



POSGRADOS

Maestría en

**RECURSOS HÍDRICOS con mención en gestión e
ingeniería de agua potable y saneamiento**

RPC-SE-03-NO.041-2020

Opción de Titulación:

Artículos profesionales de alto nivel

Tema:

TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PROCEDENTE
DE UNA INDUSTRIA DE TRANSFORMACIÓN DE
LÁTEX, MEDIANTE PROCESOS DE OXIDACIÓN
AVANZADA A ESCALA DE LABORATORIO

Autor(es)

MADISON JAZMIN LARA ESPIN

Director:

RENATO GABRIEL SANCHEZ PROAÑO

QUITO -Ecuador

2024

Autor(es):



Madison Jazmín Lara Espín

Ingeniera en Biotecnología
Candidata a Magíster en Recursos Hídricos con Mención en
Gestión e Ingeniería de Agua Potable y Saneamiento por la
Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito.

mlarae@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Renato Gabriel Sánchez Proaño

Ingeniero Ambiental
Magister en Economía Ecológica
Doctor en Salud Colectiva, Ambiente y Sociedad

rsanchezp@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2022 © Universidad Politécnica Salesiana.

Quito – ECUADOR – SUDAMÉRICA

Madison Jazmín Lara Espín

TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PROCEDENTE DE UNA INDUSTRIA DE TRANSFORMACIÓN DE LÁTEX, MEDIANTE PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA A ESCALA DE LABORATORIO

TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PROCEDENTE DE UNA INDUSTRIA DE TRANSFORMACIÓN DE LÁTEX, MEDIANTE PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA A ESCALA DE LABORATORIO

TREATMENT OF WASTEWATER FROM A LATEX TRANSFORMATION INDUSTRY, THROUGH ADVANCED OXIDATION PROCESSES ON A LABORATORY SCALE

RESUMEN

El número de industrias se incrementa de manera proporcional al crecimiento poblacional, lo que genera una mayor cantidad de aguas residuales, las cuales son tratadas con sistemas convencionales de baja eficacia en el tratamiento de contaminantes emergentes (ONU, 2017), en respuesta a lo expuesto se evaluó la eficacia de la oxidación avanzada tipo Fenton en el tratamiento de aguas residuales industriales para lograr que los parámetros de DQO, DBO₅ y pH estén dentro de lo que establece la normativa ambiental (Acuerdo Ministerial 097^a, Tabla 8). En la presente investigación se caracterizó el agua de una empresa industrial de transformación de látex, se obtuvo valores para los parámetros evaluados iniciales, posteriormente se determinó para el proceso de coagulación que la concentración óptima de Policloruro de Aluminio (PAC) tipo A es 1g/L, mediante prueba de jarras a condiciones específicas se aplicó el tratamiento de oxidación avanzada tipo Fenton en diferentes concentraciones, con lo cual se concluyó que la concentración óptima de reactivo Fenton para este tratamiento específico fue de 10 mg/L de Peróxido de Hidrogeno (H₂O₂) y 10 mg/L de Sulfato Ferroso (FeSO₄), las mezclas fueron sometidas a una hora de reposo, seguidamente se realizó un proceso de precipitación de hierro mediante prueba de jarras y modificación de pH. Finalmente se obtuvo valores finales de DQO 220 mg/L equivalente a un porcentaje de reducción del 65%, DBO₅ 25 mg/L equivalente a un incremento del 80% lo que representa mayor biodegradabilidad y pH de 7.1, que comprueban la eficacia del tratamiento de oxidación avanzada tipo Fenton para este tipo de aguas residuales.

ABSTRACT

The number of industries increases proportionally to population growth, generating a greater amount of wastewater, which is treated with conventional systems with low efficiency in the treatment of emerging pollutants (UN, 2017). In response to the above, the effectiveness of advanced Fenton-type oxidation in the treatment of industrial wastewater was evaluated to ensure that the COD, BOD₅ and pH parameters are within what is established by environmental regulations (Ministerial Agreement 097^a, Chart 8). In the present investigation, the water of an industrial company for latex transformation was characterized, values were obtained for the initial evaluated parameters, subsequently it was determined for the coagulation process that the optimal concentration of Polyaluminum Chloride (PAC) type A is 1 g / L, through jar tests under specific conditions, the advanced oxidation treatment type Fenton was applied in different concentrations, with which it was concluded that the optimal concentration of Fenton reagent for this specific treatment was 10 mg / L of Hydrogen Peroxide (H₂O₂) and 10 mg / L of Ferrous Sulfate (FeSO₄), the mixtures were subjected to one hour of rest, then an iron precipitation process was carried out through jar tests and pH modification. Finally, final values of COD 220 mg/L were obtained, equivalent to a reduction percentage of 65%, BOD₅ 25 mg/L equivalent to an increase of 80%, which represents greater biodegradability and pH of 7.1, which prove the effectiveness of the Fenton-type advanced oxidation treatment for this type of wastewater.

Palabras claves

Fenton, PAC tipo A, aguas residuales de una empresa de procesamiento de látex, precipitación de hierro

Keywords

Fenton, PAC type A, wastewater from a latex processing industry, iron precipitation

1. Introducción

El incremento de la producción industrial y el crecimiento de las poblaciones han ocasionado que los contaminantes de los residuos industriales y domésticos se incrementen en volumen, carga y concentración (Carreño Campo & Alfonso, 2018), los cuales son vertidos en cuerpos de agua dando lugar al incremento de la contaminación hídrica y efectos nocivos sobre las distintas formas de vida presentes en estas corrientes (Sánchez, 2021) , además de romper el equilibrio biológico (Maldonado & Ramón, 2022).

Cada año se vierten millones de metros cúbicos de aguas residuales en diferentes cuerpos de agua, las cuales son tratados de forma inadecuada (López Ramírez , y otros, 2021), las aguas residuales industriales presentan una amplia cantidad de contaminantes que tienen una acción muy compleja sobre el medio ambiente, provocando afectación en el desarrollo natural de los ecosistemas por el cambio de condiciones como la toxicidad, olor, color, entre otros, son tratadas tradicionalmente por métodos convencionales; sin embargo, se ha comprobado en los últimos años que estos procesos son ineficientes para alcanzar lo que la ley exige (Forero, Ortiz, & Ríos, 2005). Esto ha inducido a desarrollar diferentes tipos de sistemas de tratamientos que ayuden a reducir estos impactos ambientales.

El tratamiento de aguas residuales para cumplir con la Normativa Ambiental requiere de cierto nivel de efectividad en la aplicación, dentro de los más efectivos para aguas residuales industriales están los procesos de oxidación más eficientes denominados procesos avanzados de oxidación, los cuales generalmente se aplican a pequeña o mediana escala cuando los métodos convencionales biológicos pierden eficiencia (Hernandez Salazar, Moreno Seceña, & Sandoval Herazo, 2023).

La oxidación avanzada se apoya en procesos fisicoquímicos capaces de provocar fuertes cambios en la estructura química de los contaminantes (Sánchez y Basantes, 2024), los cuales generan radicales hidroxilos a partir de catalizadores y agua oxigena con una poderosa capacidad de oxidación, esto genera únicamente como subproductos agua y dióxido de carbono (Bes Monge, Torres Pinto, S Ribero, T Silva, & Bengoa, 2018). Mediante este proceso oxidante se aumenta la relación de DBO_5/DQO , además separan componentes inorgánicos y orgánicos oxidables (Pérez García, y otros, 2017).

El tratamiento de oxidación avanzada seleccionado es el método Fenton ya que demuestra eficiencia en el tratamiento de aguas residuales, el pH óptimo que maneja generalmente es ácido, este parámetro depende de las necesidades, se ha demostrado que también se ajusta a pH básico (Naranjo Tovar, y otros, 2021). La reacción química que se desarrolla en la oxidación avanzada tipo Fenton es la siguiente:



Los radicales hidroxilos descomponen los enlaces químicos de los contaminantes orgánicos convirtiéndolos en productos menos tóxicos (Sánchez y otros, 2023). El radical hidroxilo resultante de la reacción química de Fenton es un oxidante fuerte con la capacidad de degradar varios compuestos orgánicos del agua residual (Martinez, 2023).

El reactivo Fenton se compone de dos reactivos; peróxido de hidrogeno (H_2O_2) e ion ferroso (Fe^{2+}) (Arroyave Rojas, Gárce Giraldo, & Mejía Trujillo, 2009), en este análisis se usará sulfato ferroso ($FeSO_4$), en la reacción el Fe^{+2} trabaja como catalizador para formar radicales $\cdot OH$ en el proceso de disociación del peróxido de hidrogeno como elementos oxidantes (Bokare & Wonyong, 2014).

La oxidación avanzada tipo Fenton es una reacción de ciclo catalítico donde el hierro está en forma de Fe^{2+} , actuando como catalizador para la creación de radicales hidroxilos; el hierro (Fe^{2+}) se oxida a (Fe^{3+}) y es regenerado por el peróxido de hidrogeno (H_2O_2), esto permite la renovación continua de los radicales hidroxilos dando como resultado la oxidación de contaminantes orgánicos (Parra, 2018).

El tratamiento de oxidación avanzada tipo Fenton es considerado muy prometedor para aguas residuales, debido a que los componentes del reactivo son fáciles de manejar, no son tóxicos, son de uso seguro, no forma compuestos clorados nocivos e incrementa la biodegradabilidad; al tratarse de un proceso homogéneo no existen limitaciones de transferencia de masa (Aliaga Simorte, 2010). Al finalizar el proceso es necesario una etapa de neutralización para la separación y precipitación del hierro (Bautista, Mohedano, Casas, & Rodriguez, 2007), en esta etapa generalmente se utiliza scavenger o agentes de captura, que son compuestos químicos empleados en el tratamiento de aguas residuales para eliminar contaminantes específicos (Kiwi, López, & Nadtochenko, 2000).

En base a lo descrito, este proyecto tiene como finalidad evaluar la eficiencia de la oxidación

avanzada tipo Fenton para depuración de aguas residuales industriales en el caso específico de una empresa industrial procesadora de látex, y asegurar que los parámetros de DBO₅, DQO y pH estén dentro de lo que establece la normativa ambiental (Acuerdo Ministerial 097^a, Tabla 8. Normas generales para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado).

2. Materiales y Métodos

2.1 Aguas residuales

Las muestras de agua residual se obtuvieron en una industria de transformación de látex ubicada en la ciudad de Cayambe, para los análisis respectivos se usaron 20 litros de agua residual (muestra compuesta) en un envase plástico sellado, transportados al laboratorio para ser analizados, posteriormente se redistribuyeron en diferentes envases plásticos sellados de acuerdo a la necesidad de los procedimientos.

Para el análisis la recolección de las muestras se hizo de manera manual con la ayuda de un muestreador en lapsos de una hora durante 20 horas continuas en el área de captación, formando la muestra compuesta con la que se desarrolló el ensayo (Reutelshöfer & Guzmán Bejarano, 2015). Se siguió las técnicas de manejo, conservación y transporte detalladas en la NTE INEN 2969:2013.

La cantidad de agua residual recolectada se la determino en base a la necesidad del ensayo, el cual se realizó por duplicado.

2.2 Caracterización de las aguas residuales

La caracterización de las muestras estuvo establecida en los siguientes parámetros: nitrógeno, fósforo, turbidez, pH, DBO₅, DQO, nitrato, nitrito, sulfato, tensoactivos y conductividad, de acuerdo a las necesidades (Romero López, Santiso Garbayo, & Gonzáles Díaz, 2014). Los parámetros y métodos utilizados en la caracterización se mencionan en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de caracterización

Parámetro	Expresión	Equipo
Nitrógeno	mg/L	Fotómetro
Fosforo	mg/L	Multiparamétrico con DQO / HANNA
Turbidez	NTU	
Ph	U pH	Electrónico HANNA
DBO ₅	mg/L	Medidor DBO/ OXITOP

DQO	mg/L	Fotómetro Multiparamétrico con DQO / HANNA COLORIMETRIA
Nitrato	mg/L	
Sulfato	mg/L	
Tensoactivos	mg/L	
Conductividad	uS/cm	Electrónico HANNA
Nitrito	mg/L	Fotómetro Multiparamétrico con DQO / HANNA

Elaborado por: Lara,2024

Los protocolos de análisis fueron los siguientes; para los parámetros de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5) con la técnica de incubación en 5 días de Standard Methods 5210:B, Demanda Química de Oxígeno (DQO) con la técnica de vial bajo 16 mm y colorimétrico adaptado de Standard Methods 5220:D, tensoactivos con la técnica de surfactantes aniónicos de Standard Methods 5540:C (Baird, Eaton, & Rice, 2017), nitrógeno y nitrato con la técnica de ácido cromotrópico, fósforo con la técnica de ácido ascórbico adaptado de la EPA 365.2 y Standard Methods 4500 P:E, sulfato con la técnica de precipitación de cristales con cloruro de bario, nitrito con la técnica de diazotización de EPA 354.1 (Woonsocket, 2020).

2.3 Coagulación

Para el procedimiento de coagulación se determinó el pH y la cantidad de coagulante óptimo mediante prueba de jarras y medición de turbidez, en condiciones de mezcla de 100 rpm por un minuto y posteriormente 20 rpm por 5 minutos. La prueba de jarras es un proceso esencial en aguas residuales ya que se remueven la mayor parte de sólidos y de turbiedad orgánica e inorgánica (Fuquené & Yate, 2018).



Figura 1. Fotografía de la prueba de jarras a diferentes concentraciones de coagulante.

El coagulante utilizado fue Policloruro de Aluminio (PAC) tipo A, el cual se adicione en 1L de muestra en las cantidades indicadas en la tabla 2, para pH ácido (2.36) y neutro (7.15).

Tabla 2. Proporciones de Policloruro de Aluminio (PAC) tipo A

Mezcla	PAC tipo A (g/L)
1	0.01
2	0.05
3	0.10
4	0.25
5	0.50
6	1.00
Condiciones: 100 RPM/ 1 min 20 RPM/ 5 min	

Elaborado por: Lara, 2024

2.4 Reacción Fenton

El procedimiento seleccionado para la purificación experimental es la reacción de oxidación avanzada tipo Fenton, realizada a 20°C en la ciudad de Cayambe.

Para el tratamiento experimental se realizaron varias mezclas de sulfato ferroso (FeSO_4) y peróxido de hidrogeno (H_2O_2) en las cantidades mencionadas en la Tabla 3. El ensayo se realizó en pH ácido (2.36) ya que su respuesta al coagulante fue la mejor en parámetros de turbidez bajo el parámetro de la DQO, posteriormente se removieron los sólidos suspendidos mediante decantación durante una hora, en el agua clarificada se adicione sulfato ferroso (FeSO_4) y peróxido de hidrogeno (H_2O_2) mezclando a 100 rpm por 10 minutos.

La medición de DBO_5 y DQO se la realizo una hora después de terminada la mezcla mecánica.

Tabla 3. Proporciones de sulfato ferroso (FeSO_4) y peróxido de hidrogeno (H_2O_2)

Mezcla	H_2O_2 (mg/L)	FeSO_4 (mg/L)
1	5	20
2	10	10
3	15	20
4	20	10
5	20	20
Condiciones: 100 RPM/10 min		

Realizado por: Lara, 2024

2.5 Método de precipitación de hierro

Su aplicación es crucial para mejorar la calidad del agua tratada y cumplir con las normativas ambientales, actúan como carroñeros de O₂, dando como resultado el aumento de la carga orgánica. Estos agentes son particularmente efectivos en la precipitación de metales pesados, la oxidación de compuestos orgánicos y otros contaminantes persistentes (Pokrywiecki Sauer, Casaril, Bertoldi Oberziner, Humberto, & Muniz Moreira, 2006).

Se trabajó con las concentraciones presentadas en la Tabla 3 mezcla 2 para oxidación avanzada tipo Fenton, posteriormente se dosificó hidróxido de Sodio al 35% subiendo la concentración de pH a 14, el aumento de alcalinidad en las muestras provoca la precipitación de hierro como Fe(OH)₃ (Ainhoa Rubio, A Peñuela, & L Chica, 2014). Se dejó reposar la mezcla por dos horas, se extrajo el agua clarificada y se adicionó ácido nítrico para ajustar el pH a 7.1, finalmente se tomaron los valores finales de DBO₅, DQO y turbidez.

3. Resultados

3.1 Caracterización de las aguas residuales

El agua residual recolectada de la industria de transformación de látex fue caracterizada bajo parámetros de pH ácido y neutro para la obtención de puntos de partida en ambos casos. El pH característico de estas aguas residuales es ácido, por lo que para modificar este parámetro se dosifico hidróxido de sodio al 35% en la muestra.

Tabla 4. Valores y parámetros de caracterización de las aguas residuales

Parámetro	pH ácido		pH neutro		TABLA 8
	Valor	Unidades	Valor	Unidades	
pH	2.36	U pH	7.15	U pH	6-9
Conductividad	4096	uS/cm	3337	uS/cm	
Nitrato	350	mg/L	650	mg/L	10
Nitrito	630	mg/L	830	mg/L	10
Nitrógeno	1330	mg/L	1500	mg/L	60
Sulfato	320	mg/L	410	mg/L	400
Tensoactivos	58	mg/L	35	mg/L	2
Turbidez	75	NTU	95	NTU	

DQO	600	mg/L	1200	mg/L	500
-----	-----	------	------	------	------------

Realizado por: Lara,2024

3.2 Coagulación

Con respecto a la adición del coagulante Policloruro de Aluminio (PAC) tipo A, el ensayo se realizó por duplicado, primero en pH ácido (2.36) siendo este el pH característico del agua cruda y en donde mejor se desarrolla la oxidación avanzada tipo Fenton; segundo en pH neutro (7.15) para evaluación de datos dentro del proceso de coagulación.

Tabla 5. Proporciones de PAC tipo A, valores de turbidez y DQO

Mezcla	Coagulante	pH ácido	pH neutro
	PAC tipo A (g/L)	Turbidez	Turbidez
Agua cruda		75 NTU	95 NTU
1	0.01	24 NTU	26 NTU
2	0.05	19 NTU	20 NTU
3	0.10	4.4 NTU	12 NTU
4	0.25	3.8 NTU	8.6 NTU
5	0.50	3.2 NTU	4.7 NTU
6	1.00	2.2 NTU	3.3 NTU

Realizado por: Lara,2024

Tabla 6. Porcentajes de remoción de turbidez

Mezcla	Coagulante	pH ácido	pH neutro
	PAC tipo A (g/L)	Turbidez	Turbidez
1	0.01	68.00%	72.63%
2	0.05	74.00%	78.95%
3	0.10	94.13%	87.36%
4	0.25	94.93%	90.94%
5	0.50	94.73%	95.05%
6	1.00	97.07%	96.53%

Realizado por: Lara,2024

Para determinar la concentración óptima de coagulante se realizaron mediciones de turbidez en todas las mezclas como se detalla en la Tabla 5 y medición de DQO solo en la mezcla de menor

valor, obteniéndose los siguientes resultados en pH ácido DQO 495 mg/L, turbidez de 2.2 NTU y pH neutro DQO 1250 mg/L, turbidez de 3.3 NTU, se determinó que la mejor concentración de coagulante para las mezclas es 1 g de PAC tipo A en pH ácido.

El aumento de Policloruro de Aluminio (PAC) tipo A más de 1g en los ensayos fue evaluado, pero no demostró mejores resultados como se presenta en la **tabla 7**, lo que determina que el incremento de la dosificación del coagulante en el agua residual no representa mayor remoción de turbidez.

Tabla 7. Incremento de dosificación de PAC tipo A

Mezcla	Coagulante	pH ácido	pH neutro
	PAC tipo A (g/L)	Turbidez	Turbidez
Agua cruda		75 NTU	95 NTU
1	2.00	6.8 NTU	10 NTU
2	5.00	15 NTU	17 NTU
3	7.00	30 NTU	23 NTU

Realizado por: Lara,2024

En base a los datos obtenidos se concluyó que el punto óptimo de dosificación para este tipo de aguas residuales oscila entre 0.01g - 1g de PAC tipo A ya que en estos parámetros se evidencia un descenso de turbidez, al incrementar estas proporciones de coagulante (2.00g – 7.00g) la turbidez del agua residual comienza a ascender.

Figura 2. Análisis estadístico Fisher

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1752.60	8	219.08	985.84	<0.0001
Dosificación	1752.60	8	219.08	985.84	<0.0001
Error	2.00	9	0.22		
Total	1754.60	17			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.06639					
Error: 0.2222 gl: 9					
Dosificación	Medias	n	E.E.		
7.00	30.00	2	0.33	A	
0.01	25.00	2	0.33	B	
0.05	19.00	2	0.33	C	
5.00	15.00	2	0.33	D	
2.00	6.80	2	0.33	E	
0.10	4.40	2	0.33	F	
0.25	3.80	2	0.33	F	G
0.50	3.20	2	0.33	G	H
1.00	2.20	2	0.33	H	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Realizado por: Lara,2024

En este análisis se ha tomado en cuenta todas las dosificaciones con un rango de 0.01g-7g de Policloruro de Aluminio (PAC) tipo A, en pH ácido y pH neutro, los resultados obtenidos son estadísticamente diferentes entre sí, dentro de este parámetro las dosificaciones 0.10g-0.25g-0.50-g-1.00g de Policloruro de Aluminio (PAC) tipo A, presentan valores similares en términos de remoción de turbidez, siendo adecuadas para trabajarse dentro del ensayo. Considerando su similitud estadística, se desarrollo el ensayo con el valor mas bajo de turbidez siendo este 1g de Policloruro de Aluminio (PAC) tipo A.

3.3 Reacción Fenton

Se estableció una mezcla estándar integrada únicamente por coagulante PAC tipo A como base comparativa para el resto de mezclas. Los resultados más prometedores en parámetros de DQO y DBO₅ fueron los de la mezcla 2, valores que se encuentran detallados en la Tabla 8.

Tabla 8. Oxidación avanzada tipo Fenton; DBO₅, DQO y turbidez

Mezcla	DQO	DBO	TURBIDEZ
Estándar	651	<5	9.40 NTU
1	606	<5	9.80 NTU
2	536	5	11 NTU
3	584	<5	14 NTU
4	871	<5	12 NTU
5	598	<5	13 NTU

Realizado por: Lara,2024

Tabla 9. Porcentaje de remoción para parámetros de DQO

Mezcla	DQO
1	6.91%
2	17.67%
3	10.29%
4	Aumento 33.79%
5	8.14%

Realizado por: Lara,2024

Se logro una remoción del 17.67% en el tratamiento de oxidación avanzada tipo Fenton con la dosificación de la mezcla 2.

3.4 Método de precipitación de hierro

Al no obtener parámetros aceptables de DBO₅ se procede a realizar la eliminación de scavengers por precipitación de hierro en condiciones ácidas con pH de 3.26, para la aplicación del reactivo Fenton (Mendez Novelo, y otros, 2010). Dentro de las dos horas de reposo anterior a la clarificación se pudo observar el precipitado de hierro almacenado en la parte inferior del recipiente como se aprecia en la figura 3.

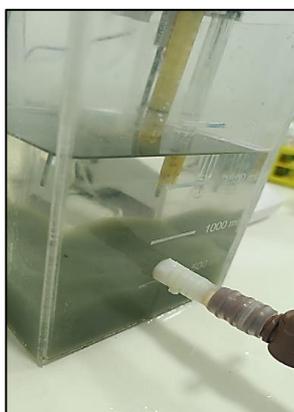


Figura 3. Fotografía del proceso de precipitación de hierro en el tiempo de reposo

Los valores finales obtenidos se encuentran detallados en la tabla 10, con respecto al DBO₅ se obtuvo un valor de 25 mg/L, se logró un aumento de DBO₅ del 80%, lo que representa el incremento biodegradabilidad y la disminución de la toxicidad del agua.

Tabla 10. Valores de DQO y turbidez

Condiciones	DQO	TURBIDEZ
pH 3.26	630	75
PAC tipo A	547	14
REACCION FENTON 2		
pH 7	220	5.5

Realizado por: Lara, 2024

El porcentaje de reducción logrado en el DQO es el 65% y de turbidez es del 92.67%

4. Discusiones

Los resultados obtenidos indican que la reacción de oxidación avanzada tipo Fenton aplicada en concentraciones idóneas es eficaz como alternativa de tratamiento para aguas residuales

industriales con compuestos orgánicos no biodegradables, con respecto a las concentraciones se evidencia que la mezcla con mejores resultados está compuesta por 10 mg/L de Peróxido de Hidrogeno (H_2O_2) y 10 mg/L de Sulfato Ferroso ($FeSO_4$), presentando una remoción del 65% de DQO con respecto al resto de concentraciones, este resultado es apoyado por los trabajos experimentales de Sánchez Proaño & Garcia Gualoto (2018), Jimenez (2014), Vargas (2005), donde mencionan la eficacia del tratamiento para aguas residuales y que el ensayo con mejores resultados está integrado por las mismas concentraciones de reactivo Fenton. Al no obtener parámetros de DBO_5 apreciables después del proceso de oxidación avanzada tipo Fenton, se procede a la eliminación de scavengers por precipitación de hierro trabajado en pH ácido, el cual consiste en subir el pH a 14 mantener un reposo y regular el pH a 7, con esto se logró la precipitación del hierro y la descomposición de los reactivos de peróxido, se evidenciaron los mismos resultados físicos obtenidos en los ensayos experimentales de Rivas, Beltrán, Gimeno, & Carvalho (2003), Casas, Lienqueo, Cubillos, & Herrera (2015), Bocardo & Ferreira (2006); se obtuvo un DBO_5 de 25 mg/L, incrementando el DBO_5 en un 80%, este valor evidencia la pérdida de toxicidad de las aguas residuales tratadas.

Los valores de DBO_5 y DQO permisibles en parámetros de la Normativa Ambiental (Acuerdo Ministerial 097^a, Tabla 8. Normas generales para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado) son los siguientes 250 mg/L y 500 mg/L respectivamente, el pH oscila en concentración de 6-9 (MAE, 2015), los resultados finales obtenidos fueron los siguientes DBO_5 25 mg/L, DQO 220 mg/L, pH 7, valores que evidencian la eficacia del tratamiento para aguas residuales industriales con compuestos orgánicos no biodegradables.

5. Conclusiones

La caracterización de la muestra de aguas residuales presenta un DQO que oscila entre 600-1200 mg/L, tras aplicar el método de eliminación de scavengers por precipitación de hierro posterior al reactivo Fenton los valores finales fueron, DQO 220 mg/L, DBO_5 25 mg/L y pH de 7.1, encontrándose por debajo de los parámetros máximos permisibles (DQO 500 mg/L; DBO_5 250 mg/L; pH 6-9) para la descarga en alcantarillado. En base a lo anteriormente descrito se logró que el agua residual de la industria de transformación de látex este dentro de los parámetros que maneja la normativa ambiental en el Acuerdo Ministerial 097^a, Tabla 8, mediante la aplicación de procesos de oxidación avanzada tipo Fenton.

Para el proceso de coagulación se utilizó Policloruro de Aluminio (PAC) tipo A, se evaluaron diferentes concentraciones y se concluyó que 1g/L es la dosificación óptima para este ensayo, ya que se obtuvo un valor de remoción de turbidez del 97.07% en pH ácido.

Para el proceso de oxidación avanzada tipo Fenton se determinó que la concentración óptima de reactivo Fenton para este tratamiento específico fue de 10 mg/L de Peróxido de Hidrogeno (H_2O_2) y 10 mg/L de Sulfato Ferroso ($FeSO_4$), con esto se logró valores finales de DQO 220 mg/L equivalente a un porcentaje de reducción del 65%, DBO_5 25 mg/L equivalente a un incremento del 80% lo que representa mayor biodegradabilidad.

Referencias

- Ainhoa Rubio, C., A Peñuela, G., & L Chica, E. (20 de junio de 2014). *Aplicación del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales de origen petroquímico*. Obtenido de SciELO: <http://www.scielo.org.co/pdf/inco/v16n2/v16n2a19.pdf>
- Aliaga Simorte, S. (<https://zaguan.unizar.es/record/5122/files/TAZ-PFC-2010-193.pdf> de Departamento de Ingeniería Química y Tecnologías del Medio de 2010). APLICACIÓN DEL PROCESO FENTON Y COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN PARA LA REGENERACIÓN DE AGUAS DEPURADAS. Zaragoza, España.
- Arroyave Rojas, J. A., Gárce Giraldo, L. F., & Mejía Trujillo, J. (2009). Empleo del reactivo de Fenton para la degradación del colorante Tartrazina. *SciELO Analytcs*, Revista Lasallista de Investigación, 6(1), 27-34. Retrieved June 27, 2024, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-44492009000100004&lng=en&tlng=es.
- Baird, R., Eaton, A., & Rice, E. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington: 23RD EDITION.
- Bautista, P., Mohedano, A. F., Casas, J. A., & Rodriguez, J. J. (2007). Application of Fenton oxidation to cosmetic wastewaters treatment. *Hazard Mater*, 143(1-2):128-34. doi: 10.1016/j.jhazmat.2006.09.004.
- Bes Monge, S., Torres Pinto, A., S Ribero, R., T Silva, A., & Bengoa, C. (2018). Manual Técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales. *CYTED*.
- Bocardo, E., & Ferreira, D. (2006). Precipitación de hierro (III) utilizando óxido de magnesio en lecho fluidizado. *Revista de Metalurgia*, 270-278.
- Bokare, A., & Wonyong, C. (2014). Review of iron-free Fenton-like systems for activating H_2O_2 in advanced oxidation processes. *Journal of Hazardous Materials*, Volumen 275; Paginas 121-135.
- Carreño Campo, C., & Alfonso, W. (2018). RELACIÓN ENTRE LOS PROCESOS DE URBANIZACIÓN, EL COMERCIO INTERNACIONAL Y SU INCIDENCIA EN LA SOSTENIBILIDAD URBANA. *Revista Javeriana*, Volumen 11.
- Casas, J., Lienqueo, E., Cubillos, F., & Herrera, L. (2015). *MODELACION CINETICA DE LA PRECIPITACION DE HIERRO COMO JAROSITA EN SOLUCIONES LIXIVIANTES UTILIZANDO LA BACTERIA THIOBACILLUS FERROXIDANS*. Santiago de Chile: Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Chile.
- Forero, J. E., Ortiz, O. P., & Ríos, F. (2005). APLICACIÓN DE PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA COMO TRATAMIENTO DE FENOL EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE REFINERÍA. *SciELO Analytcs*, C.T.F Cienc. Tecnol. Futuro [online], vol.3, n.1, pp.97-109. ISSN 0122-5383.
- Fuquené, D. M., & Yate, A. V. (18 de 10 de 2018). *industriales, Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de

- Working Papers ECAPMA:
<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/workpaper/article/view/2771>
- Hernandez Salazar, A., Moreno Seceña, J. C., & Sandoval Herazo, L. (2023). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES EN MÉXICO: UNA APROXIMACIÓN A SU SITUACIÓN ACTUAL Y RETOS POR ATENDER. *RINDERESU: REVISTA INTERNACIONAL DE DESARROLLO REGIONAL SUSTENTABLE*, Volumen 8; Página 1-2.
- Jimenez, A. C. (2014). *ROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA APLICADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS DE LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO*. . Obtenido de Repositorio de la Escuela Colombiana de Ingeniería "Julio Garavito": chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/84/1/POA-INDUSTRIA%20DEL%20PETROLEO.pdf
- Kiwi, J., López, A., & Nadtochenko, V. (2000). Mechanism and Kinetics of the OH-Radical Intervention during Fenton Oxidation in the Presence of a Significant Amount of Radical Scavenger (Cl⁻). *Environmental Science & Technology*, <https://doi.org/10.1021/es991406i>.
- López Ramírez, M. A., Castellanos Onorio, O. P., Lango Reynoso, F., Castañeda Chávez, M., Montoya Mendoza, J., Sosa Villalobos, A. C., & Ortiz Muñoz, B. (2021). Oxidación avanzada como tratamiento alternativo para las aguas residuales. Una revisión. *Enfoque UTE*, Volumen 4; Páginas 76-87.
- MAE. (4 de 11 de 2015). *Acuerdo Ministerial 097ª, Tabla 8 del libro TULSMA*. Obtenido de Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua: https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2021-04/Acuerdo%20Ministerial%20No.%20097-A%20mediante%20el%20cual%20se%20expiden%20los%20Anexos%20del%20texto%20Unificado%20del%20Ministerio%20del%20Ambiente._0.pdf
- Maldonado, J. I., & Ramón, J. A. (2022). Sistema de Tratamiento para aguas residuales industriales en mataderos. *Revista Ambiental: agua, aire y suelo*.
- Martinez, M. L. (20 de Junio de 2023). *Procesos de oxidación avanzada fenton para el tratamiento de las aguas residuales de la Empresa Pública de Rastro Catamayo*. Obtenido de Repositorio Digital-Universidad Nacional de Loja: https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/27291/1/MilenyLizzeth_Mart%c3%adnezS%c3%a1nchez.pdf
- Mendez Novelo, R. I., Pietrogiovanna Bronca, J. A., Santos Ocampo, B., Sauri Riancho, M. R., Giácoman Vallejos, G., & Castillo Borgues, E. R. (2010). *Determinación de la dosis óptima de reactivo Fenton en un tratamiento de lixiviados por Fenton-adsorción*. Obtenido de SciELO: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992010000300004
- Naranjo Tovar, D., Morillo Semanate, L., Perez, J., Villacis Oñate, W., Vargas Jentzsch, P., & Muñoz Bisesti, F. (2021). Procesos Fenton como tratamiento complementario para la remoción de tensoactivos y coliformes de aguas residuales domésticas. *Revista Chilena de Ingeniería*, Volumen 29; <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052021000200364> .
- Parra, W. S. (2018). *EVALUACIÓN DE LODOS ACTIVADOS Y OXIDACIÓN AVANZADA TIPO FENTON PARA LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DEL RÍO MACHÁNGARA*. Obtenido de REPOSITORIO UDLA: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/8679/1/UDLA-EC-TIAM-2018-07.pdf
- Pérez García, G., Primo Martínez, O., Rivero Martínez, M., Ibañez Mendizabal, R., Urtiaga Mendia, A., & Ortiz Uribe, I. (13-14 de Junio de 2017). APLICACIÓN DE PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA EN PLANTA PILOTO AL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE VERTEDERO. *Memorias del VII Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos: hacia una Economía Circular*. Santander, España.
- Pokrywiecki Sauer, T., Casaril, L., Bertoldi Oberziner, A. L., Humberto, J. J., & Muniz Moreira, R. d. (2006). Advanced oxidation processes applied to tannery wastewater containing Direct Black 38—Elimination and degradation kinetics. *Journal of Hazardous Materials*, Volmen 135; Paginas 274-279.
- Reutelshöfer, T., & Guzmán Bejarano, L. (2015). *Guía para la toma de muestras de agua residual*. La Paz, Bolivia: PERIAGUA.

- Rivas, J., Beltrán, F., Gimeno, O., & Carvalho, F. (2003). Fenton-like Oxidation of Landfill Leachate. *Environmental Science and Health, Part A*, 38(2), 371–379.
<https://doi.org/10.1081/ESE-120016901>.
- Romero López, T., Santiso Garbayo, P., & Gonzáles Díaz, O. A. (3 de 09 de 2014). Caracterización de las aguas residuales de la empresa procesadora de alimentos PRODAL, Cuba. *SCIELO ANALYTICS*, Volumen XXXV; Páginas 88-100. Obtenido de SciELO: <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v35n3/riha07314.pdf>
- Sánchez Proaño, R. G., & Garcia Gualoto, K. (1 de Marzo de 2018). Tratamientos de aguas residuales de cargas industriales Icon oxidación avanzada en sistemas convencionales. *LA GRANJA: REVISTAS DE CIENCIAS DE LA VIDA*, pág. 9.
- Sánchez Proaño, R. & Basantes, Luis. (2024). TREATMENT OF LIQUID EFFLUENTS FROM POST-HARVEST FLOWERS THROUGH ADVANCED OXIDATION. *Systems, Smart Technologies and Innovation for Society: Proceedings of CITIS'2023*, Volume 2. Springer Nature.
- Sánchez Proaño y otros. (2023). FLUVIAL LOADS OF PESTICIDES IN THE PISQUE RIVER (ECUADOR) BETWEEN JUNE 2018 AND MAY 2019. *La Granja, de Ciencias de la Vida*, 2023, Vol 38, Issue 2, p94
- Sánchez Proaño, R. (2021). Metabolismo social en el uso del agua para la producción florícola. Universidad Andina Simón Bolívar, Quito-Ecuador.
- Vargas, J. P. (12 de 2005). *TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN RASTRO MUNICIPAL MEDIANTE PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA TIPO FENTON*. Obtenido de CIATEC: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Tesis-Javier%20Paramo_Dr.pdf
- Woonsocket, H. I. (2020). *Manual de Instrucciones HI83399 Fotómetro multiparamétrico con DQO*. Obtenido de HANNA INSTRUMENTS:
https://cdn.hannacolombia.com/hannacdn/support/manual/2020/08/Manual_HI_83399.pdf