

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Ambiental

“ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD Y EFICIENCIA DEL PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA FENTON APLICADO COMO TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autores:

Patricia Milagros Marreros Lanchipa
Marcelo Fernando Meléndez Salazar

Asesor:

Ing. Luis Enrique Alva Diaz

Lima - Perú

2021

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a nuestros padres por su gran esfuerzo de apoyarnos a lo largo de
nuestra carrera universitaria en estos años.

A todos nuestros profesores por sus enseñanzas y su tiempo de dedicación hacia nosotros,
trasmitiendo cada uno de ellos un mensaje diferente de sabiduría para encaminarnos por el
camino correcto y así llegar hasta el final de nuestra meta.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos a Dios por permitirnos un día más de vida, por guiarnos y cuidarnos en cada paso y por darnos sabiduría e inteligencia para llegar a lograr nuestras metas.

En segundo lugar, agradecer a nuestros Padres, por cuidarnos, protegernos en todo momento y que, con su incondicional amor y trabajo, nos educan y apoyan en toda nuestra formación académica para lograr ser profesionales.

Por último, agradecer a nuestros profesores por inculcarnos valores, enseñanzas, a ser perseverantes y constantes para lograr nuestros objetivos durante nuestra carrera profesional.

RESUMEN

El crecimiento de actividades industriales en la actualidad ha producido un incremento de aguas residuales contaminantes que afectan la calidad de los cuerpos de aguas, en la presente investigación se seleccionó como tema de estudio el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton para el tratamiento de aguas residuales de actividades industriales.

En este trabajo se analizó la viabilidad y eficiencia del Proceso de Oxidación Avanzada Fenton aplicado como tratamiento de aguas residuales industriales. Es por ello que se tomo una muestra de cinco autores por medio de una búsqueda sistemática y palabras claves, de los cuales se analizaron los resultados de porcentaje de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y costos de aplicación de tratamiento.

El mayor porcentaje de remoción de DQO entre los autores escogidos fue de Becerra y Cadena (2017) utilizando la dosis optima de $t=75\text{min}$, $\text{H}_2\text{O}_2=600\text{mg/l}$, $\text{Fe}^{+2}=1000\text{mg/L}$, $T=20^\circ\text{C}$, $\text{pH}=2.88$, $\text{DQO}/\text{H}_2\text{O}_2=6.2$, Muestra= 600ml. Asimismo, se cotizó la aplicación de Tratamiento de Oxidación Avanzada Fenton convencional para Menéndez tendría un costo total de S/. 2,479.20.

Finalmente, se demostró que el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton resulta ser viable y eficiente de implementar en aguas residuales de diferentes industrias. Adicionalmente al proceso Fenton según lo evidenciado por Becerra y Cadena la aplicación de un tratamiento físico posterior como la sedimentación aumenta el porcentaje de remoción de los parámetros.

Palabras claves: Proceso de Oxidación Avanzada Fenton, Aguas residuales, Actividades industriales

CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
RESUMEN	4
LISTADO DE TABLAS	7
LISTADO DE FIGURAS.....	9
1 CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	10
1.1 Realidad problemática	10
1.2 Antecedentes	13
1.2.1 Antecedentes internacionales	13
1.2.2 Antecedentes nacionales	17
1.3 Bases teóricas.....	21
1.4 Formulación del problema.....	42
1.5 Objetivos	42
1.6 Hipótesis	42
1.7 Justificación	43
2 CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	45
2.1 Diseño de investigación	45
2.2 Población	46
2.3 Muestra	50
2.4 Operacionalización de variables	52
2.5 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	53
3 CAPÍTULO III. RESULTADOS	65
3.1 Comparación de la dosis y parámetros de influencia del proceso de oxidación avanzada Fenton	65
3.2 Comparación de la demanda química de oxígeno con la normativa ambiental vigente respecto a las aguas residuales.....	66
3.3 Evaluación de costos del Proceso de Oxidación Avanzada Fenton.....	72

3.4	Propuesta de implementación de planta de tratamiento con método de oxidación avanzada Fenton a escala industrial.....	76
4	CAPITULO IV. DISCUSION Y CONCLUSIONES	77
4.1	Discusión	77
4.2	Aspectos éticos	84
4.3	Limitaciones.....	84
4.4	Implicancias	85
4.5	Conclusiones	86
	REFERENCIAS	88
	ANEXOS.....	97

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Ejemplos de aplicación del Proceso de Fenton para el tratamiento de aguas residuales industriales.....	23
Tabla 2 Caracterización de efluentes de los estudios a evaluar.....	31
Tabla 3 Valores Máximos Admisibles (Anexo 1).....	38
Tabla 4 Valores Máximos Admisibles (Anexo 2).....	38
Tabla 5 Límite Máximo Permisible de efluentes para aguas superficiales de las actividades de cemento, cerveza, papel y curtiembre.....	39
Tabla 6 Límite Máximo Permisible (LMP) de efluentes líquidos para las actividades del subsector hidrocarburos.....	40
Tabla 7 Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas.	41
Tabla 8 Artículos incluidos en la revisión según las palabras clave utilizadas	46
Tabla 9 Estudios seleccionados para el análisis de la viabilidad y eficiencia del Proceso de Oxidación Avanzada Fenton	51
Tabla 10 Cuadro de operacionalización de Variables.	52
Tabla 11 Distribución de artículos según la fuente.	55
Tabla 12 Selección de estudios de acuerdo al criterio de selección.	57
Tabla 13 Selección de estudios de acuerdo al Proceso de Oxidación Avanzada Fenton.	62
Tabla 14 Cuadro comparativo de condiciones de reacción y remoción de parámetros	65
Tabla 15 Precios de los reactivos y de la electricidad	72
Tabla 16 Coste de los distintos tratamientos efectuados al efluente textil	72
Tabla 17 Precio unitario por reactivo	73
Tabla 18 Costos según el proceso	73
Tabla 19 Costo de tratamiento por metro cúbico para agua residual industrial	74
Tabla 20 Sulfato de aluminio.....	74
Tabla 21 Peróxido de Hidrogeno.....	75
Tabla 22 Sulfato Ferroso	75
Tabla 23 Costo Total de la Aplicación de Tratamiento de Oxidación Avanzada Fenton para Menéndez, 2018.....	76

Tabla 24 Propuesta de planta de tratamiento de aguas residuales 76

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1 Clasificación de los estudios según el tipo de documento	56
Figura 2. Presencia de los criterios de selección en los estudios evaluados.....	61
Figura 3. Selección de estudios de acuerdo al tipo de Proceso de Oxidación Avanzada Fenton	63
Figura 4. Eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno	66
Figura 5. Comparación de resultados de DQO con los Límites Máximos Permisibles de actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel Nota: Valor referencial de la normativa corresponde a LMP para industria de cerveza, curtiembre y papel.....	67
Figura 6 - Comparación de resultados de DQO con los Límites Máximos Permisibles de actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel. Nota: Valor referencial de la normativa corresponde a LMP para industria de cerveza y papel.	67
Figura 7 - Comparación de resultados de DQO con los Límites Máximos Permisibles de actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel Nota: Valor referencial de la normativa corresponde a LMP para industria de curtiembre.....	68
Figura 8 - Comparación de DQO con los Límites Máximos Permisibles del Subsector Hidrocarburos.	68
Figura 9 - Comparación de los resultados de DQO con los Valores Máximos Admisibles.	69
Figura 10 – Valor de pH utilizado en el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton	69
Figura 11 – Tiempo de reacción utilizado en el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton ..	70
Figura 12 - Valor de Temperatura utilizado en el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton,	70
Figura 13 – Valor de la dosis de Hierro utilizado en el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton.....	71
Figura 14 – Valor de la dosis de Peróxido de Hidrógeno utilizado en el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton.	71

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

Se estima que a nivel global el 80% de todas las aguas residuales industriales y municipales se vierten al ambiente sin ningún tipo de tratamiento previo, con efectos nocivos para la salud humana y los ecosistemas (WWAP, 2017). Teniendo mayor repercusión en los países menos desarrollados y con falta de infraestructura de saneamiento y tratamiento de aguas.

Las industrias utilizan agua para varios fines (procesado, refrigeración, transporte, disolvente, etc.). Algunas industrias son especialmente contaminantes como la del refinado, del petróleo, que genera aguas con cianuros, grasas, fenoles, sólidos, tóxicos diversos y álcalis; las industrias metalúrgicas, que generan vertidos similares a los de la industria petrolífera, además de agua caliente, la industria papelera, textil y de curtidos, que generan residuos químicos orgánicos, sólidos, detergentes y sustancias tóxicas, y las industrias químicas y farmacéuticas, que vierten metales pesados, material químico tóxico y biológico. (García, 2009)

Según Yee-Batista (2013) el 80% de la población latinoamericana vive en ciudades y una gran proporción en asentamientos próximos a fuentes contaminadas. La autora agrega que, siendo América Latina una de las regiones más biodiversas del mundo y dueña de un tercio de las fuentes de agua del mundo, la contaminación del agua representa consecuencias ecológicas adversas.

El Golfo de Guayaquil es el accidente geográfico más importante de la costa Sudamericana. Tiene una entrada de 200 Kilómetros de largo desde la Península de

Santa Elena, en Ecuador, penetra al litoral ecuatoriano hasta 120 Km. Tiene dos ecosistemas: El Estero Salado, de 60 Km. de largo y una profundidad promedio de 9.45 metros; y el río Guayas con 90 Km de largo. Ambos conductos se comunican entre sí por medio del canal Cascajal. Uno de los asentamientos humanos más importantes del Golfo es la ciudad de Guayaquil, limitada por los dos cuerpos de agua el Estero Salado (agua salada) por el Oeste y el Río Guayas (agua dulce) por el Este. Guayaquil es la ciudad que genera la mayor cantidad de desechos, un porcentaje de los cuales llega a dos sistemas de alcantarillado el pluvial y sanitario. (Ordoñez,2017)

Ordoñez (2017) menciona que hay alrededor de 540 industrias asentadas en Guayaquil evacuan el 25% del total de las cargas orgánicas, el 75% restante corresponden a las aguas servidas domésticas sin tratamiento de la ciudad y zonas periféricas, además solo el 3% de las industrias tratan sus desechos adecuadamente y por lo menos 524 industrias contaminan al río y al estero. Así mismo en Guayaquil se evacua diariamente 691 metros cúbicos de aguas servidas, el 10% va directamente al Guayas, un 66% lo recibe por uno de sus afluentes, el Daule y al Estero salado llega el 24% de las aguas de alcantarillado.

Según Andina (2012) indica que la contaminación del río Rimac se debe a la actividad minera representada por un 60%, residuos sólidos domésticos y residuos industriales que equivalen a 25% y 15% respectivamente, motivo por el cual se requiere un esfuerzo para potabilizar este recurso hídrico que funciona como principal fuente de agua de la ciudad de Lima (Andina,2012).

Según Chung (2008) menciona que en el Perú se ocasiona una contaminación ambiental por productos químicos afectando a la calidad del agua y aire, este suceso se da en lugares como La Oroya, Ilo, Callao, Cerro de Pasco, Madre de Dios, Río Rimac, Puno, Cajamarca y Ancash. Estos lugares se caracterizan por tener como principal fuente de contaminación a la actividad minera, teniendo como consecuencia la presencia de metales pesados tanto en el agua como en el aire. Haciendo énfasis en la minería informal la cual aporta elevadas cantidades de mercurio y cianuro.

Sin embargo, en estos lugares, no se sabe cuál es el grado de contaminación por compuestos orgánicos. Se infiere que las fuentes que podrían estar aportando contaminación de tipo orgánico provienen de las descargas de efluentes domésticos e industriales; y vertimientos petroleros teniendo como cuerpos receptores al lago Titicaca, río Rímac y río Corrientes en Loreto. (Chung, 2008)

La ausencia de tratamiento de aguas residuales industriales y su descarga directa genera impactos negativos en los cuerpos de agua donde se vierten. Pramparo (2016) indica que las descargas descontroladas de efluentes industriales generan ciertos impactos ambientales como son: la alteración de la calidad del agua dando mal gusto, color, olor, mineralización y salinidad en exceso, dureza y poder corrosivo, eliminación de microorganismos impidiendo la autodepuración, reducción de la concentración de oxígeno disuelto y alteración de procesos fotosintéticos.

Respecto al factor económico Martínez (2012) indica que el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton no es difícil de aplicar sobre aguas residuales, pero resulta importante conocer su comportamiento respecto al factor económico del

tratamiento. Lo antes mencionado es adecuado aclararlo, puesto que el costo de aplicación del método Fenton tiende a aumentar mientras que este sea dependiente del consumo de reactivos o dependiente de tratamientos previos para su acondicionamiento como la precipitación o filtración.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Antecedentes internacionales

Alvarado y Piloso (2020) en su Tesis “Estudio de tratamiento de aguas residuales de una industria empacadora camaronera mediante la aplicación de un proceso de oxidación avanzada - reacción Fenton.”, en el cual se emplea un diseño experimental, tiene como objetivo aplicar el proceso de oxidación avanzada mediante la reacción Fenton en aguas residuales provenientes de una industria empacadora de camarón para la disminución de cargas contaminantes. Los autores tomaron las muestras del efluente dentro de la planta empacadora de camarón específicamente en la planta de tratamiento de aguas residuales antes de su debido tratamiento, la cual presenta concentraciones de DQO= 2923mg/L y DBO5= 2344mg/L. Se realizaron diversos ensayos en los cuales la dosis del proceso de oxidación avanzada Fenton varió en las siguientes relaciones: 1:1, 1:3 y 1:5 variando la concentración de H₂O₂ y FeSO₄ respectivamente y aplicaron filtración con carbón activado posteriormente a la aplicación del proceso Fenton, logrando valores de DQO= 98 mg/l y DBO5= 70 mg/l.

Román y Martínez (2017) en su “Tesis Estudio del proceso de oxidación avanzada por medio de la reacción Fenton en aguas residuales provenientes de plantas extractoras de oro”, el cual tiene un diseño experimental, tiene como objetivo estudiar el proceso de oxidación avanzada por medio de la reacción Fenton en aguas

residuales provenientes de plantas extractoras de oro en condiciones de pH básico. Los autores realizaron el muestro en el punto final del proceso de extracción de oro, antes que el agua sea depositada en las piscinas, la muestra presenta los siguientes valores: DQO= 3365 mg/L y Cianuro= 46 mg/L, previamente a la aplicación de la reacción Fenton se realizó una sedimentación y filtración obteniendo una DQO de 800mg/L la cual constituye la concentración inicial para la aplicación del proceso Fenton probando dosis en relación a 1:1, 1:2 y 1:3, variando la concentración de H₂O₂ y FeSO₄ respectivamente; y un tiempo de reacción de 30 minutos, logrando un valor de DQO= 375mg/L y Cianuro= 0,050mg/L posteriormente a la aplicación del carbón activado se logró una DQO= 181mg/L y Cianuro= 0,004 mg/L

Figuroa y Zambrano (2018) en su tesis “Tratamiento por oxidación avanzada (reacción de Fenton) en aguas residuales de una industria cartonera” el cual tiene un diseño experimental, tiene como objetivo tratar el agua residual de una industria cartonera aplicando el método de Oxidación Avanzada (reacción Fenton). Los autores tomaron una muestra compuesta en una industria cartonera, la cual presenta valores de DQO= 17318 mg/L y Turbidez= 9920 NTU, se aplicaron dosis de Fenton con diversas relaciones 1:1, 1:2 y 2:1, variando la concentración de H₂O₂ y FeSO₄ respectivamente y un tiempo de reacción de 5 min para 130 rpm y 30 min para 90rpm. Logrando obtener como mejor resultado una DQO= 281mg/L y Turbidez= 68 NTU removiendo un 98.90% Y 99.31% respectivamente.

Becerra y Cadena (2016) en su tesis “Evaluación de la aplicación del método Fenton a nivel laboratorio en la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa Aguas San Juan S.A.S ESP” el cual tiene un diseño experimental, tiene

como objetivo evaluar la aplicación del método Fenton a nivel laboratorio en la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa AGUAS SAN JUAN S.A.S ESP. Los autores tomaron la muestra de agua residual en la industria de beneficio, la cual presenta valores de DQO= 1233mg/L y DBO5= 784 mg/L 784, se aplicaron dosis de Fenton con diversas relaciones de H₂O₂ y Fe⁺² las cuales son 0.2, 0.6 y 1 y relación de DQO/H₂O₂ las cuales son 6.2, 2.1 y 1.2 con un tiempo de reacción de 45 minutos y 30 minutos para la sedimentación del hierro a pH entre 2.7 – 3.1, logrando una concentración de DQO=59mg/L con la relación de H₂O₂ y Fe⁺² de 0.6 y relación de DQO/H₂O₂ de 6.2.

Alvarado (2016) en su tesis “Tratamiento de lixiviados del relleno sanitario del cantón tena provincia de napo mediante reacción Fenton y microorganismos eficientes” el cual tiene un diseño experimental, tiene como objetivo tratar los lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón Tena mediante reacción Fenton y Microorganismos eficientes. El autor tomó la muestra del lixiviado en estado de percolación, es decir, el líquido que sale del relleno por efecto de la gravedad, la cual presenta concentraciones de DQO= 15400mg/L, DBO5=8350mg/L y Nitrógeno amoniacal= 875mg/L. La dosis de la aplicación del reactivo Fenton constó de 200g de sulfato ferroso y 200 ml de peróxido de hidrógeno para 200lt de lixiviado con un tiempo de reacción de 30 minutos y un pH de 4. Para aumentar el porcentaje de remoción de los parámetros se aumentó la concentración de Sulfato Ferroso a 400, 600 y 800 g y la concentración de Peróxido de Hidrógeno a 400, 600 y 800 mL. Logrando el mayor descenso del valor de DBO5= 2530, DQO=8008 y Nitrógeno

Amoniacal= 331,25 a una concentración de 800g de sulfato ferroso y 800ml de Peróxido de hidrógeno.

Arroyave, Garcés y Mejía (2009) en su artículo científico “Empleo del reactivo de Fenton para la degradación del colorante Tartrazina” en el cual se empleó un diseño experimental, tiene como objetivo evaluar la degradación del colorante Tartrazina empleando el proceso de oxidación avanzada Fenton. Se busca implementar una tecnología de oxidación avanzada para la remoción del colorante Tartrazina, ampliamente utilizado en la industria de alimentos en el medio local, nacional e internacional. Se logró la remoción y degradación del colorante Tartrazina empleando diferentes combinaciones de oxidación del reactivo de Fenton, sin embargo, el mejor porcentaje de remoción fue de 99,3 % mediante la combinación de 25 mg/L de Fe^{3+} y 0,4 %v/v del agente oxidante peróxido de hidrógeno.

Méndez, García, Castillo y Sauri (2010) en su artículo científico “Determinación de la dosis óptima de reactivo fenton en un tratamiento de lixiviados por Fenton-adsorción” en el cual se empleó un diseño experimental, tiene como objetivo determinar las relaciones másicas $[Fe^{2+}]/[H_2O_2]$ y $[DQO]/[H_2O_2]$ con las que se alcanza un mayor grado de oxidación y, por tanto, optimizan el proceso en lixiviados. Los autores mencionan que la mayoría de sustancias presentes en un relleno estabilizado son compuestos refractarios, por lo cual son de difícil biodegradabilidad, lo cual involucra la necesidad de utilizar métodos alternativos a los procesos de biodegradación para reducir las cargas contaminantes de estos efluentes. Los efluentes obtenidos poseen elevadas cargas orgánicas e inorgánicas que deben ser eliminadas para cumplir con las condiciones de descarga. Por este motivo

se utilizaron ambos procesos en secuencia, primero el proceso Fenton para optimizar la remoción de DQO y color, y posteriormente el de adsorción.

Taco y Mayorga (2012) en su artículo científico “Aplicación del proceso Fenton en la disminución de materia orgánica en aguas residuales de la industria termoeléctrica” en el cual se emplea un diseño experimental, tiene como objetivo la remoción de materia orgánica en aguas residuales provenientes de la industria termoeléctrica que usa como combustible fuel oil, mediante la aplicación del proceso de oxidación avanzada Fenton. El autor tomó al parámetro demanda química de oxígeno (DQO) como indicador de materia orgánica. Se lograron porcentajes de remoción de DQO conseguidos entre el 72.51 y 88.60%, permitieron cumplir con la Ordenanza 213 del Distrito Metropolitano de Quito que especifica un máximo de 123 mg/L de DQO. Además, se estudió la evolución de la remoción de materia orgánica en función del tiempo para una muestra de agua residual que presentó una DQO inicial de 357.14 mg O₂/L, obteniéndose una concentración de DQO de 36.87 mg O₂/L correspondiente a un rango de remoción del 89.68%. en un tiempo de reacción de 352 minutos.

1.2.2 Antecedentes nacionales

Uriarte, Orrego y Montero (2018) en su trabajo de investigación “Aplicación del proceso Fenton para degradar aguas residuales del camal de Chota” en el cual se emplea un diseño experimental, tiene como objetivo evaluar la influencia del sulfato ferroso, peróxido de hidrógeno y pH para la aplicación óptima del proceso Fenton en la degradación de aguas residuales generadas en el camal municipal de Chota. Los autores tomaron 2 muestras de aguas residuales del camal de Chota en el cual

realizaron la caracterización fisicoquímica, obteniendo valores de los parámetros de $DBO_5 = 1874 \text{ mgO}_2/\text{L}$ y $DQO = 4654.4 \text{ mgO}_2/\text{L}$. El valor óptimo del proceso de oxidación avanzada Fenton para la remoción de los parámetros constó de $2110,55 \text{ mg/L}$ de FeSO_4 , $1092,67 \text{ mg/L}$ de H_2O_2 , pH de 3,22 y un tiempo de 18 min. Se logró obtener los siguientes valores: $DQO = 934,14 \text{ mgO}_2/\text{L}$ y $DBO_5 = 468 \text{ mgO}_2/\text{L}$.

Torrejón y Hoyos (2016) en su tesis “Determinación de las concentraciones óptimas de peróxido de hidrógeno e iones Fe^{+2} en la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno en vinazas mediante el proceso Fenton” el cual tiene un diseño experimental, tiene como objetivo determinar las concentraciones óptimas de peróxido de hidrógeno e iones Fe^{2+} para reducir en forma significativa la demanda bioquímica de oxígeno en vinazas tratadas con el proceso Fenton. Los autores realizaron muestras del efluente de una de las destilerías ubicadas en el distrito de La Victoria, en las cuales aplicaron el proceso de oxidación avanzada Fenton. Los autores usaron diversas concentraciones de H_2O_2 y FeSO_4 con un tiempo de reacción de 1 hora y pH de 4,3 logrando el más óptimo porcentaje de remoción de 78.5% a una concentración de 600 mg/L de H_2O_2 y 120 mg/L de ion Fe^{+2} .

Delgado (2019) en su tesis “Eficiencia de remoción de tres parámetros fisicoquímicos del efluente líquido del camal “Régulo Bernal Torres” utilizando proceso de oxidación avanzado Fenton” el cual tiene un diseño experimental, tiene como determinar la eficiencia de remoción de tres parámetros fisicoquímicos del efluente del camal “Refugio Bernal Torres” utilizando proceso oxidativo avanzado Fenton. El autor realizó el muestro en el pozo de sedimentación por donde discurre el efluente antes de llegar al cuerpo receptor, el cual presenta una concentración de

DQO= 9813 mgO₂/L. El proceso Fenton se realizó a un pH de 2.8 con relaciones de [Fe²⁺]/[H₂O₂] de 0.2, 0.4 y 0.6 manteniendo una dosis constante del catalizador hierro de 1 gramo con tiempos de reacción entre el efluente y el proceso Fenton de 30, 60, 90 y 120 minutos, logrando un porcentaje de remoción de DQO de 75.95% a una dosis en relación a 0.4 con un tiempo de 30 minutos.

Canchucaja (2018) en su tesis “Aplicación del reactivo Fenton al lactosuero pretratado por precipitación ácido-térmico” el cual tiene un diseño experimental, tiene como objetivo Evaluar el efecto de los parámetros (Sulfato de hierro / H₂O₂, Tiempo, pH y Temperatura) en el tratamiento por precipitación ácido-térmico y posterior aplicación del reactivo Fenton al segundo suero de queso. La muestra inicial consistió de un lactosuero cuya concentración de DQO fue de 110933 mg/L al cual se le aplicó un tratamiento ácido-térmico con el cual se consiguió una concentración de 31422mg/L. A partir de esta concentración se aplicó el proceso de oxidación avanzada Fenton realizando 8 pruebas con los siguientes valores: La relación de FeSO₄/H₂O₂ 0.5 y 1.0, temperatura de 20 y 30 °C, pH=3.4 y pH=4.5; y tiempo de 20 y 40 minutos respectivamente. Logrando una concentración de DQO de 1379mg/L equivalente a 95.61% de remoción cuando la relación de FeSO₄/H₂O₂ fue 1.0, con un tiempo de 40 minutos, un pH de 3.4 y temperatura de 20 °C.

Barrantes (2020) en su tesis “Remoción de parámetros fisicoquímicos del lixiviado del botadero controlado “La Pushura”, mediante proceso de oxidación avanzada, Jaén, Cajamarca” el cual tiene un diseño experimental, tiene como objetivo remover tres parámetros fisicoquímicos del lixiviado del botadero controlado “La Pushura”, mediante proceso de oxidación avanzada. El muestreo se realizó

directamente de la descarga del efluente proveniente de la celda N° 3, el cual presenta valores de DQO= 7489.6 mg/L y Turbiedad= 692mg/L. La dosis de reactivo Fenton $[\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}]/[\text{H}_2\text{O}_2]$ tuvo relación de 0:0, 2:0, 4:0, 6:0 y 8:0 a un pH de 4 con un tiempo de reacción de 20 minutos para DQO y 1 hora para color y turbiedad. Se realizaron 6 repeticiones para cada dosis, logrando el mayor porcentaje de remoción promedio de DQO=73.29% y Turbiedad=76.35% en la relación 6,0 con una concentración final de DQO de 2000.21 mg/L y Turbiedad= 163.67 NTU.

Salas (2010) en su artículo científico “Tratamiento por oxidación avanzada (reacción Fenton) de aguas residuales de la industria textil” en el cual se emplea un diseño experimental, tiene como objetivo eliminar la materia orgánica de efluentes residuales mediante la aplicación del proceso de oxidación avanzada Fenton al agua residual de una textil después del tratamiento físico-químico. Las muestras de efluente que se tomaron presentan valores de DQO=1700mg/L por encima de lo permitido según el D.S 021-2009-VIVIENDA, correspondiente a los valores máximos admisibles en vertidos industriales. Se logró una disminución de DQO de un 97% al cabo de 40 min de aplicar el proceso de oxidación avanzada Fenton.

Medina, Montero y Cruz (2017) en su artículo científico “Optimización del proceso Fenton en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios” el cual emplea un diseño experimental, tiene como objetivo determinar los valores óptimos de los reactivos del proceso de oxidación avanzada Fenton en el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario “Aguas de las vírgenes” Huancayo-Perú. El autor realizó el estudio en 2 temporadas, épocas de avenida y estiaje. Teniendo como resultado los valores óptimos (pH = 3,19, FeSO_4 = 1645,55 mg/L y H_2O_2 = 1096,55 mg/L) en

época de avenidas y ($\text{pH} = 3,26$, $\text{FeSO}_4 = 1788,61 \text{ mg/L}$ y $\text{H}_2\text{O}_2 = 1180,83 \text{ mg/L}$) en época de estiaje. Se logró una remoción cercana a 42% de DQO en ambas épocas de estudio.

Menéndez (2018) en su tesis “Reducción de la demanda química de oxígeno en lactosuero mediante el proceso Fenton” en el cual se emplea un diseño experimental, tiene como objetivo evaluar la reducción de la DQO en lactosuero de la empresa ECOLACTEOS-Huata, mediante el Proceso Fenton. El autor brinda información sobre la caracterización del efluente procedente de la planta de procesamiento de lácteos denominado “Ecolácteos”, el cual presenta un valor de $\text{DQO} = 50,65 \text{ g/L}$, por lo cual la aplicación del proceso de oxidación avanzada Fenton reduce el valor de DQO a $10,67 \text{ g/L}$, correspondiente a una eficiencia de remoción de DQO de 78.93%.

1.3 Bases teóricas

Las aguas residuales se definen como aquellas aguas que han sido usadas por una comunidad o industria y que contienen material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2015).

El Proceso de Oxidación Avanzada Fenton consiste en la adición de sales de hierro como catalizador en presencia de H_2O_2 para la producción de radicales $\text{HO}\cdot$. Este POA se conoce como proceso de Fenton, en reconocimiento por la importante contribución realizada por el investigador británico Henry John H. Fenton a finales del siglo XIX (H.J.H. Fenton, 2015). En este proceso, los radicales $\text{HO}\cdot$ se forman a partir de la interacción entre H_2O_2 y hierro ferroso (Fe^{2+}) en medio ácido ($\text{pH} 2,5-4$), en un mecanismo desarrollado de acuerdo con la Ecuación 9. Como el hierro es un catalizador, no se consume durante el proceso. Por lo contrario, el Fe^{2+} se regenera a

partir del hierro férrico (Fe^{3+}), como se describe en la Ecuación 10. Normalmente el hierro es añadido como una sal ferrosa, sobre todo sulfato de hierro (II). (Monge, Silva, Bengoa, 2018)



Según Monge, Silva, Bengoa (2018) nos indica que en el método Fenton discontinuo en condiciones de tanque no presurizada en bombas externas con pH básico o ácido, con dosificación de sulfato de hierro y peróxido de oxígeno en el rango de 35% a 50% en disolución existe un reactor. Posterior al llenado de tanque con el efluente contaminante, realiza la adición de los reactivos del proceso.

- a) Añadir el ácido o la base para ajustar el pH hasta 2,5-4 (2,8 idealmente)
- b) Añadir los reactivos poco a poco para que no ocurran cambios bruscos de pH o la temperatura.
- c) Añadir el sulfato de hierro (II) y después el H_2O_2 .
- d) Se pasa a un tanque de neutralización para adicionar una base.
- e) Precipitar el hidróxido de hierro en la forma de lodo.
- f) Coagular el lodo en un tanque de floculación

Además, reafirma Monge, Silva, Bengoa (2018) que el Proceso Fenton es efectivo para la mitigación de compuestos fenoles, organoclorados y colorantes. Asimismo, el proceso da paso a la formación de radicales HO, estos son agentes oxidantes con mayor valor de reactividad.

En la siguiente tabla se muestran algunos ejemplos de la aplicación del proceso Fenton para el tratamiento de aguas residuales industriales.

Tabla 1.
Ejemplos de aplicación del Proceso de Fenton para el tratamiento de aguas residuales industriales.

Industria	Tipo de agua residual
Textil	Del procesamiento textil., conteniendo principalmente colorantes y agentes de lixiviación (W. Bae, H, 2015).
Petroquímica	De la refinería de petróleo, compuestos fenólicos. (USP technologies TM , 2015 y US Peroxide LLC, 2009).
Química	Contenido en compuestos fenólicos (US Peroxide, LLC 2009).
Maderera	De las instalaciones de tratamiento de madera, fenoles, naftoles y cresoles. (US Peroxide, LLC, 2009).
Aeronáutica	De la pintura, trazado de líneas y mantenimiento de aeronaves, cloruro de metileno, pentaclorofenol y nitrofenoles. US Peroxide, LLC, 2009)
Producción de aceite de oliva	De almazaras, compuestos fenólicos y alto pH debido al uso de soda cáustica para la limpieza de la maquinaria. (N. Amaral-Silva, 2016).
Producción de detergentes	Del proceso, con gran cantidad de sólidos suspendidos totales y surfactantes (R.C. Martins, 2011).

Fuente: Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales (2018).

Menéndez (2018) nos menciona en su tesis que los factores principales que alteran el grado de eficiencia y velocidad del proceso Fenton son la composición del efluente contaminantes, así como también las condiciones en las que se lleva a cabo el tratamiento.

Según Pignatello et al. (2006) citado en Cañon (2018) menciona que el proceso Fenton depende principalmente del pH del medio de reacción, la velocidad tiende a ser máxima en un pH cercano a 2.8 teniendo así un rango óptimo de operación entre 2,8 y 3,0. En rangos más altos, la velocidad se ve disminuida debido a la precipitación del hidróxido de hierro $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y por otro lado a pH por debajo de 2,0 se produce la formación del ion $[\text{Fe}(\text{OH})]^{2+}$ que reacciona lentamente con el H_2O_2 impidiendo así la formación del radical hidroxilo $\bullet\text{OH}$.

Blanco (2019) citado en Menéndez (2018) menciona que la reacción del Proceso de Oxidación Avanzada es endotérmica. Resulta que mientras que a mayor sea la temperatura, mayor será la velocidad de reacción. Generalmente a presión atmosférica, el rango de temperatura óptimo se encuentra entre 25 a 45 °C, en el caso en que los valores de temperatura superen los 50 °C, ocasionaría que el peróxido de hidrógeno se descomponga en oxígeno y agua; y el hierro precipitaría como hidróxido, debido a que su constante de solubilidad (K_{ps}) disminuye.

Neyens y Baeyens (2003) citado en Menéndez (2018) indican que si se operaría el Proceso de Oxidación Avanzada a presiones de 3 atmósfera, tranquilamente se podrían superar temperaturas de 100 °C sin preocupación de que se descomponga el peróxido de hidrógeno.

Rubio et al. (2014) citado en Alvarado y Piloso (2020) manifiestan que el tiempo de reacción de los reactivos del Proceso de Oxidación Avanzada Fenton puede variar de acuerdo al tipo de efluente que se trata. Sin embargo, hay que considerar un tiempo de reacción que sea beneficioso tanto para la remoción como

para la economía de la industria, puesto que por el uso de energía los tratamientos tienden a ser muy costosos, por ende, terminan siendo rechazados. Existe evidencia de que a tiempos breves de reacción desde 10 minutos a 2 horas, se logra una óptima remoción de contaminantes.

Según Arslan-Alaton et al. (2009) citado en Cañon (2018) indican que la cantidad del H_2O_2 y Fe^{+2} influyen sobre la eficacia y cinética del proceso respectivamente. Tanto eficacia y velocidad son directamente proporcional a la concentración de ambos reactivos, puesto que mientras mayor sea la concentración de reactivos mayor será la eficacia y velocidad de reacción del proceso; sin embargo, un exceso de hierro resultaría contraproducente debido a que se generaría precipitados de $\text{Fe}(\text{OH})_3$, mientras que un exceso de H_2O_2 generaría su propia degradación por presencia de los radicales hidroxilos $\bullet\text{OH}$.

La coagulación es un proceso de descentralización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantiene separados cuando se adicionan los coagulantes químicos y la energía de mezclado. Además, produce la aglomeración de partículas para la eliminación de materias en suspensión estables, turbidez y la concentración de materia orgánica y microorganismos (Andía, 2000).

La Floculación es el proceso siguiente de la coagulación, consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con el objetivo de aumentar el tamaño y peso requerido para la sedimentación. Este método es favorecido por el mezclado lento que permite

juntar poco a poco los flóculos, ya que el mezclado intenso puede romperlos. En otras palabras, el floculante forma puentes entre partículas coloidales aglomeradas para formar flóculos más grandes de fácil sedimentación (Andía, 2000).

La Demanda Bioquímica de Oxígeno es la Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C) (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2015).

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es la medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2015).

La temperatura cumple un papel importante en la influencia de la vida acuática, los parámetros físicos y químicos del ambiente acuático, además los cambios de temperatura también intervienen en la solubilidad y equilibrios de reacción de muchos productos químicos, en un aumento de temperatura disminuye la solubilidad de los gases disueltos en el agua (H₂, N₂, CO₂ Y O₂). Por ejemplo, si la temperatura varía en un rango de 0°C a 30 °C la solubilidad del oxígeno disminuye en un 50 % aproximadamente. En cambio, la viscosidad, tensión superficial, compresibilidad, calor específico, constantes de ionización y calor latente de vaporización disminuyen a medida que la temperatura aumenta, un incremento de temperatura en aguas superficiales crea una discontinuidad térmica dentro de un cuerpo de agua estable y

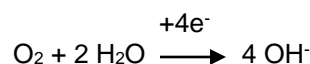
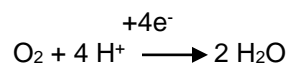
divide el agua en estratos térmicos con diferentes características físicas como el aumento de la conductividad eléctrica, biológicas y químicas (CCME, 2003).

El pH del agua se aproxima según la actividad de los iones de hidrógenos libre en el agua, la mayor influencia sobre los iones de hidrogeno y los parámetros que afecta la alcalinidad y la acidez es la geología de la cuenca, además la inestabilidad termodinámica de muchos minerales presentes en el agua se debe a los procesos de disolución. Por otro lado, los procesos biológicos como la fotosíntesis y la respiración, así como la turbidez y la aireación, influyen en la variación de pH debido al cambio de concentraciones de dióxido de carbono disuelto. Por lo cual, el pH puede aumentar y disminuir en respuesta a procesos fotosintéticos y respiratorios respectivamente. El pH en el agua desempeña un papel importante en la especiación química de muchos metales, la solubilidad en agua y su biodisponibilidad, a un pH alto muchos metales forman hidróxidos o carbonatos que son relativamente insolubles y precipitan (CCME, 2003).

El agente oxidante más importante en las aguas naturales es el oxígeno disuelto O₂, además la concentración de oxígeno disuelto es pequeña en agua, en la reacción de esta molécula, cada uno de los átomos de oxígeno se reducen de un estado de oxidación de cero hasta el estado -2 en el agua o en el -OH, la semirreacción tiene lugar en la disolución acida.

y el proceso tiene lugar en

la disolución básica:



La presencia de oxígeno disuelto en aguas superficiales es aportada por en gran cantidad por la atmosfera, la actividad fotosintética de las algas y plantas acuáticas de orden superior (CCME, 2003).

El término sólidos disueltos totales (TDS) se refiere a la concentración de materia disuelta en agua, los aniones que comprenden TDS incluyen carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos; y los cationes principales que comprenden TDS incluyen calcio, magnesio, sodio, potasio y hierro. La concentración del total de sólidos disueltos es de interés principalmente porque determina las características electrolíticas o la fuerza iónica de la solución n, ésta tiene relación con el coeficiente de actividad y, por lo tanto, con la solubilidad de los solutos. En aguas naturales, los carbonatos, sulfatos, cloruros, fosfatos y nitratos afectan la especiación del metal al formar sales ionizables. Por lo tanto, la cantidad o composición del total de sólidos disueltos puede afectar la estructura y función del agua (CCME, 2003).

Los procesos de oxidación y reducción a menudo se denominan aquellos asociados con la pérdida y ganancia de electrones, respectivamente. La capacidad oxidativa o reductora se puede describir por el potencial redox, que es un valor numérico índice de la intensidad de las condiciones oxidantes o reductoras dentro de un sistema. Las formas químicas de muchos contaminantes se modifican por sus propiedades reducción-oxidación y por la oxidación-reducción características del entorno en el que se encuentran (CCME, 2003).

Respecto al uso de los ríos cabe resaltar que los ríos y quebradas se ha categorizado un total de 1154 cursos de agua que incluyen los principales ríos del país, los cuales albergan a 1224 tramos o registros clasificados según ECA-Aguas vigente. Estos cuerpos de agua alrededor del país son cuerpos receptores de aguas residuales de diferentes industrias a lo largo del territorio peruano, asimismo es utilizado como fuente de recurso para ser utilizado para satisfacer necesidades de los seres vivos. Su uso se clasifica de la siguiente manera:

El uso primario se utiliza de manera manual mientras se mantiene en sus fuentes naturales o artificiales con el fin de satisfacer necesidades humanas primarias, el acceso es libre y gratuito (Art. 57° del Reglamento de LHR).

El uso poblacional consiste en la extracción de agua de fuentes naturales a través de un sistema de captación, tratamiento y distribución son administradas por entidades encaradas del suministro de agua (Art.59° del Reglamento de LRH).

Uso productivo: Se utiliza como insumo para el desarrollo de actividades económicas como por ejemplo uso agrícola, acuícola y pesquero, energético, industrial, entre otros (Art.62 Reglamento de la LRH).

Según estudios realizados por la Autoridad Nacional de Agua se evidenció mediante muestreos que las principales fuentes contaminantes que afectan la calidad del agua en la cuenca de río Rímac en la zona alta, son los vertidos provenientes de pasivos ambientales mineros. Por otro lado, en la cuenca baja la principal fuente de contaminación es la presencia de botaderos de residuos sólidos domésticos y de construcción, así como vertidos de aguas residuales domesticas que general la

población residente del área. Es importante resaltar que la quebrada Huaycoloro constituye una fuente importante de contaminación que afecta la calidad de las aguas del río Rímac, debido a los vertimientos de aguas residuales industriales producto de las actividades que se desarrollan cerca de la cuenca, como sabemos Lima Metropolitana concentra una gran cantidad de industrias de diferentes rubros (ANA, 2015).

Tabla 2
Caracterización de efluentes de los estudios a evaluar

Parámetros	Unidades	Resultado	Efluente	Referencia
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	122		
pH	-	7.46		
Hierro	Mg/LFe	4.83		
DBO ₅	mg/L	784	Efluente de industria de beneficio	(Cadena y Becerra, 2016)
DQO	mg/L	1233		
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	210		
Turbiedad	NTU	1.5		
Temperatura	C	16.8		
Color	PCU	500		
Conductividad	μS/cm	465		
Turbidez	NTU	12		
pH	-	4.7		
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	3528		
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	1267	Efluente de industria de café	(Ibarra et al., 2018)
Carbón Orgánico Total (COT)	mg/L	1314		
Color	U Pt-Co	3046		
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	21		
DQO	mg/L	9880		
Fenol	mg/L	24	Efluente de industria litográfica e impresiones	(Baldión y Gomez, 2013)
SDT	mg/L	1.23		
Conductividad	μS/cm	2.3		
pH	-	7.9		
pH	-	7.32		
Conductividad	μS/cm	3953		
Sólidos en suspensión	mg/L	52.05		
Turbidez	NTU	75.75		

Índice de color	(cm ⁻¹)	2.166		
DQO	mg/L	2100		
COT	mg/L	465.4		
NT	mg/L	47.04		
Compuestos aromáticos	UV ₂₅₄ (abs)	3.534	Efluente de industria textil	(Blanco, 2009)
Fetot	mg/L	0.034		
Cl ⁻	mg/L	1100		
Dureza (Ca-Mg) (° fran.)	(Ca-Mg) (° fran.)	50		
Escherichia coli	(UFC100 mL ⁻¹)	80000		
Legionella spp (UFCL ⁻¹)	(UFC100 mL ⁻¹)	Ausencia		
Nemátodos Intestinales	(huevos .L ⁻¹)	3		
DQO	g/L	50.65		
Potencial de Hidrógeno	-	5.6		
Sólidos Totales	g/L	37.54		
Sólidos Volátiles	g/L	23.9	Lactosuero	(Menéndez, 2018)
Sólidos Totales Disueltos	g/L	13.35		
Conductividad Eléctrica	mS/cm	27.56		

Fuente: Elaboración Propia

El procedimiento general del Proceso de Oxidación Avanzada Fenton empieza con el ajuste de pH. Según Figueroa (2018) menciona que el ajuste de pH del agua residual se lleva a un valor entre 3 y 4, se adiciona el ácido sulfúrico (H₂SO₄). El reducir el pH va a permitir que el hierro se disuelva en el agua a tratar. Si el pH de la muestra es neutro o mayor es decir 7 o >7 en la escala de pH, el sulfato ferroso no se va a disolver

La oxidación del Fenton toma acción cuando se agrega el sulfato ferroso y el peróxido de hidrogeno a la muestra. El sulfato ferroso actúa como catalizador, es agregado en granos o en una disolución de agua; el peróxido de hidrogeno se adiciona lentamente, siempre manteniendo en pH entre 3 a 5 durante el proceso de la oxidación. Si el pH sobre pasa los limites mencionados el hierro precipita y descompone al peróxido de hidrogeno en oxígeno. La oxidación se lleva a cabo en el equipo de test de jarras durante 130 rpm por 5 minutos y 90 rpm por media hora (Figueroa, 2018).

La neutralización viene luego de la etapa de oxidación, el agua residual industrial necesita ajustar su pH, con ayuda de una solución de hidróxido de sodio al 10% durante una hora (Figueroa, 2018).

Según estudios experimentales de TECSUP (2019) para facilitar la separación solidos – líquidos se debe alcalinizar la solución estudiada a un pH de 8.5 con hidróxido de sodio, además se debe realizar el pulido de oxidación a los agentes contaminantes para posteriormente aplicar 1 mL por litro de muestra del coagulante. Este producto se debe mesclar a 300 rpm y a 60 rpm 1 mL de floculante polimérico aniónico por litro de muestra. Por otro lado, para la clarificación se utilizan filtros de papel o filtro pulido para la remoción de solidos en suspensión, ya que estos últimos dan paso a la turbidez del líquido.

Respecto a la normativa a las cuales están sujetas las aguas residuales. La Ley N° 28611. Art. 121. (2005) indica que el estado emite en base a la capacidad de carga de los cuerpos receptores, una autorización previa para el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales o de cualquier otra actividad desarrollada por

personas naturales o jurídicas, siempre que dicho vertimiento no cause deterioro de la calidad de las aguas como cuerpo receptor, ni se afecte su reutilización para otros fines, de acuerdo a lo establecido en los ECA correspondientes y las normas legales vigentes.

Ley N° 28611, Art 122.1. (2005) menciona que las empresas o entidades que desarrollan actividades extractivas, productivas, de comercialización u otras que generen aguas residuales o servidas, son responsables de su tratamiento, a fin de reducir sus niveles de contaminación hasta niveles compatibles con los LMP, los ECA y otros estándares establecidos en instrumentos de gestión ambiental, de conformidad con lo establecido en las normas legales vigentes. El manejo de las aguas residuales o servidas de origen industrial puede ser efectuado directamente por el generador, a través de terceros debidamente autorizados a o a través de las entidades responsables de los servicios de saneamiento, con sujeción al marco legal vigente sobre la materia.

La Ley N° 29338, Art. 59 (2009) indica que el permiso de uso sobre aguas residuales, otorgado por la Autoridad Nacional, es un derecho de uso de duración indeterminada, mediante el cual se otorga a su titular la facultad de usar una determinada cantidad de agua variable, proveniente de filtraciones resultantes del ejercicio del derecho de los titulares de licencias de uso. Los titulares de licencias que producen las filtraciones no son responsables de las consecuencias o de los perjuicios que puedan sobrevenir si variara la calidad, el caudal o volumen, u oportunidad o si dejara de haber sobrantes de agua en cualquier momento o por cualquier motivo.

La Ley N° 29338, Art. 82 (2009) detalla que la Autoridad Nacional, a través del Consejo de Cuenca, autoriza el reúso del agua residual tratada, según el fin para el que se destine la misma, en coordinación con la autoridad sectorial competente y, cuando corresponda, con la Autoridad Ambiental Nacional. El titular de una licencia de uso de agua está facultado para reutilizar el agua residual que genere siempre que se trate de los mismos fines para los cuales fue otorgada la licencia. Para actividades distintas, se requiere autorización. La distribución de las aguas residuales tratadas debe considerar la oferta hídrica de la cuenca.

D.S. N° 004-2017-MINAM (2017) en su segunda disposición complementaria transitoria indica que, para la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas, la Autoridad Nacional del Agua, tomará en cuenta los ECA para Agua considerados en la aprobación del instrumento de gestión ambiental correspondiente.

R.J N° 224-2013-ANA, Art. 5.1 (2013) describe las pautas a considerar para la aprobación de la autorización de vertimiento de aguas residuales, las cuales son:

- a) La disposición final de las aguas residuales tratadas sólo se efectúa a un cuerpo natural de agua continental o marina, salvo los casos expresamente indicados en el presente reglamento.
- b) Las aguas residuales sean sometidas a un tratamiento previo que permita el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles - LMP. El cual se entenderá por cumplido con la aprobación del instrumento de gestión ambiental de la autoridad ambiental sectorial.

- c) No se transgredan los Estándares de Calidad Ambiental del Agua ECA-Agua en el cuerpo receptor, según las disposiciones dictadas por el Ministerio del Ambiente para su implementación.
- d) Las condiciones del cuerpo receptor permitan los procesos naturales de purificación, lo cual deberá ser demostrado.
- e) No cause perjuicio a otro uso en cantidad o calidad del agua.
- f) No se afecte la conservación del ambiente acuático, lo cual deberá ser demostrado.
- g) Se cuente con el instrumento ambiental aprobado por la autoridad ambiental competente, el cual contemple la evaluación del sistema de tratamiento y el efecto del vertimiento en el cuerpo receptor.
- h) Su lanzamiento submarino, subacuático o a través de otro dispositivo, con tratamiento previo, no cause perjuicio al ecosistema y otras actividades lacustres, fluviales o marino costeras, según corresponda.
- i) El titular de la actividad generadora de aguas residuales tratadas a verter cuente con el derecho de uso de agua correspondiente. No se requerirá el derecho de uso de agua cuando se trate de:
 - ❖ Vertimientos proyectados. En este caso bastará contar con la autorización de ejecución de obras de aprovechamiento hídrico.
 - ❖ Vertimientos provenientes de aguas de mina o de precipitación, siempre que no se haya usado en la actividad principal u otras labores en el proceso productivo.
 - ❖ Otras actividades que por sus características se demuestre que no requiere contar con derecho de uso de agua.

D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, Art. 13. (2019) menciona que está permitida la descarga directa de aguas residuales no domésticas realizadas por el UND en el sistema de alcantarillado sanitario, siempre que estas no excedan los VMA establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 del presente Reglamento.

Los UND cuyas descargas sobrepasen los VMA contenidos en el Anexo N° 1 del presente Reglamento, efectúan el pago adicional por exceso de concentración, conforme a las disposiciones establecidas por la SUNASS.

D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, Art. 14. (2019) indica que los UND están prohibidos de descargar aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario que sobrepasen los VMA establecidos en el Anexo N.º 2 del presente Reglamento. Está prohibido descargar, verter, arrojar o introducir, directa o indirectamente, al sistema de alcantarillado sanitario:

1. Residuos sólidos, líquidos, gases o vapores, o la mezcla de estos.
2. Sustancias inflamables, radioactivas, explosivas, corrosivas, tóxicas y/o venenosas.
3. Gases procedentes de escapes de motores de cualquier tipo.
4. Disolventes orgánicos y pinturas, cualquiera sea su proporción y cantidad.
5. Carburo cálcico y otras sustancias sólidas potencialmente peligrosas, tales como hidruros, peróxidos, cloratos, percloratos, bromatos y sus derivados.
6. Materias colorantes.
7. Agua salobre.
8. Residuos que generen gases nocivos.
9. Otros que establezca la normativa sectorial.

Tabla 3
Valores Máximos Admisibles (Anexo 1)

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	DBO5	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	S.S.T.	500
Aceites y Grasas	mg/l	A y G	100

Fuente: Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA

Tabla 4
Valores Máximos Admisibles (Anexo 2)

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Aluminio	mg/l	Al	10
Arsénico	mg/l	As	0.5
Boro	mg/l	B	4
Cadmio	mg/l	Cd	0.2
Cianuro	mg/l	CN-	1
Cobre	mg/l	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/l	Cr+6	0.5
Cromo total	mg/l	Cr	10
Manganeso	mg/l	Mn	4
Mercurio	mg/l	Hg	0.02
Níquel	mg/l	Ni	4
Plomo	mg/l	Pb	0.5
Sulfatos	mg/l	SO4-2	1000
Sulfuros	mg/l	S-2	5
Zinc	mg/l	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	NH+4	80
Potencial Hidrógeno	unidad	pH	6-9
Sólidos Sedimentables	ml/l/h	S.S.	8.5
Temperatura	°C	T	<35

Fuente: Decreto Supremo N°010-2019-VIVIENDA

D.S N° 003-2002-PRODUCE, Art. 4. (2002) menciona que los Límites Máximos Permisibles aprobados son de cumplimiento obligatorio e inmediato para el

caso de las actividades o instalaciones industriales manufactureras de cemento, cerveza, curtiembre y papel que se inicien a partir de la fecha de vigencia del presente Decreto Supremo.

Tabla 5

Límite Máximo Permissible de efluentes para aguas superficiales de las actividades de cemento, cerveza, papel y curtiembre.

Parámetros	Cemento		Cerveza		Papel		Curtiembre	
	En curso	Nueva	En curso	Nueva	En curso	Nueva	En curso	Nueva
pH	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	5.0-8.5	5.0-8.5
Temperatura (°C)	35	35	35	35	35	35	35	35
Sólidos Susp. Tot. (mg/l)	50	30	50	30	100	30	50	30
Aceites y Grasas (mg/l)	-	-	5	3	20	10	25	20
DBO ₅ (mg/l)	-	-	50	30	-	30	50	30
DQO (mg/l)	-	-	250	50	-	50	250	50
Sulfuro (mg/l)	-	-	-	-	-	-	1	0.5
Cromo VI (mg/l)	-	-	-	-	-	-	0.3	0.2
Cromo Total (mg/l)	-	-	-	-	-	-	2.5	0.5
Coliformes Fecales, NMP/100 ml	-	-	-	-	-	-	4000	1000
N-NH (mg/l)	-	-	-	-	-	-	20	10

*En curso: Se refiere a las actividades de las empresas de los subsectores cemento, papel y curtiembre que a la fecha de vigencia del presente Decreto Supremo se encuentran operando.

**Nueva: Se refiere a las actividades de las empresas de los subsectores cemento, papel y curtiembre que se inicien a partir de la fecha de vigencia del presente Decreto Supremo

Fuente: D.S 003-2002-PRODUCE

D.S N° 037-2008-PCM. Art. 2. (2008) indica que los Límites Máximos Permisibles establecidos en el artículo precedente, son de cumplimiento obligatorio para las actividades nuevas y para aquellas ampliaciones, según lo dispone el Decreto Supremo N° 015-2006-EM, a partir del día siguiente de la publicación en el Diario Oficial El Peruano.

Los Límites Máximo Permisibles (LMP) son exigibles a las actividades en curso al finalizar los dieciocho (18) meses de la publicación de la presente norma, a

fin de facilitar la adecuación teniendo en consideración el Principio de Gradualidad establecido en la Ley General del Ambiente.

Tabla 6

Límite Máximo Permisible (LMP) de efluentes líquidos para las actividades del subsector hidrocarburos.

Parámetro Regulado	Límites Máximos Permisibles (mg/l) (Concentraciones en cualquier momento)
Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)	20
Cloruro	500 (a ríos, lagos y embalses) 2000 (estuarios)
Cromo Hexavalente	0.1
Cromo Total	0.5
Mercurio	0.02
Cadmio	0.1
Arsénico	0.2
Fenoles para efluentes de refinerías FCC	0.5
Sulfuros para efluentes de refinerías FCC	1
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	50
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	250
Cloro residual	0.2
Nitrógeno amoniacal	40
Coliformes totales (NMP/100mL)	<1000
Coliformes Fecales (NMP/100mL)	<400
Fósforo	2
Bario	5
pH	6-9
Aceites y grasas	20
Plomo	0.1
Incremento de Temperatura *	<3°C

*Es el incremento respecto a la temperatura ambiental del cuerpo receptor medida a 100m de diámetro del punto de vertido

Fuente: D.S N° 037-2008-PCM

D.S N° 010-2010-MINAM. Art. 4.1 (2010) establece que el cumplimiento de los LMP que se aprueban por el presente dispositivo es de exigencia inmediata para las actividades minero – metalúrgicas en el territorio nacional cuyos estudios ambientales sean presentados con posterioridad a la fecha de la vigencia del presente Decreto Supremo.

Tabla 7
Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas.

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el promedio anual
pH	mg/L	6 - 9	6 - 9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0.8
Arsénico Total	mg/L	0.1	0.08
Cadmio Total	mg/L	0.05	0.04
Cromo Hexavalente(*)	mg/L	0.1	0.08
Cobre Total	mg/L	0.5	0.4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1.6
Plomo Total	mg/L	0.2	0.16
Mercurio Total	mg/L	0.002	0.0016
Zinc Total	mg/L	1.5	1.2

*En muestra no filtrada

Fuente: D.S – 010-2010-MINAM

1.4 Formulación del problema

De acuerdo a la problemática, resulta importante implementar un tipo de tratamiento a las aguas residuales de manera que resulte eficaz y económico, es por ello que en este trabajo se evalúan dichos aspectos sobre el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton aplicado a diferentes aguas residuales industriales, por lo cual nuestra pregunta de investigación es la siguiente: ¿Cuál es la diferencia de la viabilidad y eficiencia del Proceso de Oxidación Avanzada Fenton aplicado en las aguas residuales procedentes de diferentes actividades industriales?

1.5 Objetivos

Objetivo general

- Analizar la viabilidad y eficiencia del Proceso de Oxidación Avanzada Fenton aplicado como tratamiento de aguas residuales industriales.

Objetivos específicos

- Comparar la dosificación del reactivo y los parámetros de influencia del Proceso Fenton aplicado en las aguas residuales industriales
- Comparar la concentración de Demanda Química de Oxígeno obtenida como resultado de la aplicación del Proceso de Oxidación Avanzada Fenton con la normativa de nuestro país respecto a las aguas residuales industriales
- Evaluar el costo que implica el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton
- Proponer el diseño de una planta de tratamiento con el método de Proceso de Oxidación Avanzada Fenton.

1.6 Hipótesis

Implícita

1.7 Justificación

El presente estudio cuenta con una justificación teórica por que resume el aporte teórico de diversos autores que hacen referencia a las variables de estudios. Teniendo como propósito aportar conocimiento existente sobre la aplicación del Proceso de Oxidación Avanzada Fenton para el tratamiento de las aguas residuales procedentes de diferentes actividades industriales.

Asimismo, tiene una justificación practica porque existe la necesidad de mitigar la contaminación de los cuerpos de agua, debido a la descarga incontrolada de los efluentes industriales. Es por ello que resulta importante conocer sobre el tratamiento de las aguas residuales para mejorar la calidad de los cuerpos de agua receptores, puesto que la contaminación de estos viene en aumento.

Con el tratamiento de efluentes por Proceso de Oxidación Avanzada se pretende separar los contaminantes presentes en ella como son los compuestos orgánicos, inorgánicos y materia orgánica; disminuir la cantidad de contaminantes que son vertidos al cuerpo de agua, de manera que cumplan con los Estándares de Calidad Ambiental decretados por el gobierno.

De igual manera presenta una justificación económica puesto que evaluar la viabilidad por medio del costo de implementación del proceso de oxidación avanzada Fenton aportará información que ayude en su aplicación como tratamiento de las aguas residuales industriales.

Igualmente presenta una justificación social en razón de que la aplicación del Proceso de Oxidación Avanzada Fenton corresponde a una alternativa de solución

para cerrar una brecha social como lo es la contaminación de aguas, puesto que estos cumplen una función importante en la sociedad.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

Según Franco (2011) citado en Azuero (2018) el marco metodológico es el conjunto de acciones destinadas a describir y analizar el fondo del problema planteado, a través de procedimientos específicos que incluye las técnicas de observación y recolección de datos, determinando el “cómo” se realizará el estudio, esta tarea consiste en hacer operativa los conceptos y elementos del problema que estudiamos.

2.1 Diseño de investigación

Según Agudelo et al. (2010) La investigación no experimental es aquella que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, es investigación donde no hacemos variar intencionalmente las variables independientes. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos.

Puesto que el objetivo del estudio será analizar la viabilidad y eficiencia del Proceso de Oxidación Avanzada Fenton aplicado como tratamiento de aguas residuales industriales, se acudió a un diseño no experimental de carácter transversal, puesto que la recolección de datos se da en un solo momento. Se realizó un estudio descriptivo comparativo para comparar la viabilidad y eficiencia de la oxidación avanzada Fenton como método de tratamiento para diferentes tipos de aguas residuales industriales.

2.2 Población

La población es representada por un compendio de 30 estudios entre artículos científicos, tesis doctorales e informes de investigación., los cuales están clasificados de acuerdo a la fuente, tipo de documento, país y título.

Los artículos se seleccionaron de la base de datos Google Académico, Dialnet y Redalyc, utilizando las siguientes palabras claves: oxidación avanzada, tratamiento de aguas residuales industriales y Fenton.

Como criterio de exclusión se tomó en cuenta los diferentes procesos de oxidación avanzada, entre las cuales se encontraban: Foto fenton, ozonización, ultravioleta de vacío, etc. Además, se dejaron estudios que estaban en un idioma diferente al nuestro y aquellos que no aplicaban el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton a efluentes industriales.

Tabla 8
Artículos incluidos en la revisión según las palabras clave utilizadas

Fuente	Tipo de documento	País	Título
Salas, 2010	Artículo científico	Perú	Tratamiento por oxidación avanzada (reacción fenton) de aguas residuales de la industria textil.
Arroyave, Garcés, Mejía, 2009	Artículo científico	Colombia	Empleo del reactivo de Fenton para la degradación del colorante Tartrazina.
Sanchez, García, 2018	Artículo científico	Ecuador	Tratamiento de aguas residuales de cargas industriales con oxidación avanzada en sistemas convencionales.

Méndez et al., 2010	Artículo científico	Colombia	Tratamiento de lixiviados por oxidación Fenton.
Torres, 2014	Tesis doctoral	España	Tratamiento de las aguas residuales mediante la combinación de técnicas avanzadas de oxidación y biofiltros.
Sanz, Lombraña, De Luis, 2012	Artículo científico	España	Estado del arte en la oxidación avanzada a efluentes industriales: nuevos desarrollos y futuras tendencias
Vidal, Nieto, Márquez, Manzilla, Bornhardt, 2003	Artículo científico	Chile	Combinación de Procesos Biológicos y de Oxidación Avanzada para el Tratamiento de una Corriente de Proceso de la Industria de Curtiembre
Taco, Mayorga, 2013	Artículo científico	Ecuador	Aplicación del proceso Fenton en la disminución de materia orgánica en aguas residuales de la industria termoeléctrica
Mayorga, Hilerio, Rodriguez, 2014	Revista	México	Evaluación de la eficiencia del Sistema fenton sobre las aguas residuales de la planta moscafrut
Barliza, Torres, 2018	Tesis	Colombia	Evaluación de los Procesos de Oxidación Avanzada: Fenton, UV/H ₂ O ₂ y foto-fenton para la degradación de clorpirifós en aguas residuales a nivel laboratorio en la Universidad de Cartagena
Medina, Montero, Cruz, 2017	Articulo Científico	Perú	Optimización del Proceso Fenton en el Tratamiento de Lixiviados de Rellenos

Azama, 2011	Tesis	Perú	Sanitarios Descontaminación de Aguas Industriales Aplicando la técnica Fenton-Electrofenton
Martinez, Ramirez, Toledo, 2013	Artículo científico	Colombia	Total organic carbon removal from a chemical lab's wastewater using Fenton's reagent.
Villa, Nogueira, 2005	Artículo científico	Brasil	Uso de reações de fenton na remediação de solo contaminado com p,p' DDT.
Bautista, 2008	Tesis	España	Tratamiento de aguas residuales de la industria cosmética mediante el proceso Fenton y con el sistema Fe/ γ - Al ₂ O ₃ /H ₂ O ₂ .
Rubio, Chica, Peñuela, 2013	Artículo científico	Colombia	Aplicación del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales de origen petroquímico.
Mendez, Pietrogiovanna,Santos, Sauri, Giácoman, Castillo, 2010	Artículo científico	México	Determinación de la dosis óptima de reactivo fenton en un tratamiento de lixiviados por fenton- adsorción.
Corella, 2018	Tesis	Ecuador	Evaluación de lodos activados y oxidación avanzada fenton para la remoción de materia orgánica del río Machángara.
Figueroa, Zambrano, 2018	Tesis	Ecuador	Tratamiento por oxidación avanzada(reacción fenton) en aguas residuales de una industria cartonera.
Valderrama, Javier, del Águila, Michel, Pio, Erika, 2016	Artículo científico	Perú	Optimización del proceso Fenton en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios

Terán, 2016	Tesis	España	Estudio de la aplicación de procesos de oxidación avanzada a aguas contaminadas.
Merayo, 2014	Tesis	España	Desarrollo y evaluación de procesos de oxidación avanzada para el tratamiento de aguas residuales papeleras.
Núñez, Vergara, 2015	Artículo científico	México	Tratamiento de agua residual textil con colorante negro ácido 52(NA52) empleando proceso avanzados de oxidación: fenton y foto-fenton.
Valarezo, 2018	Tesis	Ecuador	Eliminación de Escherichia coli en agua de mar mediante procesos de oxidación avanzada.
Menéndez, 2018	Tesis	Perú	Reducción de la demanda química de oxígeno en lactosuero mediante el proceso fenton.
Vallejo, 2017	Tesis	Ecuador	Evaluación de la eficiencia de la oxidación avanzada para la descontaminación de efluentes con ibuprofeno y paracetamol a escala de laboratorio.
Blanco, 2009	Tesis de Master	España	Degradación de un efluente textil real mediante procesos Fenton y Foto-Fenton
Ibarra, Dobrosz y Gómez, 2018	Artículo Científico	Colombia	Optimización Multiobjetivo del Proceso Fenton en el Tratamiento de Aguas Residuales provenientes de la Producción de Café Soluble
Baldión y Gómez, 2013	Tesis	Colombia	Evaluación de la Degradación de Fenoles en

Becerra y Cadena, 2016	Tesis	Colombia	Solución Acuosa Mediante Procesos Fenton y Complejo FE-EDTA a Nivel de Laboratorio Evaluación de la Aplicación del Método Fenton a Nivel Laboratorio en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Empresa San Juan S.A.S ESP
------------------------	-------	----------	---

Fuente: Elaboración propia.

2.3 Muestra

Según Hernández y Mendoza (2018) las muestras no probabilísticas también conocidas como muestras dirigidas, son un proceso de selección que no se basa en un criterio de generalización estadística, sino en las características y el contexto de la investigación.

El método de muestreo utilizado en este trabajo es no probabilístico. La muestra está constituida por 5 estudios, entre ellas 4 tesis y 1 artículo científico. La elección de dichos estudios se sustenta bajo la información contenida en ellos respecto a la remoción de los parámetros, en especial la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la descripción del costo de los reactivos empleados en el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton. Lo cual hace referencia a las variables de estudio como son la eficiencia y viabilidad del proceso Fenton.

En primer lugar, se seleccionó solo a los autores que tratan tipos de efluentes provenientes de actividades industriales.

En segundo lugar, se seleccionan a los autores ya sean nacionales o internacionales que tiene resultados de remoción de los parámetros DBO, DQO y color. Estos parámetros son de nuestro mayor interés.

Por último, se seleccionaron solo los autores que involucran costos de aplicación del tratamiento como una de nuestras variables principales la viabilidad del proceso de oxidación avanzada Fenton.

Tabla 9
Estudios seleccionados para el análisis de la viabilidad y eficiencia del Proceso de Oxidación Avanzada Fenton

Fuente	Tipo de documento	País	Título
Menéndez, 2018	Tesis	Perú	Reducción de la demanda química de oxígeno en lactosuero mediante el proceso Fenton.
Blanco, 2009	Tesis de Master	España	Degradación de un efluente textil real mediante procesos Fenton y Foto-Fenton
Ibarra, Dobrosz y Gómez, 2018	Artículo científico	Colombia	Optimización Multiobjetivo del Proceso Fenton en el Tratamiento de Aguas Residuales provenientes de la Producción de Café Soluble
Baldión y Gómez, 2013	Tesis	Colombia	Evaluación de la Degradación de Fenoles en Solución Acuosa Mediante Procesos Fenton y Complejo FE-EDTA a Nivel de Laboratorio
Becerra y Cadena, 2016	Tesis	Colombia	Evaluación de la Aplicación del Método Fenton a Nivel Laboratorio en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la

Fuente: Elaboración Propia

2.4 Operacionalización de variables

La siguiente tabla corresponde a la Matriz de Operacionalización de variables, en la cual se descomponen las variables de estudio con la finalidad de generar un mayor entendimiento sobre el presente estudio.

Tabla 10
Cuadro de operacionalización de Variables.

Variable	Tipo de variable	Operacionalización	Categorías	Definición
Viabilidad	Cuantitativa	Costo de aplicación de un tratamiento FENTON	Economía	Se relaciona con los recursos financieros existentes para poner en marcha un proyecto y con las ganancias que, eventualmente, se esperan obtener.
Indicador	Nivel de medición	Unidad de medida	Índice	Valor
Costo del tratamiento	Costo de insumos	Soles	Precio del tratamiento	Costo total
Variable	Tipo de variable	Operacionalización	Categorías	Definición
Eficiencia	Cuantitativa	Porcentaje de remoción de parámetros	Calidad	Capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado
Indicador	Nivel de medición	Unidad de medida	Índice	Valor

Variable	Tipo de variable	Operacionalización	Categorías	Definición
Proceso de Oxidación Avanzada Fenton	Cualitativa	Aplicación de proceso de Oxidación Avanzada Fenton en aguas residuales industriales	Tratamiento de aguas residuales	La adición de sales de hierro como catalizador en presencia de H ₂ O ₂ es un método clásico de producción de radicales HO•.
Indicador	Nivel de medición	Unidad de medida	Índice	Valor
Porcentaje de remoción de contaminantes	Medición de parámetros	Porcentaje (%)	Procesos aplicados por los autores	Porcentaje de remoción en aguas residuales

Fuente: Elaboración propia.

2.5 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Según Alfonso (1995) citado en Morales (2003) indica que la investigación documental es un procedimiento científico, un proceso sistemático de indagación, recolección, organización, análisis e interpretación de información o datos en torno a un determinado tema. Al igual que otros tipos de investigación, éste es conducente a la construcción de conocimientos. Es por ello que la recolección y análisis de datos del presente estudio se llevó a cabo mediante el método de investigación documental, la cual consistió en recopilar y analizar artículos científicos, tesis de pregrado, tesis doctorales, etc., sobre el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton, centrándonos en la

eficiencia de remoción de los parámetros, en especial la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y el análisis de los costos de los reactivos empleados en el Proceso de Oxidación Avanzada.

A su vez, mediante cotizaciones solicitadas hemos obtenido información sobre el costo de los reactivos en empresas de nuestro país, lo cual detallamos en el siguiente ítem.

Para realizar la recolección de los precios se realizó una búsqueda en el navegador Google Chrome en la cual a través de palabras claves como venta de reactivos en Perú o materiales de laboratorio se ingresó a las páginas web de las empresas que realizaban cotizaciones en línea como NORQUIMET S.A.C., BIOGENICSLAB S.A.C, CIMATEC S.A.C. y YOSHIA S.A.C a través de correos electrónicos y números telefónicos de la aplicación WhatsApp como. Por este medio entregan documentos de cotización, con los cuales se realizó la recolección de información de costos.

Por otro lado, se realizó unas cotizaciones de los materiales de laboratorio para la experimentación del tratamiento Proceso de Oxidación Avanzada Fenton, en esta parte de la recolección se cotizó de manera remota a la empresa BIOGENICSLAB S.A. y, por otro lado, de manera presencial se consultó a las distintas tiendas ubicadas en el Centro de Lima los precios comerciales de estos materiales.

De acuerdo a lo descrito en las técnicas de recolección de datos basada en la investigación documental y solicitud de cotizaciones, método por los cuales llevamos a cabo el proceso de selección de estudios y obtención de información de costos de los reactivos empleados en el proceso de oxidación avanzada Fenton, hemos

plasmado la información sobre tablas y gráficos con el fin de simplificar el análisis de los datos.

Paso previo a la selección de estudios se realiza la clasificación según el tipo de fuente. A continuación, en la tabla 11 se presenta lo indicado.

Tabla 11
Distribución de artículos según la fuente.

Tipo de fuente	Autores	Porcentaje (%)
Artículo científico	- Martínez, Ramírez, Toledo 2013	50 %
	- Villa, Nogueira 2005	
	- Rubio, Chica, Peñuela 2013	
	- Méndez, Pietrogiovanna, Santos, Sauri, Giacomán, Castillo 2010	
	- Valderrama, Javier, Del Águila, Michel, Pio, Erika 2016	
	- Núñez, Vergara 2015	
	- Salas 2010	
	- Arroyave, Garcés, Mejía 2009	
	- Sánchez, García 2018	
	- Méndez, García, Castillo 2010	
	- Sanz, Lombraña, De Luis 2012	
	- Vidal, Nieto, Marquez, Manzilla, Bomhardt 2003	
	- Taco, Mayorga 2013	
	- Medina, Montero, Cruz 2017	
	- Ibarra, Dobrosz y Gómez, 2018	
Tesis	- Bautista 2008	47%
	- Corella 2018	
	- Figueroa, Zambrano 2018	
	- Terán 2016	
	- Merayo 2014	
	- Valarezo 2018	
	- Menéndez 2018	
	- Vallejo 2017	
	- Torres 2014	
- Barliza, Torres 2018		

- Azama 2011
- Blanco, 2009
- Baldión y Gómez, 2013
- Becerra y Cadena, 2016

Revista - Mayorga, Hilerio, Rodriguez 2014 3%

Fuente: Elaboración propia.

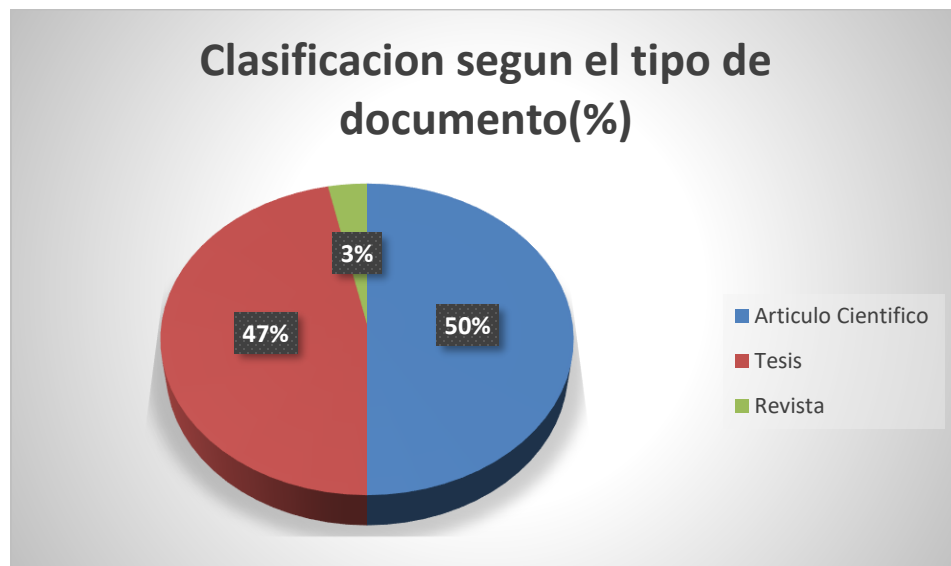


Figura 1 Clasificación de los estudios según el tipo de documento

En la figura 1, se muestra la clasificación de la información según el tipo de documento, se puede evidenciar que la mayor parte de documentos encontrados son artículos científicos.

Posteriormente, del universo de 30 estudios a evaluar, se descartaron 3 por diferente idioma, 1 por restricciones propias del estudio y 1 por aplicación del POA Fenton en aguas naturales; por lo cual se evaluaron 25 estudios. Para la selección de estudios a evaluar se tomó en cuenta como criterio de selección la información sobre la remoción de parámetros, en especial, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y el

análisis de costo de los reactivos empleados en el Proceso de Oxidación Avanzada

Fenton, lo cual se presenta a continuación.

Tabla 12
Selección de estudios de acuerdo al criterio de selección.

Remoción de Parámetros	Análisis de Costos de los reactivos Fenton	Título	Fuente
Presenta	No presenta	Tratamiento por oxidación avanzada (reacción fenton) de aguas residuales de la industria textil.	Salas, 2010
Presenta	No presenta	Empleo del reactivo de Fenton para la degradación del colorante Tartrazina.	Arroyave, Garcés, Mejía, 2009
Presenta	No Presenta	Tratamiento de aguas residuales de cargas industriales con oxidación avanzada en sistemas convencionales.	Sanchez, García, 2018
Presenta	No Presenta	Tratamiento de lixiviados por oxidación Fenton.	Méndez et al., 2010
Presenta	Presenta	Tratamiento de las aguas residuales mediante la combinación de técnicas avanzadas de oxidación y biofiltros.	Torres, 2014

No Presenta	No Presenta	Estado del arte en la oxidación avanzada a efluentes industriales: nuevos desarrollos y futuras tendencias	Sanz, Lombraña, De Luis, 2012
Presenta	No Presenta	Combinación de Procesos Biológicos y de Oxidación Avanzada para el Tratamiento de una Corriente de Proceso de la Industria de Curtiembre	Vidal, Nieto, Mârquez, Manzilla, Bornhardt, 2003
Presenta	No Presenta	Aplicación del proceso Fenton en la disminución de materia orgánica en aguas residuales de la industria termoeléctrica	Taco, Mayorga, 2013
Presenta	No Presenta	Evaluación de la eficiencia del Sistema fenton sobre las aguas residuales de la planta moscafrut	Mayorga, Hilerio, Rodriguez, 2014
Presentan	No Presenta	Evaluación de los Procesos de Oxidación Avanzada: Fenton, UV/H ₂ O ₂ y foto-fenton para la degradación de clorpirifós en aguas residuales a nivel laboratorio en la Universidad de Cartagena	Barliza, Torres, 2018
Presenta	No Presenta	Optimización del Proceso Fenton en el Tratamiento de Lixiviados de Rellenos Sanitarios	Medina, Montero, Cruz, 2017

Presenta	Presenta	Tratamiento de aguas residuales de la industria cosmética mediante el proceso Fenton y con el sistema Fe/ γ -Al ₂ O ₃ /H ₂ O ₂ .	Bautista, 2008
No Presenta	No Presenta	Aplicación del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales de origen petroquímico.	Rubio, Chica, Peñuela, 2013
Presenta	No Presenta	Determinación de la dosis óptima de reactivo fenton en un tratamiento de lixiviados por fenton-adsorción.	Mendez, Pietrogiovanna, Santos, Sauri, Giácoman, Castillo, 2010
Presenta	No Presenta	Evaluación de lodos activados y oxidación avanzada fenton para la remoción de materia orgánica del río Machángara.	Corella, 2018
Presenta	No Presenta	Tratamiento por oxidación avanzada (reacción fenton) en aguas residuales de una industria cartonera.	Figueroa, Zambrano, 2018
Presenta	No Presenta	Optimización del proceso Fenton en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios	Valderrama, Javier, del Águila, Michel, Pio, Erika, 2016
Presenta	Presenta	Estudio de la aplicación de procesos de oxidación avanzada a aguas contaminadas.	Terán, 2016
Presenta	No Presenta	Tratamiento de agua residual textil con	Núñez, Vergara, 2015

		colorante negro ácido 52(NA52) empleando proceso avanzados de oxidación: fenton y foto-fenton.	
Presenta	No Presenta	Reducción de la demanda química de oxígeno en lactosuero mediante el proceso fenton.	Menéndez, 2018
Presenta	No Presenta	Evaluación de la eficiencia de la oxidación avanzada para la descontaminación de efluentes con ibuprofeno y paracetamol a escala de laboratorio.	Vallejo, 2017
Presenta	Presenta	Degradación de un efluente textil real mediante procesos Fenton y Foto-Fenton	Blanco, 2009
Presenta	Presenta	Optimización Multiobjetivo del Proceso Fenton en el Tratamiento de Aguas Residuales provenientes de la Producción de Café Soluble	Ibarra, Dobrosz y Gómez, 2018
Presenta	Presenta	Evaluación de la Degradación de Fenoles en Solución Acuosa Mediante Procesos Fenton y Complejo FE-EDTA a Nivel de Laboratorio	Baldión y Gómez, 2013
Presenta	Presenta	Evaluación de la Aplicación del Método Fenton a Nivel Laboratorio en la Planta	Becerra y Cadena, 2016

de Tratamiento de Aguas
Residuales de la Empresa
San Juan S.A.S ESP

Fuente: Elaboración propia.

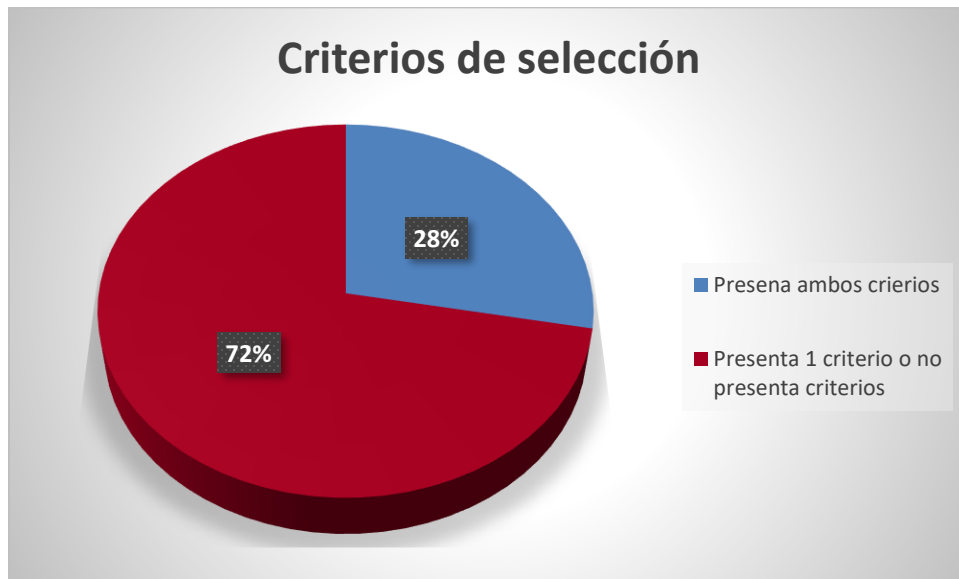


Figura 2. Presencia de los criterios de selección en los estudios evaluados.
Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 2, se muestra la presencia de los criterios de selección en los estudios evaluados de los cuales el 28% presenta ambos criterios y el 72% presenta uno o no presenta los criterios de selección, dichos porcentajes corresponden a 7 y 18 estudios respectivamente.

Por último, para la selección de los 5 estudios evaluados en los que se basa el presente trabajo, se tomó en cuenta netamente al Proceso de Oxidación Avanzada Fenton, es decir, Fenton convencional. A excepción del estudio referente a “Reducción de la demanda química de oxígeno en lactosuero mediante el proceso Fenton” de Menéndez, el cual no presenta análisis de costos, pero se realizará una

simulación de costos en base a los precios obtenidos por las cotizaciones realizadas en nuestro país.

Tabla 13
Selección de estudios de acuerdo al Proceso de Oxidación Avanzada Fenton.

Análisis de Costos	Título	Referencia
Fenton variado	Tratamiento de las aguas residuales mediante la combinación de técnicas avanzadas de oxidación y biofiltros.	Torres, 2014
Fenton variado	Tratamiento de aguas residuales de la industria cosmética mediante el proceso Fenton y con el sistema Fe/ γ -Al ₂ O ₃ /H ₂ O ₂ .	Bautista, 2008
Fenton variado	Estudio de la aplicación de procesos de oxidación avanzada a aguas contaminadas.	Terán, 2016
Fenton y Foto-Fenton	Degradación de un efluente textil real mediante procesos Fenton y Foto-Fenton	Blanco, 2009
Fenton	Optimización Multiobjetivo del Proceso Fenton en el Tratamiento de Aguas Residuales provenientes de la Producción de Café Soluble	Ibarra, Dobrosz y Gómez, 2018

Fenton	Evaluación de la Degradación de Fenoles en Solución Acuosa Mediante Procesos Fenton y Complejo FE-EDTA a Nivel de Laboratorio	Baldión y Gómez, 2013
Fenton	Evaluación de la Aplicación del Método Fenton a Nivel Laboratorio en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Empresa San Juan S.A.S ESP	Becerra y Cadena, 2016
Fenton	Reducción de la demanda química de oxígeno en lactosuero mediante el proceso fenton.	Menéndez, 2018

Fuente: Elaboración propia

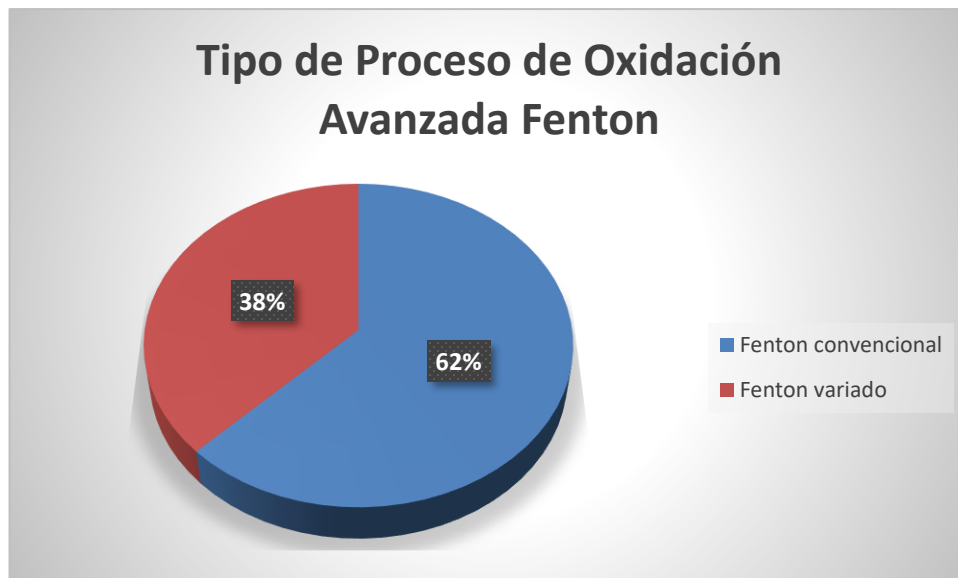


Figura 3. Selección de estudios de acuerdo al tipo de Proceso de Oxidación Avanzada Fenton

En la figura 3, se muestra la clasificación de estudios según el tipo de POA Fenton, de los cuales 62% corresponden a Fenton convencional y 38% corresponden a Fenton variado; dichos porcentajes representan a 5 y 3 estudios respectivamente. Los 5 estudios resultantes de esta clasificación son los estudios que han sido evaluados en el presente trabajo.

CAPITULO III. RESULTADOS

3.1 Comparación de la dosis y parámetros de influencia del proceso de oxidación avanzada Fenton

Se realizó la comparación de las condiciones óptimas de reacción utilizadas por los diversos autores en el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton, pudiendo observar que en la totalidad de casos existe una remoción considerable de parámetros.

Tabla 14

Cuadro comparativo de condiciones de reacción y remoción de parámetros

Parámetros	Condiciones óptimas de reacción	Inicial	Final	% Remoción	Referencia
DBO ₅ (mg/L)		-	-	-	
DQO (g/L)		50,65	10,67	78,93	
TURBIDEZ (NTU)	pH=2.8-3, T=25°C, t=43.84min,	-	-	-	(Menéndez, 2018)
COLOR (Pt/Co)	H ₂ O ₂ =30.84mg/L, Fe ⁺² =3.65mg/L, M=250ml	-	-	-	
SÓLIDOS TOTALES (mg/L)		37,54	10,06	73,2	
DBO ₅ (mg/L)		850	-	-	
DQO (mg/L)		2100	620	70.48	
TURBIDEZ (NTU)	pH=2.69, t=345min, T=35°C, H ₂ O ₂ =1650mg/L,	75.75	0.210	99.72	(Blanco, 2009)
COLOR (Pt/Co)	Fe (II)= 216 mg/L, Muestra=20-30ml	2.166	0.086	96.02	
SÓLIDOS TOTALES (mg/L)		-	-	-	
DBO ₅ (mg/L)		784	-	-	
DQO (mg/L)	t=75min, H ₂ O ₂ =600mg/l,	1233	97	97.161	
TURBIDEZ (NTU)	Fe ⁺² =1000mg/L, T=20°C, pH= 2.88,	1.5	-	-	(Becerra y Cadena, 2017)
COLOR (Pt/Co)	DQO/H ₂ O ₂ = 6.2, Muestra= 600ml	500	6	99.49	
SÓLIDOS TOTALES (mg/L)		210	-	-	
DBO ₅ (mg/L)		1267	-	-	
DQO (mg/L)	pH= 3.73, H ₂ O ₂ =6000mg/L, t= 3h, Fe=500 mg/L, T= 20°C,	3528	687.96	80.50	(Ibarra et al., 2018)
TURBIDEZ (NTU)	Muestra= 200ml	12	-	-	
COLOR (Pt/Co)		3046	694.8	77.19	

SÓLIDOS TOTALES (mg/L)		21	-	-	
DBO ₅ (mg/L)		-	-	-	
DQO (mg/L)		9980	1028	89.6	
TURBIDEZ (NTU)	pH= 3.5, t= 1h, Muestra= 800ml, T= °45	-	-	-	(Baldión y Gomez, 2013)
COLOR (Pt/Co)	H ₂ O ₂ =850.5mg/L, FeSO ₄ = 422.3 mg/L	-	-	-	
SÓLIDOS TOTALES (mg/L)		-	-	-	

Fuente: Elaboración propia

3.2 Comparación de la demanda química de oxígeno con la normativa ambiental vigente respecto a las aguas residuales

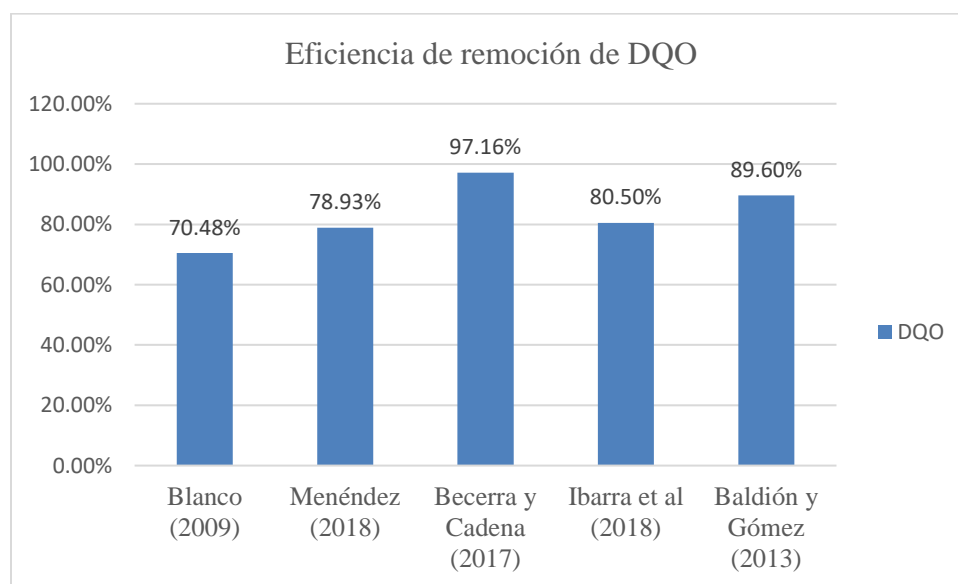


Figura 4. Eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno

De los parámetros evaluados en los estudios analizados se puede observar que el que tiene mayor relevancia es la Demanda Química de Oxígeno (DQO) puesto que se basa en la oxidación tanto de la materia orgánica biodegradable como no biodegradable y es tomado en cuenta por la totalidad de autores. Respecto a la remoción de Demanda Química de Oxígeno (DQO), la totalidad de autores lograr una eficiencia de remoción mayor al 70%. se presenta el porcentaje de remoción Demanda Química de Oxígeno obtenido por los autores al aplicar el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton, resaltado a Becerra y Cadena, los cuales logran un porcentaje de remoción de 97.16%

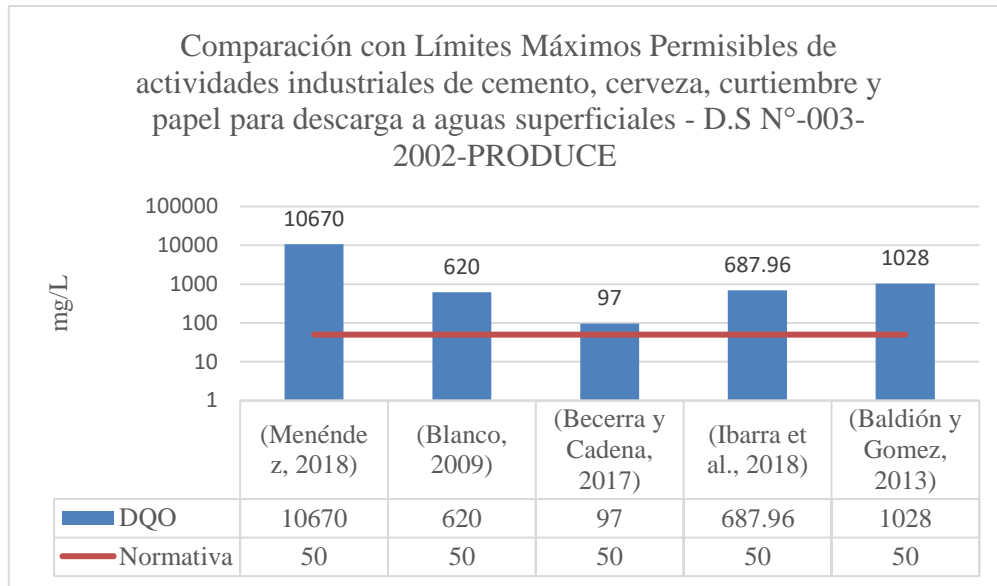


Figura 5. Comparación de resultados de DQO con los Límites Máximos Permisibles de actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel
 Nota: Valor referencial de la normatividad corresponde a LMP para industria de cerveza, curtiembre y papel.

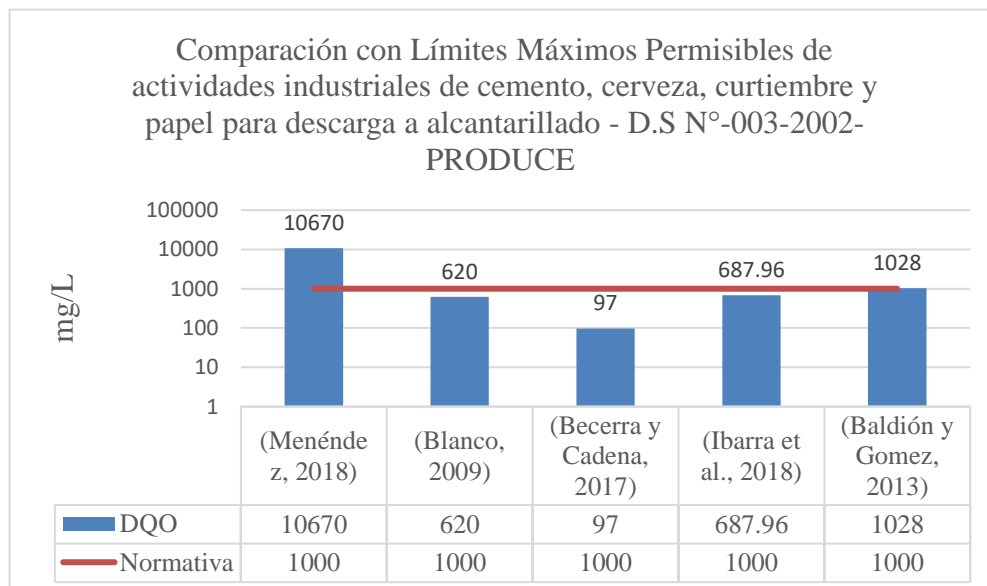


Figura 6 - Comparación de resultados de DQO con los Límites Máximos Permisibles de actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel.
 Nota: Valor referencial de la normatividad corresponde a LMP para industria de cerveza y papel.

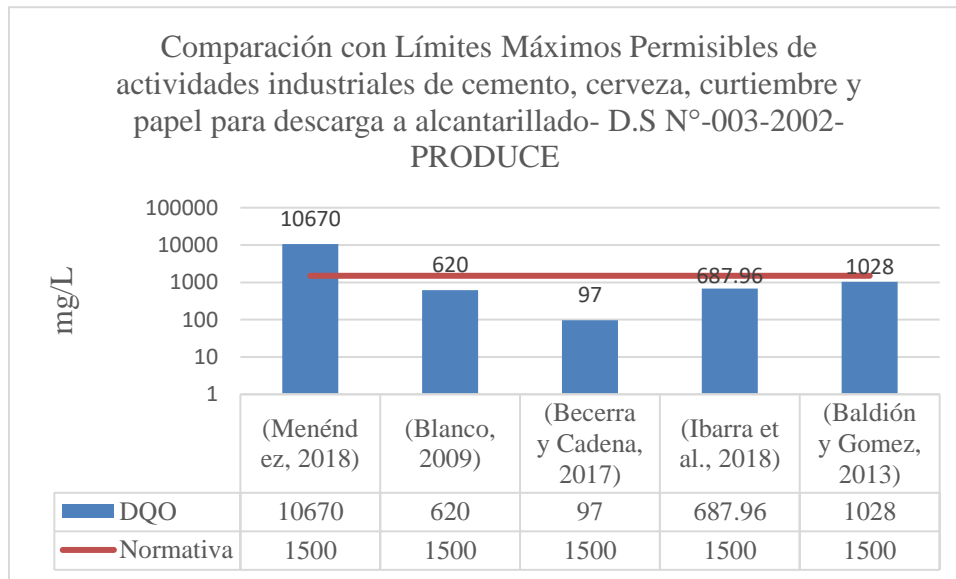


Figura 7 - Comparación de resultados de DQO con los Límites Máximos Permisibles de actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel
Nota: Valor referencial de la normativa corresponde a LMP para industria de curtiembre.

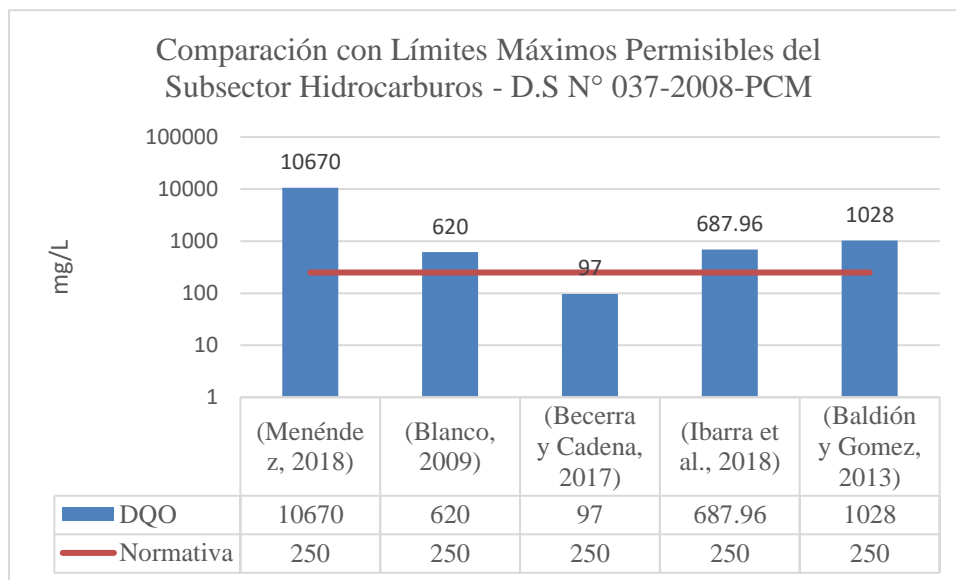


Figura 8 - Comparación de DQO con los Límites Máximos Permisibles del Subsector Hidrocarburos.

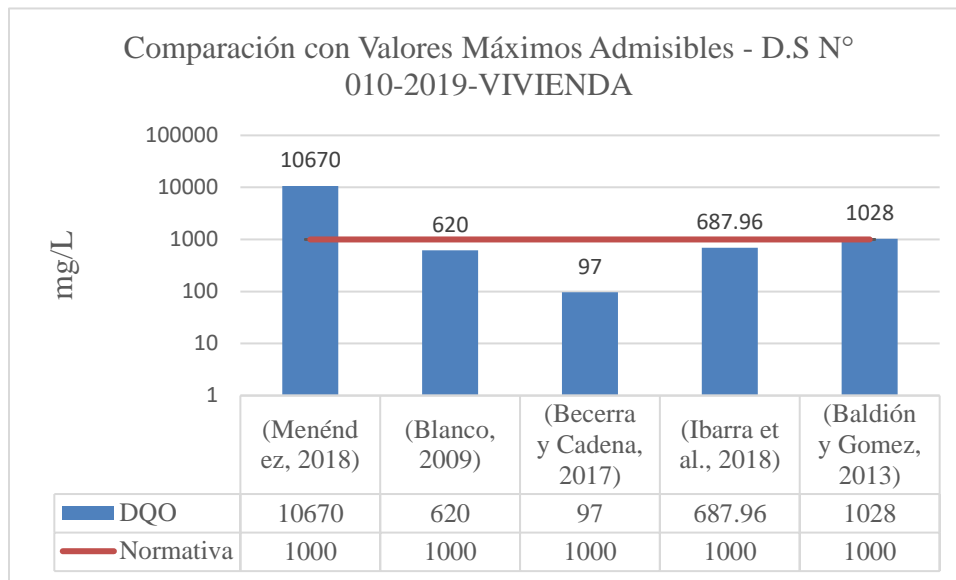


Figura 9 - Comparación de los resultados de DQO con los Valores Máximos Admisibles

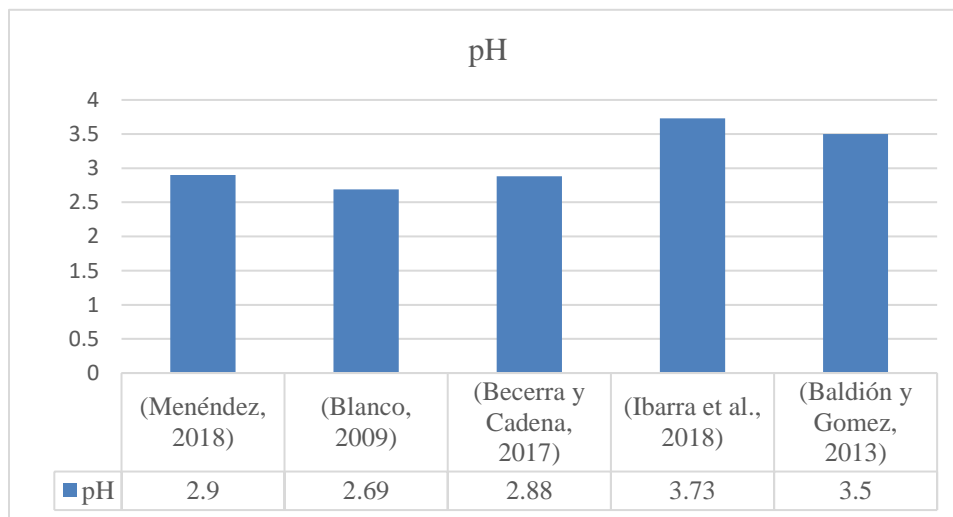


Figura 10 – Valor de pH utilizado en el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton
 Se presenta el valor óptimo de pH utilizado por los autores en el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton, resaltando a Ibarra et al, los cuales poseen el mayor valor correspondiente a 3.73

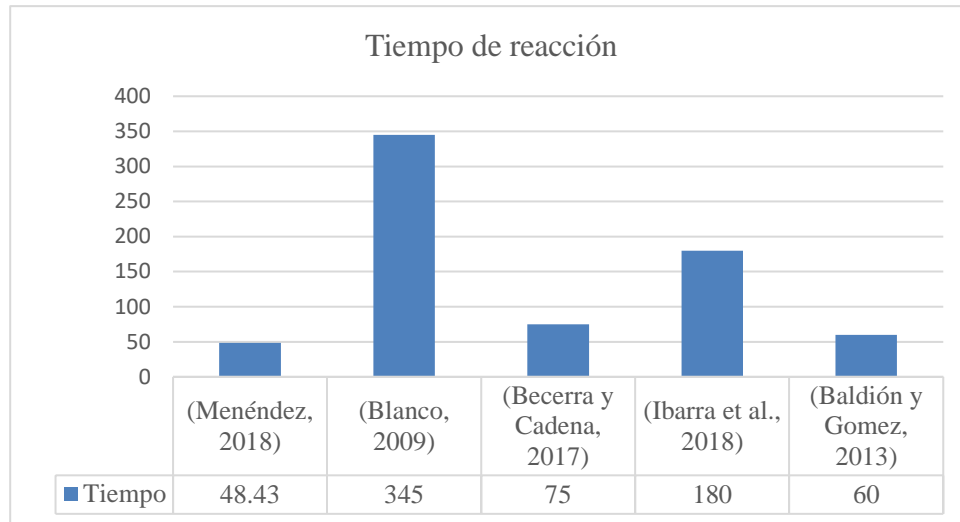


Figura 11 – Tiempo de reacción utilizado en el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton. Se presenta el valor óptimo de tiempo de reacción utilizado por los autores en el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton, resaltando a Blanco (2009), el cual posee el mayor valor, correspondiente a 345min.

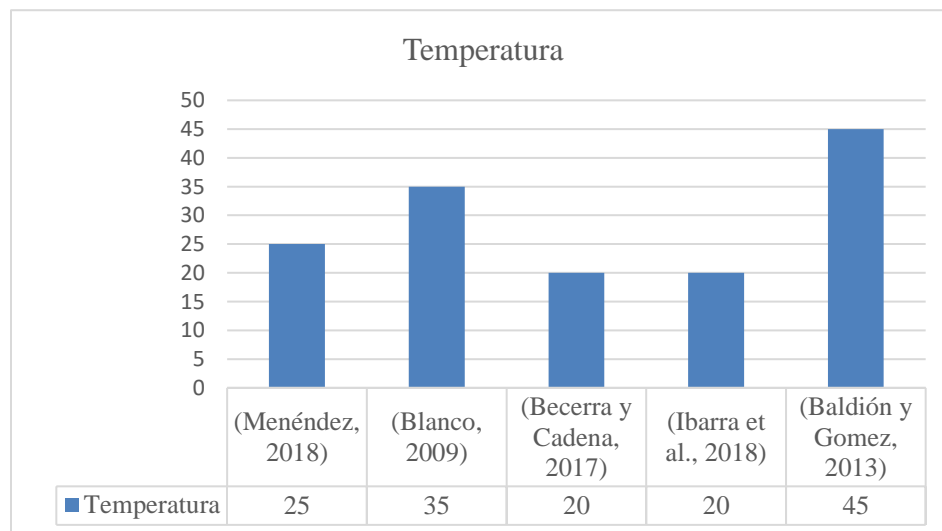


Figura 12 - Valor de Temperatura utilizado en el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton. Se presenta el valor óptimo de temperatura utilizado por los autores en el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton, resaltando a Baldión y Gomez, los cuales poseen el mayor valor, correspondiente a 45°C

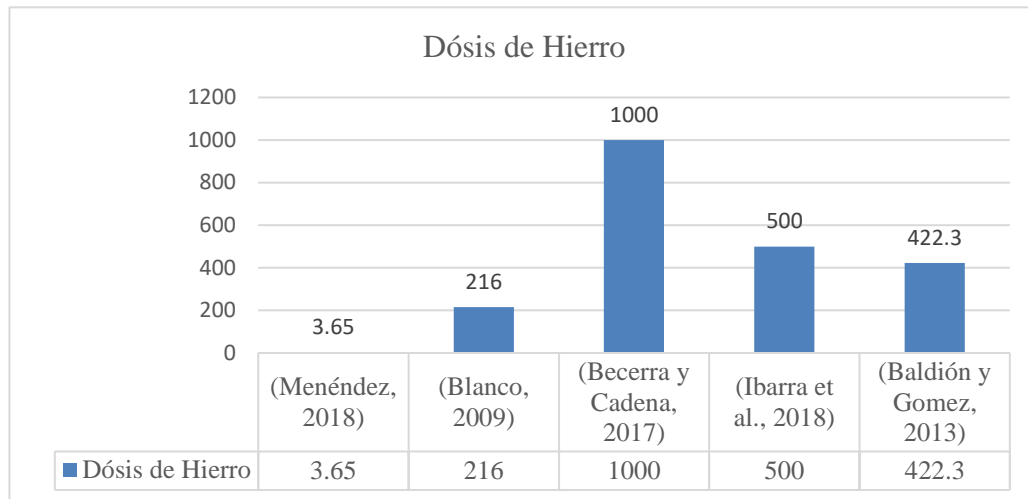


Figura 13 – Valor de la dosis de Hierro utilizado en el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton. Se presenta el valor óptimo de dosis de hierro utilizado por los autores en el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton, resaltando a Becerra y Cadena, los cuales poseen el mayor valor, correspondiente a 1000mg/L.

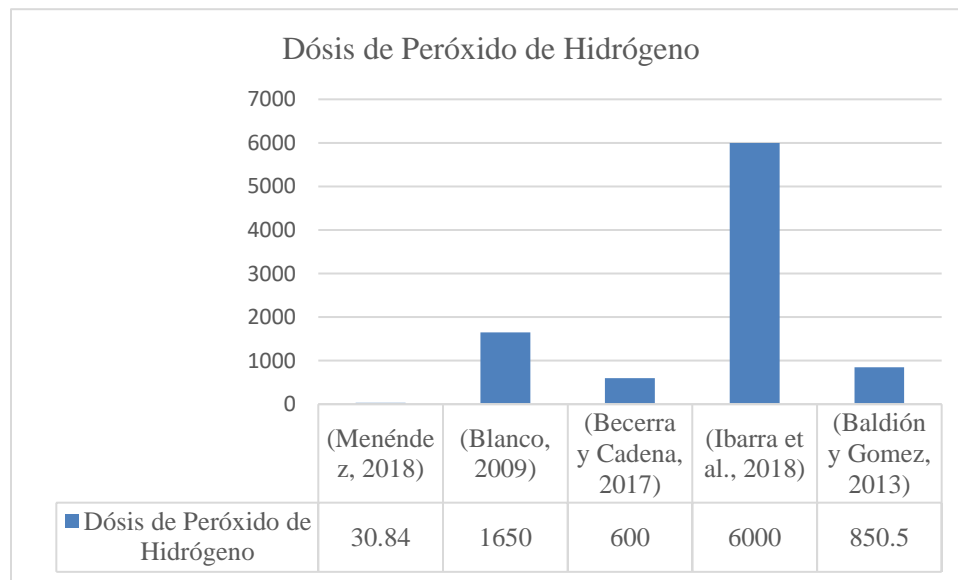


Figura 14 – Valor de la dosis de Peróxido de Hidrógeno utilizado en el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton.

Se presenta el valor óptimo de dosis de peróxido de hidrógeno utilizado por los autores en el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton, resaltando a Ibarra et al, los cuales poseen el mayor valor, correspondiente a 6000mg/L.

3.3 Evaluación de costos del Proceso de Oxidación Avanzada Fenton

En las siguientes tablas se presentan los estudios de costos de los cinco autores escogidos para nuestro estudio. Tenemos entre ellos costos de moneda extranjera debido al origen del estudio, es por ello que se realiza el cambio a la moneda nacional nuevos soles para evaluar cuales de los precios nos conviene aplicar en caso de llevar el estudio a la etapa experimental. En general tenemos la descripción de costos por metro cubico de agua residual procedente de distintas industrias. A continuación, se presentan los siguientes resultados

Tabla 15
Precios de los reactivos y de la electricidad de Jose Blanco (2009)

Reactivo	Precio euros	Precio soles
H ₂ O ₂	0,74 €·kg ⁻¹	S/. 3.55
FeSO ₄ ·7H ₂ O	0,14 €·kg ⁻¹	S/. 0.67
Electricidad	0,0765 €·kg ⁻¹	S/. 0.37

Tabla 16
Coste de los distintos tratamientos efectuados al efluente textil de Jose Blanco (2009)

Proceso	Ratio	H ₂ O ₂ (€·m ⁻³)	FeSO ₄ ·7H ₂ O (€·m ⁻³)	Electricidad (€·m ⁻³)	RDS (€·m ⁻³)	Costo euros (€·m ⁻³)	Costo soles (S/.m3)
Fenton	1:18, 75	3,70	0,154	-	-	3,85	S/. 18.48
Fenton	1:56, 25	11,1	0,154	-	-	11,25	S/. 54.00
Foto-fenton	1:56, 25	11,1	0,154	0,012	-	11,27	S/. 54.10
RDS + Fenton	1:56, 25	3,40	0,043	-	3,00	6,44	S/. 30.91

Tabla 17
Precio unitario por reactivo de Becerra y Cadena (2016)

Reactivo	Precio (COLS)/Kg	Precio en soles
Peroxido de hidrogeno	7000	S/. 7.70
Sulfato de Hierro Heptahidratado	2600	S/. 2.86
Hiroxido de Sodio	3500	S/. 3.85
Acido Cítrico	4700	S/. 5.17
Policloruro de Aluminio	2500	S/. 2.75
Sulfato de Alumnio	4500	S/. 4.95

Elaboracion: Propia

Tabla 18
Costos según el proceso Ibarra, Dobrosz y Gomez (2018)

Proceso	Costo dólares (USD/m3)	Costo soles (S/. /m3)
Proceso de oxidación electroquímica	10.4	S/. 43.06
PAO para tratamiento de clorofenol	8	S/. 33.12
Oxidación electroquímica u ozonización	48	S/. 198.72
PAO para otro tipo de efluentes	60	S/. 248.40

Elaboración: Propia

Tabla 19
*Costo de tratamiento por metro cúbico para agua residual industrial Baldión y
 Gómez (2013)*

Técnica	Compuesto	Dosis (mg/L) soles	Dosis (kg/m3) soles	Costo por kg (\$COL) soles	Costo por m3 (\$COL) soles
	H ₂ SO ₄	0.000396	0.00000044	0.7337	0.000264
Fenton	FeSO ₄ *7H ₂ O	0.4543	0.000451	1.8898	0.781
	H ₂ O ₂	0.9361	0.000935	1.9954	1.6973
					2.478564

Elaboración: Propia

Descripción. La dosis de Fe (Hierro metálico) en kg/m3 se calculó teniendo en cuenta que el hierro quelatado puede seguir reaccionando durante 24 horas, por lo cual no se adiciona constantemente a la unidad de oxidación sino cada 24 horas.

Elección de compra de reactivos y materiales según la comparación de cotizaciones

Tabla 20
Sulfato de aluminio

Ítem	Empresa	Código	Artículo	Cantidad	Unidad	Precio Unit	Subtotal
1	NORQUIMET S.A.C	Pantera	Sulfato de aluminio granulado tipo "A" Marca: Pantera Presentación: X1 Kg Procedencia: Perú ALUMINIUM SULPHATE AR/ACS HEXADECAHYDRATE	1	Kg	S/. 10.52	S/. 10.52
2	BIOGENICSLAB S.A.C	454555	X 500 GR COD 454555 Procedencia: INDIA / Modelo: 454555 /Marca: CDH SULFATO DE	500	gr	S/. 75.00	S/. 75.00
2	YOSHIA S.A.C	-	ALUMINIO DI AMONIO 12 H2O X 500 GR	500	gr	S/. 74.34	S/. 74.34

Elaboracion: Propia

Tabla21
Peróxido de Hidrogeno

Item	Empresa	Código	Articulo	Cantidad	Unidad	Precio Unit	Subtotal
2	NORQUIMET S.A.C	23658	Peróxido de hidrogeno al 50% Presentación :X 1lt AGUA OXIGENADA (30%) P.A. X 1 LT SCHARLAU	1	Lt	S/. 2.97	S/. 2.97
1	CIMATEC S.A.C	RE-M-0042	ESPAÑA Hidrógeno peróxido, solución 30% p/p (110 vol), ExpertQ®, ACS, ISO	1	Lt	S/. 132.16	S/. 132.16
7	BIOGENICSLAB S.A.C	10366	Hydrogen Peroxide solution AR 30% 100 volumes x 500 ml (845300)	500	ml	S/. 65.00	S/. 65.00

Elaboracion: Propia

Tabla22
Sulfato Ferroso

Ítem	Empresa	Código	Articulo	Cantidad	Unidad	Precio Unit	Subtotal
1	BIOGENICSLAB S.A.C	GRM1377	FERROUS SULPHATE HEPTAHYDRATE, HI- AR X 500 GR COD GRM1377 Procedencia: INDIA / Marca: HIMEDIA	500	gr	S/. 85.00	S/. 85.00
2	CIMATEC S.A.C	RE-M-0145	HIERRO (II) SULFATO 7-HIDR. Q.P. X 1 KG SCHARLAU Hierro(II) sulfato heptahidrato, purísimo, Pharmpur®, Ph Eur, BP, USP	500	gr	S/. 189.98	S/. 189.98
1	YOSHIA S.A.C	-	SULFATO FERROSO 7H2O X 500 GR	500	gr	S/. 61.05	S/. 61.05

Elaboracion: Propia

Tabla 23

*Costo Total de la Aplicación de Tratamiento de Oxidación Avanzada Fenton para
Menéndez, 2018*

Ítem	Código	Artículo	Unidad	Cantidad	Precio Unt	Total
1	017.02.050	Bureta de vidrio llave de teflón de 50 ml COD 017.02.050	UND	1	S/. 189.00	S/. 189.00
2	MATRAZ25ML	Matraz de vidrio Boro 3,3 de 25 ml	UND	6	S/. 17.00	S/. 102.00
3	ISO5ML14	Pipeta de vidrio graduada 5 ml	UND	3	S/. 13.00	S/. 39.00
4	166743	Pipeta de vidrio graduada 10 ml	UND	3	S/. 14.00	S/. 42.00
5	362	Tubo de ensayo de vidrio 13 X 100 mm – sin tapa	UND	6	S/. 1.20	S/. 7.20
6	BOM0006	Propipeta (bombilla) estándar de 3 salidas de 10 ml	UND	1	S/. 40.00	S/. 40.00
7	10366	Hydrogen Peroxide solution AR 30% 100 volumes x 500 ml (845300)	FCO	1	S/. 65.00	S/. 65.00
8	GRM1377	Ferrous Sulphate Heptahydrate, HI-AR x 500 gr COD GRM1377	FCO	1	S/. 85.00	S/. 85.00
9	POT0019	Potassium Dichromate AR (controlado) x 500 gr COD 612615	FCO	1	S/. 140.00	S/. 140.00
10	MER0006	Mercuric Sulphate, Hi-AR/ACS x 250 gr COD GRM1088	FCO	1	S/. 1,380.00	S/. 1,380.00
11	30090	Silver Sulphate Purified x 25 gr COD 030090	FCO	1	S/. 390.00	S/. 390.00
					Subtotal	S/. 2,101.02
					IGV	S/. 378.18
					Total	S/. 2,479.20

Elaboración: Propia

Nota: Como producto final de todas cotizaciones elegimos en este caso los precios de la empresa BIOGENICSLAB S.A.C, debido a que nos muestra una cotización más completa en cuanto a reactivos y materiales de laboratorio. En el caso de los reactivos no indica unos precios accesibles en comparación a las otras cotizaciones, de igual manera ocurre en el caso de los materiales de laboratorio. Luego de realizar una cotización presencial y remota en diferentes distribuidores se concluyó que por la calidad del producto y el precio elegimos a la misma empresa para hacer la compra completa.

3.4 Propuesta de implementación de planta de tratamiento con método de oxidación avanzada Fenton a escala industrial

Tabla 24

Propuesta de planta de tratamiento de aguas residuales

Propuesta de Implementación de Planta de Tratamiento con Método de Oxidación Avanzada Fenton a Escala Industrial	
Propósito	La presente propuesta tiene el propósito de implementarse en industrias generadoras de aguas residuales contaminante que sobrepases los estándares peruanos establecidos como ECA, LMP y VMA. De esta manera se busca reducir la contaminación y evitar multas por incumplimiento
Método	La planta de tratamiento propuesta será con el método del Proceso de Oxidación Avanzada Fenton convencional, paso previo a la aplicación se debe generar un muestreo de aguas residuales y realizar la comparación con los valores permitidos según normativa peruana. El tratamiento contiene pasos específicos presentados en la propuesta técnica que nos permite realizar la reducción porcentual de contaminantes, además de ser un método viable para las industrias peruanas.
Alcance del Proyecto	La planta de tratamiento Fenton debe tratar efluentes industriales de actividades como textil, alimentarias, cartonera, hidrocarburos, etc. Además, se propone su implementación dentro de las mismas industrias para un mejor aprovechamiento del agua tratada
Ubicación	Lima, Perú
Propuesta Técnica	<p>Componentes del sistema de tratamiento</p> <p>Reactivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Peróxido de hidrógeno - Sulfato de hierro II - Ácido Sulfúrico - Hidróxido de sodio <p>Materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tanques industriales - Bombas de transferencia - Tablero eléctrico de control de mando - Filtros - Sistema de tuberías
Medio Ambiente	Las actividades industriales son una de las principales fuentes de contaminación en el país, es por ello que se establece el tratamiento Fenton para la reducción de impactos ambientales a los cuerpos de agua receptores.
Aporte	Con nuestro estudio buscamos dar a conocer la viabilidad y efectividad de la aplicación de Proceso de Oxidación Avanzada Fenton, además de su implementación en las empresas como parte de las actividades industriales para la reducción de contaminación de cuerpos de agua generados por aguas residuales.

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV. DISCUSION Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Respecto al valor de dosis de hierro, en la figura 13 se observa que el estudio que presenta mayor concentración es de Becerra y Cadena (2017) los cuales utilizan una dosis de 1000 mg/L junto con una dosis de hierro de 600mg/L, mientras que Menéndez (2018) utiliza una dosis de 30.84 mg/L junto con una dosis de hierro de 30.84mg/L siendo esta el menor valor. En el caso del peróxido de hidrogeno, en la figura 14 se evidencia que la mayor dosis aplicada es de 6000 mg/L empleada por Ibarra et.al (2018) junto a una dosis de hierro de 500mg/L, caso contrario ocurre con Menéndez (2018), el cual aplica la menor concentración de hierro equivalente a 3.65mg/L junto con una dosis de peróxido de hidrógeno de 30,84 mg/L. Según Arslan-Alaton et al. (2009) citado en Cañon (2018) indican que la cantidad de H_2O_2 influye sobre la eficacia del proceso mientras que por otro lado la concentración de hierro afecta a la cinética del mismo. Tanto eficacia como velocidad de la reacción aumentan con la concentración de ambos reactivos; sin embargo, el exceso de hierro puede afectar favoreciendo la activación de reacciones secundarias no deseadas, como la formación del precipitado de $Fe(OH)_3$. Por otro lado, un exceso de H_2O_2 puede dar lugar a su propia degradación debido a la presencia de los radicales hidroxilos $\bullet OH$ lo que también lo convierte en una reacción no deseada. Asimismo, Becerra y Cadena (2017) indican que cuando existe un exceso de peróxido de hidrógeno se lleva a cabo una reacción entre el peróxido de hidrógeno y radical hidroxilo, generando peróxido de hidroxilo lo cual es menos oxidante, mientras que cuando hay un exceso de hierro se generan precipitados de hidróxido de hierro por la

reacción con los radicales hidroxilos. Uriarte et al. (2018) aplicaron el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton para el tratamiento de aguas residuales del camal de Chota, utilizando como dosis de reacción 2110.55 mg/L de FeSO_4 y 1092.67 mg/L de H_2O_2 , logrando la reducción de la concentración inicial de DQO= 4654.4 mgO_2/L a 934.14 mgO_2/L de DQO final.

Las condiciones de reacción respecto al pH y temperatura del Proceso de Oxidación Avanzada Fenton empleado por los autores no difieren abruptamente. Respecto al pH, su rango varía entre 2.5 a 4. En la figura N° 10 se observa que Cadena y Becerra (2017) presentan el menor valor de pH equivalente a 2.69, mientras que Ibarra et al. (2018) utilizan el mayor valor de pH equivalente a 3.73. Según Menéndez (2018) el valor de pH es importante puesto que a valores altos el Fe^{+3} precipita como $\text{Fe}(\text{OH})_3$ que descompone al H_2O_2 en O_2 y H_2O , sin embargo, a valores bajos de pH y a partir de $\text{Fe}(\text{II})$ se produce la formación de Hidróxido de hierro divalente ($\text{Fe}(\text{OOH})^{+2}$) que reacciona muy lentamente con el H_2O_2 obstaculizando la generación de $\text{OH} \cdot$. Para el caso de la temperatura, la figura 12 muestra que la mayoría de estudios evaluados emplean una temperatura ambiente entre 20 y 25 °C, sin embargo, Baldión y Gomez (2013) utilizan una temperatura entre 40 a 50 °C, puesto que mencionan que a una mayor temperatura se logra un mayor rendimiento de degradación. Según Blanco (2009) a una mayor temperatura hace que la reducción de la materia orgánica sea menor, esto se explicaría debido que a medida que aumenta la temperatura el H_2O_2 se consumiría más rápidamente.

En el caso del tiempo de reacción, según Baldión y Gómez (2013) es importante considerar que a nivel industrial entre menor tiempo de retención se requiera, menor volumen de unidad de oxidación y menor costo se tendrán, por lo cual en su tratamiento escogen el tiempo de reacción de 1 hora, sin embargo, Blanco (2009) es el que mayor tiempo de reacción emplea, el cual tiene un valor de 345 minutos, dichos valores se pueden observar en la figura 11. El tiempo de reacción es un factor que se orienta más a lo económico. Según Rubio et al. (2014) citado en Alvarado y Piloso (2020) el trabado que se da entre las sustancias del Proceso de Oxidación Avanzada Fenton se da en distintos tiempos de acuerdo al tipo de efluente que se aplica, sin embargo, siempre es recomendable que un proceso se dé en un tiempo considerable y beneficioso para la economía de la industria. Taco y Mayorga (2012) emplearon un tiempo de reacción similar a Blanco (2009) equivalente a 352 minutos para una concentración inicial de DQO = 357.14 mgO₂/L, logrando una eficiencia de remoción de DQO de 89.68% obteniendo un valor de 36.87 mgO₂/L.

De los parámetros evaluados en los estudios analizados se puede observar que el que tiene mayor relevancia es la Demanda Química de Oxígeno (DQO) puesto que se basa en la oxidación tanto de la materia orgánica biodegradable como no biodegradable y es tomado en cuenta por la totalidad de autores.

Respecto a la remoción de Demanda Química de Oxígeno (DQO), la totalidad de autores logra una eficiencia de remoción mayor al 70%. En la Tabla 14 se observa que Becerra y Cadena (2013) lograron el mayor porcentaje de remoción equivalente a 97.16% en una muestra de 600ml de agua residual de industria de beneficio a

$t=75\text{min}$, $\text{H}_2\text{O}_2=600\text{ mg/L}$, $\text{Fe}^{+2}=1000\text{ mg/L}$, $T=20^\circ\text{C}$, $\text{pH}=2.88$, $\text{DQO}/\text{H}_2\text{O}_2=6.2$; mientras que Blanco (2009) logra la menor eficiencia de porcentaje de remoción de DQO equivalente a 70.48% en una muestra de 20-30ml de agua residual textil a $\text{pH}=2.69$, $t=345\text{min}$, $\text{H}_2\text{O}_2=1650\text{mg/L}$, $\text{Fe (II)}=216\text{ mg/L}$. Esto debido a que Becerra y Cadena (2013) posterior al Proceso de Oxidación Avanzada Fenton realizó una sedimentación con un tiempo de 30 minutos, logrando una mayor eficiencia de remoción de DQO. Alvarado y Piloso (2020) en su estudio sobre el tratamiento de aguas residuales de una industria empacadora camaronera aplicaron el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton junto a una filtración con carbón activado logrando una reducción de DQO de 2923 mg/L a 98 mg/L.

Respecto a la comparación entre el resultado de la Demanda Química de Oxígeno y la normativa ambiental vigente de nuestro país, en la figura 5 se observa que Becerra y Cadena (2013) presentaría un incumplimiento en cuanto a los Límites Máximos Permisibles de industria de cemento, cerveza, curtiembre y papel para su descarga a aguas superficiales, puesto que presenta una concentración de DQO de 97mg/L respecto a lo establecido en el D.S N° 003-2002-PRODUCE que es 50mg/L, mientras que Menéndez estaría incumpliendo con la totalidad de normativas comparadas, puesto que presenta un resultado de DQO de 10670mg/L, siendo muy superior a los valores establecidos en las normas. Esto se explicaría por el tipo de agua residual tratada y el método de Proceso de Oxidación Avanzada Fenton. Menéndez (2018) trata un efluente procedente de industria láctea, caracterizado por un contenido alto de materia orgánica a diferencia del efluente de industria de beneficio tratado por Becerra y Cadena (2013), el cual contiene menor contenido de

materia orgánica. A su vez, el método aplicado por Becerra y Cadena (2013) logra un mayor porcentaje de remoción que el aplicado por Menéndez (2018), puesto que implementa una sedimentación de 30 minutos posterior al Proceso de Oxidación Avanzada Fenton. Taco y Mayorga (2012) consideraron a la Demanda Química de Oxígeno como indicador de materia orgánica, al aplicar el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton lograron eficiencias de remoción entre 72.51% y 88.60% permitiendo cumplir con la Ordenanza Metropolitano de Quito que especifica un máximo de 123 mg/L de DQO.

Con respecto a los costos de aplicación del Proceso de Oxidación Avanzada Fenton se presentan resultado en el caso de los 4 primero autores, estos muestran el costo por metro cubico de agua residual inicialmente se presentaba en la moneda de origen de cada uno, es por ello que se homogenizo llevando el cambio a nuevos soles.

En el caso de Jose Blanco (2009) nos muestra en la tabla 16 un costo de aplicación que varía de los S/. 18.48 a S/. 30.91 por metro cubico de agua residual. Caso contrario presenta los autores Baldión y Gómez (2013) los cuales nos indican en la tabla 19 un costo menor de 2.48 por metro cubico. En este caso la diferencia de costos varia debido a que en el caso del primer autor se considera costos adicionales como la electricidad, asimismo menciona el autor que el precio varía dependiendo la concentración de contaminantes en el agua a tratar.

Respecto a Becerra y Cadena (2016) se realizó un estudio de precio por kg de muestra residual mostrados en la tabla 17, se indica un costo total de S/. 27.28, en este caso se toma en cuenta solo los reactivos de la experimentación, no considera costos adicionales como electricidad, a diferencia de Jose Blanco (2009).

Por último, los autores Ibarra, Dobrosz y Gomez (2018) nos muestra en la tabla 18 la variación de costos desde S/. 33.12 hasta S/. 248.40 esto esta relacionado con la complejidad de las aguas a tratar y la alta o baja carga de contaminantes. En el caso del autor Jose Blanco (2009) en la tabla 16 presenta un costo más elevado en comparación con los otros autores debido a que, estaría utilizando reactivos adicionales como hidrógeno ftalato de potasio, carbonato de sodio y molibdato de amonio para una experimentación más compleja.

Adicional a los costos presentados por los 4 autores mencionados en párrafos anteriores se realizó un estudio de cotización a distintas empresas sobre el costo de reactivos y materiales de laboratorio para la aplicación del método Fenton presentado por el quinto autor Menéndez (2018).

Con respecto al sulfato de aluminio se muestra en la tabla 20 que se consultó en tres empresas el costo menor fue de S/. 10.52 por kg en NORQUIMET S.A.C. en el caso de BIOGENICSLAB S.A.C y YOSHIA S.A.C nos presentan costos de S/. 75.00 y S/. 74.34 por 500 gr respectivamente. La diferencia de precios entre el primero y las otras dos cotizaciones se debe a las características del producto, en el caso de NORQUIMET S.A.C nos ofrece un sulfato de aluminio de procedencia nacional granulado, en este caso por criterio se estaría eligiendo el sulfato hexahidratado procedente de India de BIOGENICSLAB S.A.C.

En el caso de la cotización de peróxido de hidrogeno en la tabla 21 nos indican los precios de S/. 2.97 por litro en NORQUIMET S.A.C, S/. 132.16 por litro en CIMATEC S.A.C y S/. 65.00 por 500 ml en BIOGENICSLAB S.A.C. En este caso la primera empresa nos muestra un precio más económico debido a que el peróxido

tiene una concentración del 50%, en cambio CIMATEC S.A.C no ofrece el peróxido con las características adecuadas a un 30% p/p a un precio accesible por lo cual sería la mejor opción.

Para el sulfato ferroso de igual manera se presentan en la tabla 22 las cotizaciones S/. 85.00, S/. 189.98 y S/. 61.05 de las empresas BIOGENICSLAB S.A.C, CIMATEC S.A.C y YOSHIA S.A.C respectivamente en los tres casos es el mismo producto sulfato ferroso heptahidratado en presentaciones de 500 gr, por lo tanto, el precio más accesible sería la cotización de YOSHIA S.A.C.

En conclusión, tomando en cuenta las cotizaciones realizadas a reactivos y materiales, se eligió la cotización completa de BIOGENICSLAB S.A.C presentada en la tabla 23 para la experimentación del método Fenton de Menéndez, ya que nos indica los precios de los materiales a un costo accesible generando un total de S/. 2,479.20 en caso se lleve a cabo en futuros estudios la parte experimental.

La propuesta de implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales con Método de Oxidación Avanzada Fenton presentada en la tabla 24 está enfocada con el propósito de reducir la contaminación por efluentes industriales, es por ello que se propone el tratamiento mencionado y estudiado por autores internacionales y nacionales que nos evidencia la viabilidad y efectividad de su aplicación en sus resultados de investigación. La planta debe estar enfocada en tratar aguas de procedencia de actividades como textil, alimentarias, cartoneras, hidrocarburos, etc. Actualmente, en el Perú específicamente en la capital la actividad industrial se ha incrementado generando efluentes contaminantes que generan un impacto ambiental negativo en los cuerpos de agua receptores como ríos, lagunas,

entre otros. La metodología está basada en “Propuesta para la implementación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales en una Empresa Agroindustrial, Arequipa 2020” de Enríquez (2020), en este caso presenta una propuesta debido a la contaminación por aguas residuales de origen agroindustrial para la reducción de parámetros como DQO, DBO, Sólidos Totales, sulfatos y aluminio. Con el fin de ser presentado ante una empresa evidenciando que su implementación sería factible y favorable para las empresas.

4.2 Aspectos éticos

En este trabajo de investigación se toma en consideración los aspectos éticos relacionados con la presentación de datos confiables y verídicos, así como el uso idóneo de citas establecido en el formato presentado por la Universidad Privada del Norte.

Nuestro trabajo cumple con la ética ambiental, ya que al implementar esta metodología se estaría aportando conocimiento para tratar un problema como es la contaminación del agua. El cual se resolvería con la aplicación de un proceso de oxidación avanzada, que nos permitirá obtener resultados que cumplan con la normativa ambiental peruana.

4.3 Limitaciones

Escasa literatura respecto a este tipo de estudio sobre el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton con un diseño metodológico no experimental, puesto que la mayoría de estudios relacionados a este proceso tienen un diseño experimental, sin embargo, debido a la coyuntura en la que nos encontramos tuvimos que optar por este tipo de metodología.

En la selección de estudios a evaluar se presentaron dificultades, ya que en la mayoría de estudios presentados en nuestra población, no cuentan con análisis de costos de aplicación del Proceso de Oxidación Avanzada Fenton, por lo tanto, se realizó una búsqueda exhaustiva para identificar estudios que hagan referencia a nuestras variables que son la viabilidad y eficiencia.

Corresponde a una limitación el tiempo que tardaron para el envío de las cotizaciones de los reactivos que implica de Proceso de Oxidación Avanzada Fenton. Asimismo, se presentaron algunos inconvenientes en la confidencialidad de su información ya que algunas empresas solo brindan este tipo de información a empresas de rubro industrial.

Respecto a los datos de costos que implica el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton aplicado en los diversos estudios, un factor limitante que dificulta la comparación de estos es la moneda local en la que se encuentran.

4.4 Implicancias

Mediante el presente trabajo se busca mejorar la visión sobre la aplicación del tratamiento de aguas residuales, en este caso, sobre el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton. Este estudio aportaría en la toma de decisiones de las industrias que buscan implementar un tratamiento a sus aguas residuales, en base al análisis de la viabilidad del Proceso de Oxidación Avanzada Fenton, el cual se basa en los costos que implicaría la aplicación de este método.

A su vez, se pretende promover mediante el aporte de información sobre el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton la reducción o mitigación de impactos

ambientales causados por la descarga descontrolada de sus efluentes, los cuales afectan directamente a la calidad de los cuerpos receptores, puesto que mayormente estos son vertidos sin previo tratamiento.

Adicionalmente, se está presentando una propuesta de implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales con el método de Oxidación Avanzada Fenton.

4.5 Conclusiones

- El Proceso de Oxidación Avanzada Fenton resulta viable y eficiente para ser aplicado en los efluentes de actividades industriales utilizando condiciones óptimas de reacción y cotizando precios del mercado nacional.
- Se comparó la dosis de los reactivos y parámetros de influencia del Proceso de Oxidación Avanzada Fenton aplicado en las aguas residuales industriales, destacando entre los resultados a Becerra y Cadena (2017), los cuales lograron la mayor remoción de DQO equivalente a 97.16%, utilizando la siguiente dosis óptima: $t=75\text{min}$, $\text{H}_2\text{O}_2=600\text{mg/l}$, $\text{Fe}^{+2}=1000\text{mg/L}$, $T=20^\circ\text{C}$, $\text{pH}=2.88$, $\text{DQO}/\text{H}_2\text{O}_2=6.2$, Muestra= 600ml.
- Se comparó la concentración de la Demanda Química de Oxígeno obtenida como resultado de la aplicación del Proceso Fenton con la normativa ambiental vigente de nuestro país Límites Máximos Permisibles de actividades industriales manufactureras de producción de cemento, cerveza, curtiembre y papel.- D.S N°-003-2002-PRODUCE, Límites Máximos Permisibles del Subsector Hidrocarburos - D.S N° 037-2008-PCM y Valores Máximos Admisibles - D.S N° 010-2019-VIVIENDA.

- Se evaluó los costos de aplicación del Proceso de Oxidación Avanzada Fenton, donde se concluye que el costo varía dependiendo de la cantidad de reactivos que se utilicen, asimismo también está relacionado con la complejidad de las aguas a tratar y la alta o baja carga de contaminantes. Asimismo, se evidencia que la implementación de un método mencionado para el caso de Menéndez tendría un costo total de S/. 2,479.20.
- Se presentó una propuesta factible de Implementación de Planta de Tratamiento con Método de Oxidación Avanzada Fenton para tratar aguas residuales en las industrias de Lima, Perú.

REFERENCIAS

Andina (2012). Relaves mineros componen el 60% de contaminación del río Rímac.

Obtenido de: <https://andina.pe/agencia/noticia-relaves-mineros-componen-60-contaminacion-del-rio-rimac-430721.aspx>

Andina (2012, 03 de octubre). Relaves mineros componen el 60% de contaminación del río

Rímac. *Andina Agencia Peruana de Noticias*. Recuperado de <https://andina.pe/agencia/noticia-relaves-mineros-componen-60-contaminacion-del-rio-rimac-430721.aspx>

Arroyave, J., Garcés, L. y Mejía, J. (2009). Empleo del reactivo de Fenton para la degradación del colorante Tartrazina. *Revista Lasallista de Investigación*, vol. 6, 27-

34. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69514350005>

Autoridad Nacional del Agua (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales Resolución Jefatural N°010-2016-ANA*.

Recuperado de https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/protocolo_nacional_para_el_monitoreo_de_la_calidad_de_los_recursos_hidricos_superficiales.pdf

Alvarado, N. (2016). Tratamiento de lixiviados del relleno sanitario del Cantón Tena provincia de Napo mediante reacción Fenton y microorganismos eficientes. Tesis de Título. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA (2013). Resolución Jefatural N° 224-2013-ANA.

Lima, 31 de mayo. Consulta: 13 de octubre de 2021. Recuperado de:
<http://www.ana.gob.pe/normatividad/rj-no-224-2013-ana-0>.

Azuero, E. (20118). Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de investigación. Revista Arbitrada Interdisciplinaria KOINONIA, 110-127.

Baldión Góngora, B. L., & Gómez Barragán, D. J. (2013). Evaluación de la degradación de fenoles en solución acuosa mediante procesos Fenton y Complejo Fe-Edta a nivel de laboratorio. Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/491

Banco Mundial BIRF- AIF (2013). *Un 70% de las aguas residuales de Latinoamérica vuelven a los ríos sin ser tratadas.* Recuperado de:
<http://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/01/02/rios-de-latinoamerica-contaminados>

Barrantes, N. (2020). Remoción de parámetros fisicoquímicos del lixiviado del botadero controlado "La Pushura", mediante proceso de oxidación avanzada, Jaén, Cajamarca. Tesis de Título. Universidad Nacional de Jaén, Jaén.

Becerra y Cadena. (2016, 3 noviembre). *EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO FENTON A NIVEL LABORATORIO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA AGUAS SAN JUAN S.A.S ESP.* Lumieres - Repositorio institucional Universidad de América.
<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/618/1/6102489-2016-2-IQ.pdf>

Blanco. (2009, julio). *Degradación de un efluente textil real mediante procesos Fenton y*

Foto-Fenton. Universitat Politècnica de Catalunya Barcelonatech.

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/8325/01.pdf>

Brañez, M., Gutiérrez, R., Pérez, R., Uribe, C y Valle, P. (2018). Contaminación de los
ambientes acuáticos generados por la industria textil. *Escuela Universitaria de*

Posgrado UNFV, 23, 129-143. Recuperado de

<https://www.usmp.edu.pe/campus/pdf/revista26/articulo3.pdf>

Bravo, K. y Garzón, A. (2017). *Eficiencia del Carbón Activado Procedente del Residuo*

Agroindustrial de Coco (Cocos nucifera) para Remoción de Contaminantes en Agua

(Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel

Félix López, Calceta

Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life (2003). *Guidance on*

the Site-Specific Application of Water Quality Guidelines in Canada: Procedures for

Deriving Numerical Water Quality Objectives. Recuperado de <http://ceqg->

[rcqe.ccme.ca/download/en/221?redir=1573455129](http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/221?redir=1573455129)

Canchucaja, R. (2018). Aplicación del reactivo Fenton al lactosuero pretratado por
precipitación ácido-térmico. Tesis de Maestría. Universidad Nacional del Centro del

Perú, Huancayo.

Cañon, M. (2018). Degradación de amoxicilina mediante la reacción Fenton usando arcillas
pilarizadas con Fe/Al. Tesis de Licenciatura. Universidad Distrital Francisco José de

Caldas, Bogotá

CONGRESO DE LA REPÚBLICA. (2005, 15 de octubre). Ley General del Ambiente.

Lima. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/congreso-de-la-republica/normas-legales/3569-28611>

CONGRESO DE LA REPÚBLICA. (2009, 31 de marzo). Ley de los Recursos Hídricos.

Lima. Consulta: 13 de octubre de 2021. Recuperado de:
<https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-29338.pdf>.

.CYTED Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (2018).

Manual técnico sobre procesos de oxidación Avanzada Aplicados al Tratamiento de Aguas Residuales Industriales. Recuperado de
http://www.cyted.org/sites/default/files/manual_sobre_oxidaciones_avanzadas_0.pdf

Delgado, J. (2019). Eficiencia de remoción de tres parámetros fisicoquímicos del efluente líquido del camal "Regulo Bernal Torres" utilizando proceso de oxidación avanzado Fenton. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.

Figueroa, C., & Zambrano, C. (2018). Tratamiento por oxidación avanzada (reacción de Fenton) en aguas residuales de una industria cartonera. Tesis de Título. Universidad de Guayaquil, Ecuador.

G. Salas C. (2010). Tratamiento por Oxidación Avanzada (Reacción Fenton) de Aguas Residuales de la Industria Textil. *Revista Peruana Química e Ingeniería Química*, 13(1), 30-38. Recuperado de
https://www.academia.edu/37286833/TRATAMIENTO_POR_OXIDACION_AVANZADA_REACCION_FENTON_DE_AGUAS_RESIDUALES_DE_LA_INDUSTRIA_TEXTIL

García, B. y Solís, J (2008). Contaminando con sus jeans. *Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Universidad Veracruzana*, 21 (1). Recuperado de <https://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol21num1/articulos/contaminando/index.html>

Gobierno del Perú. (2019, 11 marzo). Decreto Supremo NÂ° 010-2019-VIVIENDA. Gobierno del Perú. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/272120-010-2019-vivienda>

Gobierno del Perú. (2002, 4 octubre). Límites Máximos Permisibles - LMP RESOLUCIÓN MINISTERIAL N 188-2002-JUS. SINIA | Sistema Nacional de Información Ambiental. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/limites-maximos-permisibles>

Hernández, R. y Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Mc Graw Hill Education. <http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/handle/54000/1292>

Harold N. Ibarra-Taquez , Izabela Dobrosz-Gómez Y Miguel-Ángel Gómez. (2018, octubre). *Optimización Multiobjetivo del Proceso Fenton en el Tratamiento de Aguas Residuales provenientes de la Producción de Café Soluble*. Scielo. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v29n5/0718-0764-infotec-29-05-00111.pdf>

Lopez, A., & Piloso, M. (2020). Estudio de tratamiento de aguas residuales de una industria empacadora camaronera mediante la aplicación de un proceso de oxidación avanzada - reacción Fenton. Tesis de Título. Univesidad de Guayaquil, Guayaquil.

Martínez, A. (2012). Evaluación de un proceso integrado de adsorción y oxidación avanzada para el tratamiento de aguas residuales industriales reales. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Medina, C., Montero, E. y Cruz, L. (2017). Optimización del proceso Fenton en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios. *Revista Soc. Química Perú*, 82(4), 454-466. Recuperado de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v82n4/a07v82n4.pdf>

Méndez, N., Pietrogiovanna, J., Santos, B., Sauri, M., Giacomán, G., & Castillo, E. (2010). Determinación de la dosis óptima de reactivo Fenton en un tratamiento de lixiviados por Fenton- Adsorción. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental.*, 211-220.

Menéndez, A. (2018). *Reducción de la demanda química de oxígeno en lactosuero mediante el proceso Fenton* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

Méndez et al. (2010). Determinación de la dosis óptima de reactivo Fenton en un tratamiento de lixiviados por Fenton-adsorción. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 26(3), 211-220. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v26n3/v26n3a4.pdf>

MINISTERIO DEL AMBIENTE. (2017). Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Lima, 07 de junio. Consulta: 13 de octubre de 2021. Recuperado de: <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-004-2017-minam/>.

MINISTERIO DE PRODUCCIÓN. (2002, 4 de octubre). Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE. Lima. Consulta: 13 de octubre de 2021. Recuperado de: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-limites-maximos-permisibles-valores-referenciales-las>

MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. (2019, 11 de marzo). Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA. Lima. Consulta: 13 de octubre de 2021. Recuperado de: <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/272120-010-2019-vivienda>.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2016). *Norma OS.090. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales*. Recuperado de https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/OS.090.pdf

Morales, O. (2003). Fundamentos de la investigación documental y la monografía. . Manual para la elaboración y presentación de la monografía. , 1-20.

Ordoñez, V. (2007). Contaminación del agua. INGENIUS, 14-17.

Parada, A. y Pelupessy, W. (2006) Los efectos ambientales de la cadena global de prendas de vestir en Costa Rica. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 3, 63-79. Recuperado de https://ddd.uab.cat/pub/revibec/revibec_a2006v3/revibec_a2006v3a5.pdf

PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTROS. (2008, 14 de mayo). Decreto Supremo N° 037-2008-PCM. Lima. Consulta: 13 de octubre de 2021. Recuperado de:

<https://sinia.minam.gob.pe/normas/limites-maximos-permisibles-lmp-efluentes-liquidados-sub-sector>

Román, M., & Martínez, R. (2017). Estudio del Proceso de Oxidación Avanzada por medio de la reacción Fenton en aguas residuales provenientes de plantas extractoras de oro. Tesis de Título. Universidad de Guayaquil, Guayaquil.

Rubio, C., Chica, E., & Peñuela, G. (2014). Aplicación del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales de origen petroquímico. *Ingeniería y Competitividad*, 211-223.

Sánchez, M. (2020, 22 abril). El daño que causa la industria textil al medio ambiente y la función de la ISO 14001. Q Alliance. Recuperado de <https://qalliance.org/es/el-dano-que-causa-la-industria-textil-al-medio-ambiente-y-la-funcion-de-la-iso-14001/>

SEDAPAL (2000). *Tratamiento de Agua Coagulación y Floculación*. Recuperado de http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (2008). *Estudio Diagnóstico Situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS del Perú y Propuestas de Solución*. Lima: SUNASS. Recuperado de http://www.proagua.org.pe/files/de62b65581b727d66847f48aa52fbbfd/Libro_PTAR.pdf.

Taco, M. y Mayorga, E. (2017). Aplicación del proceso Fenton en la disminución de materia orgánica en aguas residuales de la industria termoeléctrica. *Revista Química Central*, 3(1), 25-30. Recuperado de <http://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/QUIMICA/article/view/1199>

Torrejón, C., & Hoyos, W. (2016). Determinación de las concentraciones óptimas de peróxido de hidrógeno e iones Fe^{2+} en la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno en vinazas mediante el proceso Fenton. Tesis de Título. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo., Lambayeque.

Presidencia Del Consejo De Ministros - PCM. (2008, 14 mayo). Límites Máximos Permisibles (LMP) de efluentes Líquidos para el Sub-sector Hidrocarburos. SINIA | Sistema Nacional de Información Ambiental. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/limites-maximos-permisibles-lmp-efluentes-liquidos-sub-sector>

WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). 2017. *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017*. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. París, UNESCO.

ANEXOS

ANEXO - 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	METODOLOGÍA
¿Cuál es la diferencia de la viabilidad y eficiencia del Proceso de Oxidación Avanzada Fenton aplicado en las aguas residuales procedentes de diferentes actividades industriales?	Analizar la viabilidad y eficiencia del Proceso de Oxidación Avanzada Fenton aplicado como tratamiento de aguas residuales industriales.	Implícita.	Proceso de Oxidación Avanzada Fenton	<p>Diseño de investigación: No experimental</p> <p>Tipo de investigación: Descriptiva comparativa</p> <p>Enfoque de investigación: Cualitativa</p> <p>Instrumento de recolección de datos: Revisión sistemática.</p> <p>Población: Representa un compendio de 30 estudios entre artículos científicos, tesis e informes de investigación.</p> <p>Muestra: Se seleccionaron 5 estudios.</p>
	OBJETIVOS ESPECÍFICOS		VARIABLE DEPENDIENTE	
	<ul style="list-style-type: none"> •Comparar la dosificación del reactivo y los parámetros de influencias del Proceso Fenton aplicado en las aguas residuales industriales. •Comparar la concentración de la Demanda Química de Oxígeno obtenido como resultado de la aplicación del Proceso de Oxidación Avanzada Fenton con la normativa de nuestro país respecto a las aguas residuales industriales. •Evaluar el costo que implica el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton •Proponer el diseño de una planta de tratamiento con el método del Proceso de Oxidación Avanzada Fenton. 		Viabilidad Eficiencia	

ANEXO 02 – COTIZACION NORQUIMET S.A.C



AV. SAN JOSE URB. LA FLORESTA DE NARANJAL MZ "A" LT. 1
TELEFONO: 01 4669292 CEL: 953917625 - 974797573-
963314054
E-MAIL: VENTAS@NORQUIMET.COM
RUC: 20604687081

Estimados señores:

Reciban nuestro cordial saludo, por intermedio de la presente les estamos haciendo llegar nuestra cotización en respuesta a su solicitud.

RUC/DNI	72406030	COT N°	02909-1
---------	----------	--------	---------

CLIENTE	TELEFONO	FECHA
MARREROS LANCHIPA, PATRICIA MILAGROS	0	29/09/2021
DIRECCION	EMAIL	MONEDA
LIMA	0	DOLARES (\$)

ITEM	CODIGO	ARTICULO	UNIDAD	CANT	PRECIO UNIT	SUB TOTAL
1	PANTERA	SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO "A" Marca: PANTERA Presentación: X1 Kg Procedencia: PERÚ	KG	1	2.54	2.54
2	23658	Peroxido de hidrogeno al 50% PRESENTACION :X 1lt	LT	1	2.97	2.97
SUBTOTAL						5.51
IGV 18%						0.99
TOTAL						6.50

CONDICIONES DE VENTA

MONEDA DOLARES (\$)

FORMA DE PAGO CONTADO

CUENTAS CTA. CTE. BCP (S/) N° 191-2616285-0-20 / CCI (S/): 00219100261628502055
CTA. CTE. BCP (\$) N° 191-2605366-1-37 / CCI (\$) : 00219100260536613752

TIEMPO DE ENTREGA **DENTRO DE LAS 72 HORAS, CONTADOS A PARTIR RECIBIDA LA ORDEN DE COMPRA Y/O VOUCHER DE ABONO**

LUGAR DE ENTREGA * POR COMPRA MAYOR O IGUAL A S/.850 O \$.250, LA ENTREGA SE REALIZARÁ EN SUS ALMACENES EN LIMA METROPOLITANA O EN LA EMPRESA DE TRANSPORTE QUE EL CLIENTE DESIGNE. EL FLETE LIMA - PROVINCIA CORRE POR CUENTA Y RIESGO DEL CLIENTE.

VALIDEZ * POR COMPRA MENOR A S/. 850 O \$.250 LA ENTREGA SERA EN NUETROS ALMACENES
7 DIAS

RUTH TARRILLO
Ejecutivo de Comercial

ANEXO 03 – COTIZACION NORQUIMET S.A.C

Ítem	Código	Artículo	Unidad	Cantidad	Precio Unit	Subtotal
1	Pantera	Sulfato de aluminio granulado tipo "A" Marca: Pantera Presentación: X1 Kg Procedencia: Perú	Kg	1	S/. 2.54	S/. 2.54
2	23658	Peróxido de hidrogeno al 50% Presentación :X 1lt	Lt	1	S/. 2.97	S/. 2.97
SUBTOTAL						S/. 5.51
IGV 18%						S/. 0.99
TOTAL						S/. 6.50

ANEXO 04 – COTIZACION BIOGENICSLAB S.A.C



BioGenicsLab S.A.C.
Materiales, Equipos de laboratorio.
● Comprometidos en brindarle lo mejor en tecnología.

COTIZACION
Nº CO09210865

RUC: 20523714903
RAZON SOCIAL: BIOGENICS LAB S.A.C
DIRECCION: Jr. Jose Santos Atahualpa 893 Urb. El Trebol III Etapa - Los Olivos - Lima 39

FECHA DE EMISIÓN: martes, 28 Setiembre, 2021

DATOS DE CLIENTE				DATOS ADJUNTOS DE DOCUMENTO				
CODIGO :	0504130001	RUC :	00000000000	VALIDEZ DE OFERTA :	15 Días			
SEÑOR(ES) :	A QUIEN CORRESPONDA			COND. PAGO :	CONTADO			
DIRECCIÓN :	S/N			MONEDA :	SOLES			
REFERENCIA :	ATENCION DIRECTA	DIRIGIDO A :	GERENCIA	ATENCION :	AREA DE COMPRAS			
NOS ES GRATO HACERLES PRESENTE LA SGTE. COTIZACION DE LOS SIGUIENTES ARTICULOS CON LOS MEJORES PRECIOS DEL MERCADO.				ELABORADO POR :	CESAR MEDINA ARAUJO			
ITEM	CODIGO	CANT	UM	DESCRIPCIÓN DE ARTICULO	ENTREGA	PRECIO	TOTAL	
	GRM1377	1	FCO	FERROUS SULPHATE HEPTAHYDRATE, HI-AR X 500 GR COD GRM1377 - Procedencia: INDIA - Marca: HIMEDIA	2DIA(S)	85.0000	85.00	
	454555	1	FCO	ALUMINIUM SULPHATE AR/ACS HEXADECALHYDRATE X 500 GR COD 454555 - Procedencia: INDIA - Modelo: 454555 - Marca: CDH	2DIA(S)	75.0000	75.00	
TOTAL REGISTROS : 2				SON: CIENTO SESENTA Y 00/100 SOLES (S.E.U.O)			(PRECIOS INCLUYEN IGV)	
LOS ARTICULOS CUENTAN CON SU RESPECTIVO DESCUENTO						SUB TOTAL (S/.)	135.59	
REPRESENTANTE DE VENTAS : CESAR MEDINA ARAUJO						I.G.V. (S/.)	24.41	
						TOTAL IMPORTE (S/.)	160.00	

OBSERVACIONES :

DEPOSITE SUS PAGOS EN NUESTRAS CUENTAS BANCARIAS :
BIOGENICS LAB S.A.C.
BBVA CONTINENTAL (S/) 0011-0127-0100023599
BCP (S/) 191-1898386-0-14

ANEXO 05 - COTIZACION BIOGENICSLAB S.A.C

Ítem	Código	Artículo	Unidad	Cantidad	Precio Unit	Subtotal
1	GRM1377	FERROUS SULPHATE HEPTAHYDRATE, HI-AR X 500 GR COD GRM1377 Procedencia: INDIA / Marca: HIMEDIA	FCO	1	S/. 85.00	S/. 85.00
2	454555	ALUMINIUM SULPHATE AR/ACS HEXADECAHYDRATE X 500 GR COD 454555 Procedencia: INDIA / Modelo: 454555 /Marca: CDH	FCO	1	S/. 75.00	S/. 75.00
					Subtotal	S/. 135.59
					IGV	S/. 24.41
					Total	S/. 160.00

ANEXO 06 – COTIZACION CIMATEC S.A.C



Señores
MARCELO MELENDEZ SALAZAR
LIMA LIMA

Oferta No. 2021-10565
Fecha: 24/09/2021
Contacto: Ursula Flores L.
Celular: 998 126 325/
uflores@cimatec.com.pe



Atención:

Solicitud:

Por medio de la presente tenemos el agrado de ofrecerles lo siguiente:

Descripción	UM	Cantidad	Precio Unitario	Precio
<p>ITEM: 1 CODIGO : RE-M-0042 AGUA OXIGENADA (30%) P.A. X 1 LT SCHARLAU ESPANA Hidrógeno peróxido, solución 30% p/p (110 vol), ExpertQ®, ACS, ISO</p> <p>Envase: x 1 l Vida del producto: 2 años 0 meses</p> <p>Identificación H2O2 M = 34,01 g/mol CAS [7722-84-1]</p> <p>Aplicaciones analytical chemistry, oxidizing agent, bleaching agent, for pharmaceuticals synthesizing</p> <p>Especificaciones contenido (permanganométrico) 30,0 - 32,0 %</p> <p>Datos físicos - Densidad: 1,11 g/cm3</p>	FCO	1	USD 32.00	USD 32.00
<p>ITEM: 2 CODIGO : RE-M-0145 HIERRO (II) SULFATO 7-HIDR. Q.P. X 1 KG SCHARLAU Hierro(II) sulfato heptahidrato, purísimo, Phampur®, Ph Eur, BP, USP</p> <p>Envase: x 1 kg Vida del producto: 2 años 0 meses</p> <p>Identificación FeSO4 ·7H2O M = 278,02 g/mol CAS [7782-63-0]</p> <p>Aplicaciones analytical chemistry, determining COD, in pharma industry.</p> <p>Especificaciones contenido (cerimétrico)..... 99,5 - 104,5 %</p> <p>Datos físicos - Densidad específica: 1,89 g/cm3</p>	FCO	1	USD 46.00	USD 46.00

Av. Venezuela 2392 Lima 01 - Perú
Telf : (01) 336-5151 / Fax : (01) 336-5279
E-mail: ventas@cimatec.com.pe
www.cimatec.pe

ANEXO 06 - COTIZACION CIMATEC S.A.C



Descripción	UM	Cantidad	Precio Unitario	Precio
<p>ITEM: 3</p> <p>CODIGO : RE-M-0016</p> <p>ACIDO CITRICO ANHIDRO Q.P. X 1 KG SCHARLAU ESPANA</p> <p>Ácido cítrico anhidro, purísimo, Pharmapur®, AC07181000 - Ácido cítrico anhidro, purísimo, Pharmapur®, Ph Eur, BP, USP, Ácido 2-hidroxi-1,2,3-propanotricarboxílico</p> <p>Identificación</p> <p>C₈H₈O₇</p> <p>M = 192,13 g/mol</p> <p>CAS [77-92-9]</p> <p>Envase: x 1 kg</p> <p>Vida del producto 5 años 0 meses</p> <p>Sinónimos</p> <p>Ácido 2-hidroxi-1,2,3-propanotricarboxílico</p> <p>Aplicaciones</p> <p>acidifying agent, analytical chemistry, laboratory reagent, in food industry, antioxidant, in pharma industry.</p> <p>ESPECIFICACIONES</p> <p>contenido (acidimétrico, en muestra seca) : 99,5 - 100,5 %</p>	FCO	1	USD 68.00	USD 68.00
TOTAL OFERTADO EN LOS PRECIOS INCLUIDO IGV:			SubTotal	USD 146.00
"ESTE PRESUPUESTO PUEDE SUFRIR VARIACIÓN EN SUS PRECIOS SIN PREVIO AVISO"			IGV	USD 26.28
			TOTAL	USD 172.28

CONDICIONES GENERALES

PLAZO DE ENTREGA : INMEDIATA, SALVO PREVIA VENTA

CONDICIONES DE PAGO: contra entrega.

VENTA DE REACTIVOS: La orden de compra esta sujeta a revisión y confirmación de disponibilidad por parte del fabricante

NOTA IMPORTANTE: Las cantidades ofertadas corresponden a lo solicitado y/o a nuestra existencia. Antes de emitir su orden de compra agradeceremos RECONFIRMAR las cantidades adjudicadas para poder reservar la mercadería y atender la orden a su entera satisfacción.

***Para venta de materiales y reactivos con despachos a provincias se considerará un monto mínimo de 500 soles, para montos menores consultar con su representante de ventas.

Esperando ser favorecidos con su estimada Orden de Compra quedamos de ustedes,

ANEXO 07 - COTIZACION CIMATEC S.A.C

Ítem	Código	Artículo	Unidad	Cantidad	Precio Unit	Subtotal
1	RE-M-0042	AGUA OXIGENADA (30%) P.A. X 1 LT SCHARLAU ESPANA Hidrógeno peróxido, solución 30% p/p (110 vol), ExpertQ®, ACS, ISO	FCO	1	S/. 132.16	S/. 132.16
2	RE-M-0145	HIERRO (II) SULFATO 7-HIDR. Q.P. X 1 KG SCHARLAU Hierro(II) sulfato heptahidrato, purísimo, Pharmpur®, Ph Eur, BP, USP	FCO	1	S/. 189.98	S/. 189.98
3	RE-M-0016	ACIDO CITRICO ANHIDRO Q.P. X 1 KG SCHARLAU ESPANA Ácido cítrico anhidro, purísimo, Pharmpur®,AC07181000 - Ácido cítrico anhidro, purísimo, Pharmpur®, Ph Eur, BP, USP, Ácido 2-hidroxi-1,2,3-propanotricarboxílico	FCO	1	S/. 280.84	S/. 280.84
Subtotal						S/. 602.98
IGV						S/. 108.54
Total						S/. 711.52

ANEXO 08 – COTIZACION YOSHIA S.A.C

Ítem	Código	Artículo	Unidad	Cantidad	Precio Unit	Subtotal
1	-	SULFATO FERROSO 7H ₂ O X 500 GR	FCO	500 gr	S/. 61.05	S/. 61.05
2	-	SULFATO DE ALUMINIO DI AMONIO 12 H ₂ O X 500 GR	FCO	500 gr	S/. 74.34	S/. 74.34
3	-	SULFATO DE POTASIO Y ALUMINIO 12 H ₂ O X 500 GR	FCO	501 gr	S/. 53.69	S/. 53.69
					Subtotal	S/. 189.08
					IGV	S/. 24.41
					Total	S/. 213.49

ANEXO 09 – COTIZACION DE MATERIALES EN CENTRO DE LIMA

Ítem	Materiales	Unidad	Cantidad	Precios	Subtotal
1	Matraz (25ml)	UND	6	S/. 21.00	S/. 126.00
2	Pipetas (10 ml)	UND	3	S/. 17.00	S/. 51.00
3	Tubos de ensayo	UND	6	S/. 50.00	S/. 300.00
4	Bureta (50 ml)	UND	1	S/. 165.20	S/. 165.20
5	Pera de succión	UND	1	S/. 40.00	S/. 40.00
				Total	S/. 682.20

ANEXO 10 – COTIZACION DE MATERIALES EN BIOGENICSLAB S.A.C




BioGenicsLab S.A.C
Materiales, Equipos de laboratorio.
Comprometidos en brindarle lo mejor en tecnología.

COTIZACION
N° CO09210916

RUC: 20523714903
RAZON SOCIAL: BIOGENICS LAB S.A.C
DIRECCION: Jr. Jose Santos Atahualpa 893 Urb. El Trebol III Etapa - Los Olivos - Lima 39

FECHA DE EMISIÓN: jueves, 30 Setiembre, 2021

DATOS DE CLIENTE		DATOS ADJUNTOS DE DOCUMENTO
CODIGO: 0504130001	RUC: 00000000000	VALIDEZ DE OFERTA: 15 Dias
SEÑOR(ES): A QUIEN CORRESPONDA		COND. PAGO: CREDITO
DIRECCIÓN: S/N		MONEDA: SOLES
REFERENCIA: ATENCION DIRECTA	DIRIGIDO A: GERENCIA	ATENCION: AREA DE COMPRAS
NOS ES GRATO HACERLES PRESENTE LA SGTE. COTIZACION DE LOS SIGUIENTES ARTICULOS CON LOS MEJORES PRECIOS DEL MERCADO.		ELABORADO POR: CESAR MEDINA ARAUJO

ITEM	CODIGO	CANT	UM	DESCRIPCIÓN DE ARTICULO	ENTREGA	PRECIO	TOTAL
	017.02.05C	1	UND	BURETA DE VIDRIO LLAVE DE TEFLON DE 50 ML COD 017.02.050	2DIA(S)	189.0000	189.00
				 <ul style="list-style-type: none"> -Fabricado a partir de tubos de borosilicato calibrados previamente al vacío 3.3 de acuerdo con la norma ISO 385. -Calibrado según la norma DIN / ISO Clase "AS". -Incluye marca de conformidad ("DE-M") de acuerdo con las reglamentaciones federales de pesos y medidas de Alemania. - La calibración individual realizada por robots automáticos elimina posibles desviaciones de los valores nominales. -Marca de conformidad y número de lote impresos en la superficie del cuerpo. El certificado del lote puede descargarse del sitio web. Se suministra con una llave de paso de PTFE intercambiable que no requiere ningún tipo de engrase. La llave de paso garantiza el mejor control de goteo. Las teclas idénticas no requieren "emparejar los pares" durante la limpieza. -Las inscripciones y los valores nominales en las buretas transparentes están impresos con esmalte azul. - Procedencia: ALEMANIA - Modelo: 017.02.050 - Marca: ISOLAB 			
	MATRAZ25	6	UND	MATRAZ DE VIDRIO BORO 3,3 DE 25 ML	2DIA(S)	17.0000	102.00
				<ul style="list-style-type: none"> - Procedencia: ALEMANIA - Marca: ISOLAB 			
	ISOSML14	3	UND	PIPETA DE VIDRIO GRADUADA 5 ML	2DIA(S)	13.0000	39.00
				<ul style="list-style-type: none"> - Procedencia: ALEMANIA - Marca: ISOLAB 			
	166743	3	UND	PIPETA DE VIDRIO GRADUADA 10 ML	2DIA(S)	14.0000	42.00
				<ul style="list-style-type: none"> - Procedencia: ALEMANIA - Modelo: 021.01.010 - Marca: ISOLAB 			
	000362	6	UND	TUBO DE ENSAYO DE VIDRIO 13 X 100 MM - SIN TAPA	2DIA(S)	1.2000	7.20
				<ul style="list-style-type: none"> - Procedencia: EE-UU - Marca: PYREX 			
	BOM0006	1	UND	PROPIPETA (BOMBILLA) STANDAR DE 3 SALIDAS DE 10 ML	2DIA(S)	40.0000	40.00
				<ul style="list-style-type: none"> - marca: isolab - procedencia: alemania 			
	010366	1	FCO	HYDROGEN PEROXIDE SOLUTION AR 30% 100 VOLUMES X 500 ML (845300)	2DIA(S)	65.0000	65.00
				<ul style="list-style-type: none"> - Procedencia: INDIA - Modelo: 845300 - Marca: CDH 			
	GRM1377	1	FCO	FERROUS SULPHATE HEPTAHYDRATE, HI-AR X 500 GR COD GRM1377	2DIA(S)	85.0000	85.00
				<ul style="list-style-type: none"> - Procedencia: INDIA - Marca: HIMEDIA 			
	POT0019	1	FCO	POTASSIUM DICHROMATE AR (CONTROLADO) X 500 GR COD 612615	2DIA(S)	140.0000	140.00
				<ul style="list-style-type: none"> - Procedencia: INDIA - Marca: CDH 			
	MER0006	1	FCO	MERCURIC SULPHATE, HI-AR/ACS X 250 GR COD GRM1088	60DIA(S)	1,380.0000	1,380.00
				<ul style="list-style-type: none"> - Procedencia: INDIA - Modelo: GRM1088 - Marca: HIMEDIA 			
	030090	1	FCO	SILVER SULPHATE PURIFIED X 25 GR COD 030090	2DIA(S)	390.0000	390.00
				<ul style="list-style-type: none"> - Marca: CDH 			

IMPRESO POR: CESAR MEDINA ARAUJO
IMPRESO EL: 30/09/2021 12:12 pm

Page 1 of 2

Telef: (+511) 01-531-4134 Cel: 999-055-200
RPC: 989-107-491 RPC: 989-107-481 Telef. Tienda: 331-2342
E-mail: biogenlabsac@hotmail.com /

ITEM	CODIGO	CANT	UM	DESCRIPCIÓN DE ARTICULO	ENTREGA	PRECIO	TOTAL
TOTAL REGISTROS: 11						SON: DOS MIL CUATROCIENTOS SETENTA Y NUEVE Y 20/100 SOLES (S.E.U.O)	
LOS ARTICULOS CUENTAN CON SU RESPECTIVO DESCUENTO						SUB TOTAL (S/.)	2,101.02
REPRESENTANTE DE VENTAS: CESAR MEDINA ARAUJO						I.G.V. (S/.)	378.18
						TOTAL IMPORTE (S/.)	2,479.20

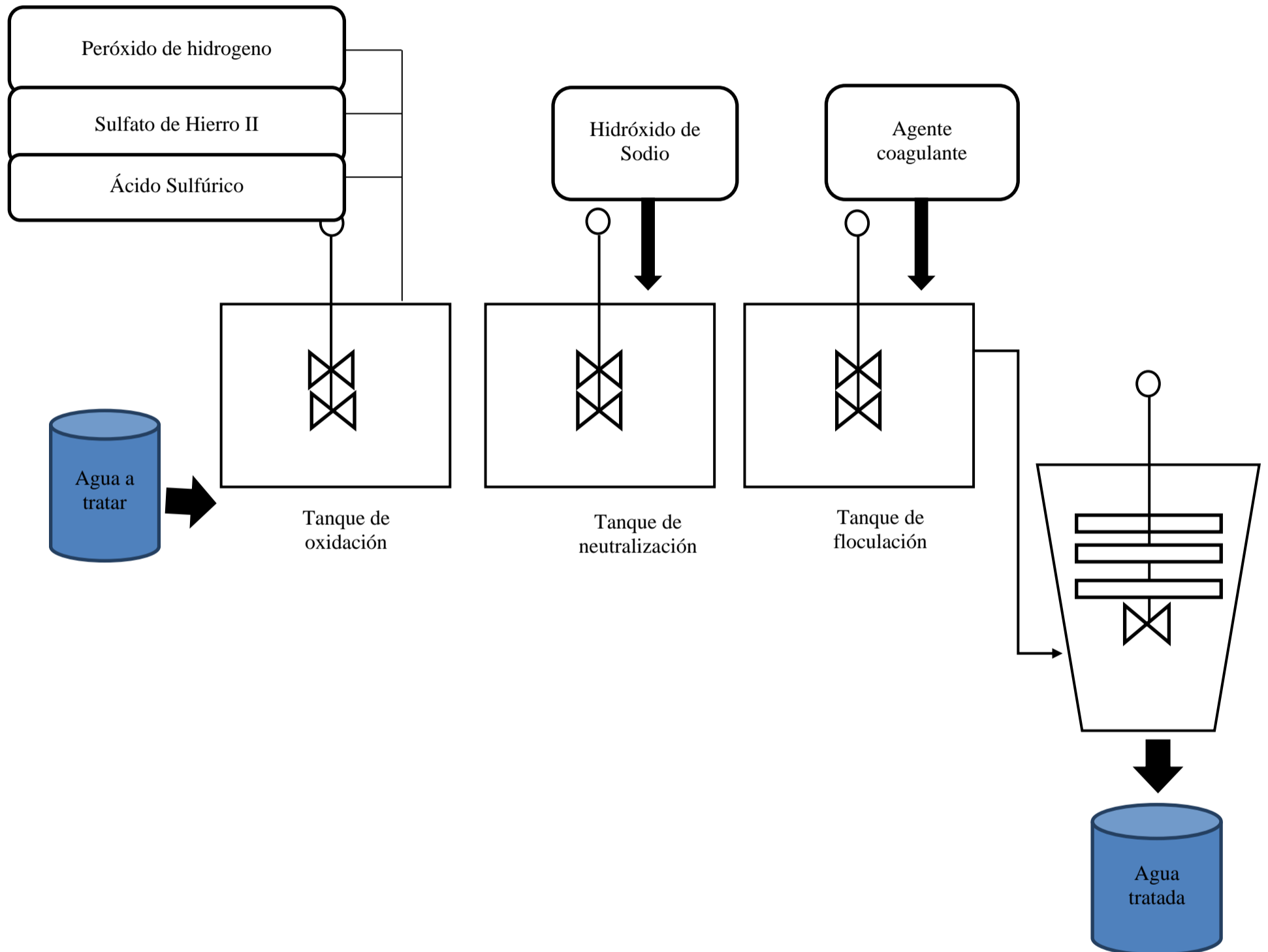
OBSERVACIONES:

DEPOSITE SUS PAGOS EN NUESTRAS CUENTAS BANCARIAS:
BIOGENICS LAB S.A.C.
BBVA CONTINENTAL (S/) 0011-0127-0100023599
BCP (S/) 191-1898386-0-14

ANEXO 11 – COTIZACION DE MATERIALES EN BIOGENICSLAB S.A.C

Ítem	Código	Artículo	Unidad	Cantidad	Precio Unit	Total
1	017.02.050	Bureta de vidrio llave de teflón de 50 ml COD 017.02.050	UND	1	S/. 189.00	S/. 189.00
2	MATRAZ25ML	Matraz de vidrio Boro 3,3 de 25 ml	UND	6	S/. 17.00	S/. 102.00
3	ISO5ML14	Pipeta de vidrio graduada 5 ml	UND	3	S/. 13.00	S/. 39.00
4	166743	Pipeta de vidrio graduada 10 ml	UND	3	S/. 14.00	S/. 42.00
5	362	Tubo de ensayo de vidrio 13 X 100 mm – sin tapa	UND	6	S/. 1.20	S/. 7.20
6	BOM0006	Propipeta (bombilla) estándar de 3 salidas de 10 ml	UND	1	S/. 40.00	S/. 40.00
7	10366	Hydrogen Peroxide solution AR 30% 100 volumes x 500 ml (845300)	FCO	1	S/. 65.00	S/. 65.00
8	GRM1377	Ferrous Sulphate Heptahydrate, HI-AR x 500 gr COD GRM1377	FCO	1	S/. 85.00	S/. 85.00
9	POT0019	Potassium Dichromate AR (controlado) x 500 gr COD 612615	FCO	1	S/. 140.00	S/. 140.00
10	MER0006	Mercuric Sulphate, Hi-AR/ACS x 250 gr COD GRM1088	FCO	1	S/. 1,380.00	S/. 1,380.00
11	30090	Silver Sulphate Purified x 25 gr COD 030090	FCO	1	S/. 390.00	S/. 390.00
Subtotal						S/. 2,101.02
IGV						S/. 378.18
Total						S/. 2,479.20

ANEXO 12 – DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE OXIDACION AVANZADA FENTON



ANEXO – 13 PROCEDIMIENTO DE TRATAMIENTO FENTON

Ajuste de pH

El agua residual de industria textil se lleva a un pH entre 3 y 4, se adiciona el ácido sulfúrico (H_2SO_4). El reducir el pH va a permitir que el hierro se disuelva en el agua a tratar. Si el pH de la muestra es neutro o mayor es decir 7 o >7 en la escala de pH, el sulfato ferroso no se va a disolver (Figuroa, 2018).

Oxidación de Fenton

Toma acción cuando se agrega el sulfato ferroso y el peróxido de hidrogeno a la muestra. El sulfato ferroso actúa como catalizador, es agregado en granos o en una disolución de agua; el peróxido de hidrogeno se adiciona lentamente, siempre manteniendo en pH entre 3 a 5 durante el proceso de la oxidación. Si el pH sobre pasa los limites mencionados el hierro precipita y descompone al peróxido de hidrogeno en oxígeno. La oxidación se lleva a cabo en el equipo de test de jarras durante 130 rpm por 5 minutos y 90 rpm por media hora (Figuroa, 2018).

Neutralización

Luego de la etapa de oxidación el agua residual industrial necesita ajustar su pH, con ayuda de una solución de hidróxido de sodio al 10% durante una hora (Figuroa, 2018).

Coagulación y Floculación:

Una vez alcalinizada la solución a pH 8.5 con la solución de hidróxido de sodio y detoxificados mediante el pulido de oxidación a los contaminantes en estado disueltos llevándolos a sólidos en suspensión, para esto se aplica un coagulante en cantidad de 1 mL por litro de muestra, todo esto con una mezcla a 300 rpm y un floculante polimérico aniónico 1 mL por litro de muestra a una velocidad de agitación 60 rpm con el fin de generar los flocs necesarios para que puedan ser separados de una manera fácil en el sistema de separación sólidos – líquido (TECSUP, 2019).

Separación Sólido - Líquido: Filtración.

Se proyecta que el clarificado del sedimentador puede arrastrar pequeños sólidos en suspensión (TSS), los que le dan una ligera turbidez a la solución clarificada, por lo que el over flow del sedimentador deberá por un filtro pulido de retención de TSS finos con el fin de no disminuir la eficiencia la de absorción de remoción final de carga orgánica y color soluble del efluente final tratado. En el ensayo de laboratorio filtrar con papel filtro (TECSUP, 2019).

Decantación y filtrado con carbón activado

Durante la decantación se deja reposar la muestra tratada durante una hora para que sedimente los lodos, seguido de una filtración con carbón activado para tener una mejor clarificación de la muestra (Figuroa, 2018).

ANEXO 14 – ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES DE LA ACTIVIDAD INDUSTRIAL

Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental
Generación de efluentes con solidos	Alteración de la calidad de agua
Generación de residuos solidos	Contaminación de suelo
Consumo de energía eléctrica	Agotamiento del recurso no renovable
Consumo de agua	Agotamiento del recurso
Uso de sustancias químicas	Contaminación de agua, alteración de la calidad de agua