Sánchez, quien me ha orientado en cada paso de la realización de éste trabajo y me ha brindado muchas oportunidades y conocimientos a lo largo de este camino.

Agradezco a la Ing. Mishell Andrade cuya experiencia ayudó a culminar de mejor manera el trabajo experimental y por sus múltiples ayudas a lo largo de toda la tesis.

A mi compañero de tesis y colega de trabajo Luis Basantes cuya ayuda y conocimientos fueron muy importantes, gracias amigo.

Kevin Steve García

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por acogerme, esta gran institución fue el camino a un escalón más en mi vida, a mi amigo y profesor Renato Sánchez gracias por tu paciencia y tus enseñanzas y Michelle Andrade por su apoyo incondicional en la elaboración de este documento (algún día espero poder agradecerte por todo).

Luis Eduardo Basantes Jácome

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS	5
2.1. Objetivo General	5
2.2. Objetivo Específicos	5
3. MARCO TEÓRICO.....	6
3.1. Aguas residuales.....	6
3.2. Compuestos no biodegradables en las aguas residuales provenientes de la postcosecha	7
3.3. Sistemas de descontaminación con oxidación avanzada.....	8
3.3.1 Ozonificación.....	9
3.3.2 Fenton.....	10
3.3.3 Luz UV.....	11
3.4 Procesos de coagulación.....	11
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
4.1 Materiales.....	13
4.1.1 Reactivos y equipos	13
4.2 Métodos.....	15
4.2.1. Fase experimental.....	15
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
5.1. Resultados	22

5.1.1.	<i>Análisis Inicial</i>	22
5.1.2.	<i>Precipitación química</i>	26
5.1.3.	<i>Determinación del tiempo óptimo de ozonificación</i>	44
5.1.4.	<i>Oxidación avanzada</i>	49
5.1.5.	<i>Ozonificación avanzada con luz UV</i>	55
5.1.6.	<i>Prueba de confiabilidad de datos</i>	57
5.2.	Discusión	69
5.2.1.	<i>Turbidez</i>	70
5.2.2.	<i>Demanda Química de Oxígeno</i>	70
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
6.1.	Conclusiones	72
6.2.	Recomendaciones.....	72
7.	BIBLIOGRAFÍA	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Caracterización de las aguas residuales</i>	6
Tabla 2. <i>Químicos utilizados en flores y cultivos.</i>	8
Tabla 3. <i>Reactivos utilizados en la experimentación.</i>	13
Tabla 4. <i>Equipos utilizados en la determinación de parámetros y en el tratamiento de las aguas residuales.</i>	14
Tabla 5. <i>Parámetros químicos, físicos, biológicos y bacteriológicos del agua.</i>	17
Tabla 6. <i>Parámetros fisicoquímicos iniciales.</i>	22
Tabla 7. <i>Dosificación de sulfato de aluminio para evaluar el comportamiento de turbidez (NTU).</i>	27
Tabla 8. <i>Dosificación de policloruro de aluminio líquido para evaluar el comportamiento de turbidez (NTU).</i>	28
Tabla 9. <i>Dosificación de cloruro de hierro III para evaluar el comportamiento de turbidez (NTU).</i>	29
Tabla 10. <i>Dosificación de cloruro Poliamida para evaluar el comportamiento de turbidez (NTU).</i>	31
Tabla 11. <i>Dosificación de sulfato de aluminio para evaluar el comportamiento de turbidez (NTU).</i>	32
Tabla 12. <i>Dosificación de policloruro de aluminio líquido para evaluar el comportamiento de turbidez (NTU).</i>	33
Tabla 13. <i>Dosificación de cloruro de hierro III para evaluar el comportamiento de turbidez (NTU).</i>	35
Tabla 14. <i>Dosificación de poliamida para evaluar el comportamiento de turbidez (NTU).</i>	36

Tabla 15. <i>Dosificación de sulfato de aluminio para evaluar el comportamiento de turbidez (NTU).</i>	38
Tabla 16. <i>Dosificación de policloruro de aluminio líquido para evaluar el comportamiento de turbidez (NTU).</i>	40
Tabla 17. <i>Dosificación de cloruro de hierro III para evaluar el comportamiento de turbidez (NTU).</i>	41
Tabla 18. <i>Dosificación de poliamida para evaluar el comportamiento de turbidez (NTU).</i>	43
Tabla 19. <i>Valores de DQO obtenidos en base al tiempo de ozonificación.</i>	45
Tabla 20. <i>Valores de DQO obtenidos en base al tiempo de ozonificación.</i>	46
Tabla 21. <i>Valores de DQO obtenidos en base al tiempo de ozonificación.</i>	48
Tabla 22. <i>Variación de DQO en relación con las diferentes concentraciones de H₂O₂ y FeSO₄.</i>	50
Tabla 23. <i>Variación de DQO en relación con las diferentes concentraciones de H₂O₂ y FeSO₄.</i>	52
Tabla 24. <i>Variación de DQO en relación con las diferentes concentraciones de H₂O₂ y FeSO₄.</i>	54
Tabla 25. <i>Valores de DQO con ozonificación avanzada con luz UV por 8 horas.</i>	56
Tabla 26. <i>Cálculo de la media, desviación estándar y coeficiente de variación, de las dosificaciones de sulfato de aluminio de cada una de las muestras, con sus respectivas repeticiones.</i>	58
Tabla 27. <i>Cálculo de la media, desviación estándar y coeficiente de variación, de las dosificaciones de policloruro de aluminio líquido de cada una de las muestras, con sus respectivas repeticiones.</i>	59

Tabla 28. <i>Cálculo de la media, desviación estándar y coeficiente de variación, de las dosificaciones de cloruro de hierro III de cada una de las muestras, con sus respectivas repeticiones.</i>	61
Tabla 29. <i>Cálculo de la media, desviación estándar y coeficiente de variación, de las dosificaciones de poliamida de cada una de las muestras, con sus respectivas repeticiones.</i>	62
Tabla 30. <i>Cálculo de la media, desviación estándar y coeficiente de variación, de la ozonificación de cada una de las muestras, con sus respectivas repeticiones.</i>	63
Tabla 31. <i>Cálculo de la media, desviación estándar y coeficiente de variación, de la reacción Fenton de cada una de las muestras, con sus respectivas repeticiones.</i>	65
Tabla 32. <i>Análisis estadístico de turbidez con policloruro de aluminio líquido</i>	67
Tabla 33. <i>Análisis estadístico de DQO con fenton con 800 mg/L de H₂O₂ y 185 mg/L de FeSO₄ (dosis óptima).</i>	68

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1. <i>Valores iniciales de pH de las muestras recolectadas a ser utilizadas en el tratamiento de oxidación avanzada.</i>	40
Grafico 2. <i>Valores iniciales de conductividad eléctrica (ms) de las muestras recolectadas a ser utilizadas en el tratamiento de oxidación avanzada.</i>	40
Grafico 3. <i>Valores iniciales de turbidez (NTU) de las muestras recolectadas a ser utilizadas en el tratamiento de oxidación avanzada.</i>	41
Grafico 4. <i>Valores iniciales de temperatura (°C) de las muestras recolectadas a ser utilizadas en el tratamiento de oxidación avanzada.</i>	41
Grafico 5. <i>Valores iniciales de DQO (mg/L) de las muestras recolectadas a ser utilizadas en el tratamiento de oxidación avanzada.</i>	42
Grafico 6. <i>Comportamiento de turbidez (NTU) en base a las distintas dosificaciones de sulfato de aluminio.</i>	44
Grafico 7. <i>Comportamiento de turbidez (NTU) en base a las distintas dosificaciones de policloruro de aluminio líquido.</i>	45
Grafico 8. <i>Comportamiento de turbidez (NTU) en base a las distintas dosificaciones de cloruro de hierro III.</i>	47
Grafico 9. <i>Comportamiento de turbidez (NTU) en base a las distintas dosificaciones de poliamida.</i>	48
Grafico 10. <i>Comportamiento de turbidez (NTU) versus diferentes dosificaciones de sulfato de aluminio.</i>	50
Grafico 11. <i>Comportamiento de turbidez (NTU) versus diferentes dosificaciones de policloruro de aluminio líquido.</i>	51

Grafico 12. <i>Comportamiento de turbidez (NTU) versus diferentes dosificaciones de cloruro de hierro III.</i>	52
Grafico 13. <i>Comportamiento de turbidez (NTU) versus diferentes dosificaciones de poliamida.</i>	54
Grafico 14. <i>Comportamiento de turbidez (NTU) a diferentes dosificaciones de sulfato de aluminio.</i>	55
Grafico 15. <i>Comportamiento de turbidez (NTU) a diferentes dosificaciones de policloruro de aluminio líquido.</i>	57
Grafico 16. <i>Comportamiento de turbidez (NTU) a diferentes dosificaciones de cloruro de hierro III.</i>	58
Grafico 17. <i>Comportamiento de turbidez (NTU) a diferentes dosificaciones de poliamida.</i>	59
Grafico 18. <i>Comportamiento de la DQO (mg/L) a diferentes tiempos de ozonificación de la muestra 1.</i>	61
Grafico 19. <i>Comportamiento de la DQO (mg/L) a diferentes tiempos de ozonificación de la muestra 2.</i>	63
Grafico 20. <i>Comportamiento de la DQO (mg/L) a diferentes tiempos de ozonificación de la muestra 3.</i>	64
Grafico 21. <i>Comportamiento de la DQO (mg/L) a diferentes concentraciones de H_2O_2 y $FeSO_4$ de la muestra 1.</i>	66
Grafico 22. <i>Comportamiento de la DQO (mg/L) a diferentes concentraciones de H_2O_2 y $FeSO_4$ de la muestra 2.</i>	68
Grafico 23. <i>Comportamiento de la DQO (mg/L) a diferentes concentraciones de H_2O_2 y $FeSO_4$ de la muestra 3.</i>	70

Grafico 24. <i>Diagrama de flujo de la metodología utilizada</i>	72
Grafico 25. <i>Probabilidad para la turbidez con policloruro de aluminio líquido</i>	81
Grafico 26. <i>Probabilidad para la DQO con reacción fenton 800 mg/L de H₂O₂ y 185 mg/L de FeSO₄ (dosis óptima).</i>	82

RESUMEN

Las florícolas son consideradas como una de las industrias que generan un gran aporte económico en el país, sin embargo, los procesos productivos y de manufactura producen una gran contaminación de los efluentes a ser utilizados, debido a que intervienen diversos productos químicos, orgánicos e inorgánicos. Estos efluentes deben ser tratados antes de ser dispuestos en las alcantarillas o en un cuerpo receptor, con el fin de minimizar el impacto ambiental. La toxicidad de los efluentes no permite la aplicación de tratamientos biológicos en este tipo de aguas, por lo cual se recomienda la aplicación de procesos de oxidación avanzada. Para la experimentación, se tomó una muestra del efluente del proceso de postcosecha de una florícola ubicada en el Valle de los Chillos, para realizar pruebas a escala de laboratorio y verificar la eficiencia de procesos como: coagulación, oxidación por ozono, oxidación Fenton y oxidación UV; en los cuales se obtuvieron resultados de una media de 413 mg/L para el DQO y 0,58 NTU/FNU para la turbidez; permitiendo cumplir con la normativa ambiental vigente, TULSMA 2015, Tabla 8; considerando que se partió de una DOQ inicial promedio de 60850 mg/L y turbiedad inicial promedio de 59,19 NTU/FNU. Sin embargo, es indispensable tomar en cuenta: la difusión de ozono mediante microburbuja en una determinada columna de agua, la realización de un pretratamiento y la posible utilización de lodos activos, con la finalidad de aumenta la eficiencia del proceso y disminuir costos.

Palabras claves: Demanda Química de Oxígeno (DQO), turbidez, Fenton y pesticidas.

ABSTRAC

Floriculturals are considered as one of the industries that generate a great economic contribution in the country (Castro, 2017), however, the production and manufacturing processes produce a large pollution of the effluents to be used, because various products are involved Chemical, organic and inorganic. These effluents must be treated before being disposed in sewers or in a receiving body, in order to minimize environmental impact. The high toxicity of effluents does not allow the application of biological treatments in this type of water, which is why the application of advanced oxidation processes is recommended. For the experimentation, a sample of the effluent from the post-harvest process of a floriculture located in the Chillos Valley was taken, to perform laboratory-scale tests and verify the efficiency of processes such as: flocculation, ozone oxidation, Fenton oxidation and oxidation UV; in which results of an average of 413 mg / L for the COD and 0.58 NTU / FNU for turbidity were obtained; allowing compliance with current environmental regulations, TULSMA 2015, Table 8; considering that it was based on an average initial DOQ of 60850 mg / L and average initial turbidity of 59.19 NTU / UNF. However, it is essential to take into account certain observations such as: the diffusion of ozone by microbubble in a given column of water, the performance of a pretreatment and the possible use of active sludge, in order to increase the efficiency of the process and reduce costs.

Keywords: chemical oxygen demand (COD), turbidity, fenton and pesticides

Siglas y abreviaturas

DQO Demanda Química de Oxígeno

DBO₅ Demanda Biológica de Oxígeno

POAs Procesos de oxidación avanzada

MAE Ministerio del Ambiente Ecuatoriano

UV Ultravioleta

pH Potencial de Hidrógeno

TULSMA Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente

PAC Policloruro de Aluminio

RPM Revoluciones por minuto

1. INTRODUCCIÓN

Una de las preocupaciones sociales más importantes de la actualidad es la protección y conservación del agua como recurso natural. Como sabemos, el agua es un bienpreciado y escaso, por lo que se debe realizar un adecuado uso y reciclaje del mismo, teniendo en cuenta que las normativas relacionadas con la potabilización, depuración y adecuación del agua son cada vez más estrictas. (Según Chivas, 2017, págs 32-33)

Sin embargo, las actividades industriales en la actualidad constituyen un componente indispensable para el desarrollo económico de un país, al contribuir al producto interno bruto y al empleo (Romero Rojas, 2018). Hay que considerar que, toda actividad antropológica como los procesos industriales pueden generar un impacto ambiental alto; además, de generar peligros a la salud; esto debido a que los efluentes generados son dañinos y generalmente son enviados a cuerpos de agua dulce sin un tratamiento de final de tubo.

En la década de los 80, gracias a la rentabilidad del negocio florícola, la vegetación tradicional fue desplazada por la introducción de industrias florícolas, dando paso a que los valles interandinos del Ecuador sean partícipes de la industria florícola, principalmente la provincia de Pichincha; al transcurrir el tiempo se acrecentó la demanda del producto expandiendo la industria a sectores como Tabacundo, El Quinche, Pifo, Puenbo entre otros lugares idóneos para la producción florícola (Castro, 2017, págs. 21-24).

"Las florícolas están consideradas como una de las industrias de mayor aporte económico para el país; sin embargo, los procesos propios de rentabilidad generan una contaminación antropológica de alto impacto; debido a la utilización de sustancias químicas no biodegradables". (Castro, 2017, pág. 178).

La industria florícola necesita utilizar una serie de recursos para su producción, entre los cuales, el recurso hídrico toma un papel primordial para el riego y mantenimiento de las cosechas, dichos procesos para la producción de flores generan impactos hacia el ambiente como es el caso del agua residual. No obstante, el vertimiento de las aguas residuales sin previo tratamiento y el impacto generado en la salud del ser humano; se ha convertido en la principal problemática ambiental; motivo por el cual se han implantado normativas, como son los artículos 195 y 196 del Acuerdo Ministerial 061, que dictaminan la prohibición de verter efluentes que contengan componentes que incumplan los límites permisibles para descargas, con la finalidad de reducir la contaminación que estos generan (Ministerio del Ambiente , 2015, pág. 128):

Citado el Acuerdo ministerial 061, Párrafo I del agua, Art. 210 Prohibición, literales b y c:

b) Se prohíbe la descarga y vertido que sobrepase los límites permisibles o criterios de calidad correspondientes establecidos en este Libro, en las normas técnicas o anexos de aplicación.

c) Se prohíbe la descarga y vertidos de aguas servidas o industriales, en quebradas secas o nacimientos de cuerpos hídricos u ojos de agua.

Además, la Constitución del Ecuador en el Título II, Derechos, Capítulo Segundo, Derechos del Buen Vivir, Sección Segunda, Ambiente Sano, Artículo 14, determina:

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kawsay.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

El Ministerio del Ambiente en Ecuador, es el organismo de control ambiental, encargo del cumplimiento de las Normativas Ambientales Vigentes en cuanto a seguridad y sostenibilidad ambiental; teniendo como finalidad la obligación de controlar que todas las empresas con actividades productivas que generan efluentes, contaminantes, desechos, residuos, entre otros.; los manejen adecuadamente; de tal manera, que no generen contaminación de cuerpos hídricos, suelo y aire (Ministerio del Ambiente , 2015, pág. 128).

Asimismo, el MAE como la Autoridad Ambiental Nacional podrá establecer la normativa complementaria incluyendo: la frecuencia de monitoreo; los requisitos para toma de muestras compuestas; el número de muestras a tomar y la interpretación estadística de los resultados que permitan determinar si el regulado cumple o no con los límites permisibles fijados en la presente normativa para descargas a sistemas de alcantarillado y cuerpos de agua (MAE, 2014, pág. 98).

Por lo tanto, es necesaria la investigación de sistemas de descontaminación de estos efluentes con el fin de minimizar los impactos ambientales negativos que generan las industrias florícolas a los cuerpos hídricos receptores; además, de ofrecer herramientas eficientes y eficaces para el cumplimiento de las Normativas Ambientales Vigentes.

En cuanto al área de estudio la presente investigación se realizó en la Ciudad de Quito, Provincia de Pichincha; con muestras tomadas en una florícola ubicada en el Valle de los Chillos; la información de la empresa no puede ser mencionada por petición explícita de confidencialidad.

"La mayoría de los procesos industriales, generan residuos; mismos que al no ser tratados de una manera adecuada pueden ocasionar impacto ambiental negativo; en caso de los efluentes líquidos la contaminación a cuerpos hídricos receptores". (Arroyave J. G., 2007, pág. 227).

Las aguas residuales provenientes de los procesos de las industrias florícolas contienen una gran cantidad de residuos no biodegradables como: compuestos organoclorados, organofosforados, piretroides, metales pesados, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, compuestos nitrogenados, entre otros; mismos que generan valores elevados de DQO (de la Riva, 2011, pág. 107). En base a la información antes mencionada, los tratamientos convencionales con procesos biológicos son ineficientes para la remoción de compuestos no biodegradables; por tanto, no es conveniente para la descontaminación de este tipo de efluentes: por lo que no se podría dar cumplimiento a la Normativa Ambiental Vigente.

Para el desarrollo y comprobación del presente estudio científico se han planteado las siguientes hipótesis:

Hi: el tratamiento de oxidación avanzada Fenton es ineficiente para el tratamiento de efluentes líquidos provenientes de postcosecha de florícolas.

Ho: el tratamiento de oxidación avanzada Fenton es eficiente para el tratamiento de efluentes líquidos provenientes de postcosecha de florícolas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Comprobar a escala de laboratorio la técnica de oxidación avanzada más eficiente para el tratamiento de un efluente con pesticidas

2.2. Objetivo Específicos

- Objetivo específico 1: Caracterizar el agua residual de florícola para cuantificar las cargas de contaminación.
- Objetivo específico 2: Descontaminar el agua residual con pesticidas provenientes de la postcosecha, mediante un sistema de oxidación avanzada homogéneos.
- Objetivo específico 3: Descontaminar aguas residuales con pesticidas provenientes de la postcosecha, mediante sistemas de oxidación avanzada heterogéneos.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Aguas residuales

"Se denomina aguas residuales, a los efluentes resultantes del uso de domicilios, fábricas o cualquier tipo de actividad; mismos que incluyan contaminación y alteración de la calidad del recurso hídrico". (TULSMA, 2015, pág. 78).

"Las aguas residuales, pueden llevar en su estructura: detergentes, materia orgánica, grasas, residuos industriales, plaguicidas, funguicidas, entre otros; mismos que ocasionan grados de toxicidad y, por ende, que requieran un tratamiento antes de ser vertidos". (Baez, 1999, pág. 28).

Las aguas residuales se caracterizan por haber sufrido transformaciones en su estructura química y física; (Castro, 2017, pág. 64) detalla los componentes físicos y químicos propios de estas aguas:

Tabla 1.

Caracterización de las aguas residuales

Tipo	Características
Propiedad física	Olor, sólidos totales, color
Compuestos orgánicos	Aceites, grasas, compuestos volátiles, carga orgánica
Compuestos inorgánicos	Alcalinidad, cloruros, metales pesados, nitrógeno, pH, fósforo, sulfatos

El cuadro muestra la caracterización que se realiza al agua residual, Fuente: Castro, 2017.

En la actualidad, en nuestro país, a pesar de las Normativas Ambientales Vigentes y a los entes reguladores, no se tiene un control eficiente y de cumplimiento de los vertimientos de los efluentes a los cuerpos receptores; lo que ha ocasionado altos niveles de contaminación (Castro, 2017, pág. 105).

3.2. Compuestos no biodegradables en las aguas residuales provenientes de la postcosecha

La postcosecha es el manejo adecuado de los productos (flores, frutas, hortalizas, entre otros), con la finalidad de conservarlos por tiempos prolongados y aumentar la calidad de los mismos; para su posterior comercialización y consumo. Siendo el objetivo principal, mantener la integridad física de los bienes (de la Riva, 2011, pág. 216).

Los procesos de postcosecha incluyen prácticas de acondicionamiento para los productos, desde la recolección en campo hasta la comercialización; entre ellos: clasificación, limpieza, secado, almacenamiento, control de plagas, entre otros. En cada una de estas prácticas se incluyen procesos donde intervienen productos químicos, orgánicos e inorgánicos que contaminan los efluentes a ser utilizados (Juarez, 2015, pág. 14).

Para extender la vida, conservar la calidad e inducir la apertura de las flores ornamentales, es indispensable el uso de sustancias o compuestos químicos y agua de buena calidad. Según de la Riva (2011), los productos más utilizados para estos fines son: sulfato de aluminio, aluminio catiónico, sulfato de 8-hydroxyquinolina, azúcar, ácido cítrico, agente microbiano, germicidas, entre otros.

En base a estudios realizados por las Naciones Unidas, de todos los pesticidas utilizados en la agricultura; tan solo aproximadamente el 1% son aprovechados en los cultivos y, el porcentaje

restante termina en la contaminación de la tierra, aire y especialmente el agua. (Fernández, 2007, págs 14-17).

Gallegos y Medina (2019), en su proyecto de investigación detallan que los principales químicos utilizados en flores y cultivos son:

Tabla 2.

Nombres comerciales de los principales químicos utilizados en flores y cultivos.

Químico	Grupo químico	Uso
Fosetil aluminio	Fosfato	Flores – papas
Hidrocloruro de propamocarb	Carbamato	Flores
Mancozeb	Acetamida	Flores – papas
Methiocarb	Carbamato	Flores
Metomil	Carbamato	Flores
Carbofuran	Carbamato	Flores – papas
Diazimon	Organofosforado	Flores
Demeton - S- metil	Organofosforado	Papas
Malathion	Organofosforado	Papas e otros
Metamidfos	Organofosforado	Papas - Flores
Tiociclamhidrogenoxalato	Nerehistoxina	Flores
Bromuro de metilo	Bromuro de metilo	Flores

El cuadro muestra los diferentes químicos con su nombre comercial utilizados en florícolas, Fuente: Gallegos y Medina (2019).

3.3. Sistemas de descontaminación con oxidación avanzada

La Unión Europea ante la contaminación de efluentes, ha establecido diferentes líneas de actuación que deben seguir las empresas para reducir las emisiones al agua y donde se dividen los contaminantes en tres grandes grupos, asignando a cada bloque una serie de técnicas de

eliminación (consideradas técnicas de final de tubería): - Contaminantes insolubles: tratamiento mecánico. - Contaminantes solubles no biodegradables o inhibitorios: tratamiento fisicoquímico. - Contaminantes solubles biodegradables: tratamiento biológico. (EcuRed, 2019, pág. 241).

Los procedimientos de descontaminación de aguas residuales comúnmente están formados por etapas, como: pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario. Sin embargo, cuando los efluentes poseen compuestos no biodegradables y una alta contaminación microbiológica, es necesario implementar un tratamiento terciario, con el objetivo de regenerar y reutilizar las aguas a depurar (Terán, 2016, pág. 133).

"Los procesos de oxidación avanzada (POAs) al ser procesos fisicoquímicos, son capaces de producir cambios bruscos en la estructura química de los contaminantes presentes en aguas residuales, mismos que involucran la generación y uso de radicales hidroxilos". (OH·) (Pey, 2008, pág. 7).

"Los procesos de oxidación avanzada pueden venir acompañados de otros procesos, que van a aumentar la eficiencia de este; tanto para la reducción de compuestos poco susceptibles a la oxidación y tratamiento de sustancias tóxicas o recalcitrantes". (Márquez, 2013, pág. 10).

3.3.1 Ozonificación

Uno de los métodos más utilizados en los procesos de oxidación avanzada, es la ozonificación; debido a que ayuda a la eliminación de carbono orgánico total, lo que facilita la eliminación de compuestos contaminantes presentes en las aguas residuales (Pinherio, 2019, pág. 8).

El ozono es el segundo oxidante más poderoso, utilizado en los POAs homogéneos y heterogéneos, después del flúor. La ozonificación actúa a través de dos mecanismos: "*reacción directa mediante*

ozono molecular disuelto y reacción indirecta con especies radicales formadas cuando el ozono se descompone en el agua en condiciones alcalinas” (Grisales, 2012, pág. 24). Para que la remoción de sustancias o compuestos sea óptima, hay que considerar el pH, la naturaleza del agua, la dosis y el tiempo de ozono a aplicar; debido a que, cuando el radical hidroxilo es el agente oxidante, el medio presenta condiciones alcalinas (Veliz, 2016, pág. 67).

3.3.2 Fenton

El proceso de oxidación Fenton fue descrito por primera vez en 1894 por Henry J. Fenton, cuando descubrió que el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) podía activarse con iones ferrosos para oxidar ácido tartárico. La metodología consiste en la combinación de una sal de hierro y H_2O_2 , en un medio ácido, para formar radicales $OH\cdot$ y radicales perhidroxilo, que desata una reacción en cadena, la que permite la degradación de la materia oxidable (Rubio, 2014, pág. 128).

La combinación de las sales de hierro y el peróxido de hidrógeno forman las siguientes reacciones:

- Reacción 1: $Fe_{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe_{3+} + HO^- + HO$
- Reacción 2: $Fe_{3+} + H_2O_2 \rightarrow Fe_{2+} + H^+ + HO_2\cdot$

Por lo que, es indispensable tener en consideración las cantidades de contaminantes a ser tratados, mediante una caracterización del agua; debido a que, el exceso de H_2O_2 y/o iones de hierro, puede perjudicar y limitar la eficiencia de la reacción (Rubio, 2014, pág. 129).; hay que tener en cuenta que el radical hidroxilo es el que se debe formar en mayor cantidad para favorecer la oxidación (reacción 1).

3.3.3 Luz UV

El método de aplicación de luz ultravioleta presenta una alternativa al uso de cloro y ozono para tratamiento de aguas residuales. La ventaja de la utilización de este método es que desinfecta sin generar subproductos de desinfección que ocasionen un problema mayor. (Wright, s.f., pág. 251).

Los procesos fotoquímicos como la luz UV, produce fotólisis del agua que forman radicales hidroxilo y átomos de hidrogeno; lo que ayuda a la reducción del tiempo de retención requerido por los métodos POAs, facilitando la utilización de fangos al final de proceso para mejor las condiciones de los permeados a ser descargados y minimizar costos. (Arroyave J. G., 2008, pág. 283).

3.4 Procesos de coagulación

Los métodos de coagulación y coagulación, para tratamiento de aguas son muy utilizados en la actualidad, debido que permite la eliminación de compuestos o sustancias que se encuentran disueltas en esta; la reacción se lleva a cabo, mediante la adición de un reactivo que forma un compuesto insoluble, para facilitar la eliminación mediante una desestabilización de la suspensión (Felissia, 2010, pág. 189).

Los productos químicos aportan cargas eléctricas contrarias a los compuestos presentes en la solución; existe una gran variedad de químicos en el mercado, sin embargo, los más utilizados son: sales de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$ y $Al_n(OH)_mCl_{3n}$), policloruro de aluminio (PAC); sales férricas ($FeCl_3$ y $Fe_2(SO_4)_3$); sales ferrosas ($FeSO_4$), entre otras; los mismos que reaccionan mediante la floculación. Para obtener un buen proceso de coagulación o coagulación, es indispensable

considerar tres factores de suma importancia: pH (pH= 4 -7 según el químico), la dosificación del químico y la concentración de contaminantes presentes en el agua (Felissia, 2010, pág. 191).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Materiales

4.1.1 Reactivos y equipos

Para el tratamiento de las aguas residuales, se utilizaron una serie de reactivos detallados a continuación:

Tabla 3.

Reactivos utilizados en la experimentación.

Reactivo	Formula molecular	Pureza
Ácido nítrico	HNO ₃	60%
Ácido Sulhídrico	H ₂ SO ₄	98%
Hidróxido de sodio	NaOH	98%
Sulfato de aluminio	Al ₂ (SO ₄) ₃	>99%
Policloruro de aluminio	Al ₂ (OH) ₃ Cl	>99%
Sulfató de hierro (III)	Fe ₂ (SO ₄) ₃	>62%
Poliamida	(C ₁₂ H ₂₂ N ₂ O ₂) _n	>99%
Peróxido de hidrogeno	H ₂ O ₂	30%

En la tabla se detallan los reactivos utilizados para la determinación de los parámetros y para llevar a cabo, el proceso de tratamiento del agua residual, Fuente: la investigación.

Tabla 4.

Equipos utilizados en la determinación de parámetros y en el tratamiento de las aguas residuales.

Equipos analíticos		
Equipo	Marca	Modelo
Oxídímetro	METTLER TOLEDO	Seven2Go
Turbidímetro	ORBECO HELIGE	TB200
pHmetro y conductímetro	HORIBA LAQUA	F-74
Prueba de jarras	VELP Scientifica	JL6
Incubadora	SCP SCIENCE	QQB900
Balanza analítica	METTLER TOLEDO	ML-204
Estufa	BOEKEL	107905
Fotómetro	HANNA	HI 83099
Generador de Ozono	A2ZOZone	MP-1000
Lámpara UV	Analytikjena	UVP UVL-56

La tabla detalla los equipos utilizados para la determinación de los parámetros y para llevar a cabo, el proceso de tratamiento del agua residual, Fuente: la investigación.

La prueba de Demanda Química de Oxígeno (DQO) se realizó con el método de espectrofotometría HANNA HR Cod-C.

4.2 Metodología

Para la presente investigación, se planteó una metodología consecutiva (coagulación → ozonificación → reacción Fenton → luz UV); con la finalidad de cumplir con los parámetros de la Normativa Ambiental Vigente.

4.2.1. Fase experimental

Con la finalidad de realizar las pruebas piloto en laboratorio; es indispensable la toma de las muestras y posterior caracterización, para obtener valores iniciales y establecer los pasos a seguir para cumplir con los parámetros de descarga de un efluente al alcantarillado público.

4.2.1.1. Muestreo de agua residual

Para la toma de muestras se procedió en base a los procedimientos descritos en el libro “Standard Methods”, las muestras fueron tomadas en recipientes plásticos de alrededor de 20 L, con el fin de obtener muestras significativas para el estudio, además de proceder con la cadena de custodia.

Con la finalidad de obtener datos del muestreo válidos, nos basamos en el anexo 1 del libro VI del TULSMA: Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes al recurso agua, además de su acuerdo ministerial 061 para los límites permisibles.

Además, el muestreo se lo realizó en base al tipo de análisis que se necesitó; las muestras pueden ser simples o compuestas. Las muestras simples, se debe tomar en un lugar determinado una sola vez, y se lo usa para la medición de parámetros de calidad del agua; mientras que las muestras

compuestas, se muestrean en distintos momentos varias veces, se las coloca en los mismos recipientes o en individuales, y se lo usa para medir el caudal de forma instantánea. (AGAOCE, pág. 19).

Por consiguiente, se procedió de la siguiente manera (Subdirección de Hidrología IDEAM, 2007):

- Se organizó las botellas debidamente rotuladas, los reactivos, formatos e insumos.
- Una vez en el punto de muestreo, se identificó y solicitó la colaboración necesaria para efectuar el muestreo.
- Se escribió con letra legible el nombre del responsable del muestreo.
- Una vez mezclados los volúmenes, se homogenizó el contenido del balde por agitación con un tubo plástico limpio y proceda al llenado de los recipientes.

4.2.1.2. Caracterización inicial de las aguas

Para la caracterización de aguas residuales, se procedió en base a la normativa vigente tomada del ANEXO I DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA, en donde establece el capítulo II, que:

La caracterización de aguas residuales es el proceso destinado al conocimiento integral y estadísticamente confiable de las características del agua residual (doméstica e industrial) e integrado por la toma de muestras, medición de caudal e identificación de los componentes físicos, químicos, biológicos y microbiológicos. (MAE, 2014, pág. 22).

Para la caracterización en campo se siguió los siguientes pasos:

- Sólidos sedimentables: se llenó el cono Imhoff a la marca de 1 L con la muestra debidamente mezclada. Se dejó sedimentar durante 45 minutos, se agito suavemente la muestra cerca de las paredes del cono con una varita de agitación, dejar reposar durante 15 minutos más; se registró el volumen de sólidos sedimentables en el formato como mililitros por litro.
- Para el potencial de hidrógeno y conductividad se utilizó los electrodos del pHmetro y conductímetro, previamente calibrados.

Para realizar cualquier tipo de acción entorno al manejo de las aguas, es fundamental primero conocer las características del agua que se van a manejar. Para poder tener una descripción precisa de los componentes, posibles contaminantes, y características físicoquímicas de los efluentes residuales, es necesario realizar una caracterización de en un laboratorio con certificación.

Tabla 5.

Parámetros químicos, físicos, biológicos y bacteriológicos del agua.

Parámetros químicos			Parámetros físicos	Parámetros biológicos y bacteriológicos
pH	Carbón total	Cloruros	Temperatura	Coliformes totales
Demanda Química de Oxígeno	Calcio, hierro, manganeso, magnesio	Metales pesados	Sólidos totales, disueltos, en suspensión, fijos y volátiles	Demanda bioquímica de oxígeno
Conductividad	Carbón inorgánico	Sulfuros	Turbiedad	
Oxígeno disuelto	Alcalinidad, dureza	Acidez	Color	

En la tabla se detallan los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos utilizados para la determinación de la calidad de la muestra utilizada en el proceso de tratamiento del agua residual, Fuente: la investigación.

4.2.1.3. Pruebas de laboratorio de oxidación avanzada

Posterior a la toma de la muestra y caracterización inicial; se realizó la remoción de sólidos disueltos mediante el proceso de coagulación; lo que facilitó la reacción Fenton; misma que cumplirá el objetivo de oxidar la carga contaminante de la muestra, los cuales serán verificados mediante la turbidez y el DQO del agua.

Obteniendo valores óptimos de turbiedad y DQO, se evaluó los tiempos de ozonificación y exposición a luz UV para cumplir con la Tabla 8., TULSMA 2015.

4.2.1.3.1 Obtención de valor óptimo de los coagulantes.

Para el proceso de coagulación se utilizó: sulfato de aluminio, policloruro de aluminio líquido, cloruro de hierro III y poliamida; para los 4 floculantes la metodología utilizada fue la que se detalla a continuación:

- Medir inicialmente pH y turbidez.
- Tamizar 2.5 litros de agua, igualar el pH a 7.5 y colocar 0.5 litros en 5 vasos.
- Colocar floculante en las siguientes proporciones: 0.05g, 0.12g, 0.25g, 0.35g y 0.5g respectivamente, luego mezclar por 2 minutos a 100rpm.
- Dejar flocular a 20rpm por 4 minutos y sedimentar por 30 minutos.
- Tomar una muestra de la parte clarificada y medir la turbidez.

- Una vez realizadas todas las pruebas se analiza que concentración y con cuál de los floculantes se obtuvo el valor de menor turbidez, para proceder con la descontaminación del agua.

4.2.1.3.2. Evaluación del tiempo óptimo de ozonificación

En lo que refiere a las pruebas piloto en el laboratorio y los análisis a realizar, se considera la siguiente legislación:

Para determinar los valores y concentraciones de los parámetros determinados en esta Norma Oficial Ecuatoriana, se deberán aplicar los métodos establecidos en el manual “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, en su más reciente edición. Además, deberán considerarse las siguientes Normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN):

- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:98. Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras.
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:98. Agua: Calidad del agua, muestreo, técnicas de muestreo (MAE, 2014, pág. 10)

Del valor óptimo de turbidez obtenido en el proceso de coagulación, se procede con la evaluación de los tiempos de ozonificación; bajo la siguiente metodología:

- Realizar la coagulación con las dosificaciones óptimas.
- Colocar la muestra en un cono Imhoff de 1 litro y dejar que sedimente durante 40 minutos.
- Retirar la parte clarificada y colocar en una pecera donde se encuentran los aireadores de microburbuja. Realizar este proceso hasta tener 2.5 litros de la muestra clarificada.

- Ozonificar la muestra (aireadores de microburbuja) a diferentes intervalos de tiempo, de 1 hora hasta 5 horas, y proceder con la medición de DQO; para determinar el tiempo óptimo.

Una vez determinado el tiempo óptimo de ozonificación en base a los valores de DQO obtenidos en metodología HANNA, se procede a realizar la reacción Fenton.

4.2.1.3.3. Concentraciones óptimas para el proceso Fenton

Una vez obtenidos los valores óptimos de floculante y el tiempo óptimo de ozonificación se procedieron a evaluar las dosificaciones de H_2O_2 y $FeSO_4$ para el proceso de Fenton siguiendo la metodología detallada a continuación:

- Realizar la coagulación con las dosificaciones óptimas obtenidas.
- Realizar la ozonificación con el tiempo óptimo establecido.
- Una vez realizados los puntos anteriores, colocar 1 litro de agua residual en 12 vasos de precipitación de 1.5 litros, a cada muestra bajar el pH a 3 con el ácido sulfúrico y anotar la cantidad (4.9 ml de H_2SO_4 en 12 L).
- Colocar las siguientes concentraciones en dos pruebas de jarras seguidas:
 - H_2O_2 :** 80 mg, 80 mg, 160 mg, 160 mg, 800 mg, 800 mg, 1600 mg, 1600 mg, 8000 mg, 8000 mg, 16000 mg, y 16000 mg.
 - $FeSO_4$:** 19 mg, 38mg, 19mg, 38mg, 185mg, 370mg, 185mg, 370mg, 1850mg, 3700mg, 1850mg, y 3700mg.
- Mezclar durante 3 minutos a 100 RPM y dejar reposar 10 minutos.
- Medir el DQO a cada una de las muestras.
- Se toma la muestra (jarra) con DQO óptimo y se le sube el pH de 3 a 7.

- Con el valor óptimo obtenido se realizará el último proceso de descontaminación.

4.2.1.3.4. Tiempo de aplicación de luz UV

Una vez obtenidas las concentraciones (floculante y fenton) y tiempo óptimo de ozonificación, se continúa a realizar el último paso de descontaminación, que es la aplicación de luz UV la cual se detalla a continuación si proceso:

- Realizar la coagulación con las dosificaciones óptimas.
- Realizar la ozonificación con el tiempo establecido.
- Realizar la reacción Fenton con las dosificaciones óptimas.
- Colocar la muestra en un cono Imhoff de 1 litro y dejar que sedimente por aproximadamente 40 minutos. Retirar la parte clarificada y colocar en una pecera donde se encuentran los aireadores de microburbuja.; hasta obtener 2.5 litros de la muestra clarificada.
- Ozonificar las muestras por 5 horas (tiempo óptimo obtenido del procesó de ozonificación) y a su vez aplicar luz UV durante todo el proceso.
- Colocar la muestra en un cono Imhoff de 1 litro y dejar que sedimente por aproximadamente 30 minutos.
- Retirar la parte clarificada y colocar en un vaso de precipitación de 1 L.
- Tomar una alícuota y realizar la medición de DQO; reportar los valores y verificar que se encuentren dentro del rango de la Normativa Ambiental Vigente, TULSMA 2015, Libro VI, Anexo 1, Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Resultados

5.1.1. Análisis Inicial

En todas las muestras que se realizaron en diferentes días, se llevó a cabo los parámetros fisicoquímicos para determinar su calidad; tales como: pH, conductividad, turbidez, temperatura y DQO, las muestras tomadas presentaron valores diferentes en todos los parámetros, siendo el más representativo el valor de la DQO de la muestra 1 por su valor más alto al de las otras muestras.

Tabla 6.

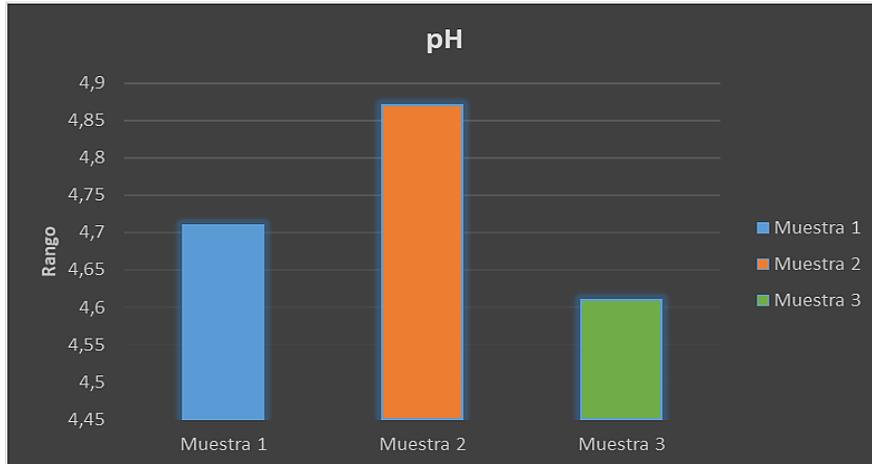
Parámetros fisicoquímicos iniciales de las muestras tomadas para la realización de la investigación.

	pH	Conductividad (ms)	Turbidez (NTU)	Temperatura °C	DQO (mg/L)
Muestra 1	4.71	6.16	80.7	19.8	84210
Muestra 2	4.87	5.71	40.75	20.4	52650
Muestra 3	4.61	5.48	56.13	20.1	45690

En la tabla se detallan los parámetros fisicoquímicos analizados a las diferentes muestras utilizadas para el tratamiento del agua residual, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Grafico 1.

Valores iniciales de pH de las muestras recolectadas a ser utilizadas en el tratamiento de oxidación avanzada.



El grafico detalla los diferentes valores de pH iniciales de las muestras analizadas para el tratamiento del agua residual, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Grafico 2.

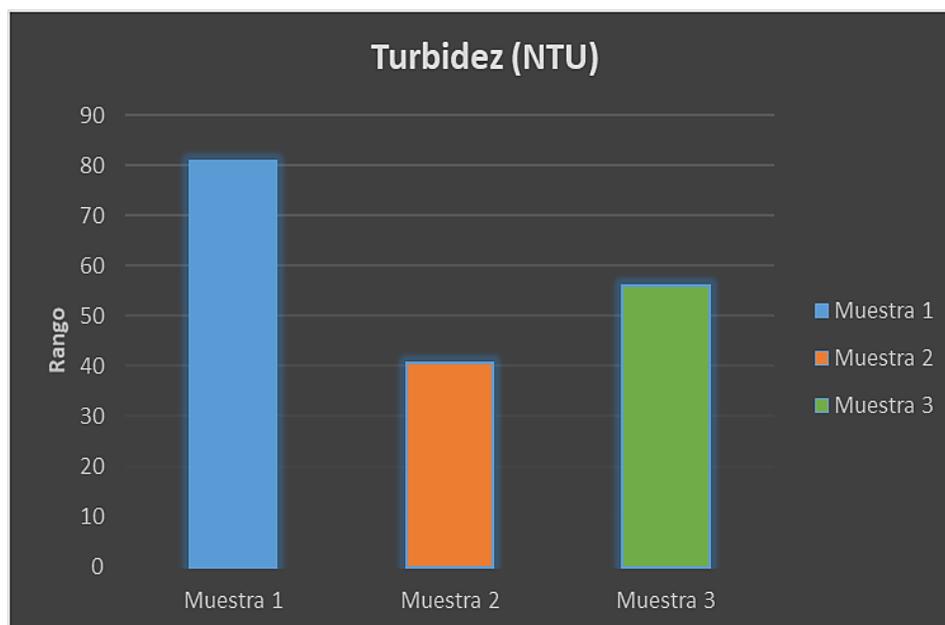
Valores iniciales de conductividad eléctrica (ms) de las muestras recolectadas a ser utilizadas en el tratamiento de oxidación avanzada.



El grafico detalla los diferentes valores de conductividad de las muestras analizadas para el tratamiento del agua residual, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Grafico 3.

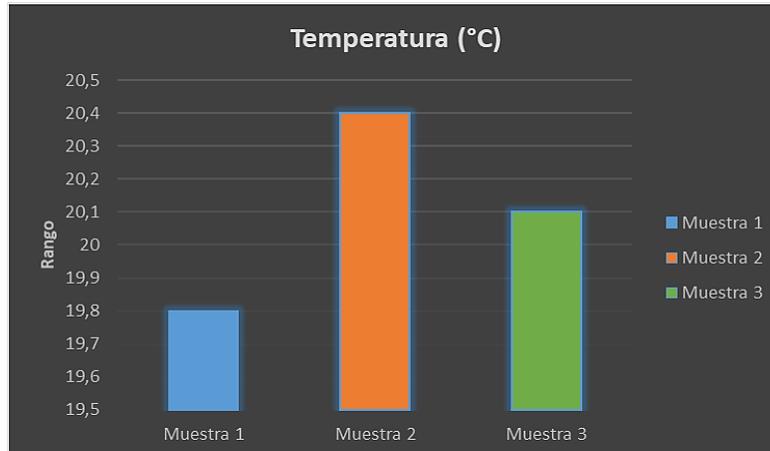
Valores iniciales de turbidez (NTU) de las muestras recolectadas a ser utilizadas en el tratamiento de oxidación avanzada.



El grafico detalla los diferentes valores de turbidez iniciales de las muestras analizadas para el tratamiento del agua residual, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Grafico 4.

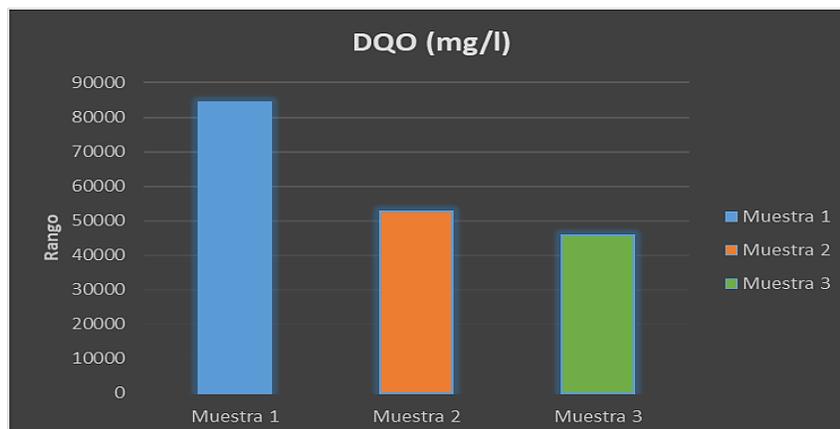
Valores iniciales de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de las muestras recolectadas a ser utilizadas en el tratamiento de oxidación avanzada.



En el grafico se detallan los diferentes valores de temperatura de las muestras analizadas para el tratamiento del agua residual, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Grafico 5.

Valores iniciales de DQO (mg/L) de las muestras recolectadas a ser utilizadas en el tratamiento de oxidación avanzada.



En el grafico se detallan los diferentes valores de DQO iniciales de las muestras analizadas para el tratamiento del agua residual, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

5.1.2. Precipitación química

Una vez realizados todos los análisis a las diferentes muestras, se procede a realizar la prueba de jarras con diferentes floculantes a pH 7, para determinar la concentración óptima con la que se obtuvo el más bajo en la turbidez.

Se puede observar en las tablas que, los valores más bajos de turbidez se encuentran en dos tipos de floculantes que son Policloruro de aluminio líquido y poliamida.

5.1.2.1. Determinación de las dosis óptimas de coagulantes

Muestra 1

Se evaluaron y realizaron pruebas de jarras a las tres muestras con varias concentraciones de los diferentes floculantes utilizados como sulfato de aluminio, Policloruro de aluminio líquido, cloruro de hierro III y poliamida; para analizar el comportamiento de la turbidez y con ello determinar cuál es la concentración óptima con la cual se alcanzó la menor turbidez detallada en las siguientes tablas.

Tabla 7.

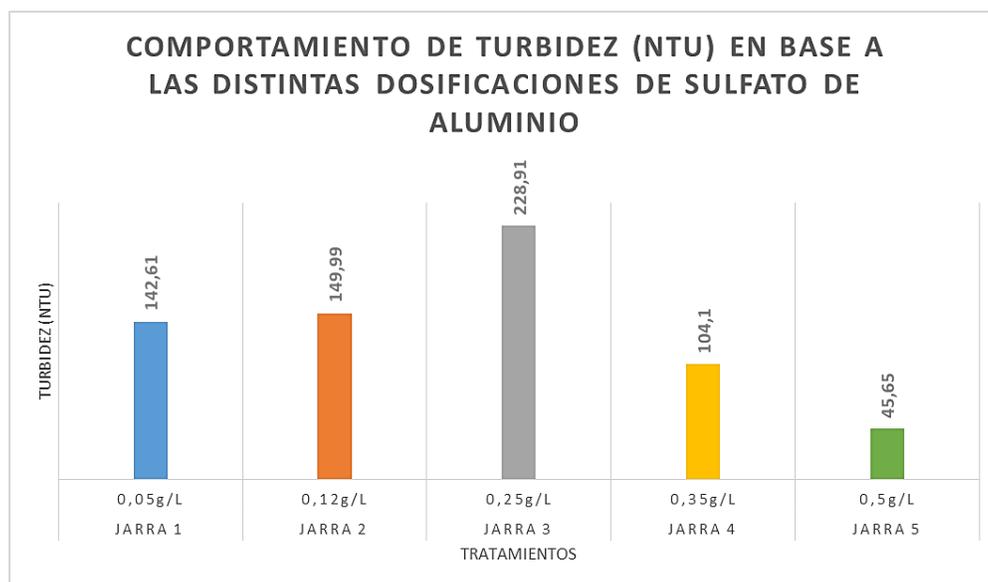
Dosificación de sulfato de aluminio para evaluar el comportamiento de turbidez (NTU).

		Sulfato de aluminio					
		Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	
Repeticiones	Cantidad de floculante	0.05g/L	0.12g/L	0.25g/L	0.35g/L	0.5g/L	
	Turbidez (NTU)	142.61	149.99	228.91	104.10	45.65	
	1	Turbidez (NTU)	142.55	150.10	229.01	103.98	45.49
	2	Turbidez (NTU)	142.59	150.09	228.90	104.19	45.57
3	Turbidez (NTU)	142.583	150.06	228.94	104.09	45.57	
Media							

En la tabla se detallan los diferentes valores de dosificación de sulfato de aluminio aplicado a las diferentes muestras para el tratamiento del agua residual, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Grafico 6.

Comportamiento de turbidez (NTU) en base a las distintas dosificaciones de sulfato de aluminio.



En el grafico se observa el comportamiento que tiene la turbidez, ubicada en el eje de las ordenadas, a las diferentes concentraciones de sulfato de aluminio donde su valor optimo se tiene en la jarra 5, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Tabla 8.

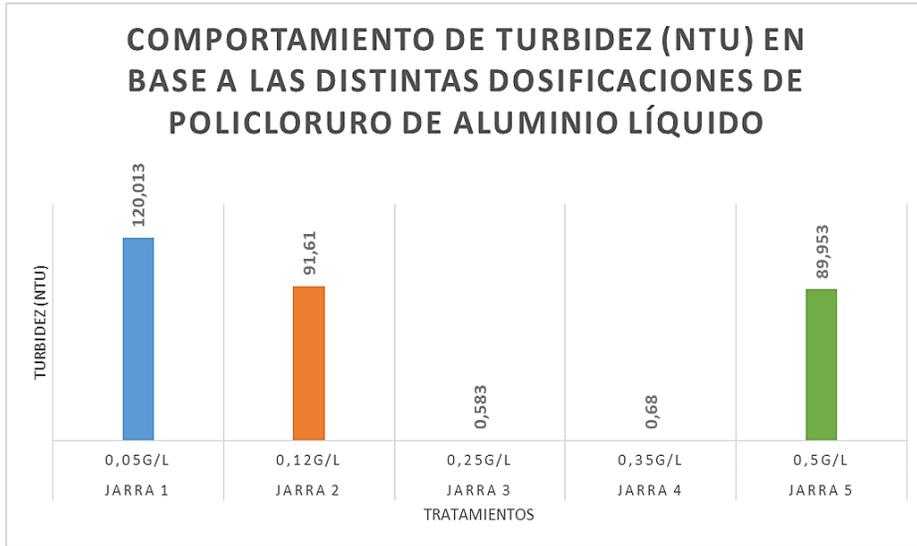
Dosificación de policloruro de aluminio líquido para evaluar el comportamiento de turbidez (NTU).

		Policloruro de aluminio liquido				
		Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5
Repeticiones	Cantidad de floculante	0.05g/L	0.12g/L	0.25g/L	0.35g/L	0.5g/L
1	Turbidez (NTU)	120.01	91.64	0.58	0.65	89.94
2	Turbidez (NTU)	119.98	91.59	0.60	0.69	90.01
3	Turbidez (NTU)	120.05	91.60	0.57	0.70	89.91
Media	Turbidez (NTU)	120.013	91.61	0.583	0.68	89.953

En la tabla se detallan los diferentes valores de dosificación de policloruro de aluminio liquido aplicado a las diferentes muestras para el tratamiento del agua residual, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Grafico 7.

Comportamiento de turbidez (NTU) en base a las distintas dosificaciones de policloruro de aluminio líquido.



Como se aprecia en el gráfico, la turbidez (eje de las ordenadas) tiene su valor óptimo en la jarra 3, donde alcanza 0.583 NTU con la dosificación de 0.25g/L de Policloruro de aluminio líquido, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Tabla 9.

Dosificación de cloruro de hierro III para evaluar el comportamiento de turbidez (NTU).

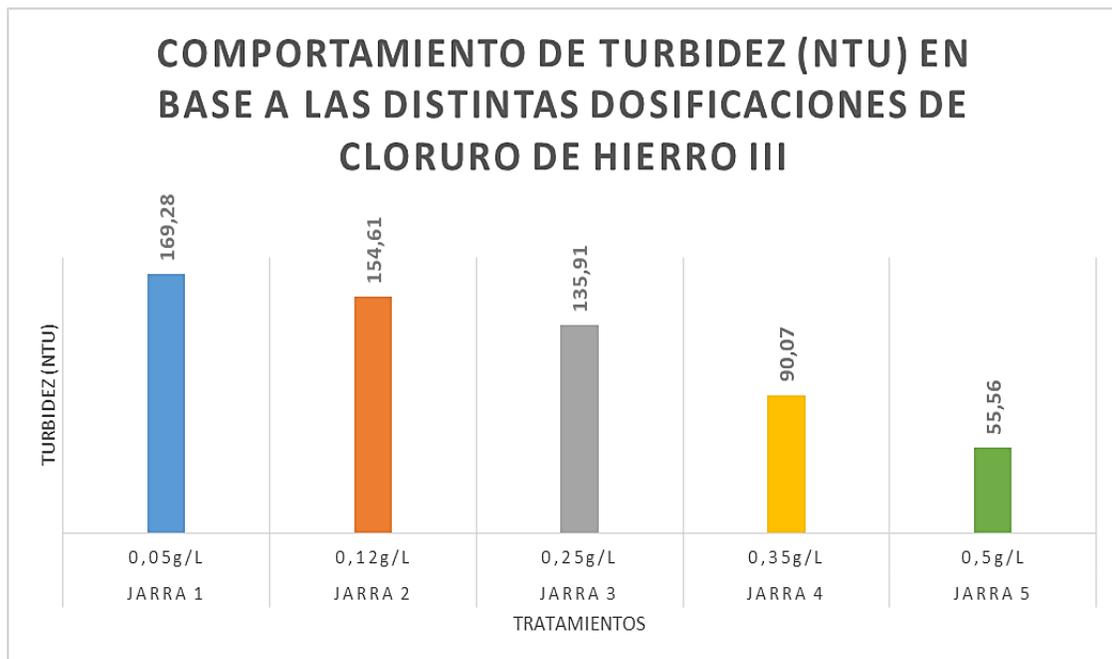
		Cloruro de hierro III				
		Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5
		0.05g/L	0.12g/L	0.25g/L	0.35g/L	0.5g/L
Repeticiones	Cantidad de floculante					
	Turbidez (NTU)	168.89	154.65	135.90	90.15	55.59
	Turbidez (NTU)	170.01	154.60	135.89	90.09	55.46
	Turbidez (NTU)	168.95	154.59	135.94	89.98	55.64
Media		169.28	154.61	135.91	90.07	55.56

En la tabla se detallan los diferentes valores de dosificación de cloruro de hierro III aplicado a las diferentes muestras para el tratamiento del agua residual, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Grafico 8

Comportamiento de turbidez (NTU) en base a las distintas dosificaciones de cloruro de hierro

III.



En el grafico se observa el comportamiento de la turbidez en base a las diferentes concentraciones de cloruro de hierro III que se encuentran en el eje de las abscisas, donde se tiene el valor óptimo en la jarra 5, donde se tiene 55.56 NTU de turbidez con la dosificación de 0.5g/L, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Tabla 10.

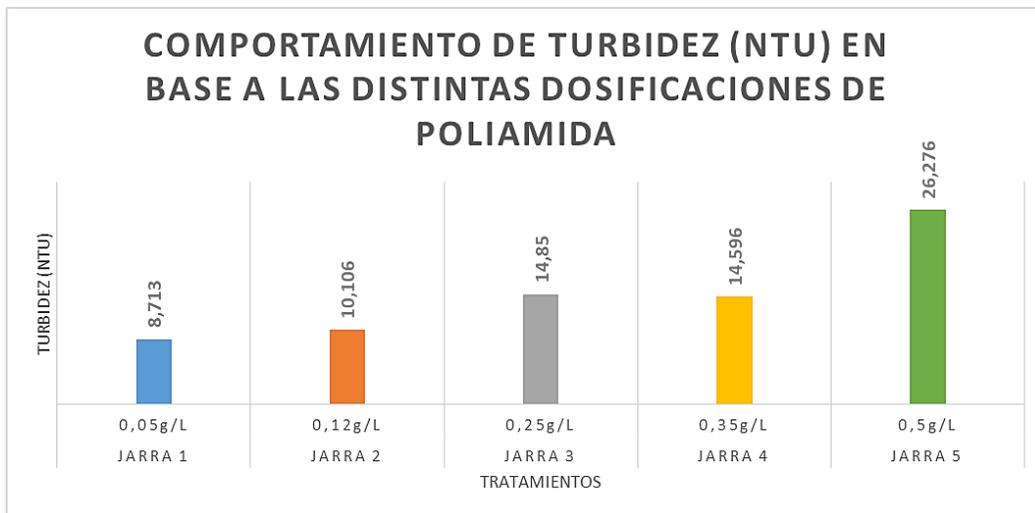
Dosificación de cloruro Poliamida para evaluar el comportamiento de turbidez (NTU).

		Poliamida				
		Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5
Repeticiones	Cantidad de floculante Turbidez (NTU)	0.05g/L	0.12g/L	0.25g/L	0.35g/L	0.5g/L
	1	8.71	10.13	14.87	14.58	26.28
	2	8.68	10.10	14.79	14.60	26.31
	3	8.75	10.09	14.90	14.61	26.24
Media		8.713	10.106	14.85	14.596	26.276

En la tabla se detallan los diferentes valores de dosificación de poliamida aplicado a las diferentes muestras para el tratamiento del agua residual, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Grafico 9.

Comportamiento de turbidez (NTU) en base a las distintas dosificaciones de poliamida.



En el grafico se observa el comportamiento de la turbidez en base a las diferentes concentraciones de poliamida que se encuentran en el eje de las abscisas, donde se tiene el valor óptimo en la jarra 1, donde se tiene 8.713 NTU de turbidez con la dosificación de 0.05g/L, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Muestra 2

Tabla 11.

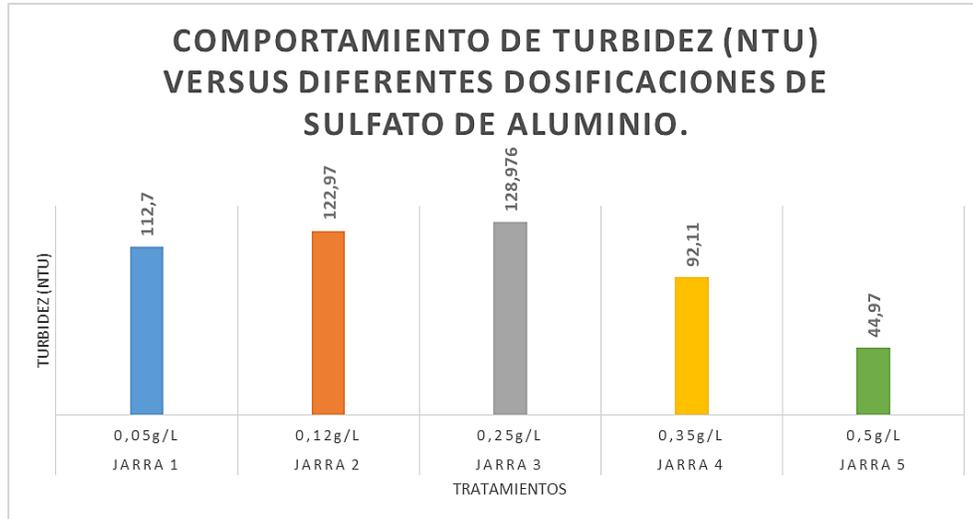
Dosificación de sulfato de aluminio para evaluar el comportamiento de turbidez (NTU).

		Sulfato de aluminio				
		Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5
Repeticiones	Cantidad de floculante	0.05g/L	0.12g/L	0.25g/L	0.35g/L	0.5g/L
1	Turbidez (NTU)	112.65	122.91	128.95	92.20	44.91
2	Turbidez (NTU)	112.74	122.99	128.88	91.98	45.05
3	Turbidez (NTU)	112.71	123.01	129.10	92.17	44.95
Media	Turbidez (NTU)	112.7	122.97	128.976	92.11	44.97

En la tabla se detallan los diferentes valores de dosificación de sulfato de aluminio aplicado a las diferentes muestras para el tratamiento del agua residual, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Grafico 10.

Comportamiento de turbidez (NTU) versus diferentes dosificaciones de sulfato de aluminio.



En el grafico se observa el comportamiento que tiene la turbidez, ubicada en el eje de las ordenadas, a las diferentes concentraciones de sulfato de aluminio donde su valor optimo se tiene en la jarra 5, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Tabla 12.

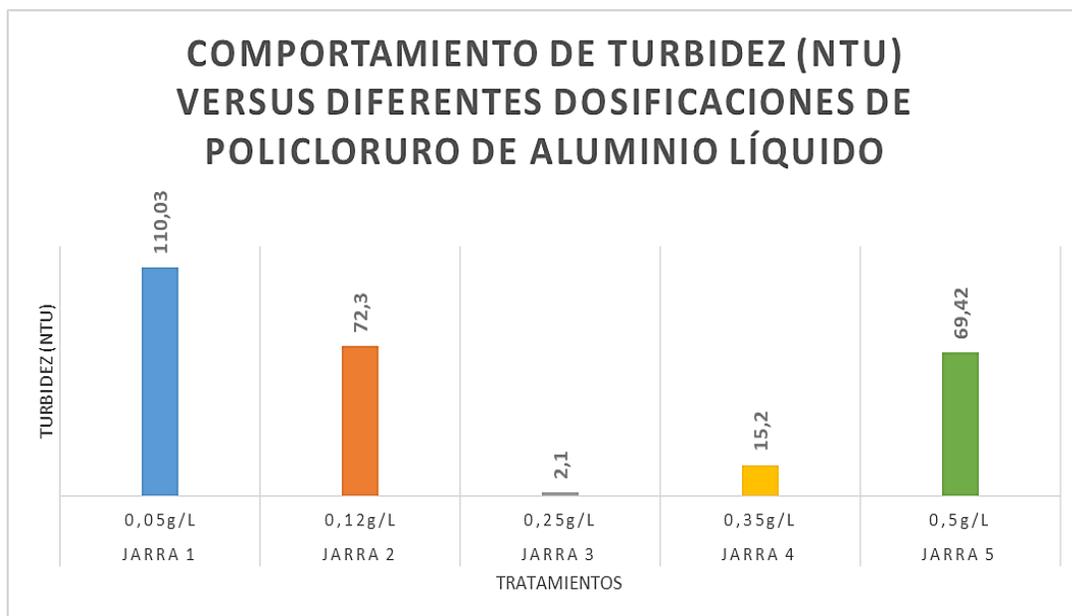
Dosificación de policloruro de aluminio líquido para evaluar el comportamiento de turbidez (NTU).

		Policloruro de aluminio liquido				
		Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5
Cantidad de floculante		0.05g/L	0.12g/L	0.25g/L	0.35g/L	0.5g/L
Repeticiones	Turbidez (NTU)	110.10	72.60	2.14	15.22	69.47
	1	109.98	72.55	2.09	15.20	69.39
	2	110.01	72.65	2.11	15.18	69.41
	3	110.03	72.6	2.1	15.2	69.42
Turbidez (NTU)		110.03	72.6	2.1	15.2	69.42
Media						

En la tabla se detallan los diferentes valores de dosificación de policloruro de aluminio líquido aplicado a las diferentes muestras para el tratamiento del agua residual, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Grafico 11.

Comportamiento de turbidez (NTU) versus diferentes dosificaciones de policloruro de aluminio líquido.



Como se aprecia en el gráfico, la turbidez (eje de las ordenadas) tiene su valor óptimo en la jarra 3, donde alcanza 2.1 NTU con la dosificación de 0.25g/L de Policloruro de aluminio líquido, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Tabla 13.

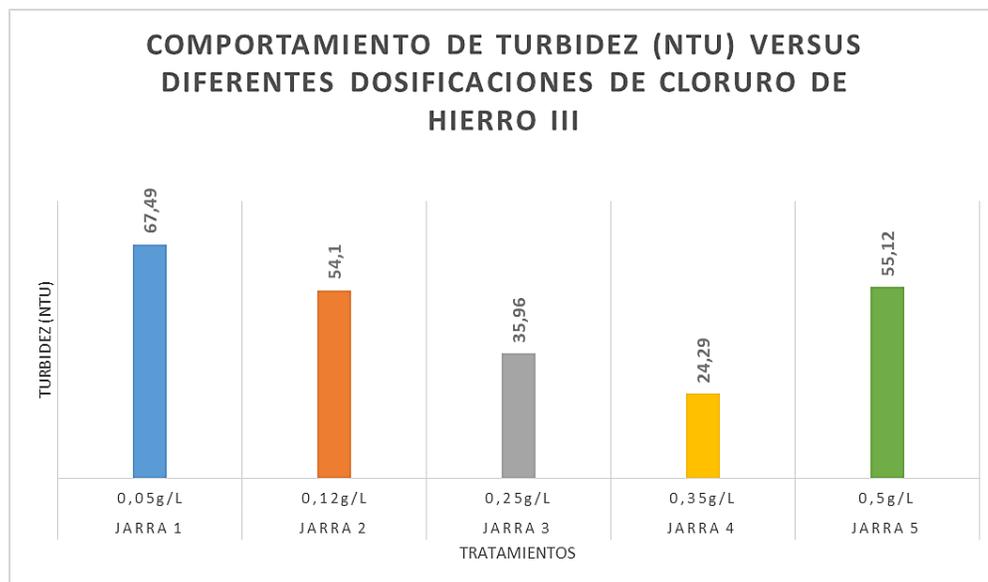
Dosificación de cloruro de hierro III para evaluar el comportamiento de turbidez (NTU).

		Cloruro de hierro III				
		Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5
Repeticiones	Cantidad de floculante	0.05g/L	0.12g/L	0.25g/L	0.35g/L	0.5g/L
	Turbidez (NTU)	67.47	54.10	35.71	24.24	55.11
1	Turbidez (NTU)	67.40	54.11	35.70	24.34	55.17
2	Turbidez (NTU)	67.51	54.09	35.68	24.31	55.09
3	Turbidez (NTU)	67.49	54.1	35.96	24.29	55.12
Media						

En la tabla se detallan los diferentes valores de dosificación de cloruro de hierro III aplicado a las diferentes muestras para el tratamiento del agua residual, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Grafico 12.

Comportamiento de turbidez (NTU) versus diferentes dosificaciones de cloruro de hierro III.



En el grafico se observa el comportamiento de la turbidez en base a las diferentes concentraciones de cloruro de hierro III que se encuentran en el eje de las abscisas, donde se tiene el valor óptimo en la jarra 4, donde se tiene 24.29 NTU de turbidez con la dosificación de 0.35g/L, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Tabla 14.

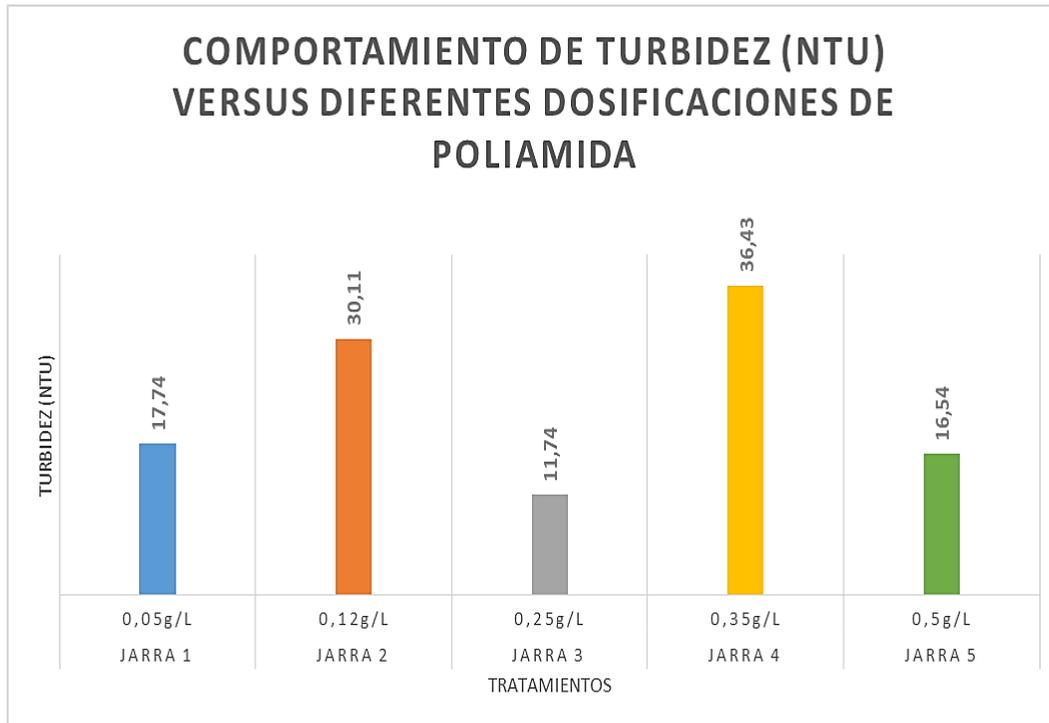
Dosificación de poliamida para evaluar el comportamiento de turbidez (NTU).

		Poliamida				
		Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5
Repeticiones	Cantidad de floculante	0.05g/L	0.12g/L	0.25g/L	0.35g/L	0.5g/L
	Turbidez (NTU)	17.75	30.10	11.68	36.41	16.57
1	Turbidez (NTU)	17.66	30.21	11.81	36.34	16.47
2	Turbidez (NTU)	17.81	30.04	11.75	36.54	16.60
3	Turbidez (NTU)	17.74	30.11	11.74	36.43	16.54
Media						

En la tabla se detallan los diferentes valores de dosificación de poliamida aplicado a las diferentes muestras para el tratamiento del agua residual, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Grafico 13.

Comportamiento de turbidez (NTU) versus diferentes dosificaciones de poliamida.



En el grafico se observa el comportamiento de la turbidez en base a las diferentes concentraciones de poliamida que se encuentran en el eje de las abscisas, donde se tiene el valor óptimo en la jarra 3, donde se tiene 11.74 NTU de turbidez con la dosificación de 0.25g/L, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Muestra 3

Tabla 15.

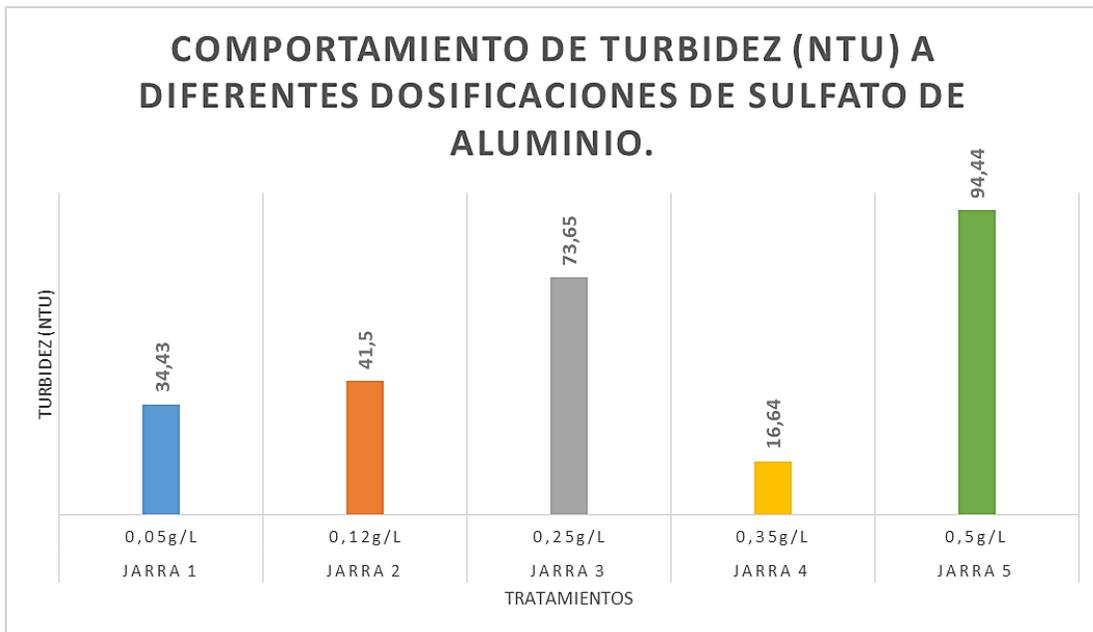
Dosificación de sulfato de aluminio para evaluar el comportamiento de turbidez (NTU).

		Sulfato de aluminio				
		Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5
Repeticiones	Cantidad de floculante	0.05g/L	0.12g/L	0.25g/L	0.35g/L	0.5g/L
1	Turbidez (NTU)	34.40	41.76	73.63	16.62	94.45
2	Turbidez (NTU)	34.31	41.64	73.54	16.54	94.31
3	Turbidez (NTU)	34.58	41.81	73.78	16.78	94.57
Media	Turbidez (NTU)	34.43	41.5	73.65	16.64	94.44

En la tabla se detallan los diferentes valores de dosificación de sulfato de aluminio aplicado a las diferentes muestras para el tratamiento del agua residual, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Grafico 14.

Comportamiento de turbidez (NTU) a diferentes dosificaciones de sulfato de aluminio.



En el grafico se observa el comportamiento que tiene la turbidez, ubicada en el eje de las ordenadas, a las diferentes concentraciones de sulfato de aluminio donde su valor optimo se tiene en la jarra 4, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Tabla 16.

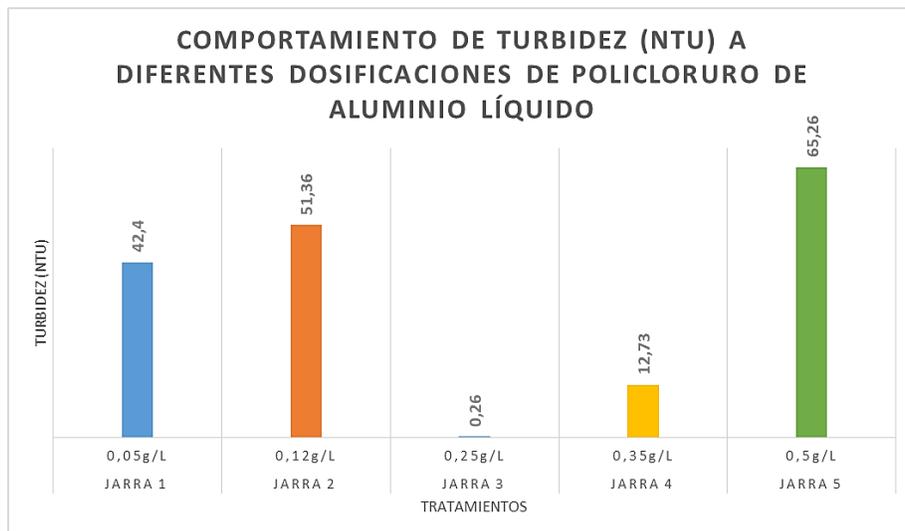
Dosificación de policloruro de aluminio líquido para evaluar el comportamiento de turbidez (NTU).

		Policloruro de aluminio líquido				
		Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5
Repeticiones	Cantidad de floculante	0.05g/L	0.12g/L	0.25g/L	0.35g/L	0.5g/L
	1 Turbidez (NTU)	42.39	51.31	0.25	12.99	65.10
	2 Turbidez (NTU)	42.58	51.57	0.14	12.48	65.45
	3 Turbidez (NTU)	42.24	51.22	0.39	12.74	65.24
	Turbidez (NTU)	42.40	51.36	0.26	12.73	65.26
Media						

En la tabla se detallan los diferentes valores de dosificación de policloruro de aluminio líquido aplicado a las diferentes muestras para el tratamiento del agua residual, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Grafico 15.

Comportamiento de turbidez (NTU) a diferentes dosificaciones de policloruro de aluminio líquido.



Como se aprecia en el gráfico, la turbidez (eje de las ordenadas) tiene su valor óptimo en la jarra 3, donde alcanza 0.26 NTU con la dosificación de 0.25g/L de Policloruro de aluminio líquido, fuente: *Basantés, L. y García, K., 2019.*

Tabla 17.

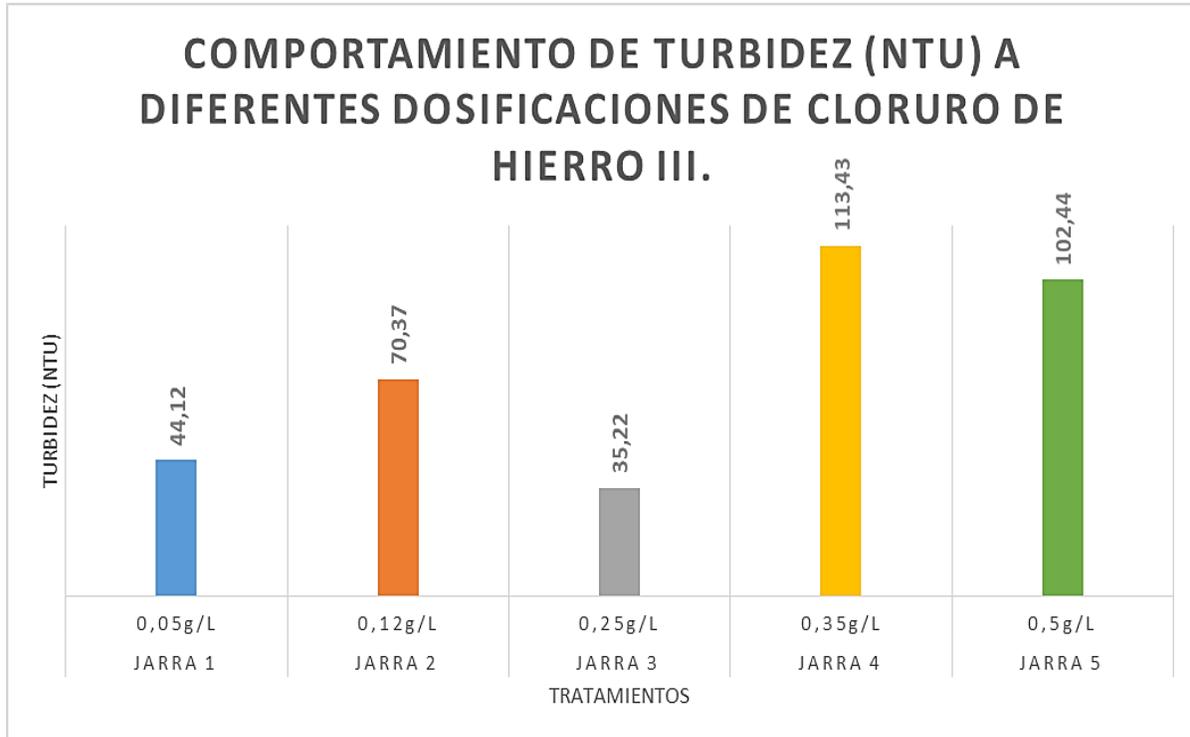
Dosificación de cloruro de hierro III para evaluar el comportamiento de turbidez (NTU).

		Cloruro de hierro III				
		Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5
Repeticiones	Cantidad de floculante	0.05g/L	0.12g/L	0.25g/L	0.35g/L	0.5g/L
1	Turbidez (NTU)	44.11	70.19	35.04	113.41	102.22
2	Turbidez (NTU)	43.98	70.38	35.15	113.75	102.47
3	Turbidez (NTU)	44.28	70.54	35.47	113.14	102.64
Media	Turbidez (NTU)	44.12	70.37	35.22	113.43	102.44

En la tabla se detallan los diferentes valores de dosificación de cloruro de hierro III aplicado a las diferentes muestras para el tratamiento del agua residual, fuente: *Basantés, L. y García, K., 2019.*

Grafico 16.

Comportamiento de turbidez (NTU) a diferentes dosificaciones de cloruro de hierro III.



En el grafico se observa el comportamiento de la turbidez en base a las diferentes concentraciones de cloruro de hierro III que se encuentran en el eje de las abscisas, donde se tiene el valor óptimo en la jarra 3, donde se tiene 35.22 NTU de turbidez con la dosificación de 0.25g/L, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Tabla 18.

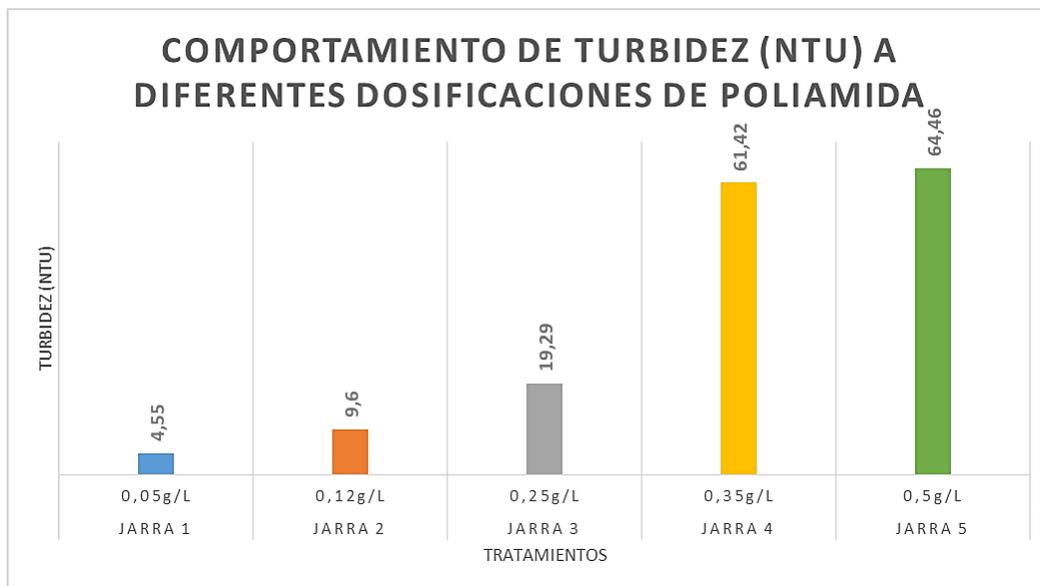
Dosificación de poliamida para evaluar el comportamiento de turbidez (NTU).

		Poliamida				
		Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5
Repeticiones	Cantidad de floculante Turbidez (NTU)	0.05g/L	0.12g/L	0.25g/L	0.35g/L	0.5g/L
	1	4.83	9.52	19.56	61.41	64.45
	2	4.45	9.87	19.21	61.57	64.71
	3	4.39	9.41	19.11	61.30	64.22
	Turbidez (NTU)	4.55	9.6	19.29	61.42	64.46
Media						

En la tabla se detallan los diferentes valores de dosificación de poliamida aplicado a las diferentes muestras para el tratamiento del agua residual, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Grafico 17.

Comportamiento de turbidez (NTU) a diferentes dosificaciones de poliamida.



En el grafico se observa el comportamiento de la turbidez en base a las diferentes concentraciones de poliamida que se encuentran en el eje de las abscisas, donde se tiene el valor optimo en la jarra 1, donde se tiene 4.55 NTU de turbidez con la dosificación de 0.05g/L, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

5.1.3. Determinación del tiempo óptimo de ozonificación

Una vez realizada la prueba de jarras a las 3 muestras con el valor óptimo de coagulante, se procede a realizar la ozonificación a diferentes intervalos de tiempo, para obtener el tiempo óptimo de ozonificación con el que se tiene el valor más bajo de DQO. Se puede observar en las tablas y determinar que el valor optimo es el de la muestra 3, que paso de una DQO de 30663 mg/L a 10210 mg/L, por lo que se puede determinar que a mayor tiempo de ozonificación existe el rango óptimo presentes en la tabla 19. Una vez obtenidos los valores óptimos de ozonificación y las concentraciones optimas de floculante, se procede a realizar una nueva prueba de jarras para obtener agua clarificada y continuar con la fase de oxidación.

5.1.3.1. Tasas de ozonificación

Se realizaron pruebas de ozonificación a las tres muestras con varios intervalos de tiempo que van desde 1 hora hasta 5 horas de tratamiento, para analizar el comportamiento de la DQO y con ello determinar cuál es la tasa óptima con la cual se alcanzó el menor valor detallada en las siguientes tablas.

Muestra 1

Tabla 19.

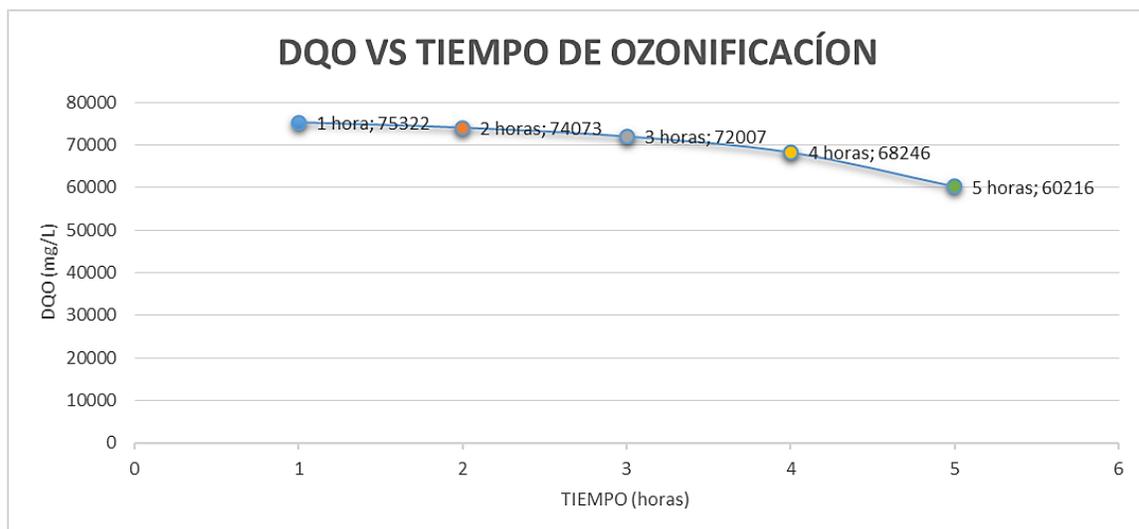
Valores de DQO obtenidos en base al tiempo de ozonificación.

Tiempo	DQO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO (mg/L)	Media (mg/L)
1 hora	75295	73481	77191	75322
2 horas	74959	74115	73147	74073
3 horas	72387	73487	70148	72007
4 horas	69081	68144	67513	68246
5 horas	62910	59243	58497	60216

En la tabla se detallan los diferentes valores de ozonificación aplicado a la muestra 1 para el tratamiento del agua residual, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Grafico 18.

Comportamiento de la DQO (mg/L) a diferentes tiempos de ozonificación de la muestra 1.



En el grafico se observa el comportamiento de la DQO ubicado en el eje de las ordenadas, en base a los diferentes tiempos de ozonificación que se encuentran en el eje de las abscisas, donde se tiene una disminución notable y tiempo optimo a las 5 horas de tratamiento, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Muestra 2

Tabla 20.

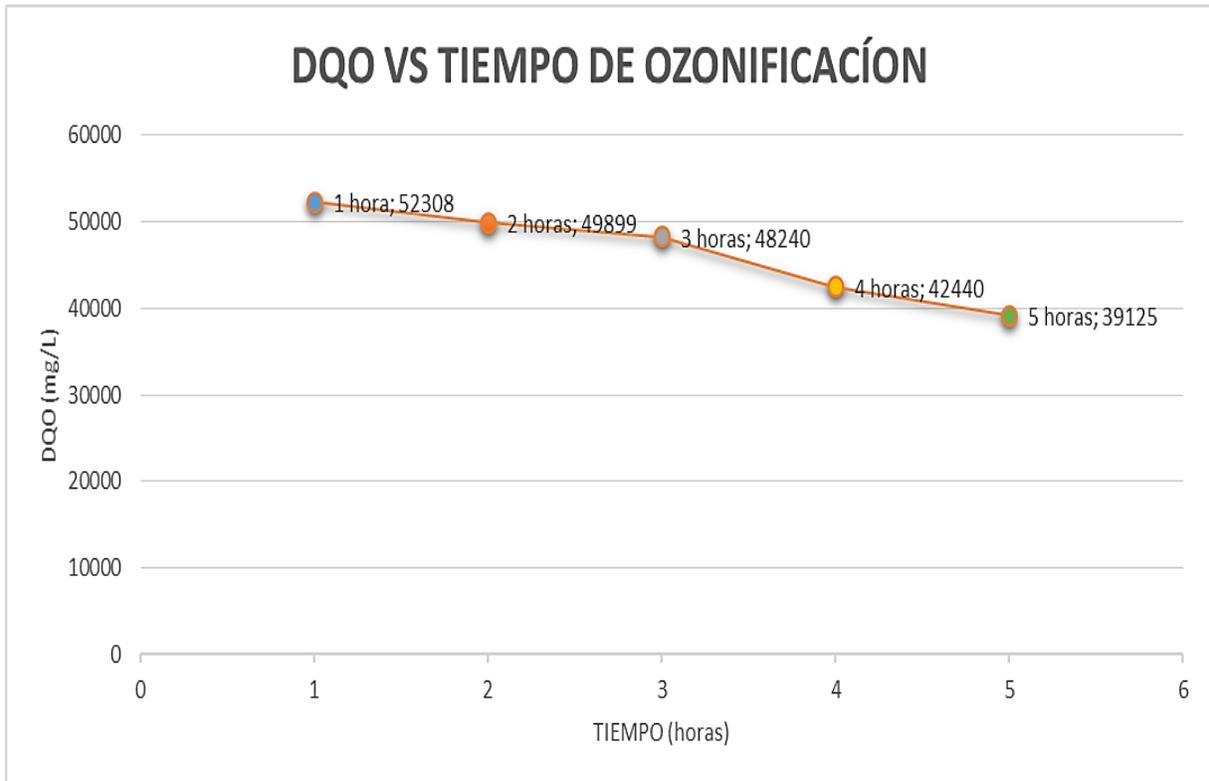
Valores de DQO obtenidos en base al tiempo de ozonificación.

Tiempo	DQO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO (mg/L)	Media (mg/L)
1 hora	51087	53852	51986	52308
2 horas	50371	51487	51665	49899
3 horas	49716	47164	47841	48240
4 horas	43850	40546	42926	42440
5 horas	40364	38779	38232	39125

En la tabla se detallan los diferentes valores de ozonificación aplicado a la muestra 2 para el tratamiento del agua residual, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Grafico 19.

Comportamiento de la DQO (mg/L) a diferentes tiempos de ozonificación de la muestra 2.



En el grafico se observa el comportamiento de la DQO (abscisas) en base a los tiempos de ozonificación (ordenadas), donde se tiene el tiempo óptimo pasadas las 4 horas de exposición de la muestra al ozono, donde se observa que el menor valor de DQO se obtiene en la muestra 3, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Muestra 3

Tabla 21.

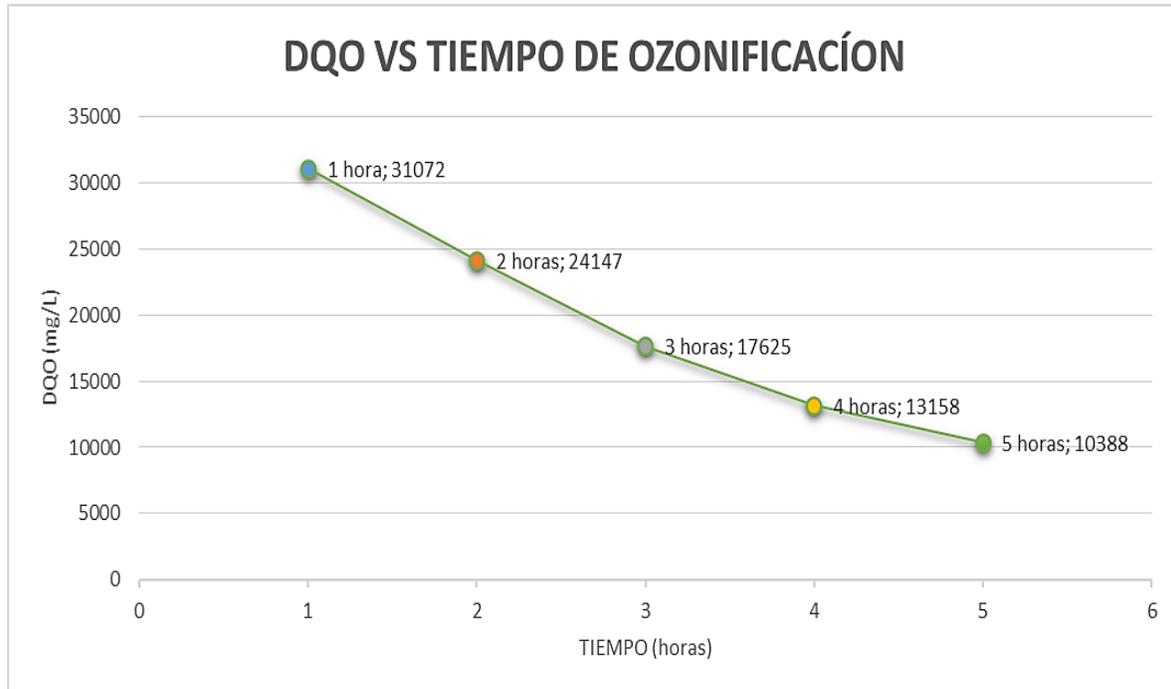
Valores de DQO obtenidos en base al tiempo de ozonificación.

Tiempo	DQO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO (mg/L)	Media (mg/L)
1 hora	30663	31570	30985	31072
2 horas	25981	24147	22314	24147
3 horas	18060	16831	17984	17625
4 horas	13685	13152	12638	13158
5 horas	10210	10622	10332	10388

En la tabla se detallan los diferentes valores de ozonificación aplicado a la muestra 3 para el tratamiento del agua residual, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Grafico 20.

Comportamiento de la DQO (mg/L) a diferentes tiempos de ozonificación de la muestra 3.



Como se aprecia en el gráfico, la DQO (eje de las ordenadas) tiene su valor óptimo a las 5 horas de ozonificación (eje de las abscisas), donde se observó que a más tiempo de ozonificación se tiene un mejor tratamiento para las diferentes muestras, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

5.1.4. Oxidación avanzada

Con el agua clarificada obtenida en los procesos de coagulación y ozonificación se pudo realizar la oxidación avanzada, dando como nuevos resultados los detallados en las siguientes tablas, y obteniendo el valor final de DQO en la muestra 3 en la jarra 5 una DQO de 1990 mg/L, con el cual se comprueba que el tratamiento funciona.

Muestra 1

Tabla 22.

Variación de DQO en relación con las diferentes concentraciones de H₂O₂ y FeSO₄.

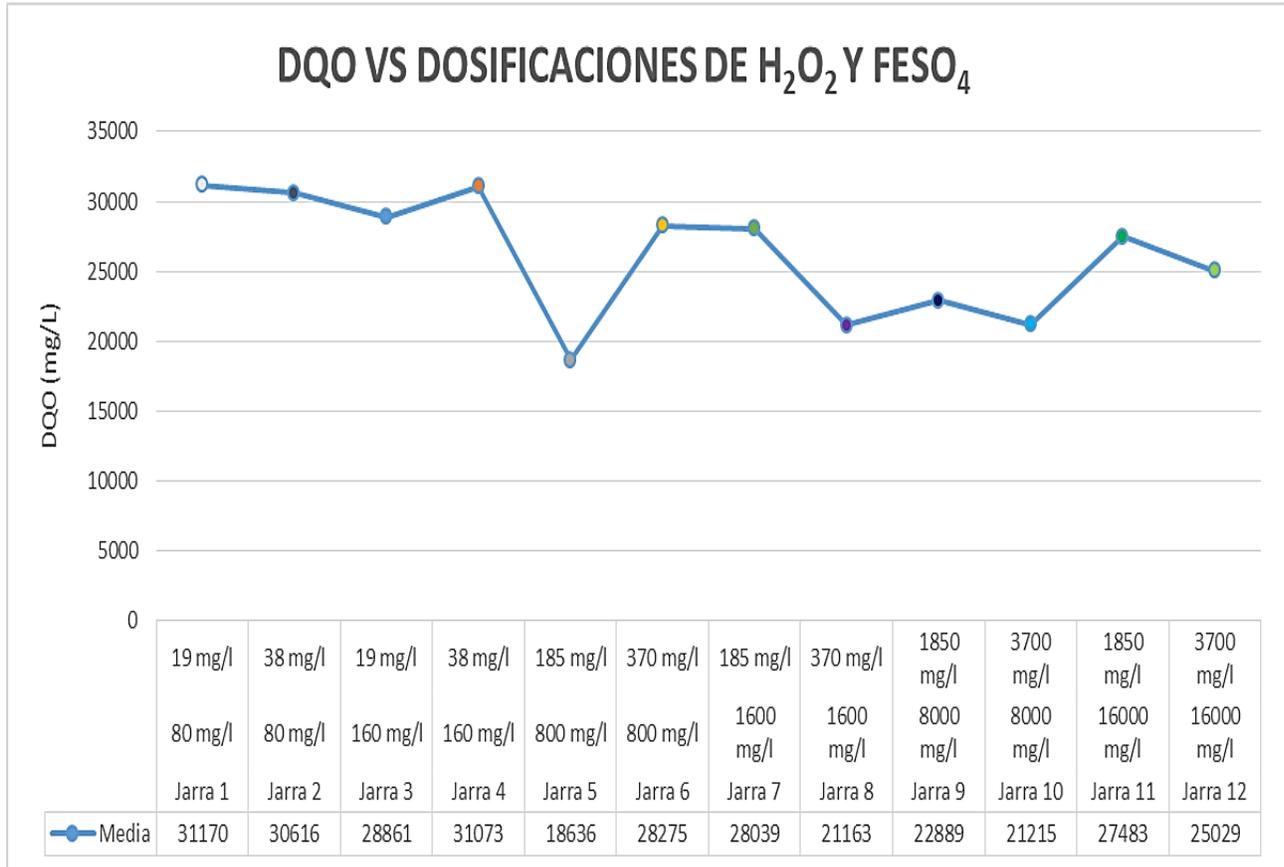
Jarra	H ₂ O ₂ (mg/L)	FeSO ₄ (mg/L)	DQO (mg/L) Repetición 1	DQO (/mg/L) Repetición 2	DQO (mg/L) Repetición 3	Media (mg/L)
1	80	19	31455	30498	32157	31170
2	80	38	30481	31247	30121	30616
3	160	19	28479	28985	29120	28861
4	160	38	31378	30587	31254	31073
5	800	185	19336	18451	18122	18636
6	800	370	27894	28812	28119	28275
7	1600	185	28552	27545	28021	28039
8	1600	370	21489	20102	21898	21163
9	8000	1850	23587	22986	22094	22889
10	8000	3700	21478	21601	20566	21215
11	16000	1850	27350	28988	26112	27483
12	16000	3700	25489	25011	24587	25029

En la tabla se detallan los diferentes valores de H₂O₂ y FeSO₄ aplicado a la muestra 1 para el tratamiento del agua residual, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Grafico 21.

Comportamiento de la DQO (mg/L) a diferentes concentraciones de H₂O₂ y FeSO₄ de la muestra

1.



En el grafico se observa el comportamiento de la DQO ubicado en el eje de las ordenadas, en base a las diferentes dosificaciones de H₂O₂ y FeSO₄ que se encuentran en el eje de las abscisas, donde se observa que el valor optimo se obtiene con la concentración de 185mg/L de FeSO₄ y 800 mg/L de H₂O₂ en la jarra 5, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Muestra 2

Tabla 23.

Variación de DQO en relación con las diferentes concentraciones de H₂O₂ y FeSO₄.

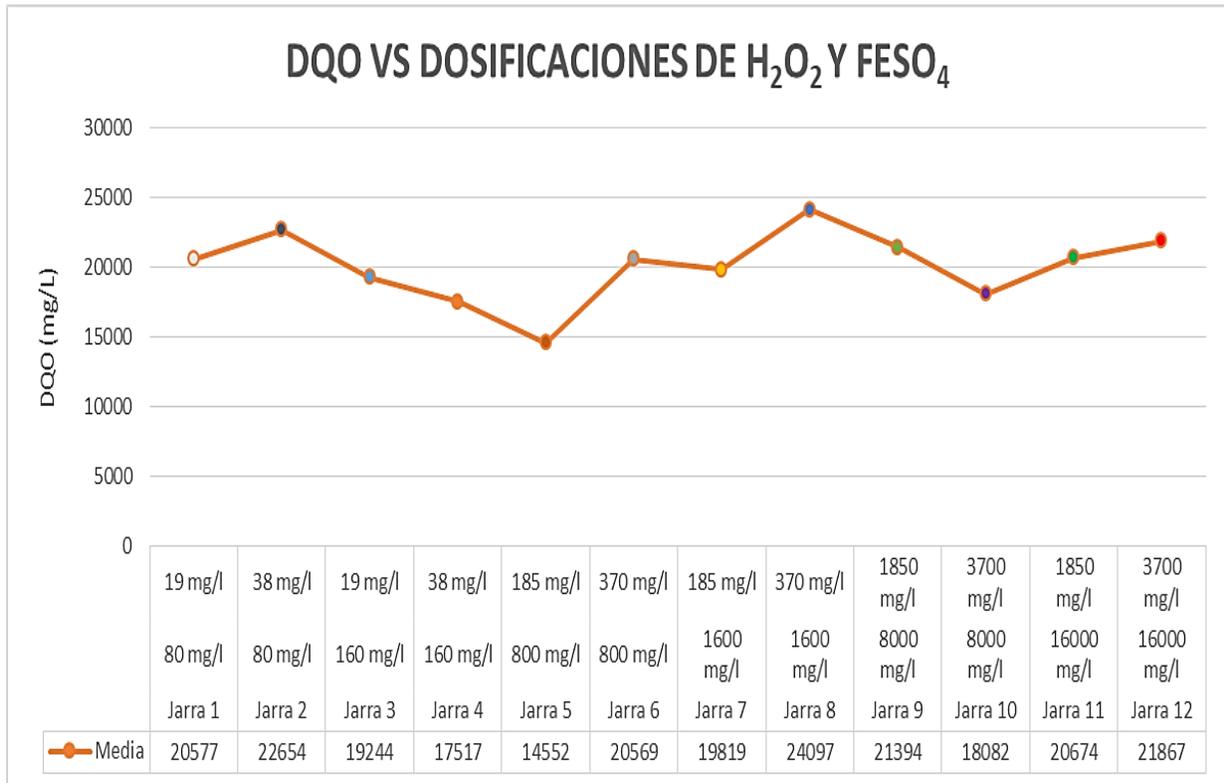
Jarra	H ₂ O ₂ (mg/L)	FeSO ₄ (mg/L)	DQO (mg/L) Repetición 1	DQO (mg/L) Repetición 2	DQO (mg/L) Repetición 3	Media (mg/L)
1	80	19	20182	21368	20183	20577
2	80	38	22989	21954	23021	22654
3	160	19	19542	18672	19520	19244
4	160	38	18457	17540	16554	17517
5	800	185	15278	14390	13989	14552
6	800	370	20264	19881	21564	20569
7	1600	185	19887	20032	19540	19819
8	1600	370	23140	25115	24037	24097
9	8000	1850	20159	22033	21990	21394
10	8000	3700	18264	17981	18002	18082
11	16000	1850	20025	20195	21803	20674
12	16000	3700	21155	22287	22160	21867

En la tabla se detallan los diferentes valores de H₂O₂ y FeSO₄ aplicado a la muestra 2 para el tratamiento del agua residual, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Grafico 22.

Comportamiento de la DQO (mg/L) a diferentes concentraciones de H₂O₂ y FeSO₄ de la muestra

2.



En el grafico se aprecia el comportamiento de la DQO ubicado (eje de las ordenadas), en base a las diferentes dosificaciones de H₂O₂ Y FeSO₄ (eje de las abscisas), donde se observa que el valor optimo se obtiene con la concentración de 185mg/L de FeSO₄ y 800 mg/L de H₂O₂ en la jarra 5, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Muestra 3

Tabla 24.

Variación de DQO en relación con las diferentes concentraciones de H₂O₂ y FeSO₄.

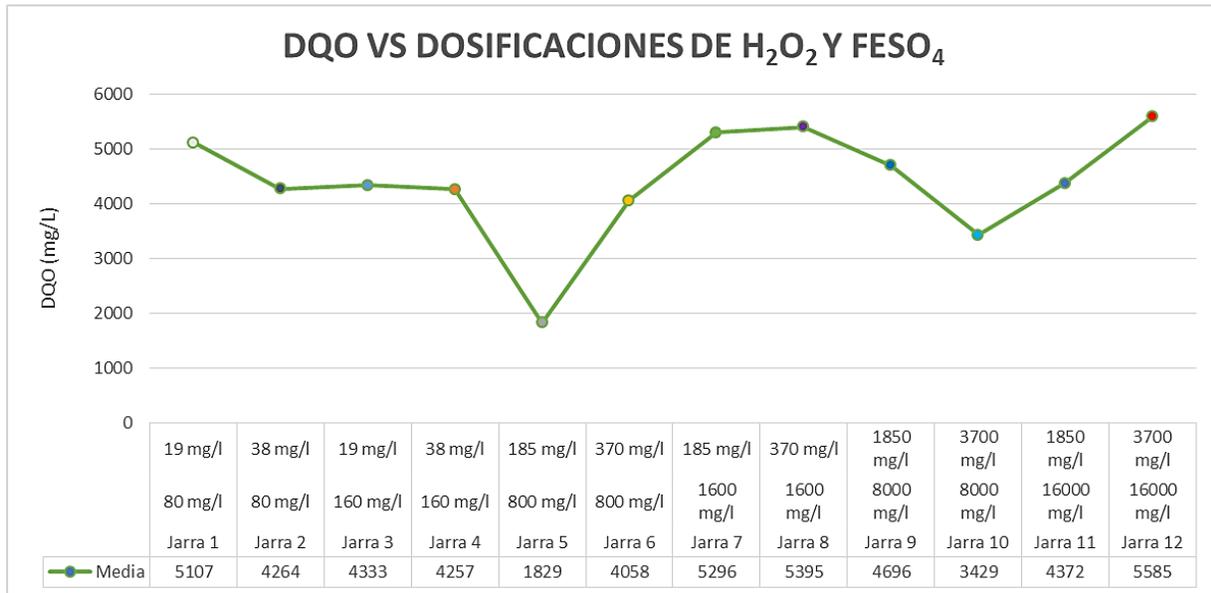
Jarra	H ₂ O ₂ (mg/L)	FeSO ₄ (mg/L)	DQO (mg/L) Repetición 1	DQO (mg/L) Repetición 2	DQO (mg/L) Repetición 3	Media DQO(mg/L)
1	80	19	5125	5087	5110	5107
2	80	38	4340	4255	4198	4264
3	160	19	4490	4311	4199	4333
4	160	38	4250	4325	4198	4257
5	800	185	1990	1854	1644	1829
6	800	370	4060	4127	3988	4058
7	1600	185	5430	5128	5332	5296
8	1600	370	5400	5382	5403	5395
9	8000	1850	4820	4765	4503	4696
10	8000	3700	3480	3520	3287	3429
11	16000	1850	4500	4198	4420	4372
12	16000	3700	5610	5982	5163	5585

En la tabla se detallan los diferentes valores de H₂O₂ y FeSO₄ aplicado a la muestra 2 para el tratamiento del agua residual, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Grafico 23.

Comportamiento de la DQO (mg/L) a diferentes concentraciones de H₂O₂ y FeSO₄ de la muestra

3.



En el grafico se observa el comportamiento de la DQO ubicado en el eje de las ordenadas, en base a las diferentes dosificaciones de H₂O₂ Y FeSO₄ que se encuentran en el eje de las abscisas, donde se observa que el valor óptimo para las tres muestras se obtiene con la concentración de 185mg/L de FeSO₄ y 800 mg/L de H₂O₂ en la jarra 5, fuente: *Basantés, L. y García, K., 2019.*

5.1.5. Ozonificación avanzada con luz UV

Una vez culminada la oxidación avanzada y, tomando en cuenta que con 800 mg/L de H₂O₂ y 185 mg/L de FeSO₄ en las tres repeticiones, se obtuvieron los valores más bajos de DQO (1990 mg/L, 1854 mg/L y 1644 mg/L); se procede a someter a las muestras a una ozonificación avanzada con luz UV, por 8 horas; cumpliendo así con la Normativa Ambiental Vigente; obteniendo los siguientes valores:

Tabla 25.

Valores de DQO con ozonificación avanzada con luz UV por 8 horas.

Jarra	Tiempo (horas)	DQO	DQO	DQO
5	8 hora	493 mg/L	363 mg/L	384 mg/L

En la tabla se detalla los valores de DQO finales aplicado a la muestra 3 para el tratamiento del agua residual, fuente: *Basantes, L. y García, K., 2019.*

Como se observa en la tabla, se aplica luz UV a la jarra 5 de la muestra 3 con un valor de DQO de 1829 mg/L realizando tres repeticiones, la cual después de los tratamientos se llega a 363 mg/L con lo que se alcanza la norma en la repetición número 2.

Para determinar en porcentaje de descontaminación que tuvo la muestra durante todo el proceso se realizó el siguiente cálculo:

$$\% \text{ de descontaminación} = \frac{\square\square\square \square\square\square\square\square\square - \square\square\square \square\square\square\square\square}{\square\square\square \square\square\square\square\square\square} * 100$$

$$\% \text{ de descontaminación} = \frac{45690 - 363}{45690} * 100$$

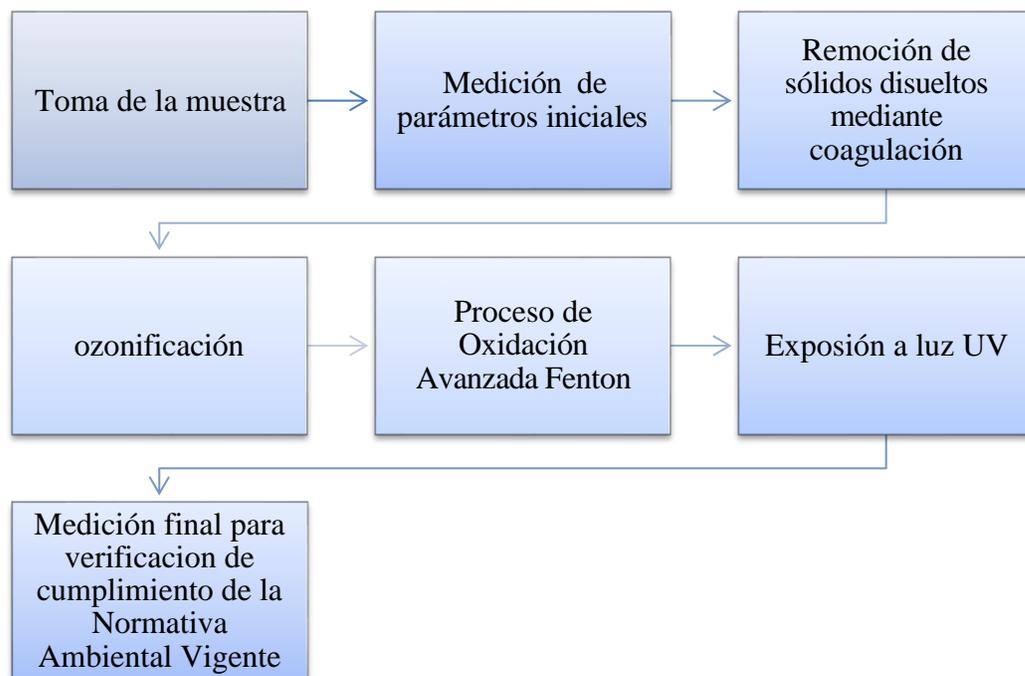
$$\% \text{ de descontaminación} = 99.20 \%$$

5.1.6. Prueba de confiabilidad de datos

Cumpliendo con los parámetros de la Normativa Ambiental Vigente, TULSMA 2015, Libro VI, Anexo 1, Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público; se pudo determinar que la metodología óptima utilizada fue:

Grafico 24.

Diagrama de flujo de la metodología utilizada.



Sin embargo, fue necesario determinar estadísticamente que los valores obtenidos en cada uno de los procesos son fiables; para ello se utilizó en programa *Past3*, donde se realizó la prueba de Análisis de varianza de un factor.

Tabla 26.

Cálculo de la media, desviación estándar y coeficiente de variación, de las dosificaciones de sulfato de aluminio de cada una de las muestras, con sus respectivas repeticiones.

	Muestra 1					Muestra 2					Muestra 3				
	JARRA 1	JARRA 2	JARRA 3	JARRA 4	JARRA 5	JARRA 1	JARRA 2	JARRA 3	JARRA 4	JARRA 5	JARRA 1	JARRA 2	JARRA 3	JARRA 4	JARRA 5
R1	142,61	149,99	228,91	104,10	45,65	112,65	122,91	128,95	92,2	44,91	34,4	41,76	73,63	16,62	94,45
R2	142,55	150,10	229,01	103,98	45,49	112,74	122,99	128,88	91,98	45,05	34,31	41,64	73,54	16,54	94,31
R3	142,59	150,09	228,90	104,19	45,57	112,71	123,01	129,1	92,17	44,95	34,58	41,81	73,78	16,78	94,57
Media	142,6	150,1	228,9	104,1	45,6	112,7	123,0	129,0	92,1	45,0	34,4	41,7	73,7	16,6	94,4
Desvest	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
%CV	0,02%	0,04%	0,03%	0,10%	0,18%	0,04%	0,04%	0,09%	0,13%	0,16%	0,40%	0,21%	0,16%	0,73%	0,14%

Tabla 27.

Cálculo de la media, desviación estándar y coeficiente de variación, de las dosificaciones de policloruro de aluminio líquido de cada una de las muestras, con sus respectivas repeticiones.

	Muestra 1					Muestra 2					Muestra 3				
	JARRA 1	JARRA 2	JARRA 3	JARRA 4	JARRA 5	JARRA 1	JARRA 2	JARRA 3	JARRA 4	JARRA 5	JARRA 1	JARRA 2	JARRA 3	JARRA 4	JARRA 5
R1	120,01	91,64	0,58	0,65	89,94	110,1	72,6	2,14	15,22	69,47	42,39	51,31	0,25	12,99	65,1
R2	119,98	91,59	0,60	0,69	90,01	109,98	72,55	2,09	15,2	69,39	42,58	51,57	0,14	12,48	65,45
R3	120,05	91,60	0,57	0,70	89,91	110,01	72,65	2,11	15,18	69,41	42,24	51,22	0,39	12,74	65,24
Media	120,0	91,6	0,6	0,7	90,0	110,0	72,6	2,1	15,2	69,4	42,4	51,4	0,3	12,7	65,3

Desvest	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2
%CV	0,03%	0,03%	2,6%	3,9%	0,06%	0,06%	0,07%	1,2%	0,1%	0,06%	0,40%	0,35%	48%	2,0%	0,27%

Tabla 28.

Cálculo de la media, desviación estándar y coeficiente de variación, de las dosificaciones de cloruro de hierro III de cada una de las muestras, con sus respectivas repeticiones.

	Muestra 1					Muestra 2					Muestra 3				
	JARRA 1	JARRA 2	JARRA 3	JARRA 4	JARRA 5	JARRA 1	JARRA 2	JARRA 3	JARRA 4	JARRA 5	JARRA 1	JARRA 2	JARRA 3	JARRA 4	JARRA 5
R1	168,89	154,65	135,90	90,15	55,59	67,47	54,1	35,71	24,24	55,11	44,11	70,19	35,04	113,41	102,22
R2	170,01	154,60	135,89	90,09	55,46	67,4	54,11	35,7	24,34	55,17	43,98	70,38	35,15	113,75	102,47
R3	168,95	154,59	135,94	89,98	55,64	67,51	54,09	35,68	24,31	55,09	44,28	70,54	35,47	113,14	102,64
Media	169,3	154,6	135,9	90,1	55,6	67,5	54,1	35,7	24,3	55,1	44,1	70,4	35,2	113,4	102,4
Desvest	0,63	0,03	0,03	0,09	0,09	0,06	0,01	0,02	0,05	0,04	0,15	0,18	0,22	0,31	0,21
%CV	0,37%	0,02%	0,02%	0,10%	0,17%	0,08%	0,02%	0,04%	0,21%	0,08%	0,34%	0,25%	0,63%	0,27%	0,21%

Tabla 29.

Cálculo de la media, desviación estándar y coeficiente de variación, de las dosificaciones de poliamida de cada una de las muestras, con sus respectivas repeticiones.

	Muestra 1					Muestra 2					Muestra 3				
	JARRA 1	JARRA 2	JARRA 3	JARRA 4	JARRA 5	JARRA 1	JARRA 2	JARRA 3	JARRA 4	JARRA 5	JARRA 1	JARRA 2	JARRA 3	JARRA 4	JARRA 5
R1	8,71	10,13	14,87	14,58	26,28	17,75	30,1	11,68	36,41	16,57	4,83	9,52	19,56	61,41	64,45
R2	8,68	10,10	14,79	14,60	26,31	17,66	30,21	11,81	36,34	16,47	4,45	9,87	19,21	61,57	64,71
R3	8,75	10,09	14,90	14,61	26,24	17,81	30,04	11,75	36,54	16,6	4,39	9,41	19,11	61,3	64,22
Media	8,7	10,1	14,9	14,6	26,3	17,7	30,1	11,7	36,4	16,5	4,6	9,6	19,3	61,4	64,5
Desvest	0,04	0,02	0,06	0,02	0,04	0,08	0,09	0,07	0,10	0,07	0,24	0,24	0,24	0,14	0,25

%CV	0,4%	0,2%	0,4%	0,1%	0,1%	0,4%	0,3%	0,6%	0,3%	0,4%	5,2%	2,5%	1,2%	0,2%	0,4%
------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Tabla 30.

Cálculo de la media, desviación estándar y coeficiente de variación, de la ozonificación de cada una de las muestras, con sus respectivas repeticiones.

Muestra 1						Muestra 2						Muestra 3					
R1	R2	R3	Media	Desvest	%CV	R1	R2	R3	Media	Desvest	%CV	R1	R2	R3	Media	Desvest	%CV
75295	73481	77191	75322	1855	2%	51087	53852	51986	52308	1410	3%	30663	31570	30985	31073	460	1%
74959	74115	73147	74074	907	1%	50371	51487	51665	51174	701	1%	25981	24147	22314	24147	1834	8%
72387	73487	70148	72007	1702	2%	49716	47164	47841	48240	1322	3%	18060	16831	17984	17625	689	4%
69081	68144	67513	68246	789	1%	43850	40546	42926	42441	1705	4%	13685	13152	12638	13158	524	4%

62910	59243	58497	60217	2362	4%	40364	38779	38232	39125	1107	3%	10210	10622	10332	10388	212	2%
-------	-------	-------	-------	------	----	-------	-------	-------	-------	------	----	-------	-------	-------	-------	-----	----

Tabla 31.

Cálculo de la media, desviación estándar y coeficiente de variación, de la reacción Fenton de cada una de las muestras, con sus respectivas repeticiones.

Muestra 1						Muestra 2						Muestra 3					
R1	R2	R3	Media	Desvest	%CV	R1	R2	R3	Media	Desvest	%CV	R1	R2	R3	Media	Desvest	%CV
31455	30498	32157	31328	1173	4%	20182	21368	20183	20578	684	3%	5125	5087	5110	5107	19	0%
30481	31247	30121	30616	575	2%	22989	21954	23021	22655	607	3%	4340	4255	4198	4264	71	2%
28479	28985	29120	28861	338	1%	19542	18672	19520	19245	496	3%	4490	4311	4199	4333	147	3%
31378	30587	31254	31073	425	1%	18457	17540	16554	17517	952	5%	4250	4325	4198	4258	64	1%
19336	18451	18122	18636	628	3%	15278	14390	13989	14552	660	5%	1990	1854	1644	1829	174	10%
27894	28812	28119	28275	478	2%	20264	19881	21564	20570	882	4%	4060	4127	3988	4058	70	2%

28552	27545	28021	28039	504	2%	19887	20032	19540	19820	253	1%	5430	5128	5332	5297	154	3%
21489	20102	21898	21000	1270	6%	23140	25115	24037	24097	989	4%	5400	5382	5403	5393	15	0%
23587	22986	22094	22889	751	3%	20159	22033	21990	21394	1070	5%	4820	4765	4503	4696	169	4%
21478	21601	20566	21084	732	3%	18264	17981	18002	17992	15	0%	3480	3520	3287	3404	165	5%
27350	28988	26112	27550	2034	7%	20025	20195	21803	20999	1137	5%	4500	4198	4420	4309	157	4%
25489	25011	24587	24799	300	1%	21155	22287	22160	22224	90	0%	5610	5982	5163	5573	579	10%

Fue aplicado de igual manera el análisis estadístico el cual detalla Romero Rojas (2002), pagina 113 a 116; con el fin de determinar la turbidez en la coagulación el DQO en la reacción frentón determinando en un 99% las frecuencias de los parámetros antes mencionados.

Tabla 32.

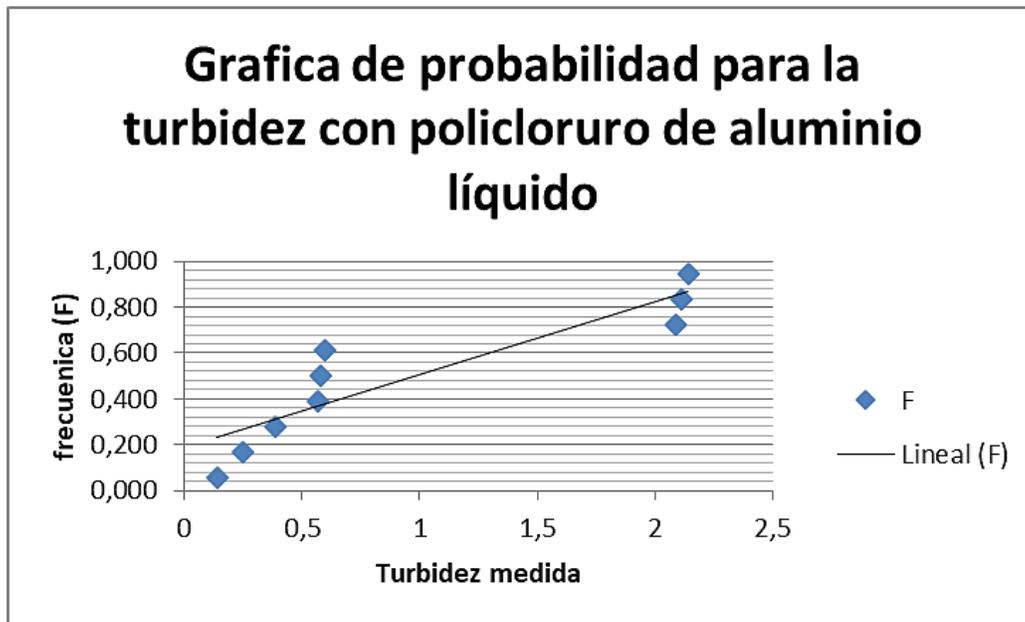
Análisis estadístico de turbidez con policloruro de aluminio líquido.

M (orden de datos)	turbidez	F (% de ocurrencia)
1	0,14	0,056
2	0,25	0,167
3	0,39	0,278
4	0,57	0,389
5	0,58	0,500
6	0,6	0,611
7	2,09	0,722
8	2,11	0,833
9	2,14	0,944

Elaborado por: Basantes, L. y García, K., 2019.

Grafico 25.

Probabilidad para la turbidez con policloruro de aluminio líquido.



En el análisis estadístico que se observa en el gráfico obtenido de la turbidez aplicando la coagulación de policloruro de aluminio de líquido con una media de 0,9856 y una desviación estándar de 0,8598; obteniendo una turbidez de 2,9889 NTU con una probabilidad del 99%.

Tabla 33.

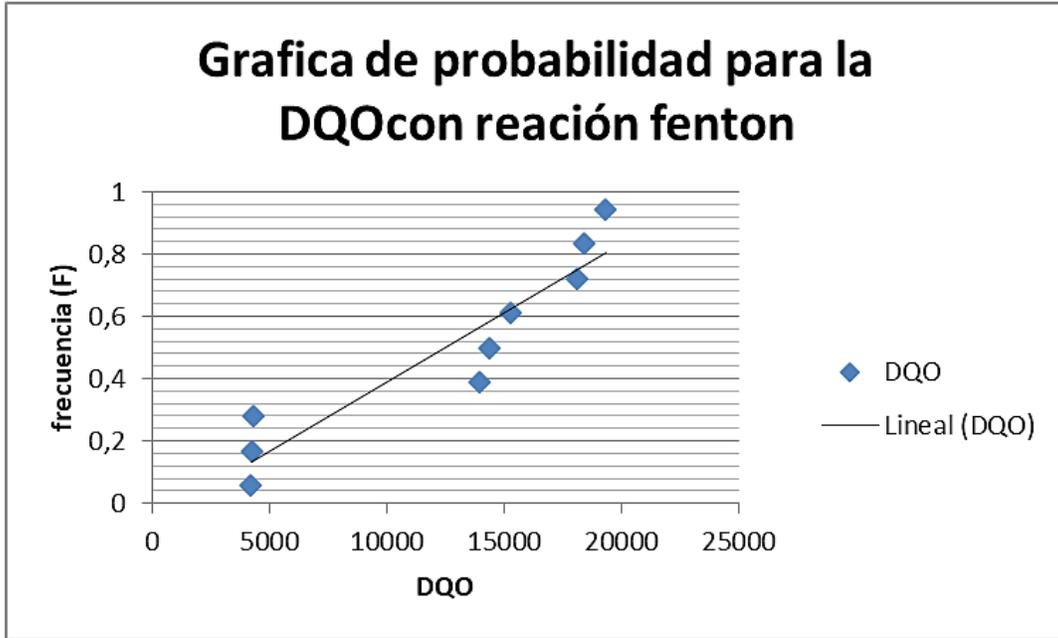
Análisis estadístico de DQO con fenton con 800 mg/L de H₂O₂ y 185 mg/L de FeSO₄ (dosis óptima).

M (orden de datos)	turbidez	F (% de ocurrencia)
1	4198	0,05555556
2	4250	0,16666667
3	4325	0,27777778
4	13989	0,38888889
5	14390	0,5
6	15278	0,61111111
7	18122	0,72222222
8	18451	0,83333333
9	19336	0,94444444

Elaborado por: Basantes, L. y García, K., 2019.

Grafico 26.

Probabilidad para la DQO con reacción fenton 800 mg/L de H2O2 y 185 mg/L de FeSO4 (dosis óptima).



En el análisis estadístico que se observa en el grafico obtenido de la turbidez aplicando POA fenton con una media de 12482,1111 y una desviación estándar de 6433,04103; obteniendo una turbidez de 27471,0967 mg/L con una probabilidad del 99%.

5.2. Discusión

Para comparar metodologías, resultados, parámetros, entre otros, con otras investigaciones y así verificar la y certificar la investigación del presente documento. Se tomó en cuenta dos parámetros relevantes:

5.2.1. Turbidez

En base a la experimentación de Andía (2000), entre mayores sean los niveles de turbiedad, mejor se realizarán los procesos de coagulación; motivo por el cual la eficiencia del policloruro de aluminio líquido (0,25 g) con la muestra 1 de 80.7 NTU/FNU inicial, tuvo una eficiencia de 99.29% disminuyendo este valor a 0.57 NTU/FNU.

El control de los valores óptimos del potencial hidrógeno, beneficiara la cinética de la reacción; debido a que “*para sales de aluminio el rango de pH para la coagulación es de 6.5 a 8.0 y para las sales de hierro, el rango de pH óptimo es de 5.5 a 8.5 unidades*” (Andía, 2000); lo que se puede verificar en los resultados obtenidos, debido a que se realizó el experimento con un pH cercano a 7.

Según Lorenzo (2006), las dosificaciones optimas de floculantes se obtienen mediante ensayos de pruebas de jarras; si las dosis son bajas las reacciones son incompletas obteniendo valores no representativos, en cambio si la dosificación es alta existe la presencia microflóculos aumentando la turbidez del agua. En las pruebas realizadas en la experimentación se obtuvo que la dosificación más eficiente fue de 0.25g de policloruro de aluminio líquido en un litro de agua residual; corroborando que el aplicar una dosificación menor o mayor a esta disminuye la eficiencia del proceso, obteniendo valores no representativos.

5.2.2. Demanda Química de Oxígeno

Bes (2018), en su investigación menciona que, “*la demanda química de oxígeno (DQO): representa la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación química de los compuestos orgánicos carbonados a dióxido de carbono y agua*”; por lo cual la ausencia de un oxidante puede

ser suplida mediante las tecnologías de POAs las cuales tienen la capacidad de degradar compuestos no biodegradables y hasta el punto de mineralizar contaminantes en el agua.

Según Bes (2018), “*La adición de sales de hierro como catalizador en presencia de H_2O_2 es un método clásico de producción de radicales $HO\bullet$* ” por lo cual fue escogida como la tecnología POA para la disminución de la demanda química de oxígeno, debe ser controlado el pH pues la reacción ocurre en un rango de 2,5 a 4 y de igual manera para finalizar la reacción es necesario neutralizar la reacción con una base, al igual que la coagulación su dosificación es verificable a través de pruebas de jarras, en las cuales se obtuvo una alta eficiencia en la muestra 3 , jarra 5 en la cual se adiciono 800 mg/L de H_2O_2 al 30% y 185 mg/L de $FeSO_4$ al 98%.

Una vez realizado el tratamiento mediante la metodología Fenton, se aplicó un POAs con ozono y luz UV por un tiempo de exposición de 8 horas; lo que llevo a obtener valores que permitieron cumplir la normativa ambiental vigente (TULSMA, 2015). Debido a que “*la combinación O_3/UV es de especial interés por los diferentes procesos de degradación que coexisten: fotólisis directa, ozonización directa y oxidación por radicales $HO\bullet$ que generan reacciones rápidas y no selectivas*” (Bes, 2018).

Comparando los valores obtenidos con la Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público; se verifica el cumplimiento de la Normativa Ambiental Vigente y el objetivo general de la investigación.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

En base a los resultados obtenidos durante el tratamiento de aguas residuales provenientes de la postcosecha mediante oxidación avanzada se puede concluir que:

- Con los datos obtenidos; las condiciones óptimas para la coagulación con policloruro de aluminio líquido fue de 0.25 g/L; la reacción Fenton 800 mg/L de H₂O₂ y 185 mg/L de FeSO₄ y ozonificación más luz UV por 5 horas.
- Partiendo de una DOQ inicial promedio de 60850 mg/L y turbiedad inicial promedio de 59,19 NTU/FNU, con la metodología utilizada, se obtuvieron resultados de una media de 413 mg/L para el DQO y 0,58 NTU/FNU para la turbidez; permitiendo cumplir con la normativa ambiental vigente, TULSMA 2015, Tabla 8.
- Los POAs pueden implementados como procesos de depuración de aguas residuales procedentes de la postcosecha.

6.2. Recomendaciones

Para realizar un proceso de oxidación avanzada heterogéneo, es indispensable tomar en consideración lo siguiente:

- La difusión de ozono debe ser mediante microburbuja, debido a que aumenta el área de contacto de esta con respecto al agua a ser tratada.; a mayor columna de agua, mayor tiempo de retención de la burbuja de ozono; debido a que el tiempo que le toma a la burbuja llegar a la superficie será elevado, beneficiando así, el proceso.

- Es indispensable realizar un pretratamiento, como filtración, con la finalidad de retirar solidos suspendidos y facilitar las reacciones posteriores; debido a que estas las no son selectivas.
- Una vez finalizado el tratamiento, se recomienda realizar un análisis de biodegradabilidad, para verificar si es posible la aplicación de un sistema biólogo con lodos activados para disminuir el tiempo de retención y costos que genera el proceso.

7. BIBLIOGRAFIA

- AGAOCE. (s.f.). *Acreditación y Gestión Ambiental en América Central*. Obtenido de http://www.cegesti.org/agace/presentaciones/08_manual_aguas_muestreo_de_aguas.pdf
- Andía, Y. (Abril de 2000). *SEDAPAL*. Obtenido de Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico. TRATAMIENTO DE AGUA: COAGULACIÓN FLOCULACIÓN: http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154
- Arroyave, J. G. (2007). Fotodegradación de las aguas residuales con pesticida Mertect en la industria bananera empleando Fotocatálisis con Dióxido de Titanio y Lámpara de Luz Ultravioleta. *SciELO*.
- Arroyave, J. G. (08 de Agosto de 2008). *Degradación del colorante tartrazina mediante fotocatalisis heterogénea empleando lámpara de luz ultravioleta*. Obtenido de Google Académico: <https://pdfs.semanticscholar.org/6eb6/fc0d70633b0debded9cc9be83f01a395317d.pdf>
- Asambles, N. (20 de Octubre de 2008). Constitución de la República del Ecuador. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Baez, M. y. (1999). PARAMETROS DE CALIDAD ANALITICA DE UN METODO DE . *SciELO* .
- Bes, S. S. (2018). *Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales*. CYTED.

Castro, J. (Febrero de 2017). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE HIDRATACIÓN POSTCOSECHA DE LAS ROSAS EN LA EMPRESA VICKY FLOWERS Y PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN.*

Obtenido de INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES:

<http://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/handle/123456789/13960>

Chiva, S. B. (2017). *Procesos de oxidación avanzada en el ciclo integral del agua.* UNE.

CONAGOPARE. (2018). *Ecuador Territorio de Inversión.* Recuperado el 31 de 03 de 2019, de

<https://territoriodeinversion.ec/centro-agroecologico-integral-san-jose-de-ayora/>

de la Riva, F. (Septiembre-Diciembre de 2011). Poscosecha de flores de corte y medio ambiente.

SciELO. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292011000300019

EcuRed. (08 de enero de 2019). *Tratamiento de aguas residuales.* Obtenido de

https://www.ecured.cu/index.php?title=Tratamiento_de_aguas_residuales&oldid=349711

2

Escobar Tobar, A. D., & Flores Guamán, O. A. (2018). *Estudio de factibilidad de la "Eco ruta de caminata y bicicleta río San José" y diseño definitivo de la red vial del "Complejo Integral Agroecológico San José de Ayora, Cantón Cayambe".* Quito.

Felissia, F. B. (2010). Reducción de la DQO recalcitrante de efluentes de pulpados semiquímicos mediante precipitación química. *SciELO.*

Fernández, C. (2007). Tratamientos de depuración de aguas residuales contaminadas con pesticidas. *Dialnet.*

Gallegos, F. y. (enero de 2019). Determinación de pesticidas y calidad de agua de efluentes de florícolas en la zona de Cayambe. Quito , Pichincha , Ecuador .

Gobierno Autónomo Descentralizado "San José de Ayora". (2015). *Plan de Ordenamiento Territorial "San José de Ayora"*. Cayambe. Recuperado el 31 de 03 de 2019, de :
http://app.sni.gob.ec/snmlink/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1768167320001_diagn

Grisales, D. O. (2012). REMOCION DE LA MATERIA ORGANICA Y TOXICIDAD EN AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS APLICANDO OZONO. *SciElo*.

Heifer International. (2014). *La agroecología esta presente Mapeo de productores agroecológicos y del estado de la agroecología en la sierra y costa ecuatoriana*. Quito.

Juarez, P. y. (2015). AGUA RESIDUAL TRATADA EN LA POSCOSECHA DE FLORES DE PERRITO (*Antirrhinum majus* L.) Y LISIANTHUS (*Eustoma grandiflorum*).
Iberoamericana de Ciencias.

La Hora. (2018). *En Cayambe se planea construir un centro agroecológico integral*. Quito.

Lorenzo, Y. (2006). *Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación*.
Caribe, España y Portugal: Red de Revistas Científicas de América Latina.

MAE. (2014). *NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA*. Obtenido de
<http://www.industrias.ec/archivos/CIG/file/CARTELERA/Reforma%20Anexo%2028%20feb%202014%20FINAL.pdf>

Márquez, J. M. (2013). Mejora de la biodegradabilidad potencial y la mineralización de una mezcla de pesticidas después de ser tratada con un sistema acoplado de fotocátalisis solar con TiO₂ y humedales artificiales. *SciELO* .

Ministerio del Ambiente . (4 de Mayo de 2015). ACUERDO NO. 061. Quito , Ecuador: CEP.

Pey, J. (2008). APLICACIÓN DE PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA (FOTOCATÁLISIS SOLAR) PARA TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE EFLUENTES TEXTILES. Valencia, España.

Pinherio, A. S. (Abril de 2019). Tratamiento de aguas residuales provenientes de industria de productos de limpieza y desinfectantes por ozonización convencional y catalítica. *SciELO*.
Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052019000200223&lang=es

Romero Rojas, J. A. (2018). *AGUAS RESIDUALES IDUSTRIALES*. Bogota: ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO.

Rubio, A. C. (2014). Aplicación del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales de origen petroquímico. *SciELO* , 213.

Subdirección de Hidrología IDEAM. (10 de Septiembre de 2007). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales República de Colombia*. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428

Terán, M. (11 de enero de 2016). Estudio de la Aplicación de Procesos de Oxidacion Avanzada a aguas contaminadas . Barcelona , España .

Veliz, E. G. (2016). Coagulación-floculación, filtración y ozonización de agua residual para reutilización en riego agrícola. *Scielo* .

Wright, H. y. (s.f.). *LUZ ULTRAVIOLETA*. Obtenido de

http://usam.salud.gob.sv/archivos/pdf/agua/LUZ_ULTRAVIOLETA.pdf