

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

EFICIENCIA DEL PROCESO FENTON EN EL NIVEL DE CONCENTRACIÓN DE LOS PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL EFLUENTE DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, LLACANORA - 2023

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

Presentada por:

TANIA JHAMILCE TACILLA CULQUI

Asesor:

M.Cs. EDGAR DARWIN DÍAZ MORI

Cajamarca, Perú

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
Tania Jhamilce Tacilla Culqui
DNI: 77799747
Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias. Programa de Maestría en Ciencias. Mención: Gestión Ambiental
2. Asesor: M.Cs. Edgar Darwin Díaz Mori
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
"Eficiencia del proceso Fenton en el nivel de concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente de las aguas residuales domésticas, Llacanora - 2023"
6. Fecha de evaluación: **13/03/2025**
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **10%**
9. Código Documento: **3117:442311514**
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: **24/04/2025**

<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>
 M.Cs. Edgar Darwin Díaz Mori DNI: 27041767

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2025 by
TANIA JHAMILCE TACILLA CULQUI
Todos los derechos reservados



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERÚ



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 09:00 horas, del día 13 de marzo del dos mil veinticinco, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. JUAN EDMUNDO CHÁVEZ RABANAL**, **Dr. JIMY FRANK OBLITAS CRUZ**, **M.B.A. SANTIAGO DEMETRIO MEDINA MIRANDA** y en calidad de Asesor el **M.Cs. EDGAR DARWIN DÍAZ MORI**, actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada “**EFICIENCIA DEL PROCESO FENTON EN EL NIVEL DE CONCENTRACIÓN DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL EFLUENTE DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, LLACANORA - 2023**”, presentada por la **Bachiller en Ingeniería Ambiental TANIA JHAMILCE TACILLA CULQUI**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó APROBAR con la calificación de dieciséis (16) la mencionada Tesis; en tal virtud, la **Bachiller en Ingeniería Ambiental, TANIA JHAMILCE TACILLA CULQUI**, está apta para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS** Mención en **GESTIÓN AMBIENTAL**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias.

Siendo las 10:05 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

.....
M.Cs. Edgar Darwin Díaz Mori
Asesor

.....
Dr. Juan Edmundo Chávez Rabanal
Jurado Evaluador

.....
Dr. Jimmy Frank Oblitas Cruz
Jurado Evaluador

.....
M.B.A. Santiago Demetrio Medina Miranda
Jurado Evaluador

DEDICATORIA

A mi alma mater la Universidad Nacional de Cajamarca por la formación académica.

A mis padres César Augusto Tacilla Villanueva y Elodia Culqui Yupanqui, a mi hermano Christian Yerson Tacilla Culqui, Por todo su infinito amor y apoyo que me brindan siempre. Por ser mi fuente de inspiración, motivación y confianza. Gracias por enseñarme el valor de la educación y brindarme todo su apoyo para alcanzar mis metas. Esta tesis es una forma de agradecerles por su constante apoyo y por creer en mí. Infinitas gracias por apoyarme incondicionalmente, este triunfo alcanzado también es para ustedes.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por su amor y su bondad que no tiene fin, que siempre me permite sonreír ante todos mis logros que son resultado de tu bendición, y cuando paso por situaciones difíciles siempre eres mi esperanza y aprendo de mis errores, me doy cuenta de los pones en frente mío para que mejore como ser humano, y crezca de diversas maneras. Esta presente investigación ha sido una gran bendición en todo sentido y te lo agradezco padre bendito, te agradezco tanto por esta meta cumplida. Infinitas gracias por estar conmigo en cada momento, por todas las oportunidades y sobreabundancia que me brindas. Para empezar de nuevo.

A la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, por darme la oportunidad de obtener este Grado Académico.

Al Ing. MCs. Edgar Darwin Díaz Mori, asesor de la presente tesis, por su valioso apoyo en el presente trabajo de la investigación

“No dejes que nadie te considere menos por ser joven. Sé ejemplo para los creyentes en tu hablar, en tu conducta, en amor, en fé y en pureza” 1 Timoteo 4:12

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE ABREVIACIONES	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	4
MARCO TEÓRICO	4
2.1. Antecedentes de la investigación	4
2.2. Bases teóricas	13
2.2.1. Calidad de Agua	13
2.2.2. Evaluación de la calidad de agua.....	13
2.2.3. Aguas residuales.....	15
2.2.4. Clasificación de aguas residuales:	16
2.2.5. Procesos de oxidación química avanzada (POAs).....	16
2.2.6. Clasificación de los procesos de oxidación química avanzada (POAs)	16
2.2.7. El proceso de Fenton.....	17
2.3. Definición de términos básicos	20
CAPÍTULO III.....	22
MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1. Ubicación de la zona de estudio	22

3.2. Población, muestra y unidad de análisis	24
3.2.1. Población	24
3.2.2. Muestra.....	24
3.2.3. Unidad de análisis.....	24
3.3. Métodos de investigación.....	24
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de información.....	24
A. Técnicas de recolección de datos.....	24
B. Instrumentos de recolección de datos.....	30
CAPÍTULO IV	35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1. Análisis de la concentración de los parámetros físicos del agua residual doméstica, Llacanora, 2023.....	35
4.2. Análisis de la concentración de los parámetros químicos del agua residual doméstica, Llacanora, 2023.....	41
4.3. Análisis de la concentración de los parámetros microbiológicos del agua residual doméstica, Llacanora, 2023.....	47
4.4. Eficiencia del proceso Fenton	49
4.4.1. Eficiencia del proceso Fenton en la concentración de demanda bioquímica de oxígeno.....	49
4.4.2. Eficiencia del proceso Fenton en la concentración de demanda química de oxígeno	51
4.4.3. Eficiencia del proceso Fenton en la concentración de demanda química de oxígeno	54
4.7. Diseño Box - Behnken para optimizar la eficiencia del reactivo Fenton en la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente de las aguas residuales domésticas, Llacanora, 2023	56
4.7.1. Análisis estadístico para Demanda Química de Oxígeno	57
4.7.2. Análisis estadístico para Demanda Bioquímica de Oxígeno	63
4.7.3. Análisis estadístico para Coliformes Termotolerantes	69

CAPÍTULO V.....	76
CONCLUSIONES.....	76
CAPITULO VII	78
REFERENCIAS.....	78
CAPITULO VI.....	84
ANEXOS.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de aguas residuales.....	16
Tabla 2 Clasificación de procesos de oxidación química avanzada.	17
Tabla 3 Potencial de Hidrogeno y LMP- DS-003-2010MINAM	35
Tabla 4 Sólidos suspendidos totales y LMP- DS-003-2010MINAM.....	37
Tabla 5 Temperatura y LMP- DS-003-2010MINAM.....	39
Tabla 6 Aceites y grasas y LMP- DS-003-2010MINAM.....	41
Tabla 7 Demanda bioquímica de oxígeno y LMP- DS-003-2010MINAM.....	43
Tabla 8 Demanda química de oxígeno y LMP- DS-003-2010MINAM.....	45
Tabla 9 Coliformes termotolerantes y LMP- DS-003-2010MINAM.....	47
Tabla 10 Eficiencia del proceso Fenton en la concentración de demanda bioquímica de oxígeno.....	49
Tabla 11 Eficiencia del proceso Fenton en la concentración de demanda química de oxígeno.....	51
Tabla 12 Eficiencia del proceso Fenton en la concentración de coliformes termotolerantes.....	54
Tabla 13 Análisis estadístico del proceso Fenton en la demanda química de oxígeno.....	57
Tabla 14 Análisis de experimento - porcentaje de remoción de demanda química de oxígeno.....	57
Tabla 15 Efectos estimados para porcentaje de remoción DQO (%).....	58
Tabla 16 Análisis de varianza para porcentaje de remoción DQO.....	59
Tabla 17 Valor óptimo de la remoción de DQO.....	62
Tabla 18 Análisis de experimento - porcentaje de remoción de demanda bioquímica de oxígeno.....	63
Tabla 19 Efectos estimados para porcentaje de remoción DBO ₅ (%).....	64

Tabla 20 Análisis de varianza para porcentaje de remoción DBO ₅	65
Tabla 21 Valor óptimo de la remoción de DBO ₅	68
Tabla 22 Análisis de experimento del porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes	69
Tabla 23 Efectos estimados para porcentaje remoción de coliformes termotolerantes	70
Tabla 24 Análisis de varianza para porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes ..	71
Tabla 25 Valor óptimo de la remoción de Coliformes Termotolerantes	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema del sistema de tratamiento de Fenton (Vargas Páramo, 2015, p. 6-10)....	19
Figura 2 Ubicación de la zona de estudio, Sector La Banda, distrito de Llacanora, provincia y departamento de Cajamarca.....	23
Figura 3 Proceso de oxidación química de Fenton	33
Figura 4 Comparación del parámetro de potencial de hidrogeno con los LMP-DS-003-2010 MINAM	36
Figura 5 Comparación del parámetro de sólidos suspendidos totales y LMP- DS-003-2010MINAM.	38
Figura 6 Comparación del parámetro de temperatura y LMP- DS-003-2010MINAM.....	40
Figura 7 Comparación del parámetro de aceites y grasas y LMP- DS-003-2010MINAM.	42
Figura 8 Comparación del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno y LMP- DS-003-2010MINAM.	44
Figura 9 Comparación del parámetro de demanda química de oxígeno y LMP- DS-003-2010MINAM.	46
Figura 10 Comparación del parámetro de coliformes termotolerantes y LMP- DS-003-2010MINAM.	48
Figura 11 Eficiencia del proceso Fenton en la concentración de demanda bioquímica de oxígeno.....	50
Figura 12 Eficiencia del proceso Fenton en la concentración de demanda química de oxígeno	53
Figura 13 Eficiencia del proceso Fenton en la concentración de coliformes termotolerantes	55
Figura 14 Diagrama Pareto estandarizado para porcentaje de remoción de DQO	59
Figura 15 Gráfico de efectos principales para porcentaje de remoción de DQO	61

Figura 16 Superficie de respuesta estimada con pH=3	63
Figura 17 Diagrama Pareto estandarizado para porcentaje de remoción de DBO ₅	65
Figura 18 Grafica de efectos principales para porcentaje de remoción de DBO ₅	67
Figura 19 Superficie de respuesta estimada con pH=3	69
Figura 20 Diagrama Pareto estandarizado para porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes.....	71
Figura 21 Gráfico de efectos principales para porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes.....	73
Figura 22 Superficie de respuesta estimada con pH=3	75

LISTA DE ABREVIACIONES

ECA: Estándar de Calidad Ambiental

LMP: Límite Máximo Permisible

POA: Proceso de Oxidación Química

TAOS: Técnicas Avanzadas de Oxidación

DS: Decreto Supremo

H₂O₂: Peróxido de Hidrogeno

FeO₂: Sulfato Ferroso

H₂SO₄: Ácido Sulfúrico

RESUMEN

El presente estudio de investigación evaluó la eficiencia del proceso Fenton en el nivel de concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente de las aguas residuales domésticas. Puesto que, hoy en día los cuerpos de agua natural son contaminados de manera directa por efluentes de agua residual doméstica, industrial y municipal. El tipo de investigación es experimental – aplicada, diseño de investigación, transversal. Se consideró el monitoreo en campo de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Tomando como punto de muestreo el (Efluente de agua residual) de la planta de tratamiento de agua residual domestica del distrito de Llacanora. Se determinó que los parámetros que sobrepasaron los límites máximos permisibles fueron: Demanda Química de Oxígeno, 424 mg/L; Demanda Bioquímica de Oxígeno, 171.5mg/L y Coliformes Termotolerantes, 940,000.00(NMP/100). Asimismo, se realizó el experimento del proceso Fenton, empleando un tiempo de 2, 6, 10 h ; dosis de reactivo Fenton de 4, 12, 20 mg/L a un pH de 2, 3, 4. Avalado estadísticamente por el Diseño Box - Behnken para optimizar la eficiencia del reactivo Fenton en la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, logrando un R-cuadrado de 99.2855 por ciento para Demanda Química de Oxígeno, R-cuadrada = 99.3373 por ciento para Demanda Bioquímica de oxígeno y R-cuadrada = 99.7468 por ciento para Coliformes Termotolerantes. Concluyendo que el proceso Fenton es altamente eficiente en la remoción de la concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Palabras clave: Proceso Fenton, agua residual doméstica, contaminación de ríos

ABSTRACT

The present research study evaluated the efficiency of the Fenton process at the concentration level of physicochemical and microbiological parameters of domestic wastewater effluent. Since, today natural water bodies are directly contaminated by domestic, industrial and municipal wastewater effluents. The type of research is experimental – applied, research design, transversal. Field monitoring of physicochemical and microbiological parameters was considered. Taking (Wastewater effluent) as a sampling point. It was determined that the parameters that exceeded the maximum permissible limits were: Chemical Oxygen Demand, 424 mg/L; Biochemical Oxygen Demand, 171.5mg/L and Thermotolerant Coliforms, 940,000.00(NMP/100). Likewise, the Fenton process experiment was carried out, using a time of 2, 6, 10 h; Fenton reagent dose of 4, 12, 20 mg/L at a pH of 2, 3, 4. Statistically supported by the Box - Behnken Design to optimize the efficiency of the Fenton reagent in the removal of physicochemical and microbiological parameters, achieving a R-squared of 99.2855 percent for Chemical Oxygen Demand, R-squared = 99.3373 percent for Biochemical Oxygen Demand and R-squared = 99.7468 percent for Thermotolerant Coliforms. Concluding that the Fenton process is highly efficient in removing the concentration of physicochemical and microbiological parameters.

Keywords Fenton Process, domestic wastewater, river pollution

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En Perú como en muchos países del mundo las principales fuentes de contaminación del agua son por vertidos residuales de efluentes domésticos, industriales y municipales. Siendo una de las grandes preocupaciones del siglo XXI, es el agotamiento del recurso agua, sea esta consecuencia de la contaminación de los ríos, lagos y mares por acción del hombre, o consecuencia de los efectos del calentamiento global, tema también de agenda mundial en materia ambiental que afecta las reservas de agua dulce del planeta por los deshielos en los polos norte y sur, región del ártico y antártico, respectivamente; en el caso del Perú por el deshielo de los nevados en la Cordillera de los Andes, situación que ya es percibida por la población, que poco a poco, pero cada vez más, comprende y está tomando conciencia de la importancia de este recurso para garantizar la vida del planeta (Cordova Quispe, 2022, p. 11)

Existen diferentes tecnologías de tratamiento de aguas residuales. Las Técnicas Avanzadas de Oxidación (TAOs) de la materia orgánica, tóxica y no tóxica, contenida en las aguas residuales, merecen especial atención por sus interesantes aspectos técnicos y ambientales asociados. Las TAOs han sido desarrollados con el objetivo de presentar una alternativa más eficiente para los procesos convencionales de tratamiento de aguas residuales, logrando oxidar una gran variedad de contaminantes orgánicos. Estos procesos tales como tratamientos biológicos, químico-físicos convencionales (oxidación térmica, cloración, ozonización, permanganato de potasio, etc.), adsorción

con carbón activado u otros adsorbentes, no logran detoxificar muchos de las aguas residuales industriales generados hoy en día de una forma eficiente y económica (Torres Andrade, 2014, p. 53).

En la presente investigación se formula la siguiente interrogante ¿Cuál es la eficiencia del proceso Fenton en el nivel de concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente de las aguas residuales domésticas, Llacanora, 2023? Teniendo como objetivo general: Evaluar la eficiencia del proceso Fenton en el nivel de concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente de las aguas residuales domésticas, Llacanora, 2023.

Asimismo, los objetivos específicos: Evidenciar la eficiencia del proceso Fenton en el nivel de concentración de los parámetros físicos del efluente de las aguas residuales domésticas, Llacanora, 2023. Verificar la eficiencia del proceso Fenton en el nivel de concentración de los parámetros químicos del efluente de las aguas residuales domésticas, Llacanora, 2023. Demostrar la eficiencia del proceso Fenton en el nivel de concentración de los parámetros microbiológicos del efluente de las aguas residuales domésticas, Llacanora, 2023. El proceso Fenton, se desarrolla por el método de Jarras, en base al tiempo de reacción, dosis del reactivo Fenton y concentración de pH. De tal manera que se evidencia, si el proceso Fenton reduce o no reduce el nivel de concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el efluente de las aguas residuales domésticas, Llacanora, 2023.

En relación al estudio de investigación de la contaminación de las aguas residuales domesticas, Medina Valderrama, (2016) menciona que el proceso Fenton ocurre cuando se agrega un catalizador de sal ferrosa, soluble y peróxido de hidrógeno en un medio ácido, sin necesidad de recurrir a altas presiones, temperaturas o equipos sofisticados. Es por ello que, se plantea el desarrollo del tratamiento basado en el

proceso Fenton para lograr la remoción de la concentración de los parámetros: Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Aceites Y Grasas, pH, Solidos Suspendidos Totales, Temperatura y Coliformes Termotolerantes con alta concentración que se presentan en el efluente de agua residual doméstica.

Puesto que, este método de tratamiento es eficaz y adaptable al presupuesto que posee las entidades competentes tanto públicas y privadas. Es fundamental el cuidado y conservación del recurso hídrico en todos los ámbitos de la actividad humana. Asimismo, el sector regional, provincial y distrital, debe priorizar proyectos de ingeniería que estén enmarcados con la protección de los cuerpos de agua, cumpliendo las normativas. De tal manera, que se garantice la calidad de agua y la salud pública.

El proceso se desarrolla en base al tiempo de reacción, dosis del reactivo Fenton y los valores de potencial de hidrogeno, son variables clave para el desarrollo y eficiencia de dicho proceso, Cabe resaltar que en la presente investigación, los parámetros que sobrepasaron los Límites Máximos Permisibles del DS -003-2010-MINAM, Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento Residuales Domésticas o Municipales, son los siguientes: Demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, coliformes termotolerantes.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Desde el punto de vista de López Ramírez ; et al (2021) señalan que cada año se vierten millones de metros cúbicos de aguas residuales a los cuerpos de agua, las cuales son tratadas de forma inadecuada, siendo estos procedimientos ineficientes para alcanzar lo requerido por la ley o para uso dentro de los procesos industriales. En estos casos, y debido a la escasez del recurso hídrico, se está recurriendo al uso de los procesos de oxidación química como tratamiento. Estas tecnologías se basan en procesos fisicoquímicos capaces de producir cambios profundos en la formación química de los contaminantes, involucrando la generación y uso de especies transitorias de gran poder oxidante, principalmente el radical hidroxilo, el cual puede ser generado por medios fotoquímicos o por otras formas de energía que posee alta efectividad para la oxidación de materia orgánica. Esta revisión tiene como objetivo realizar un análisis de la influencia de los tratamientos en el proceso de descontaminación de aguas residuales (p,76-86).

Naranjo y Morillo, (2021) mencionan que, por la ineficiencia de los métodos convencionales para remover tensoactivos y patógenos de aguas residuales ha derivado la necesidad de desarrollar tratamientos alternativos. Por lo que, se desarrolló el proceso Fenton convencional y modificado con ácido etilendiaminotetraacético, como tratamiento complementario para aguas residuales rurales de Quito, Ecuador. Inicialmente, se establecieron

las condiciones de concentración de peróxido de hidrógeno (H_2O_2), la relación molar $\text{Fe}^{2+}:\text{H}_2\text{O}_2$ y requerimiento de agitación para un proceso Fenton convencional (p.2-4).

Estas condiciones se ajustaron a un proceso Fenton modificado con EDTA- en el cual se definieron las condiciones de relación molar $\text{Fe}^{2+}:\text{EDTA}$ y de pH. Las mejores condiciones establecidas fueron: Concentración de H_2O_2 de 124,4 mM, agitación continua de 130 rpm, relación molar EDTA: $\text{Fe}^{2+}:\text{H}_2\text{O}_2$ de 1:1:20 y pH de 6,41 (pH del efluente). Bajo estas condiciones, a partir de una muestra con concentración inicial de tensoactivos, coliformes fecales y DQO de 6,12 mg/L, 71000 UFC/mL y 980 mg/L, respectivamente, Finalmente se alcanzó inactivación total de coliformes fecales y una reducción de 97% para tensoactivos y 93% para la demanda química de oxígeno a los 15 min de tratamiento (p.2-4).

Machicao Ordoñez (2020) realiza un estudio de investigación “Análisis de la calidad del agua en el río Chili (distritos de Tiabaya y Uchumayo) antes y después de la puesta en marcha y operación de la planta de tratamiento de agua residuales “La Enlozada” aplicando un modelo matemático” Desde tiempos remotos las aguas residuales generadas por la población se evacuaron al río Chili sin tratamiento alguno y por varios emisores ubicados principalmente en el distrito de Tiabaya, en esta tesis se evalúan los resultados de los monitoreos realizados en los años 2013 y 2014 y se concluye que la calidad del agua del río Chili venía siendo afectada por las altas concentraciones en los parámetros aceites y grasas, demanda bioquímica del oxígeno, demanda química del oxígeno, fosfatos, oxígeno disuelto, aluminio, boro, cobre, hierro, coliformes termotolerantes; dichas concentraciones superaban los estándares de calidad ambiental para el agua, generando impactos negativos a la salud pública, a la biodiversidad del río y de los suelos aledaños, a la flora y fauna acuática y a la economía local (p. 15).

En diciembre del 2015, las aguas residuales generadas por la población vienen siendo tratadas en la planta “La Enlozada” y desde esa fecha la calidad del agua del río Chili ha mejorado en forma paulatina, tal como se observa en los resultados del monitoreo del año 2018

donde las concentraciones cumplen con la normativa vigente y por ende los impactos negativos son mínimos, para el modelamiento se utilizó un software libre WASP, el cual primero fue calibrado y los resultados de la simulación se procesaron con una herramienta georreferenciada para su visualización (p. 15).

Lima Huacho (2021) hace referencia que, en el Perú, del total de las aguas residuales vertidas, solo el 34 % recibe un previo tratamiento antes de ser descargados algún cuerpo de agua y en razón al último informe emitido por las municipalidades, el tercer gran problema ambiental son las aguas residuales, siendo esta una de los motivos del deterioro de la calidad de las aguas de los ríos. Lircay es una pequeña ciudad que se encuentra cursada por el cauce del río Sicra, a tal motivo la presente investigación tiene como objetivo, determinar en qué medida el vertimiento de aguas residuales domiciliarias afecta a la calidad ambiental del agua del río Sicra Lircay - Huancavelica 2018. El diseño de la investigación es no experimental, descriptivo transeccional. Por tal, se realizó un muestreo de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en tres puntos, siendo la primera antes del vertimiento denominada como punto PM^o1 Zona Primer puente, durante el vertimiento denominada punto PM^o2 Zona Puente Tablachaca y siendo el tercero después del vertimiento de las aguas residuales domiciliarias en la zona conocida como Muyocc punto PM^o3, en relación a los parámetros cianuro libre, color, DQO, DBO5, oxígeno disuelto, fósforo total, nitrógeno total, nitratos, nitrógeno amoniacal, sulfuros, sólidos suspendidos totales, temperatura, pH y coliformes termotolerantes, y finalmente determinar un índice de calidad de agua con metodología NSF(p. 9).

Para la determinación del efecto del vertimiento, se tomó como base al punto PM^o1 como punto blanco o de control, dado que las concentraciones en este punto son mínimas antes del vertimiento de las aguas residuales, y con los resultados se hace una comparación con el ECA Agua D.S N°004-2017-MINAM, para la determinación del ICA NSF se trabajó en base a nueve parámetros entre ellos físicos, químicos y microbiológicos, determinado así un índice

de 42.18, lo cual según National Sanitation Foundation – NSF se encuentra identificada como aguas muy contaminadas, siendo los coliformes termotolerantes el parámetro con mayor influencia. Se plantea la urgencia del control de la calidad del agua del río Sicra, así como la determinación de un Índice de Calidad de Agua del río Sicra, en concordancia con el ICA-PERÚ (p. 9).

Saavedra Mejía (2019) en su estudio de investigación fue determinar la calidad del agua mediante la aplicación de índices biológicos como: Índice Biológico ABI, Iberian Biological Monitoring Working Party (IBMWP) y el Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT), para los cuales se asignó una escala de valores, los mismos que nos permitió establecer la calidad del agua, obteniendo una calidad calificada como “moderada”, el total de individuos colectados fue 1428 pertenecientes a 4 clases, 7 órdenes y 14 familias, mostrando una disminución significativa de individuos colectados entre puntos (p. 11).

Asimismo, los parámetros fisicoquímicos analizados fueron: Demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), coliformes termo tolerantes (CT) y huevos de helminto (HH), y los parámetros de campo: oxígeno disuelto (OD), pH, conductividad eléctrica (CE), temperatura (T°), sólidos totales disueltos (TDS) y turbiedad. Los resultados fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 3, establecidas en el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM, determinando que los parámetros que sobrepasaron los Estándares fueron el pH, llegando a presentar un valor máximo de 9.27 en época seca en el punto 3; coliformes termo tolerantes con un valor de 35000 NMP/100 mL. en temporada seca, valor que representa un grado alarmante de contaminación y los huevos de helminto los cuales llegaron a un valor máximo de 7 y 8 HH/L encontrando los valores más altos en el punto 2 y punto 3 respectivamente, dichos resultados nos permitieron determinar que el agua en dichos puntos monitoreados no es apta para el consumo de animales ni riego de vegetales (p. 11).

Escalante Rojas (2018) enfoca la caracterización y evaluación de los cuerpos de agua corriente de los ríos Mashcón, San Lucas y el efluente de las Lagunas de Estabilización de la ciudad de Cajamarca; con fines de evaluación ambiental mediante comparaciones con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua categoría 3: bebidas de animales y riego de vegetales de tallo alto y bajo, de acuerdo al actual Decreto Supremo 015-2015- MINAM. Los valores analizados sugieren de manera general, que en todos los puntos de evaluación las concentraciones de los parámetros evaluados están por debajo del estándar nacional de comparación adoptado para este estudio, hallándose valores poco significativos a excepción de los parámetros físico-químicos como: manganeso (0,22 mg/L), demanda bioquímica de oxígeno (102,32 mg/L), demanda química de oxígeno (204,09 mg/L) y los parámetros microbiológicos como: coliformes totales (5 654 293,2 NMP/100 mg/L) y coliformes fecales termotolerantes (5 539 983,4 NMP/100 mg/L); que no cumplen con lo establecido en el actual Estándar de Calidad Ambiental para Agua categoría 3, siendo indicadores de contaminación orgánica y biológica principalmente (p. 11-14).

Castaño Arbeláez (2018) evaluaron el tratamiento secuencial de coagulación química (CQ) seguida de los procesos avanzados de oxidación (PAO) Fenton ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$) o foto-Fenton ($\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$) incrementados con radiación de ondas de ultrasonido (US) de baja frecuencia. Se realizó por la prueba de jarras, mostró una dosis óptima de coagulante ($\text{Al}_2[\text{SO}_4]_3$) de 800 mg/L, remueve 99 % de la turbidez y 53 % de la demanda química de oxígeno (DQO). El análisis estadístico del diseño de experimentos es por superficie de respuesta Box-Behnken, se estableció que las condiciones óptimas de operación para el proceso $\text{US}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ fueron: 1 mM de Fe^{2+} , 14 mM de H_2O_2 y pH₃ (p. 2-4).

Las condiciones de operación el proceso de CQ acoplado con el proceso US/H₂O₂/Fe²⁺ removió alrededor de 82 % de la DQO en tanto que al acoplarlo con el proceso US/UV/H₂O₂/Fe²⁺ alcanzó 95 % de eliminación en 90 min de reacción. El uso de ondas de ultrasonido incrementa la eficiencia del proceso alrededor de 10 %. Durante el proceso también se monitorearon la mineralización de los contaminantes y el consumo de H₂O₂ (p. 2-4).

Infante y Tacilla (2017) evaluaron la influencia del vertimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en la calidad de agua del río Cajamarquino, ubicado en el distrito de Llacanora, sector La Banda, provincia de Cajamarca durante el periodo 2017. Se realizó mediante un análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Para evaluar la influencia del vertimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del río Cajamarquino se establecieron dos temporadas de estudio (seca y lluvia), en tres estaciones (aguas arriba, aguas abajo y vertimiento), tomando 63 muestras (en cada temporada) iniciando en el mes de septiembre a noviembre. Para la obtención de resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se analizó en el Laboratorio Regional del Agua. Del mismo modo, fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental - categoría III y Límites Máximos Permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Los parámetros de aceites y grasas, coliformes Termotolerantes superaron en 79.4 y 11.4 mg/L, 530 000 y 348 000 NMP/100 mL; 530 000 y 5 398 000 NMP/100 mL, vertimiento y aguas abajo respectivamente en la calidad de agua del río Cajamarquino (p.24).

Correa Sánchez (2016) realiza su investigación para mejorar las condiciones de operación del sistema acoplado entre el proceso de ozonificación y el proceso Fenton para tratamiento de aguas residuales de una industria textil. Los experimentos del trabajo de investigación se realizaron en un reactor batch, con volumen entre 80 mL y 160 mL con burbujeo de O₃ de 100 mg/h. Se realizó un diseño de experimentos preliminar, factorial fraccionado, mediante el cual se determinó los parámetros a optimizar, que fueron: pH de la

muestra, concentración de Fe (II) y el flujo de O₃ por unidad de volumen de muestra. Además, se determinaron condiciones óptimas operación para el proceso mediante la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR), las cuales fueron: Concentración de Fe (II) 1,8 mM, Flujo de O₃ igual a 870,9 mg/(Lsln*h) y pH 6,8. La variable de respuesta escogida para el diseño de experimentos fue el porcentaje de degradación de Demanda Bioquímica de Oxígeno (%DDQO), que alcanzó un 65% de degradación en un tiempo de 5 minutos (p. 9).

Becerra y Cadena (2016) señalan que, para el desarrollo del proceso Fenton se acidificó el pH a un rango de 2,7 a 3,1, temperatura de 20°C, con las cuales se determinó las relaciones DQO/H₂O₂ y H₂O₂/Fe⁺² para cada experimento. Se evaluó la eficiencia del proceso Fenton en la oxidación de materia orgánica con el fin de comparar el reactivo Fenton con los métodos convencionales usados en la planta, los cuales son policloruro de aluminio (PAC) y Sulfato de Aluminio. El tiempo de operación fue de 75 minutos repartidos en 45 minutos utilizando test de jarras con sistemas de agitación y mezcla con regulador de velocidad y 30 minutos para la sedimentación. La mejor relación fue DQO/H₂O₂ = 2,1 y H₂O₂/Fe⁺² = 0,6 para una oxidación de materia orgánica del 92,133% y una remoción de color del 99,40% (p. 18).

Vargas Páramo (2015) realizó los diferentes procesos de oxidación química avanzada tipo Fenton, para el tratamiento de remoción de contaminantes presentes en el efluente de un residuo municipal. Inicialmente, para evaluar el efluente de un digestor anaerobio, con una Demanda Bioquímica de Oxígeno de 205 mg/L y Demanda Química de Oxígeno de 1159 mg/L; se analizó el efecto de los principales parámetros como la concentración inicial de peróxido de hidrógeno (H₂O₂)₀, ión ferroso (Fe²⁺)₀ y densidad de corriente (j). Se alcanzaron altos niveles de remoción de Demanda Química de Oxígeno, con valores de: 83, 85 y 70% para los procesos Fenton, foto-Fenton y electro-Fenton, respectivamente; remoción que se dio a través de la oxidación química y la coagulación

La coagulación fue el principal mecanismo de remoción en los procesos Fenton y foto-Fenton, mientras que en el electro-Fenton, lo fue la oxidación química. Se realizaron también estudios de tratamiento electro-Fenton con 3 diferentes sistemas en los que se usó un cátodo de filtro de carbón y ánodos de Ti-RuO₂, Ti-PdPtOx y BDD, obteniéndose remociones de Demanda Química de Oxígeno de 83.5%, 77.9% y 74.3% respectivamente (p. 6-10).

Gamarra y Toro (2014) hacen referencia que en el Perú sólo se realiza el 29,1% de tratamiento de las aguas residuales domésticas urbanas. Estos tratamientos se realizan solo en 143 plantas, el resto de aguas residuales son vertidas de manera directa a los ríos, lagos, y al mar, por lo que se hace necesario darle más importancia a la gestión de recursos hídricos. Uno de los focos de contaminación es la industria textil, que emplea grandes cantidades de tintes para el teñido y no trata adecuadamente sus efluentes siendo parte del problema. El proceso Fenton es una alternativa para el tratamiento de los efluentes del proceso de teñido, siendo el contaminante más importante los compuestos azoicos. Ofreciendo la posibilidad de reusar y/o reciclar las aguas con una alta eficiencia (86%) en pocos minutos (p. 10).

Cueva Merayo (2014) los procesos de oxidación avanzada (POAs) y de membranas consiguen remocionar compuestos altamente contaminantes y aumentar la efectividad de posteriores tratamientos biológicos. El objetivo del presente estudio de investigación es aportar nuevos conocimientos que permitan la aplicación de las tecnologías de oxidación química avanzada para conseguir reducir la contaminación de las aguas residuales, mejorando su calidad. El efluente procedente de la fabricación de Pasta Kraft logró alcanzar un 57 % de eliminación de la demanda química de oxígeno (DQO) cuando se trató con ozono (p.6).

Asimismo, se desarrolló un método de tratamiento de los POAs con tecnología FTIR en línea, con la cual se han podido lograr la degradación y la eliminación de contaminantes prioritarios que pueden estar presentes en efluentes de la industria papelera. Dicha tecnología puede utilizarse para evaluar procesos de oxidación satisfactoriamente, reduciendo el tiempo

necesario para el análisis en comparación con otras metodologías, asimismo una rápida optimización del tratamiento minimizando los costes (p.6).

Epinoza Paz (2010) en su estudio de investigación hace mención a las Lagunas de San Juan de Miraflores que fueron diseñadas en los años 60, para tratar los desagües provenientes de Ciudad de Dios y Pamplona del distrito de San Juan de Miraflores, con una capacidad promedio de 160 l/s, considerándose un área de tratamiento de 20 hectáreas. Las cuales en el año 1998 recibían un caudal estimado de 450 l/s, con una reducción del área de tratamiento de aguas residuales, en aproximadamente 5 hectáreas, que se utilizaron en estanques de acuicultura para crianza de peces, lo que originó una sobrecarga orgánica e hidráulica con el resultado de dar un efluente que estaba incumpliendo con las normas de descarga y creando un problema de salud pública (p. 6-10).

Esta fue la razón para ampliar y cambiar el sistema de tratamiento en San Juan, además de conservar el área de la Planta como un entorno ecológico; esta zona es un verdadero oasis dentro de lo desértico que son los distritos de San Juan de Miraflores y Villa El Salvador, al mismo tiempo que se incrementará la cobertura del servicio de alcantarillado al tratar los desagües provenientes del colector Villa El Salvador. Otro de los beneficios inmediatos será reducir la contaminación costera causada por efecto de las descargas de aguas residuales del colector Surco al que pertenece el sistema San Juan, que recolecta un promedio de 6,500 l/s de desagües, que los descarga sin tratamiento en el mar en la zona de La Chira, Chorrillos – Bahía Miraflores, originando en el medio marino costero una serie de problemas asociados a la salud pública, al deterioro de los recursos marinos y a la contaminación de playas (p. 6-10).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Calidad de Agua

La calidad del agua, de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud y otros organismos internacionales, se puede resumir como las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano. La calidad del agua, en general, se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares. Este concepto ha sido asociado principalmente al uso del agua para consumo humano, sin embargo, dependiendo de otros usos también se puede definir la calidad del agua en función de ello. El deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial, debido al crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial y agrícola y la amenaza del cambio climático como causa de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico (Gómez Baeza, 2016, p. 6).

2.2.2. Evaluación de la calidad de agua

Es primordial garantizar la salud pública de la humanidad y el desarrollo sostenible. La calidad del agua se determina mediante los análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Mediante ello, se logra deducir el impacto que generan los vertidos mineros, industriales y domésticos a los cuerpos de agua natural, de tal manera que alteran su la calidad (Morales Travezaño, 2022, p. 16).

A. Parámetros físicos del agua

Sólidos totales en suspensión

De acuerdo a Gonzales Tavera (2018) “Los sólidos disueltos totales es un parámetro de calidad organoléptica, cuyo LMP es de 1 000 miligramos por litro (mg L⁻¹) (D.S. N° 031- 2010- SA)” (p. 17).

Temperatura

Rojas Osorio (2018) señala que “La temperatura es una medida del grado de calor de un cuerpo, se expresa en unidades de grado centígrado ($^{\circ}\text{C}$) y se mide con un termómetro de mercurio o digital” (p. 12).

pH

Parámetro utilizado para determinar el comportamiento del ion hidrógeno, donde involucra la concentración del ion hidrogeno $[\text{H}^+]$ elevado al logaritmo del inverso de diez. Valores que pueden considerarse neutro (7) y valores que pueden ir desde 0 hasta 14. Así, tenemos que el agua puede registrar valores desde menores de 7 (ácida), neutra (7) y básica o alcalina que están por encima de 7 (Benites Ruesta, 2021, p. 33).

B. Parámetros químicos del agua

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno se refiere a la cantidad de oxígeno que se consume en la oxidación química de toda la materia orgánica para transformarse en productos finales inorgánicos. El análisis de la DQO se realizó siguiendo el método SM 5220 C. Se utilizaron tubos de digestión HACH para DQO los cuales contienen permanganato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), sulfato de mercurio (II) (HgSO_4) y ácido sulfúrico (H_2SO_4 85%) en las proporciones requeridas por el método estándar (Torres Andrade, 2014, p.30-40).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)

La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno en mg/l que se consume en la degradación de la materia orgánica biodegradable de una muestra de agua. De acuerdo a la norma SM 5210 B, el análisis debe realizarse mediante la incubación a $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ en total oscuridad durante un tiempo específico (por lo general 5 días). Esto

asegura la oxidación biológica de la materia orgánica biodegradable disuelta en el agua (Torres Andrade, 2014, p.30-40).

Aceites y Grasas

Los aceites y grasas se definen en los métodos estándar, como “cualquier material recuperado en la flora de una sustancia soluble en el solvente”. El aceite es perjudicial para la vida acuática porque forma una película sobre la superficie del agua, reduce la aeración disminuye la penetración de luz solar necesaria para la fotosíntesis de las plantas acuáticas (Frías y Montilla, 2016, p. 21).

C. Parámetros microbiológicos del agua.

Coliformes Termotolerantes

Se definen como el grupo de organismos coliformes que pueden fermentar la lactosa a 44°- 45°C, comprenden un grupo muy reducido de microorganismos los cuales son indicadores de calidad, ya que son de origen fecal en su mayoría son representados por el microorganismo el género E. coli. Su rango de temperatura óptima de crecimiento es muy amplio (hasta 45°C) y son mejores indicadores de higiene en alimentos y en aguas, ya que las heces contienen dichos microorganismos, presentes en la flora intestinal y de ellos un 90% y un 100% son E. coli mientras que en aguas residuales y muestras de agua contaminadas este porcentaje disminuye hasta un 59% (Frías y Montilla, 2016, p. 21).

2.2.3. Aguas residuales

Antitupa Iquiapaza (2021) señala que, “Las aguas residuales a aquellas que resultan del uso doméstico, municipal e industrial, se llama también aguas negras. Están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado, sin previo tratamiento posterior a su uso” (p. 23).

2.2.4. Clasificación de aguas residuales:

Tabla 1

Tipos de aguas residuales.

TIPOS DE AGUA RESIDUAL		
TIPOS DE AGUA	DEFINICION	CARACTERISTICAS
Agua residual doméstica	Producidos en las diferentes actividades al interior de las viviendas, colegios, etc.	Los contaminantes están presentes en moderadas concentraciones
Agua residual municipal	Son transportados por el alcantarillado de una ciudad o población	Contiene materia orgánica, nutrientes y patógenos, etc.
Agua residual industrial	Las resultantes de las descargas de industrias	Su contenido depende del tipo de industria y/o procesos industriales
Agua negra	Contiene orina y heces	Alto contenido de nutrientes, patógenos, hormonas y residuos farmacéuticos
Agua amarilla	Es la orina transportada con o sin agua	Alto contenido de nutrientes, hormonas y alta concentración de sales
Agua café	Agua con pequeña cantidad de heces y orina	Alto contenido de nutrientes, patógenos, hormonas y residuos
Agua gris	Provenientes de lavamanos, duchas, lavadoras	Tienen pocos nutrientes y agentes patógenos, por el contrario, presentan máxima carga de productos y detergentes

Fuente: *Tipos de aguas residuales (Antitupa Iquiapaza, 2021)*

2.2.5. Procesos de oxidación química avanzada (POAs)

Terán Solíz (2016) expresa que, “Los Procesos de Oxidación Química Avanzada (POAs “Advanced Oxidation Processes”) son procesos fisicoquímicos capaces de producir cambios profundos en la estructura química de los contaminantes” (p. 24-38).

2.2.6. Clasificación de los procesos de oxidación química avanzada (POAs)

Se clasifican en procesos fotoquímicos y no fotoquímicos, en función de la utilización o no de radiaciones luminosas en el proceso. Como se detalla en lo siguiente:

Tabla 2

Clasificación de procesos de oxidación química avanzada.

Procesos no fotoquímicos	Procesos fotoquímicos
Ozonización en medio alcalino (O₃/OH⁻)	Oxidación en agua sub y supercrítica
Ozonización con peróxido de hidrógeno (O₃/H₂O₂).	Fotólisis de agua en ultravioleta de vacío (UVV).
Procesos Fenton (Fe²⁺/H₂O₂)	UV/H ₂ O ₂ .
Oxidación electroquímica.	UV/O ₃
Radiólisis y tratamiento con haces de electrones	Foto-Fenton y relacionados
Plasma no térmico	Fotocatálisis heterogénea
Descarga electrohidráulica y ultrasonidos	Fotocatálisis homogénea

Fuente: Clasificación de procesos de oxidación química avanzada (Terán Solíz, 2016).

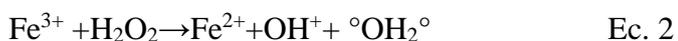
2.2.7. El proceso de Fenton

Entre los procesos de oxidación avanzada, uno de los más económicos y efectivos es el proceso Fenton, descrito por primera vez en 1894 por H. J. H. Fenton, que consiste en la adición de sales de Fe²⁺ en medio ácido para promover la descomposición catalítica del H₂O₂ en radicales HO, los cuales son capaces de oxidar la materia orgánica y compuestos inorgánicos, como sulfuros presentes en el agua residual. El proceso Fenton o reactivo de Fenton es una solución de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y un catalizador de hierro (típicamente sulfato de hierro (II), FeSO₄). Fue desarrollado en la década de 1890 por Henry John Horstman Fenton. El proceso Fenton está considerado como un tratamiento muy prometedor para la regeneración de aguas residuales (Rubio y Chica, 2014, p. 213)

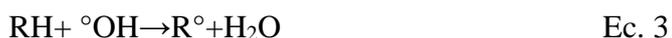
El proceso Fenton es una técnica de oxidación avanzada para la degradación de contaminantes orgánicos presentes en aguas, que se basa en procesos fisicoquímicos que producen cambios profundos en la estructura química de los contaminantes, en concreto, el radical hidroxilo, especie de oxígeno muy reactiva, que es capaz de oxidar

la materia orgánica y posee propiedades adecuadas para atacar a todos los compuestos orgánicos.

La generación catalítica de radicales hidroxilos, donde la especie oxidante primaria, se forma a partir de la reacción en cadena entre el ion férrico i el peróxido de hidrógeno en medio ácido. El mecanismo es el siguiente:



Los principales mecanismos de reacción que se llevan a cabo con estos últimos son abstracción de hidrógeno, adición a la estructura del contaminante o transferencia de carga (Ec. 3, 4 y 5, respectivamente).



Además, durante el sistema Fenton puede tener lugar el consumo de radicales $^\circ\text{OH}$, Un exceso de H_2O_2 y/o de iones de hierro al inicio del proceso, respecto de la cantidad de contaminante a tratar, limita la eficiencia del mismo (Ec. 6 y 7). De igual modo, puede producirse la recombinación de radicales $^\circ\text{OH}$ y/o la reacción de éstos con radicales HO_2° , traduciéndose en la reducción del rendimiento del proceso Fenton (Ec. 8 y 9).

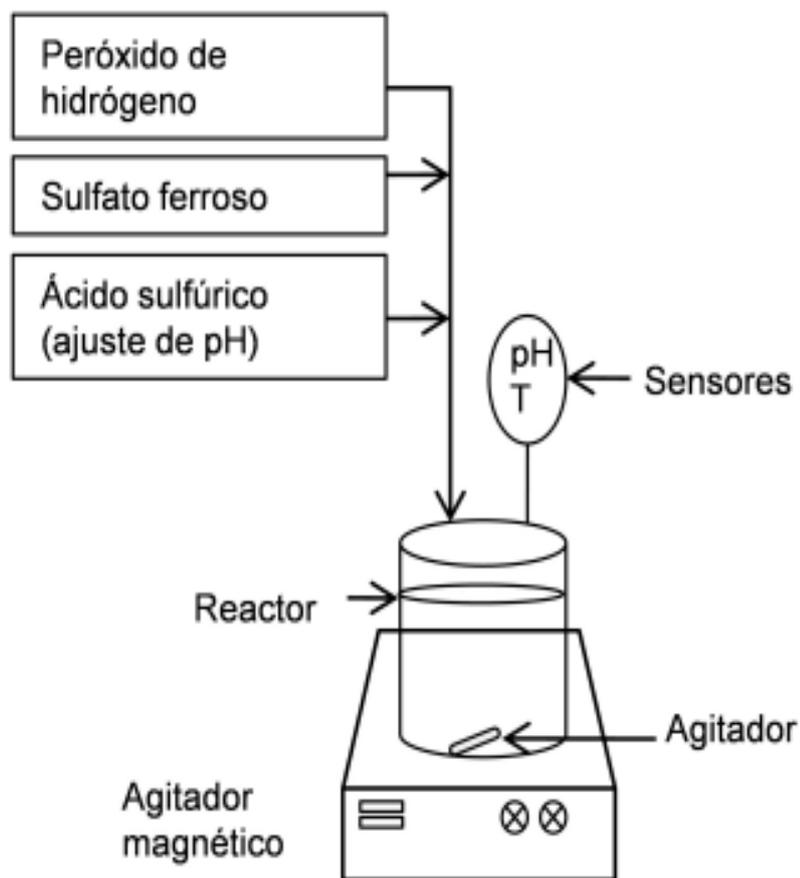


La reacción Fenton es un tratamiento muy útil para degradar contaminantes, ya que es muy efectiva en la generación de radicales hidroxilos. A pesar de esto, un exceso de iones Fe^{2+} o

bien un exceso de peróxido de hidrógeno, es contraproducente ya que favorecen las reacciones (Ec. 7, Ec. 8 y Ec. 9), que son reacciones competitivas que consumen los radicales hidroxilos evitando así que estos radicales reaccionen con el contaminante a degradar (Terán Solíz, 2016, p. 24-38).

Figura 1

Esquema del sistema de tratamiento de Fenton (Vargas Páramo, 2015, p. 6-10)



Este proceso se conoce por su alta efectividad en la descontaminación de aguas provenientes de efluentes residuales domésticos, industria petroquímica, textil, farmacéutica, papelera, entre otras. Fenton se puede obtener una degradación parcial o total de contaminantes inorgánicos y orgánicos persistentes, dando lugar a una disminución de la toxicidad del efluente (Lopez Ramirez; et al, 2021, p.76-87).

2.3. Definición de términos básicos

a. Eficiencia del proceso Fenton

En general, los Procesos de Oxidación Química Avanzada, tienen varias ventajas que los convierten en métodos con alta potencialidad para ser aplicados en la descontaminación de aguas residuales entre las cuales una de las más importantes es que los POA no cambian de fase al contaminante, sino que lo transforman químicamente. Así mismo, usando estos métodos es posible alcanzar la mineralización completa (transformación hasta CO_2 y H_2O) del contaminante. En cambio, las tecnologías convencionales, no alcanzan a oxidar completamente la materia orgánica generando la formación de compuestos que incluso pueden llegar a tener mayor toxicidad que el contaminante inicial, además, con los métodos tradicionales se requieren mayores tiempos de proceso y se generan mayor cantidad de lodos (García Herrera, 2014, p. 13).

b. Remoción de contaminantes

La remoción de contaminantes, mediante los procesos de Fenton, pueden usarse solos, combinados entre ellos o en cadena con métodos tradicionales logrando ser aplicados también a los contaminantes presentes en el aire y el suelo. Se ha demostrado que estos procesos permiten, incluso, la desinfección del agua a través de la inactivación de bacterias, parásitos y virus que pueden ser patógenos tanto para el ser humano como para animales y que generan un riesgo potencial a la población (p. 14).

c. Porcentaje de remoción de contaminantes

Los procesos de Oxidación Química-Fenton, son considerados como alternativas emergentes, dado su bajo costo y gran capacidad para la degradación total de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos del agua, ascendiendo al 98% de eficiencia (p. 21).

d. Parámetros fisicoquímicos

Las bases teóricas de estos parámetros se basan en los principios de la física y la química que rigen el comportamiento y las propiedades del agua, y cómo estos parámetros afectan la salud de los ecosistemas acuáticos (Ramirez Trujillo, 2023, p. 28).

e. Parámetros microbiológicos

Los parámetros microbiológicos del agua son medidas que evalúan la presencia y concentración de microorganismos en el agua. Las bases teóricas de estos parámetros están fundamentadas en los principios de la microbiología y la ecología microbiana. Incluyen microorganismos indicadores, que son organismos que indican la posible presencia de microorganismos patógenos. Ejemplos: Coliformes fecales y la *Escherichia coli* (*E. coli*) que son utilizados como indicadores de contaminación fecal, su presencia indica posible presencia de patógenos que se encuentran asociados con enfermedades transmitidas a través del agua (Trujillo Ramirez, 2023, p. 34).

f. Límite máximo permisible:

Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológico, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente (Becerra y Cadena, 2016, p. 18).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación de la zona de estudio

3.1.1. Ubicación Política

Región : Cajamarca

Departamento : Cajamarca

Provincia : Cajamarca

Distrito : Llacanora

Localidad : La Banda

3.1.2. Ubicación Geográfica

El distrito de Llacanora se encuentra enmarcado dentro de las siguientes coordenadas geográficas 7°11'40"S Latitud Sur y 78°25'25"O Longitud Oeste.

3.1.3. Altitud

La altitud de la zona de estudio es de 2,606 m.s.n.m

3.1.4. Superficie

La superficie del distrito de Llacanora es de 49.42 km².

3.1.5. Coordenadas del efluente de agua residual:

Este: 785651.41

Norte: 9202106.47

Elevación: 258

Figura 2

Ubicación de la zona de estudio, sector La Banda, distrito de Llacanora, provincia y departamento de Cajamarca

PLANO DE UBICACIÓN



UBICACIÓN DEPARTAMENTAL



UBICACIÓN DISTRITAL



LEYENDA	
SIMBOLO	DESCRIPCION
● (Blue)	VERTIMIENTO
● (Red)	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL
● (Green)	RIO CAJAMARQUINO

PUNTOS DE MUESTREO		
SIMBOLO	ESTE	NORTE
VERTIMIENTO	E785633.00	N9202096.00
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL	E785624.00	N9202124.00
RIO CAJAMARQUINO	E785640.95	N9202092.94

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA ESCUELA DE POSGRADO			
TÍTULO: "Eficiencia del proceso Fenton en el nivel de concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente de las aguas residuales domésticas, Llacanora - 2023"			
PLANO PLANO DE UBICACIÓN			
UBICACIÓN POLÍTICA DISTRITO :LLACANORA PROVINCIA :CAJAMARCA DPTO. :CAJAMARCA		AUTORANTE: TANIA JHAMILCE TACILLA CULQUI	
AREA:	PERÍMETRO:	ESCALA:	Nº
-	--	1/100	PU-01



3.2. Población, muestra y unidad de análisis

3.2.1. Población

La población presenta un caudal de 20.5 l/s de efluente de agua residual doméstica de Llacanora

3.2.2. Muestra

3 L de efluente (vertimiento) de agua residual doméstica – Llacanora, Por lo que, el experimento se desarrolló en base a tres dosis de reactivo Fenton y tres tiempos de reacción.

3.2.3. Unidad de análisis

Unidades de tratamiento (mg/L, °C y NMP/100 mL)

3.3. Métodos de investigación

Los diseños de investigación utilizados en el presente estudio fueron:

Tipo de investigación: Aplicada

Nivel de investigación: Descriptiva y explicativa

Diseño de investigación:

Control de variables: Experimental

Temporalidad: Transversal

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de información

3.5.1. Técnicas de recolección de datos

Para determinar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del efluente de Llacanora se consideró las siguientes técnicas de recolección de datos:

Prueba de jarras (jar test): Es una prueba de laboratorio utilizada en el tratamiento de aguas residuales para determinar las condiciones óptimas de tratamiento para un agua residual específica.

Manual de laboratorio: Documento que contiene información sobre los procedimientos, técnicas, medidas de seguridad, fórmulas y otras cuestiones técnicas que se utilizan en un laboratorio.

Protocolo de monitoreo de calidad de agua: Es una guía que permite estandarizar los criterios técnicos para el monitoreo ambiental del agua en el país, a fin de generar información de calidad, comparable, compatible, confiable y representativa.

3.5.1.1. Análisis Físicoquímico:

En pH, la manera más exacta para la medición del pH, es utilizando un pHmetro y dos electrodos, uno de referencia y otro de cristal. Un pHmetro es un voltímetro que posee dos electrodos; éstos al ser sumergidos en una solución, generan una corriente eléctrica.

En Aceites y grasas, el método de extracción Soxhlet es un método comúnmente utilizado para para la determinación de grasas y aceites en hidrocarburos, ya sea fracciones pesadas o relativamente polares del petróleo y cuando los niveles de grasas no volátiles pueden alterar el límite de solubilidad del solvente.

En Demanda química de oxígeno, el método colorimétrico de dicromato. Las ventajas de usar este método son que incluye gran precisión, resultados certificables y disminución de la interferencia del cloruro.

En Demanda bioquímica de oxígeno, consiste en incubar una muestra de agua en la oscuridad durante cinco días a una temperatura específica, generalmente 20°C.

En Temperatura, con un termómetro flexible mediremos la temperatura del agua. Para ello situaremos este a 10 cm por debajo de la superficie durante 30 segundos.

Una vez transcurrido ese tiempo, leeremos la temperatura que se ilumine anotándola posteriormente.

En sólidos suspendidos totales, el método gravimétrico determina el contenido real de sólidos mediante una combinación de filtrado, evaporación y peso.

3.5.1.2. Análisis Microbiológico:

Coliformes Termotolerantes, se usó la técnica del conteo Número más Probable NMP, el instrumento será el NMP/100 ml.

3.5.1.3. Ubicación del punto de muestreo

La localización de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, Llacanora. Se georreferenció con ayuda del GPS de marca Garmin modelo GPSMAP 64 SERIES se identifica el punto de emanación del efluente en las instalaciones para la obtención de las muestras del mismo para su posterior análisis, caracterización y remoción de los parámetros fisicoquímicos. En todo el proceso de monitoreo se tuvo en cuenta la RM N° 273 – 2013 VIVIENDA Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales

3.5.1.4. Materiales y equipos

En base a la RM N° 273 – 2013 VIVIENDA" Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales

El Monitoreo se desarrolló conforme a la normativa aplicable, asimismo avalado por el laboratorio SGS acreditado por INACAL. Para ello se consideró lo siguiente:

3.5.1.5. Materiales

Fichas de registro de campo

Cadena de custodia

Papel secante

Cinta adhesiva

Plumón indeleble

Frascos debidamente etiquetados

Hielo u otro refrigerante

Bolsas de poliburbujas u otro material de embalaje adecuado

Piseta

Agua destilada y/o desionizada

Solución amortiguadora de pH

Preservantes químicos a emplearse en el campo para la preservación de las muestras para la determinación de DQO, aceites y grasas, etc.

Pipeta

Cronómetro

Reloj

Cinta métrica

Vaso o probeta graduado de 1 L

Papel aluminio

Cooler

Cuerda de nylon de 0,5 al cm de diámetro de longitud suficiente para manipular los baldes de muestreo en los puntos de monitoreo.

3.5.1.6. Equipos

GPS CARMIN EXTREX 22K

Peachímetro PH-8424

SONY Videocámara FDR-AX700 4K HDR

3.5.1.7. Soluciones y reactivos

Agua destilada

Preservantes de muestra

Reactivos: Peróxido de hidrogeno, sulfato ferroso y ácido sulfúrico

3.5.1.8. Indumentaria de protección

Botas de seguridad

Gafas de seguridad

Guantes de jebe antideslizantes con cubierta de antebrazo

Guantes de látex descartables

Casco y mascarilla descartable

Arnés para profundidades mayores a 1,50 metros

Respirador con cartucho para gases y polvo

3.5.1.9. Precauciones durante el monitoreo

Se establecen las siguientes consideraciones para prevenir daños personales y de materiales y equipos durante el desarrollo del monitoreo de los afluentes y efluentes de la PTAR:

Si el acceso al punto de muestreo es profundo (mayor a 1,50m), está prohibido el ingreso para la toma de muestra. En tales casos, recoger las muestras con ayuda de un brazo telescópico o con un recipiente con lastre sujeto a una soguilla, pero guardando las medidas de seguridad (uso de arnés, chalecos flotadores, máscara antigases, etc.).

Si el punto de muestreo está confinado es necesario ventilarlo antes de realizar la toma de muestra en un período mínimo de una hora. Es necesario, además, usar un equipo de respiración autónoma.

Utilizar zapatos antideslizantes y cascos.

3.5.1.10. Muestreo

El objetivo del muestreo es tomar una muestra representativa del efluente de aguas residuales domésticas, Llacanora. Para analizar los parámetros de: Aceites y grasas, Coliformes Termotolerantes, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, pH, Sólidos Totales en Suspensión y Temperatura.

3.5.1.11. Recolección y transporte de muestras

Una vez ubicado el punto de muestreo del efluente de las aguas residuales domésticas, Llacanora se recolectó una muestra, con un total de 3 litros y se acondicionó en un cooler para ser trasladado al laboratorio Regional del agua, Cajamarca, donde se realizó los experimentos de análisis con la muestra contaminada.

3.5.1.12. Análisis y procesamiento de muestra en laboratorio

En esta etapa se desarrolló el análisis y procesamiento de muestra de los siguientes parámetros: Aceites y grasas, Coliformes Termotolerantes, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, pH, Sólidos Totales en Suspensión y Temperatura. en Suspensión y Temperatura. En el Laboratorio SGS acreditado por Instituto Nacional de Calidad (INACAL).

3.5.1.13. Experimento en laboratorio

Se realizó el proceso de oxidación química de Fenton. Para ello se utilizó los reactivos: Peróxido de hidrogeno H_2O_2 30%, Sulfato ferroso $FeSO_4$ y el ácido sulfúrico H_2SO_4 concentrado para reducir o neutralizar el pH. Para dicho análisis se empleó un lapso de tiempo de 2, 5 y 10 horas con una dosis de reactivo Fenton de 4, 10, 20 mg/L, el proceso Fenton está detallado en la figura 4.

3.5.2. Instrumentos de recolección de datos

Para ello se consideró los siguientes instrumentos:

Software estadístico Statgraphics: Es un software estadístico que permite analizar datos, desde procedimientos descriptivos hasta análisis predictivos. Se caracteriza por su interfaz intuitiva y por ofrecer una amplia variedad de técnicas de análisis en las diferentes investigaciones experimentales.

Laptop hp: Es un dispositivo informático portátil que contiene todos los componentes de una computadora de escritorio en un solo sistema, como la pantalla, el teclado, el panel táctil, los altavoces y los puertos de conexión. Es un instrumento muy importante en la recolección de datos y procesamiento de información de una investigación.

Herramientas: Es un recurso que permite a los investigadores recopilar, organizar, analizar, visualizar y publicar los resultados de sus investigaciones. Por lo que se consideró lo siguiente:

RM N° 273 - 2013 VIVIENDA" Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM - Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento Residuales Domésticas o Municipales

Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM - Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.

Manuales y Guías técnicas del proceso de Oxidación Química de Fenton.

3.5.2.1. Técnicas para el procedimiento de la información

Se utilizó el Software estadístico Statgraphics está diseñado para facilitar el análisis estadístico de datos. Mediante su aplicación es posible realizar un análisis descriptivo de una o varias variables, utilizando gráficos que expliquen su distribución o calculando sus medidas características. Entre sus muchas prestaciones, también figuran el cálculo de intervalos de confianza, contrastes de hipótesis, análisis de regresión, análisis multivariantes, así como diversas técnicas aplicadas en Control de Calidad (Batanero y Díaz, 2008) para realizar el diseño experimental de la investigación y validar el método de tratamiento para aguas residuales domésticas.

Microsoft Excel, esta herramienta se utilizó para el ingreso de las bases de datos. Puesto que, ofrece un conjunto de herramientas para el análisis de los datos (denominado Herramientas para análisis) con el que podrá ahorrar pasos en el desarrollo de análisis estadístico o de ingeniería (Vergara y Quesada, s/f).

El diseño de contrastación de resultados se realizó mediante el análisis estadístico del diseño de experimentos de superficie de respuesta Box-Behnken. Es un diseño experimental que permite ajustar superficies de respuesta mediante la combinación de diseños factoriales; el resultado es un diseño rotatable más eficiente en términos del número de ensayos requeridas respecto a otros diseños (Correa Sánchez, 2016, p. 20).

El diseño de experimentos de superficie de respuesta Box-Behnken. Se realizó con los parámetros que sobrepasan los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales establecidas en el DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM.

Para ello se consideró los siguientes valores para las variables independientes, debido a que en el Software estadístico Statgraphics, para el desarrollo del diseño de experimentos de superficie de respuesta Box-Behnken, se insertan datos (Mínimos, medios y máximos). Por ello se consideró tres datos para cada variable independiente.

Variables independientes

X1: Dosis Reactivo Fenton (4, 12 y 20 mg/L)

X2: Tiempo de Reacción (2, 6 y 10 horas).

X3: Parámetros - pH (2, 3 y 4)

En cuanto a la variable dependiente en el diseño de experimentos de superficie de respuesta Box-Behnken, la variable dependiente es la interrogación que necesitamos encontrar, para poder evidenciar el porcentaje de eficiencia del proceso Fenton en el nivel de concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, constatado estadísticamente.

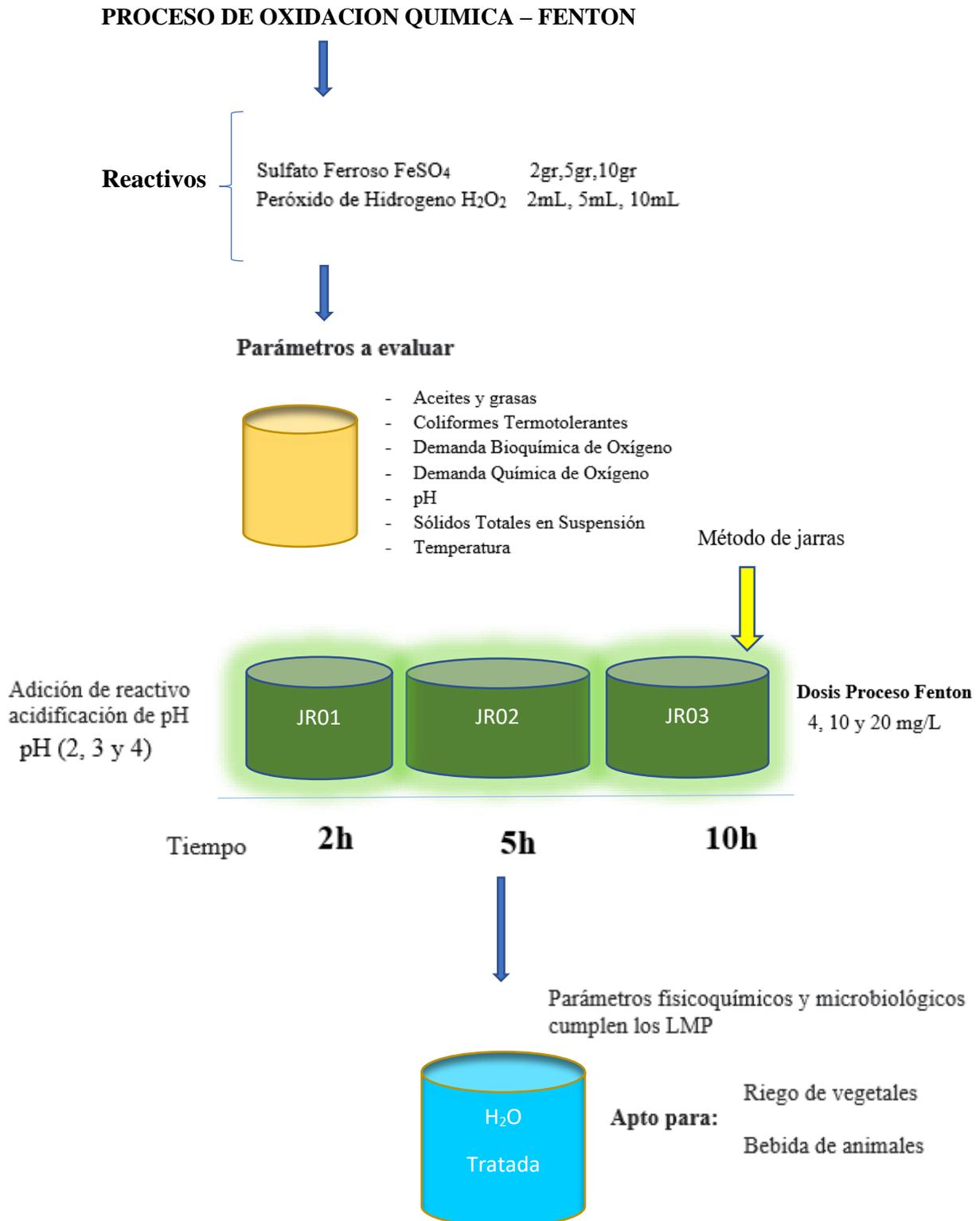
Variable dependiente:

Y1: Porcentaje de remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

3.6. Metodología

Figura 3

Proceso de oxidación química de Fenton



Para el tratamiento de estas aguas residuales mediante el proceso Fenton se llevó a cabo 03 muestras, las cuales fueron codificadas con:

Muestra N°2, tuvo un periodo de tiempo de tratamiento de 2 horas de agitación y se le agrego 2 ml de peróxido de Hidrogeno y 2g de sulfato de hierro.

Muestra N°5, tuvo un periodo de tiempo de tratamiento de 5 horas de agitación y se le agrego 5 ml de peróxido de Hidrogeno y 5gr de sulfato de hierro.

Muestra N°10, tuvo un periodo de tiempo de tratamiento de 10 horas de agitación y se le agrego 10 ml de peróxido de Hidrogeno y 10gr de sulfato de hierro.

Toma de muestras

- Punto monitoreado se realizó en la PTAR del distrito de Llacanora - Cajamarca.
- Para la toma de muestras se utilizó frascos de primer uso y esterilizados, los cuales son materiales especiales, que son requeridos para los análisis según cada método.
- Se codifico las muestras con el nombré de Muestra Cruda, Muestra 2, Muestra 5 y Muestra 10, los ensayos de las aguas tratadas fueron analizadas en el laboratorio SGS de Cajamarca.
- Se tomo 3 litros de agua cruda para cada muestra esta actividad se realizó en los tres tratamientos.
- Se agrego ácido sulfúrico 0.1 N a cada muestra para poder llevar a un pH acido, el proceso fenton se realiza de mejor manera en un medio acido. Se puede ver que se está midiendo el pH con el multiparámetro.
- Se peso 2, 5 y 10 gramos de Sulfato de hierro para poder agregarle a cada muestra cruda la cual será agitada.
- Se procedió agregar 2, 5 y 10 ml de peróxido de hidrogeno, para cada muestra cruda.
- Se agitó las muestras, la 2 en tiempo de dos horas, la 5 en tiempo de cinco horas y las 10 en tiempo de diez horas.
- Materiales y reactivos utilizados para los tratamientos de las muestras, fiolas, Agitador magnético, micropipetas, balanza analítica, reactivos sulfato de hierro y peróxido de hidrogeno y ácido sulfúrico.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Concentración de los parámetros físicos del agua residual doméstica, Llacanora, 2023.

A continuación, se presentan los valores más representativos de los parámetros físicos, iniciando con la tabla 3 del parámetro Potencial de Hidrogeno – pH.

Tabla 3

Potencial de Hidrogeno y LMP- DS-003-2010MINAM

Potencial de Hidrogeno- pH			
Estaciones de muestreo			
Estación	Efluente	LMP-DS-003-2010 MINAM	LMP-DS-003-2010 MINAM
Estación 01	3.6	6.5	8.5

En la tabla 3, se evidencia que el parámetro de potencial de hidrogeno – pH, es ácido. Un valor de pH muy bajo o muy alto puede ser perjudicial para tus plantas, por lo que es importante conseguir alcanzar el valor adecuado. La mayoría de los nutrientes se disuelven fácilmente, lo cual puede dar lugar a un exceso de magnesio, aluminio y hierro. Lo que indica que el efluente de agua residual doméstica afecta de manera significativa el medio ambiente. Puesto que, aguas abajo a unos metros de distancia, dichas aguas son utilizadas para riego de vegetales de tallo corto y bebida de animales.

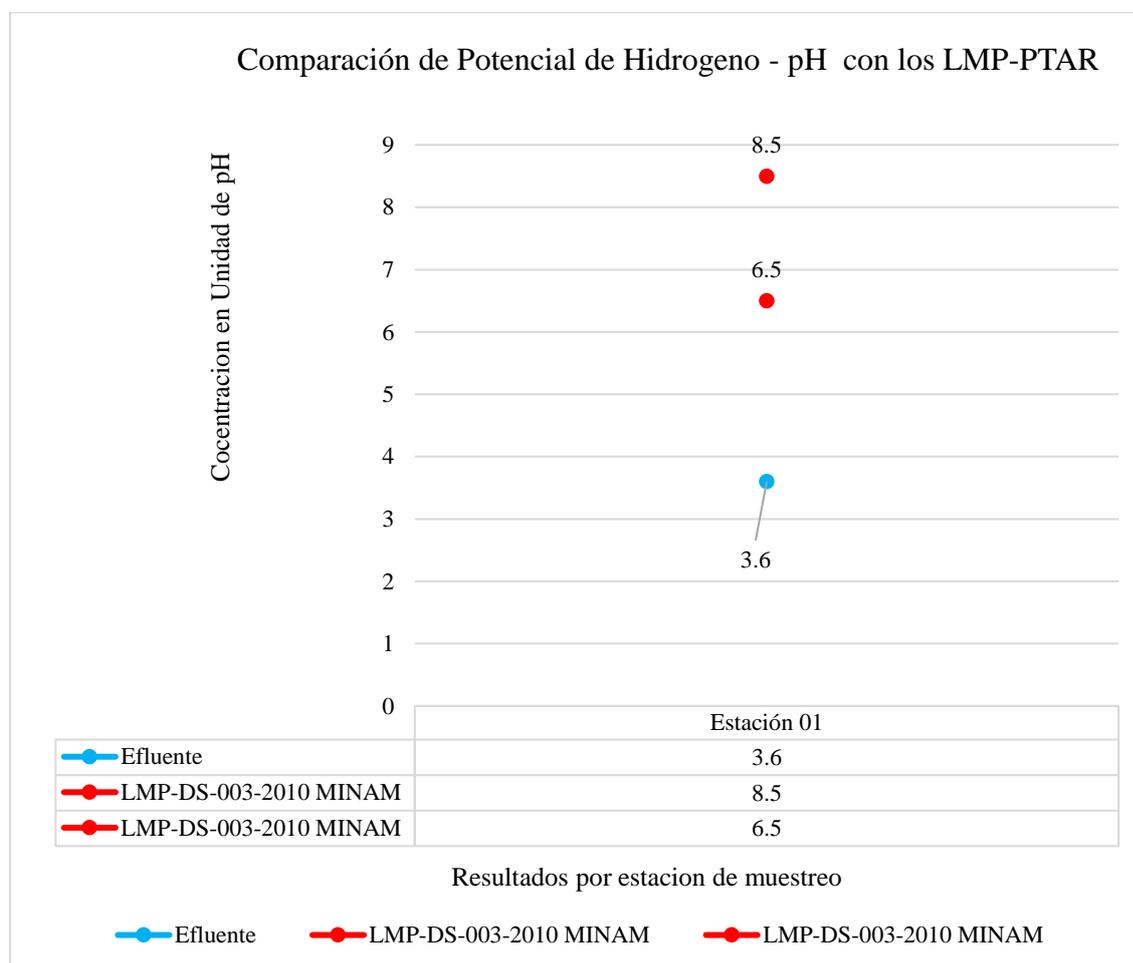
Las normas de vertimiento requieren valores en el rango entre 6 y 8.5, de esta manera, este procedimiento constituye un proceso de pretratamiento en muchos residuos industriales y

domésticos. La importancia de obtener un nivel de pH constante en la salida del proceso radica en garantizar niveles de salubridad de las aguas para su posterior vertido en ríos (p. 11).

Sin embargo, en la presente investigación se evidenció que hay deficiencia en el tratamiento de aguas residuales que ingresan a la planta de tratamiento de aguas residuales domesticas del Distrito de Llacanora, Sector La banda.

Figura 4

Comparación del parámetro de potencial de hidrogeno con los LMP-DS-003-2010 MINAM



Según la Tabla 3 y figura 4 detallan la comparación con el DS – 003 -2010 MINAM, Límites Máximos Permisibles para efluentes de agua residual doméstica, evidenciando que dicho parámetro se encuentra por debajo de la normativa, indicando un valor ácido.

Puesto que indica un pH ácido, trae consigo fuertes consecuencias, afectando principalmente el crecimiento y desarrollo de las plantas de tallo corto. De tal manera que se vuelve un peligro para la salud y el medio ambiente.

Asimismo, Oliveros Betance (2021) señala que el pH de las aguas residuales se puede modificar mediante el uso de productos químicos como el ácido sulfúrico para disminuir el pH, o el hidróxido de sodio para aumentarlo. Además, los sistemas de tratamiento biológico también pueden influir en el pH (p.18).

Tabla 4

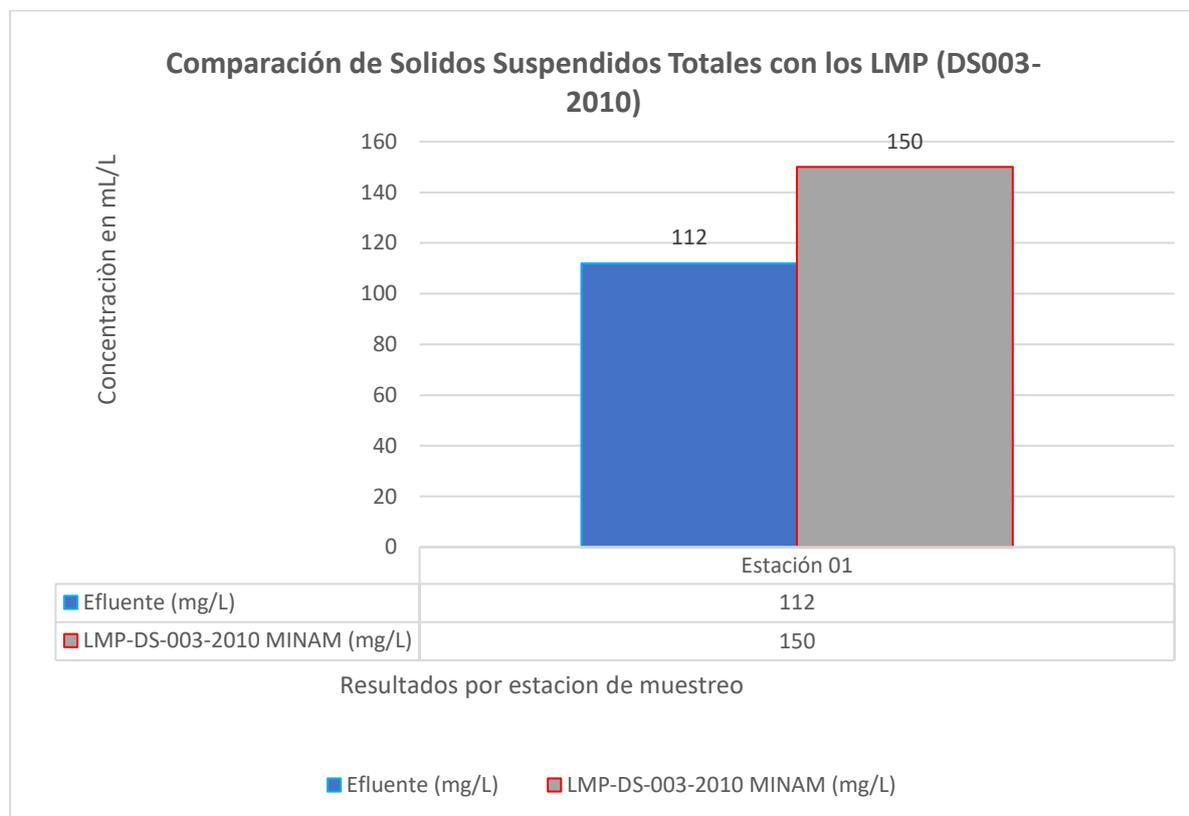
Sólidos suspendidos totales y LMP- DS-003-2010MINAM

Sólidos Suspendidos Totales		
Estaciones de Muestreo		
Estación	Efluente (mg/L)	LMP-DS-003-2010 MINAM (mg/L)
Estación 01	112	150

En la tabla 4, se evidencia que el parámetro de sólidos suspendidos totales se encuentra dentro de la normativa aplicable, DS-003-2010 MINAN, Límites Máximos Permisibles para efluentes de agua residual doméstica. Quispe Quispe (2021) señala que los sólidos suspendidos totales son retenidos en las membranas de filtración en relación a una cantidad de agua. Además, de ser un indicador que se relaciona con la cantidad de luz que atraviesa el cuerpo lotico. La cual es primordial para que exista la fotosíntesis y mantener el oxígeno (p. 19).

Figura 5

Comparación del parámetro de sólidos suspendidos totales y LMP- DS-003-2010MINAM.



Según la Tabla 4 y figura 5 detallan la comparación con el DS – 003 -2010 MINAM, Límites Máximos Permisibles para efluentes de agua residual doméstica, evidenciando que dicho parámetro se encuentra dentro de la normativa. Asimismo, Torres y Lozano (2017) indican que, numerosas partículas arrancadas del suelo y arrastradas a las aguas, junto con otros materiales que hay en suspensión en las aguas, son, en términos de masa total, la mayor fuente de contaminación del agua. La turbidez que provocan en el agua dificulta la vida de algunos organismos, y los sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación o desove de los peces, rellenan lagos o pantanos, obstruyen canales y ríos (p. 4).

Tabla 5*Temperatura y LMP- DS-003-2010MINAM*

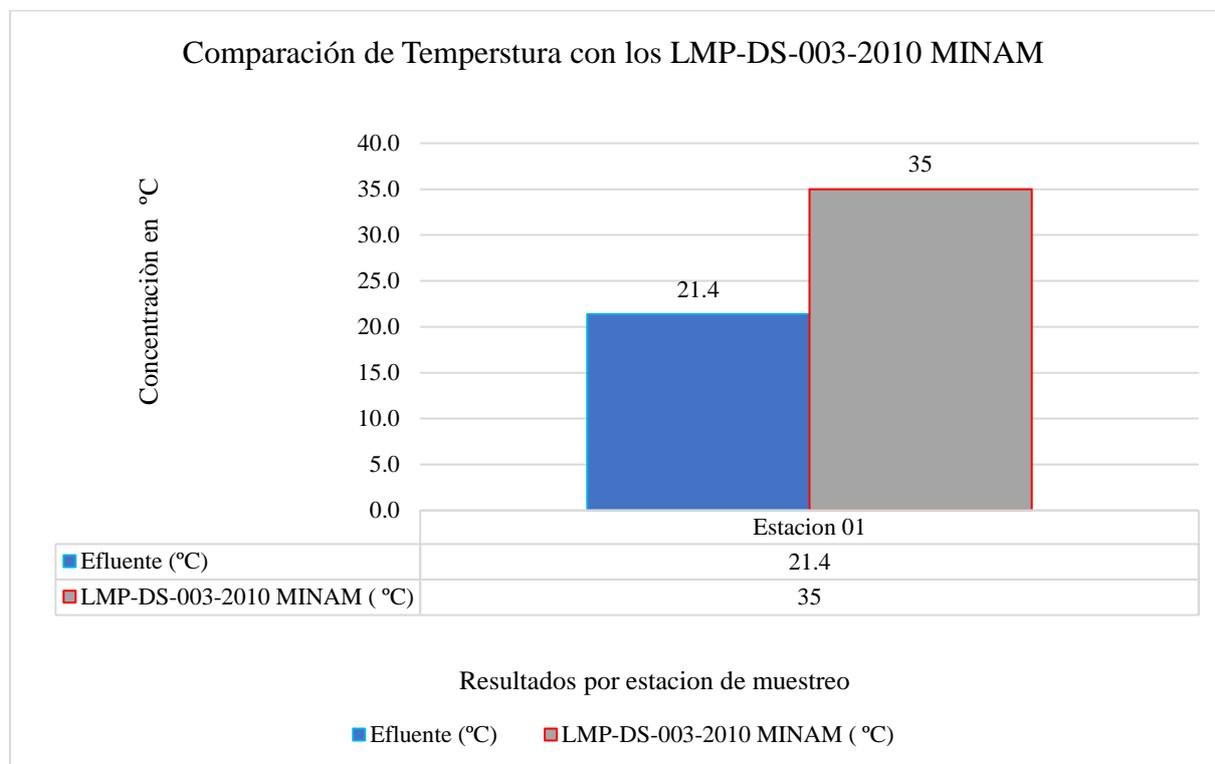
Parámetro de Temperatura		
Estaciones de Muestreo		
Estación	Efluente (°C)	LMP-DS-003-2010 MINAM (°C)
Estación 01	21.4	35

En la tabla 5, se evidencia que el parámetro de temperatura se encuentra dentro de la normativa aplicable, DS-003-2010 MINAN, Límites Máximos Permisibles para efluentes de agua residual doméstica.

La temperatura al interior de los procesos de tratamiento de aguas residuales es un parámetro de vital importancia debido a que ésta puede modificar las características del agua, altera la vida acuática, modifica la concentración de saturación en oxígeno disuelto (OD) y la velocidad de las reacciones químicas y de la actividad bacteriana. Para actividades biológicas y desarrollo de la actividad bacteriana, la temperatura óptima oscila de 20°C a 35°C, por encima de estos valores la digestión aeróbica y la nitrificación se suspenden y cuando se encuentran por debajo del mencionado rango de operación, la digestión metanogénica es muy lenta y las bacterias autotróficas nitrificantes dejan de operar (Ramírez Jiménez, 2021, p. 2).

Figura 6

Comparación del parámetro de temperatura y LMP- DS-003-2010MINAM.



Según la Tabla 5 y figura 6 detallan la comparación con el DS – 003 -2010 MINAM, Límites Máximos Permisibles para efluentes de agua residual doméstica, evidenciando que dicho parámetro se encuentra dentro de la normativa. Es importante conocer la temperatura del agua con toda precisión, este factor físico es significativo en la variabilidad de los coeficientes de solubilidad de las sales y principalmente de los gases, afecta los valores de medición de la conductividad, del pH. Orozco y Ruben (2020) señalan que un indicador adecuado en el conocimiento del origen del agua y de eventuales mezclas, etc. De modo general, la temperatura de las aguas superficiales está influenciada por la temperatura del aire y los procesos de mezcla convectiva y corrientes, generadas por la acción del viento y su posible estratificación en el caso de aguas profundas (estudios batimétricos) (p. 5).

4.2. Concentración de los parámetros químicos del agua residual doméstica, Llacanora, 2023.

A continuación, se presentan los valores más representativos de los parámetros químicos, iniciando con la tabla 6 del parámetro de aceites y grasas.

Tabla 6

Aceites y grasas y LMP- DS-003-2010MINAM

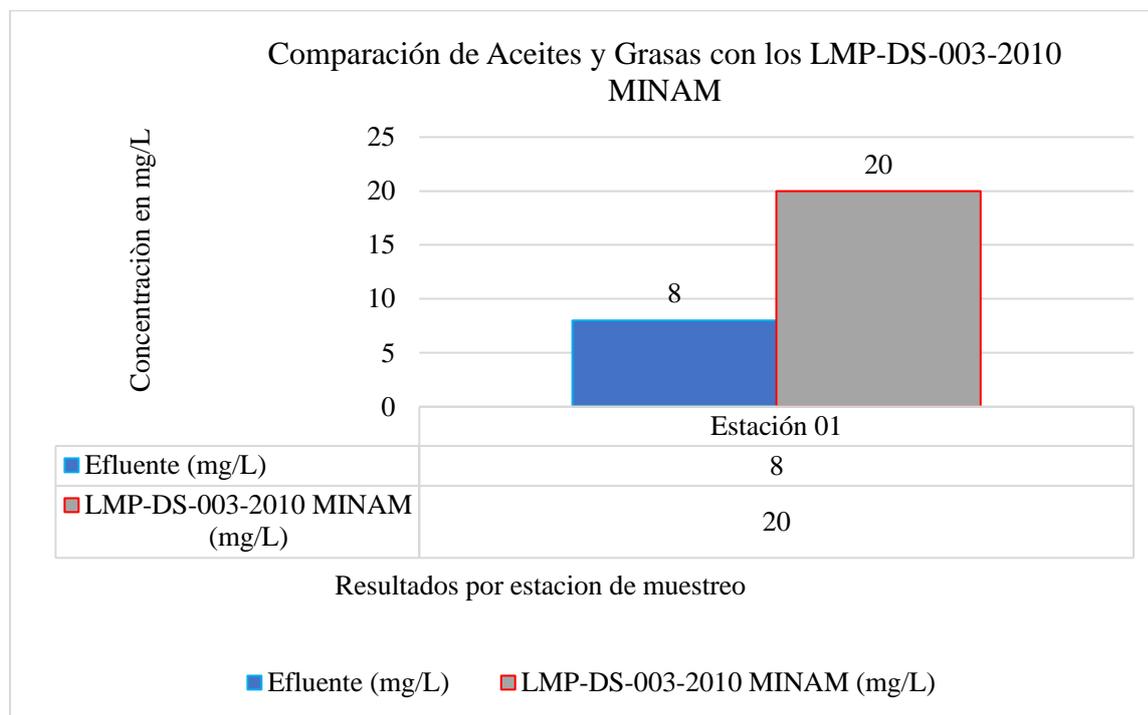
Parámetro de Aceites y Grasas		
Estaciones de Muestreo		
Estación	Efluente (mg/L)	LMP-DS-003-2010 MINAM (mg/L)
Estación 01	8	20

En la tabla 6, se evidencia que el parámetro de aceites y grasas se encuentra dentro de la normativa aplicable, DS-003-2010 MINAN, Límites Máximos Permisibles para efluentes de agua residual doméstica. Se sabe que, algunos de los contaminantes que más problemas causan en el tratamiento de aguas residuales, son las grasas y aceites, la presencia de este parámetro en los efluentes industriales no sólo provocan problemas en el tratamiento de estas, sino que también dan lugar a la contaminación del suelo y los cuerpos de agua donde éstas son descargadas.

Las grasas y aceites que son altamente estables, inmiscibles con el agua, proceden de desperdicios alimentarios en su mayoría, a excepción de los aceites minerales que proceden de otras actividades. Al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Estas natas entorpecen cualquier tipo de tratamiento, biológico o físico-químico, por lo que es recomendable que las grasas y aceites sean eliminados en los primeros pasos del tratamiento de las aguas residuales (Vidales y Magallanes, 2010, p. 2).

Figura 7

Comparación del parámetro de aceites y grasas y LMP- DS-003-2010MINAM.



Según la Tabla 6 y figura 7 detallan la comparación con el DS – 003 -2010 MINAM, Límites Máximos Permisibles para efluentes de agua residual doméstica, evidenciando que dicho parámetro se encuentra dentro de la normativa. Puesto que, las grasas son compuestos orgánicos que se forman de carbono, hidrógeno y oxígeno, siendo la fuente más concentrada de energía en los alimentos. Pertenecen al grupo de las sustancias llamadas lípidos y vienen en forma líquida o sólida. Todas las grasas son combinaciones de los ácidos grasos saturados y no saturados.

Las industrias se han ido incrementando día con día generando empleo y dan satisfacción a las necesidades del ser humano; sin embargo, han contribuido a su vez a la contaminación y agotamiento del agua ya que la mayoría de las industrias requieren de este líquido para la realización de sus procesos. Una alternativa sugerida para la reducción del uso del agua por la industria es la reutilización de la misma. Sin embargo, la reutilización no es común ya que es necesario que las condiciones del líquido sean de calidad, o al menos que el

contenido de sales en el agua de proceso sea mínimo, para que no se alteren sus procesos. Un aspecto importante es que en el transcurso del tratamiento se presentan problemas en la eliminación de algunos parámetros, sobre todo en la eliminación de las grasas, que son difíciles de metabolizar por las bacterias por lo que éstas flotan formando una película densa en el agua. Además de provocar taponamientos en los sistemas de desagües, también las grasas y aceites son nocivos para el desarrollo de los vegetales ya que los exterminan. La aplicación de los métodos de adsorción de grasas tiene la finalidad de separar el aceite y las grasas de las aguas residuales, según las especificaciones de la norma aplicada a su cumplimiento (Vidales y Magallanes, 2010, p. 2).

Tabla 7

Demanda bioquímica de oxígeno y LMP- DS-003-2010MINAM

Parámetro de Demanda Bioquímica Oxígeno		
Estaciones de Muestreo		
Estación	Efluente (mg/L)	LMP-DS-003-2010 MINAM (mg/L)
Estación 01	171.5	100

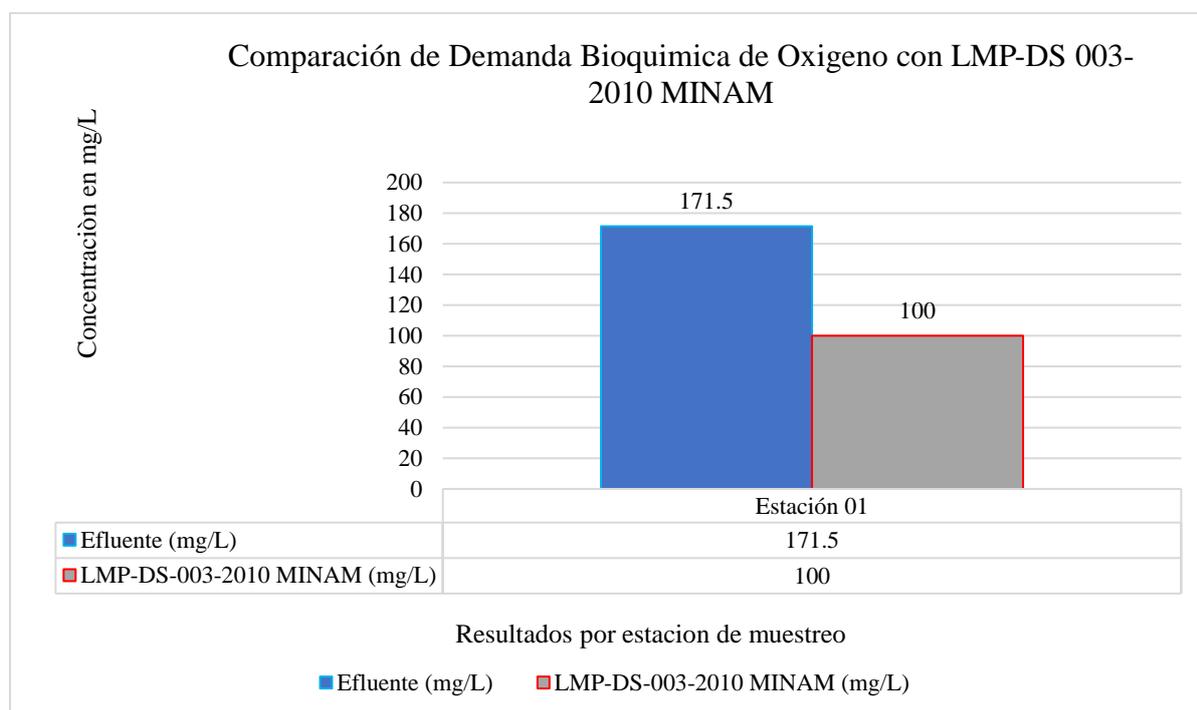
En la tabla 7, se evidencia que el parámetro de demanda bioquímica de oxígeno, sobrepasa la normativa aplicable, DS-003-2010 MINAN, Límites Máximos Permisibles para efluentes de agua residual doméstica. Puesto que los contaminantes orgánicos dan como resultado la disminución del oxígeno, producto de la degradación biológica de los compuestos. La degradación biológica de sustancias orgánicas produce ácidos grasos, carbohidratos, aminoácidos e hidrocarburos; y las sustancias inorgánicas en el caso de metales tóxicos, de material particulado como arcillas y sedimentos; y de microorganismos como bacterias y protozoos

En el caso de los contaminantes residuos que demandan oxígeno, afectan a las corrientes de agua como a las aguas estancadas. El alto contenido orgánico favorece el crecimiento de bacterias y hongos. El oxígeno utilizado para la oxidación de la materia

orgánica, consume el oxígeno utilizado para el desarrollo de la fauna y flora acuática. Entre los efectos al ecosistema, se encuentra el cambio en la calidad del agua, y la posible elevación del pH, provocando la desaparición de peces y plantas (Raffo y Ruiz, 2014, p. 75).

Figura 8

Comparación del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno y LMP- DS-003-2010MINAM.



Según la Tabla 7 y figura 8 detallan la comparación con el DS – 003 -2010 MINAM, Límites Máximos Permisibles para efluentes de agua residual doméstica. Indicando que dicho parámetro sobrepasa la normativa aplicable. La calidad del agua se controla por las autoridades para proteger la salud de los usuarios y otros efectos de mala calidad del agua. Un nivel alto de dicho parámetro, puede indicar la existencia de contaminación fecal o partículas de carbón orgánico disuelto provenientes de diferentes fuentes que no son de humanos o animales. Esta clase de contaminación puede afectar seriamente la salud de los humanos y causa problemas en la industria (Stella Gaitan, 2023, p. 2).

Los niveles elevados de demanda bioquímica de oxígeno en el agua pueden indicar la presencia de contaminantes orgánicos, que pueden provocar el agotamiento del oxígeno y tener repercusiones negativas en los ecosistemas acuáticos (p. 2).

Tabla 8

Demanda química de oxígeno y LMP- DS-003-2010MINAM

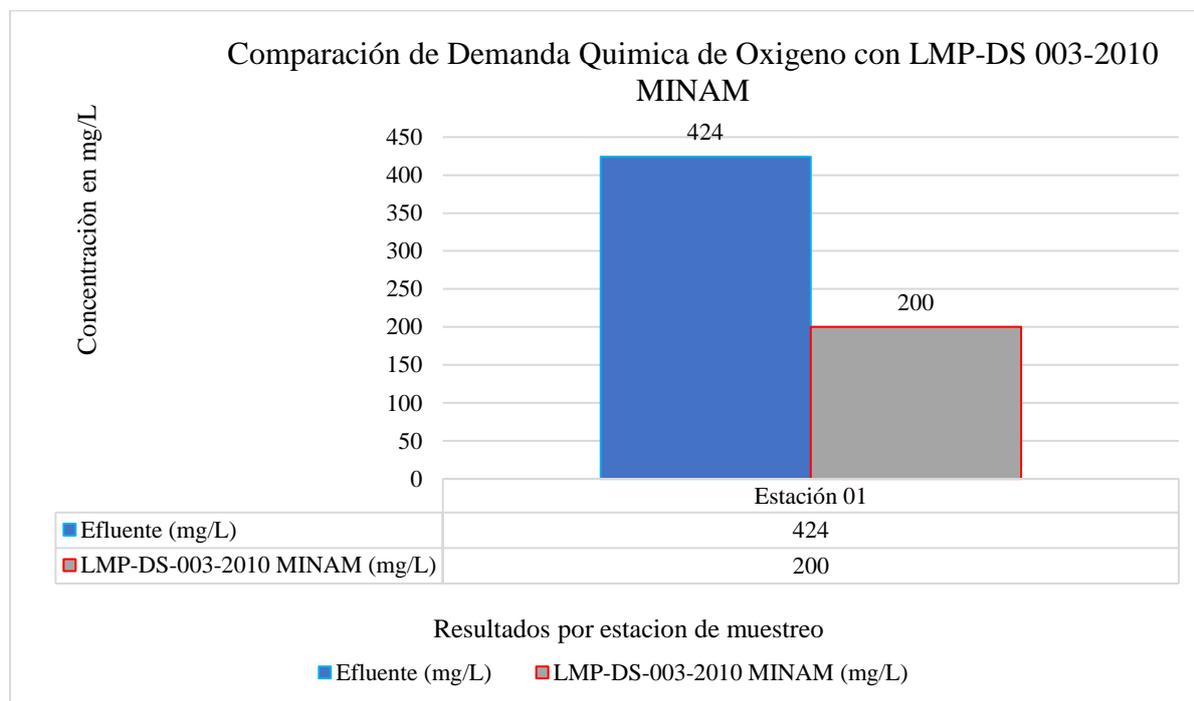
Demanda Química de Oxígeno		
Estaciones de Muestreo		
Estación	Efluente (mg/L)	LMP-DS-003-2010 MINAM (mg/L)
Estación 01	424	200

En la tabla 8, se evidencia que el parámetro de demanda química de oxígeno, sobrepasa la normativa aplicable, DS-003-2010 MINAN, Límites Máximos Permisibles para efluentes de agua residual doméstica. Se sabe que, la contaminación del agua procedente de fuentes difusas es el resultado de un amplio grupo de actividades humanas, donde los contaminantes no tienen un punto preciso de ingreso en los cursos de agua que los reciben, es decir, pueden introducirse en cualquier punto del ciclo hidrológico

El nivel de contaminación de las aguas residuales, en especial la generada por residuos domésticos e industriales, se mide, habitualmente, a través de parámetros globales: Demandas de oxígeno, demanda biológica de oxígeno (DBO₅) y demanda química de oxígeno (DQO), entre otros. Es uno de los parámetros más efectivos en el control de la calidad del agua; constituye la cantidad de oxidante químico que se necesita para poder oxidar los materiales contenidos en el agua y se expresa en mg de O₂/l. Cuantifica la cantidad de materia orgánica total susceptible de oxidación química (biodegradable y no biodegradable) que hay en una muestra líquida y se utiliza para establecer un nivel de contaminación (Rosabal y Chang, 2012, p. 16).

Figura 9

Comparación del parámetro de demanda química de oxígeno y LMP- DS-003-2010MINAM.



Según la Tabla 8 y figura 9 detallan la comparación con el DS – 003 -2010 MINAM, Límites Máximos Permisibles para efluentes de agua residual doméstica. Desde el punto de vista ambiental, dicho parámetro, mide el equivalente en oxígeno de la fracción de materia orgánica presente en la muestra de agua residual que es susceptible de oxidación, en medio ácido, a altas temperaturas, en presencia de un oxidante fuerte como por ejemplo el dicromato de potasio. Esta materia orgánica en condiciones naturales puede ser biodegradada (oxidada) lentamente a CO_2 y H_2O . La demanda química de oxígeno del agua residual suele ser mayor que la demanda bioquímica de oxígeno porque es superior el número de compuestos que pueden oxidarse por vía química que biológica. Los valores de DQO se relacionan con los de DBO_5 en proporciones que varían de acuerdo a los componentes asociados a la materia orgánica en degradación. Esta relación es de gran importancia para determinar el tipo de contaminación de las aguas y la biodegradabilidad de la materia contaminante. Ello puede resultar muy útil porque la DQO

presenta la ventaja que puede determinarse en pocas horas comparado con los 5 días que supone la DBO (Calero y Brena, 2023, p. 22).

4.3. Concentración de los parámetros microbiológicos del agua residual doméstica, Llacanora, 2023.

A continuación, se presentan los valores más representativos de los parámetros microbiológicos, como se muestra en la tabla 9 del parámetro de coliformes termotolerantes.

Tabla 9

Coliformes termotolerantes y LMP- DS-003-2010MINAM

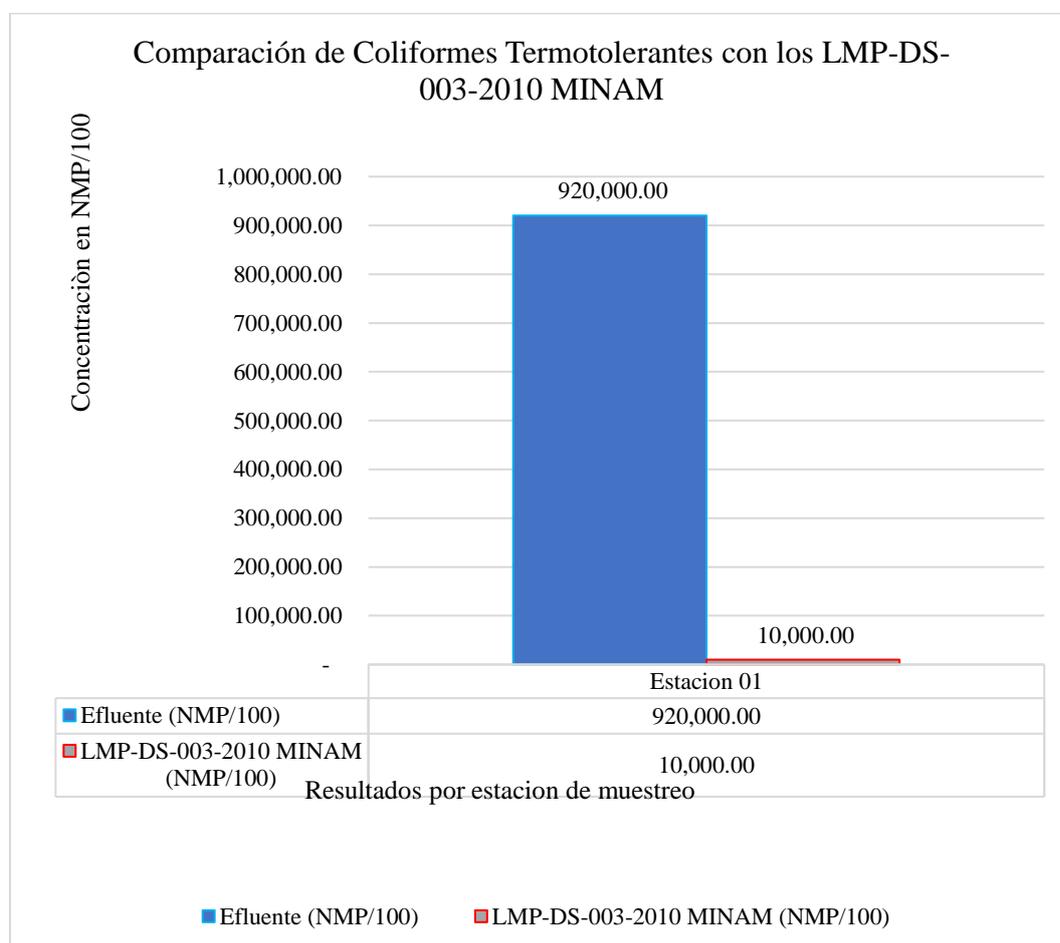
Coliformes Termotolerantes		
Estaciones de Muestreo		
Estación	Efluente (NMP/100)	LMP-DS-003-2010 MINAM (NMP/100)
Estación 01	920,000.00	10,000.00

En la tabla 9, se evidencia que el parámetro de coliformes termotolerantes, sobrepasa la normativa aplicable, DS-003-2010 MINAN, Límites Máximos Permisibles para efluentes de agua residual doméstica. Los indicadores de contaminación fecal más utilizados como abundancia de coliformes totales y termotolerantes, *Escherichia coli* y el grupo *Enterococcus*; presentan limitaciones, tales como la dificultad de cultivar aquellas provenientes de aguas marinas, la existencia de fuentes no humanas, su potencial habilidad para multiplicarse después de su liberación en la columna de agua y debilidad frente a los procesos de desinfección, entre otras. Las actividades humanas pueden generar contaminación difusa (la escorrentía superficial terrestre de áreas urbanas, residenciales y agrícolas) y/o puntual (animales como el ganado que defecan directo en el agua o por escorrentía, descarga de plantas de tratamiento de aguas residuales y desbordamiento de alcantarillado combinado (González Pérez, 2021, p. 30).

Asimismo, la salud de las personas se ve influenciada por muchos factores, entre estos factores se encuentra el consumo de agua contaminada que podrá producir diarrea la cual es ocasionada por una variedad de gérmenes, entre ellos los virus, las bacterias y los protozoos. Otra enfermedad es el cólera que es una infección bacteriana aguda del intestino que causa numerosos episodios de diarrea, los cuales pueden derivar en deshidratación aguda y provocar la muerte si no se los trata de inmediato (González Pérez, 2021, p. 30).

Figura 10

Comparación del parámetro de coliformes termotolerantes y LMP- DS-003-2010MINAM.



Según la Tabla 9 y figura 10 detallan la comparación con el DS – 003 -2010 MINAM, Límites Máximos Permisibles para efluentes de agua residual doméstica. La contaminación de los cuerpos naturales de agua es una problemática que se presenta en la actualidad, principalmente en los países en vías de desarrollo, debido a que los desechos domésticos e industriales se

vierten a estos ecosistemas acuáticos sin tratamiento previo o pobremente tratados y por lo que constituyen una fuente constante de deterioro del medio ambiente. El control de la calidad sanitaria de los recursos del ambiente puede llevarse a cabo mediante la enumeración de bacterias indicadoras de contaminación fecal. Estas bacterias pueden ser utilizadas para valorar la calidad de los alimentos, sedimentos y aguas destinadas al consumo humano, la agricultura, la industria y la recreación. No existe un indicador universal, por lo que se debe seleccionar el más apropiado para la situación específica en estudio (Larrea y Rojas, 2013, p. 25).

4.4. Eficiencia del proceso Fenton

4.4.1. Eficiencia del proceso Fenton en la concentración de demanda bioquímica de oxígeno

Tabla 10

Eficiencia del proceso Fenton en la concentración de demanda bioquímica de oxígeno

Parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno				
PROCESO FENTON				
Tratamientos	Efluente ARD (mg/L)	Dosis Fenton(mg/L)	Tiempo de reacción(h)	LMP-DS003-2010MINAM
t0	171.5	0	0	100
t1	68.9	4	2	100
t2	27.2	10	5	100
t3	12.4	20	10	100

Calculando el porcentaje de eficiencia según fórmula:

$$= \frac{(171.5 - 12.4)}{171.5} \times 100$$

$$= 92\%$$

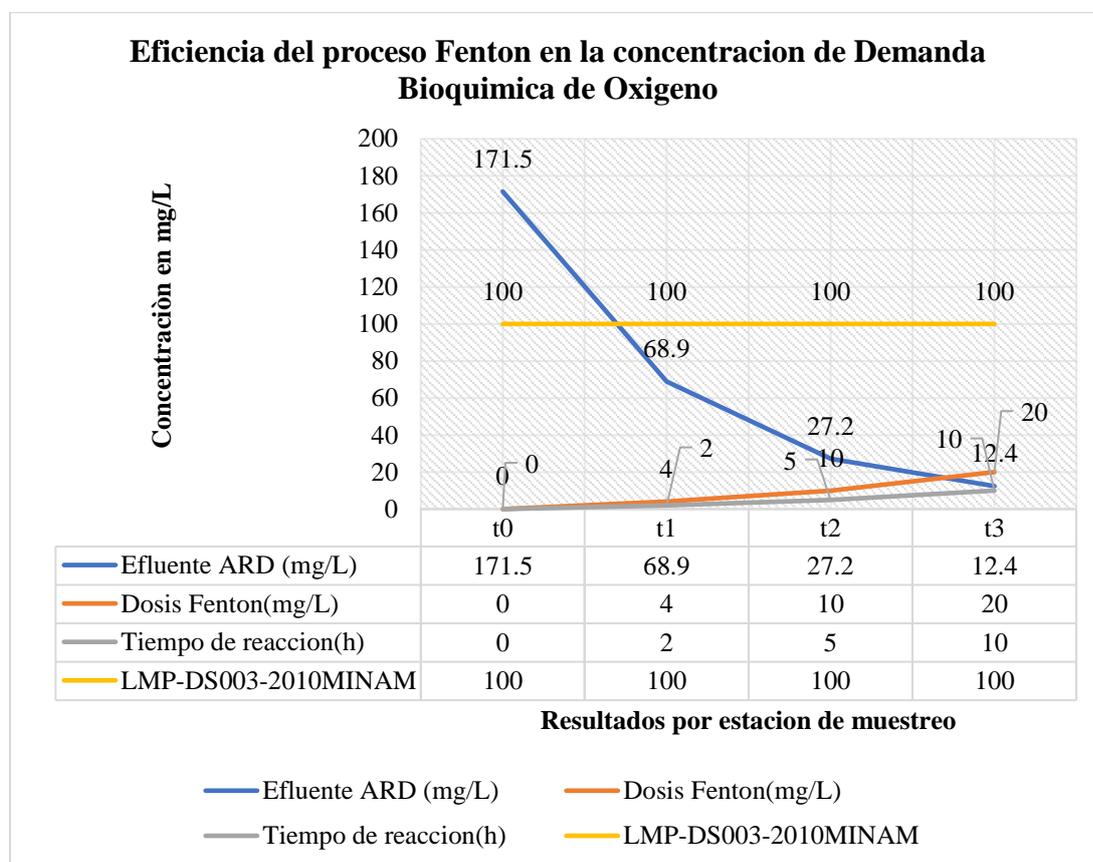
Indicando que el proceso Fenton presenta una eficiencia de 92% en la remoción de la concentración del parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno. Constatado con el análisis estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99.3373% de la variabilidad

en Porcentaje de remoción DBO₅. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 98.1444%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 1.52753.

Además, el valor de R-cuadrada nos indica que en este caso diseño factorial Box-Behnken se ajusta a los datos, por lo que, es adecuado para el desarrollo del experimento.

Figura 11

Eficiencia del proceso Fenton en la concentración de demanda bioquímica de oxígeno



Para facilitar la interpretación de los valores encontrados después del proceso Fenton; Según los datos arrojados nos indica que a más tiempo de reacción y dosis de reactivo Fenton, la concentración de la muestra contaminante logra reducir de manera significativa una diferencia de 159.1 mg/L, con una eficiencia de 92% de remoción de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Según, Guillermo Ramirez (2011) en su estudio de investigación, menciona que realizó un muestreo de calidad de agua, durante los meses de agosto a noviembre, en la cual se realizaron mediciones de los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua residual, como la temperatura, pH, sólidos suspendidos totales, DBO₅, DQO, OD y coliformes fecales, tanto en el afluente total del sistema, donde la Demanda Química de Oxígeno arrojó una concentración de 516.03 mg/L, encontrándose con concentraciones muy altas, que están por encima de los Estándares de Calidad Ambiental para agua (Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de animales), de la misma forma sobrepasa los límites máximos permisibles para vertidos a cuerpos receptores del río Mantaro. Coincidiendo con el estudio realizado, en cuanto al parámetro de la demanda bioquímica de oxígeno, que presentó un valor por encima de los Límites Máximos permisibles.

4.4.2. Eficiencia del proceso Fenton en la concentración de demanda química de oxígeno

Tabla 11

Eficiencia del proceso Fenton en la concentración de demanda química de oxígeno

Parámetro de Demanda Química de Oxígeno				
PROCESO FENTON				
Tratamientos	Efluente ARD (mg/L)	Dosis Fenton(mg/L)	Tiempo de reacción(h)	LMP-DS003- 2010MINAM
t0	424	0	0	200
t1	253.2	4	2	200
t2	119	10	5	200
t3	67.1	20	10	200

Calculando el porcentaje de eficiencia según formula:

$$= \frac{(424 - 67.1)}{424} \times 100$$

$$= 84\%$$

Indicando que el proceso Fenton presenta una eficiencia de 84% en la remoción de la concentración del parámetro Demanda Química de Oxígeno.

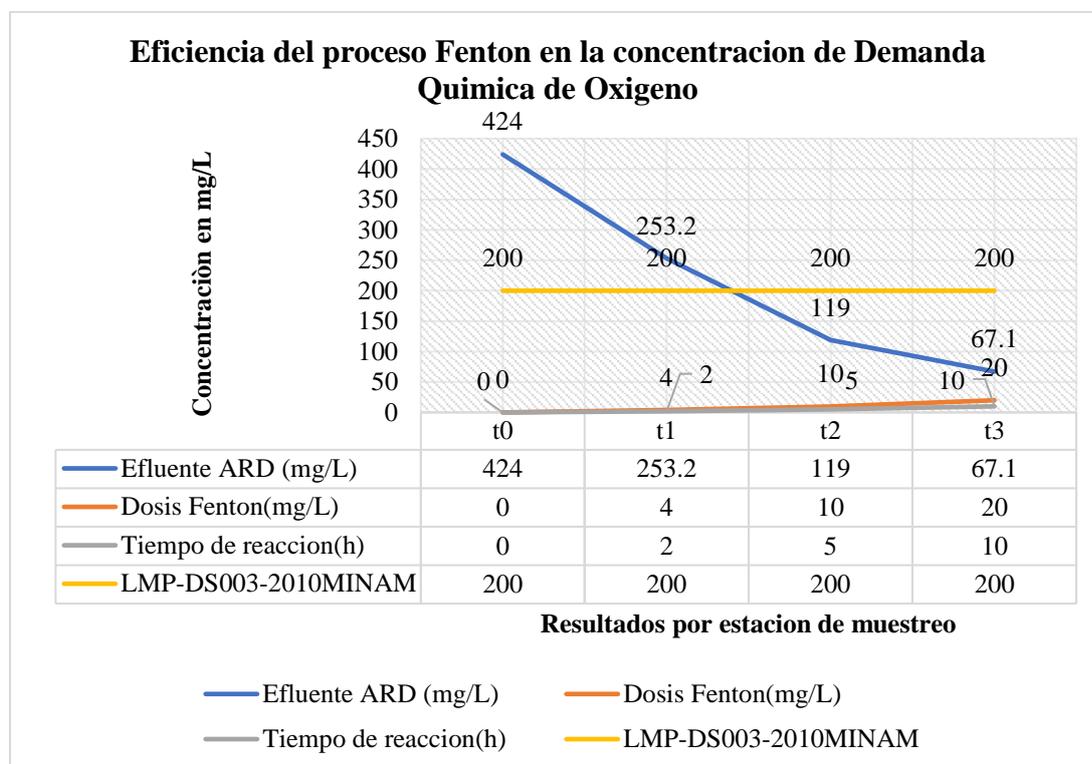
Constatado con el análisis estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99.2855% de la variabilidad en Porcentaje de remoción DQO. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 97.9994%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 1.86637.

Además, el valor de R-cuadrada nos indica que en este caso diseño factorial Box-Behnken se ajusta a los datos, por lo que, es adecuado para el desarrollo del experimento.

Asimismo, León y Medina (2020) mencionan que, los procesos de oxidación avanzada constituyen una buena alternativa, ya que, además de lograr reducir significativamente la carga contaminante son de bajo costo y fácil de manejo. De esta manera el proceso de oxidación avanzada denominado Fenton transforma químicamente el contaminante para alcanzar su mineralización y oxidación completa. El tratamiento es óptimo para aguas residuales industriales con porcentajes elevados de demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), turbidez y carbono orgánico total (COT), logrando un porcentaje de remoción de 90 a 95%. A diferencia del estudio realizado en base a la eficiencia del proceso fenton, para la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Se presentó un 84% de remoción de concentración de parámetro de demanda química de oxígeno.

Figura 12

Eficiencia del proceso Fenton en la concentración de demanda química de oxígeno



Para facilitar la interpretación de los valores encontrados después del proceso Fenton; Según los datos arrojados nos indica que a más tiempo de reacción y dosis de reactivo Fenton, la concentración de la muestra contaminante logra reducir de manera significativa una diferencia de 356.9 mg/L. Con una eficiencia de 84% de remoción de la concentración de la demanda química de oxígeno.

Palomino Avellaneda (2016) en su estudio de evaluación de la calidad de agua del río Mashcón en la ciudad de Cajamarca; determina una concentración de 250 mg/L para demanda química de oxígeno superando los Estándares de Calidad Ambiental, con una concentración de 50 mg/L más al valor permitido; asumiendo por las grandes cantidades de residuos sólidos generados por las zonas urbanas. Por otro lado, Guillermo Ramírez (2011) en su estudio de investigación muestra una concentración de 516.03 mg/L para Demanda Química de Oxígeno, encontrándose por encima de los Estándares de Calidad Ambiental para agua (Categoría 3: Riego de Vegetales

y Bebida de animales), coincidiendo con el arrastre de materia orgánica por lluvias en temporada húmeda.

4.4.3. Eficiencia del proceso Fenton en la concentración de coliformes termotolerantes

Tabla 12

Eficiencia del proceso Fenton en la concentración de coliformes termotolerantes

Parámetro de Coliformes Termotolerantes				
PROCESO FENTON				
Tratamientos	Efluente ARD (NMP/100)	Dosis Fenton (NMP/100)	Tiempo de reacción(h)	LMP-DS003- 2010MINAM
t0	940,000.00	0	0	10000
t1	350,000.00	4	2	10000
t2	54,000.00	10	5	10000
t3	9,500.00	20	10	10000

Calculando el porcentaje de eficiencia según fórmula:

$$= \frac{(940000 - 9500)}{940000} \times 100$$

$$= 98\%$$

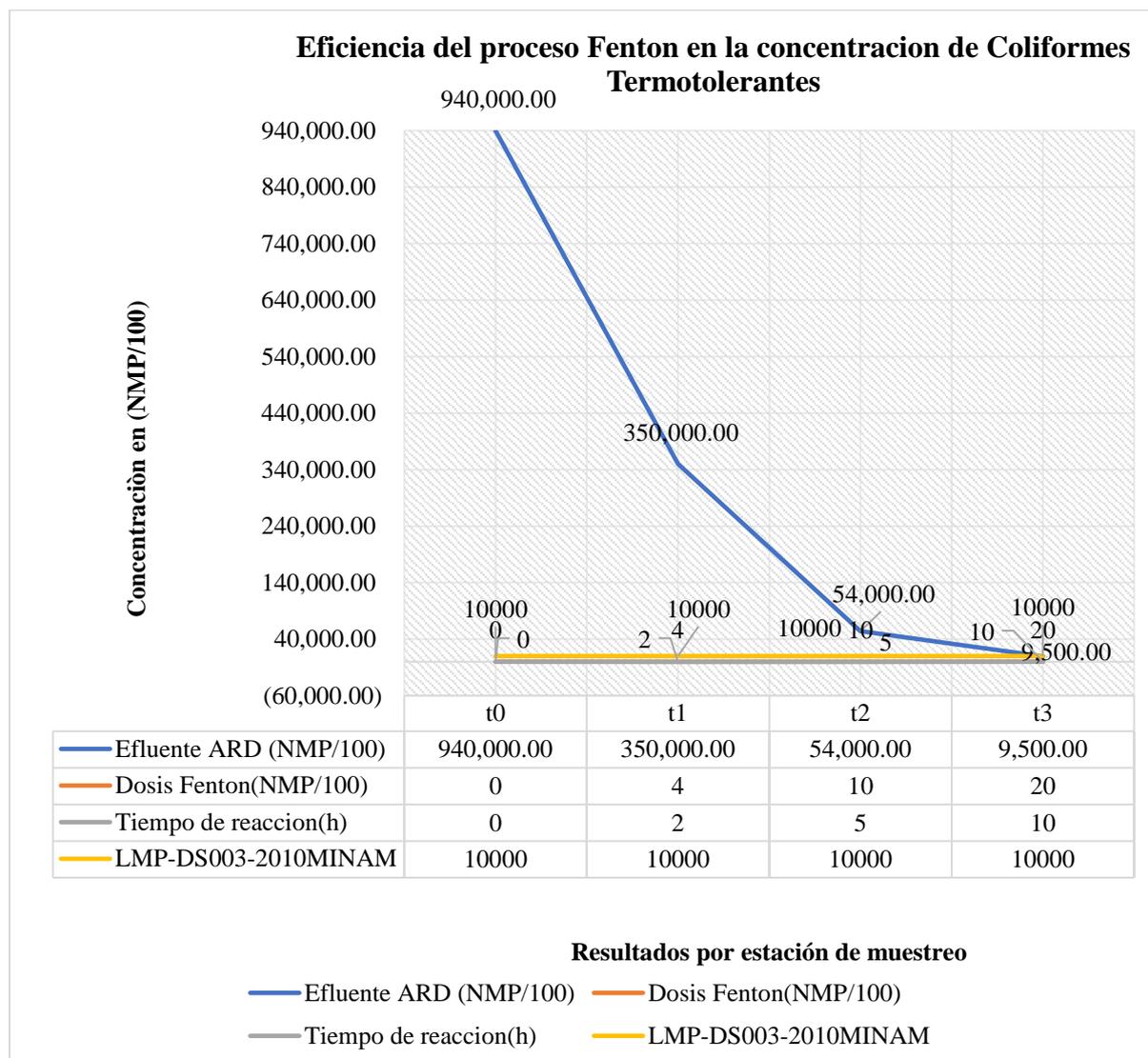
Indicando que el proceso Fenton presenta una eficiencia de 98% en la remoción de la concentración del parámetro de coliformes Termotolerantes.

Constatado con el análisis estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99.7468% de la variabilidad en porcentaje remoción de Coliformes Termotolerantes. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 99.2912%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 1.07238.

Además, el valor de R-cuadrada nos indica que en este caso diseño factorial Box-Behnken se ajusta a los datos, por lo que, es adecuado para el desarrollo del experimento.

Figura 13

Eficiencia del proceso Fenton en la concentración de coliformes termotolerantes



Para facilitar la interpretación de los valores encontrados después del proceso Fenton; Según los datos arrojados nos indica que a más tiempo de reacción y dosis de reactivo Fenton, la concentración de la muestra contaminante logra reducir de manera significativa una diferencia de 930,500.00 NMP/100. Según Siveroni y Córdova (2017) en su estudio de investigación de la Calidad del agua en la microcuenca del río Challhuahuacho comparado con los estándares de calidad ambiental para riego y bebedero (ECA 3) en la zona de Challhuahuacho, Cotabambas – Apurímac. Presentaron una concentración de 1600 NMP/100mL para Coliformes Termotolerantes; indicando contaminación termotolerante. Asumiendo que aguas

están contaminadas con residuos termotolerantes cuando hay actividades excretales de forma directa a los cuerpos de agua natural, procedentes de los seres humanos y de animales haciendo que no sea apta para consumo de ningún ser vivo. Asimismo, el autor Palomino Avellaneda (2016) en su estudio de evaluación de la calidad de agua del río Mashcón en la ciudad de Cajamarca a nivel local; determina el parámetro de coliformes Termotolerantes con los valores entre 2000 y 92×10^6 NMP/100 mL sobrepasando los Estándares de Calidad Ambiental; asumiendo que es por consecuencia de grandes cantidades de residuos sólidos y desechos excretales de las poblaciones y áreas ganaderas en las orillas.

Coincidiendo con el estudio realizado, que muestra el parámetro de coliformes Termotolerantes una concentración por encima de los límites máximos permisibles. Sin embargo, después del tratamiento con el reactivo fenton, se evidenció un resultado favorable, cumpliendo con la normativa aplicable. Arrojando una eficiencia de 98%.

4.7. Diseño Box - Behnken para optimizar la eficiencia del reactivo Fenton en la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente de las aguas residuales domésticas, Llacanora, 2023

Los parámetros que se encontraron sobre los Límites Máximos Permisibles fueron: Demanda Química de oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno y Coliformes Termotolerantes. Que, a su vez, después del tratamiento del proceso Fenton, lograron un porcentaje de remoción altamente eficiente, avalado estadísticamente para cada uno de los parámetros señalados.

4.7.1. Análisis estadístico para Demanda Química de Oxígeno

Tabla 13

Análisis estadístico del proceso Fenton en la demanda química de oxígeno

Proceso Fenton en la Demanda Química de Oxígeno			
Tratamientos	Dosis Fenton(mg/L)	Tiempo de reacción(h)	PH (unidad de pH)
t1	4	2	2
t2	12	6	3
t3	20	10	4

Tabla 14

Análisis de experimento - porcentaje de remoción de demanda química de oxígeno

Análisis de experimento del porcentaje de remoción de Demanda Química de Oxígeno				
Tratamientos	Dosis Fenton(mg/L)	Tiempo de reacción(h)	pH (unidad de pH)	%REM BQO
t1	4	6	4	60
t2	20	6	4	76
t3	4	6	2	80
t4	20	10	3	82
t5	20	6	2	75
t6	20	2	3	52
t7	12	10	2	73
t8	12	10	4	76
t9	12	2	2	75
t10	4	2	3	67
t11	4	10	3	55
t12	12	2	4	55
t13	12	6	3	45
t14	12	6	3	45
t15	12	6	3	50

En la tabla 14 se muestra el análisis de experimento del porcentaje de remoción de demanda química de oxígeno en base a la distribución del tiempo de reacción, dosis de reactivo Fenton en un determinado rango de pH. Para ajustar al diseño estadístico, Diseño Box - Behnken para optimizar la eficiencia del reactivo Fenton.

Tabla 15*Efectos estimados para porcentaje de remoción DQO (%)*

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
promedio	46.6667	1.07755	
A: Dosis reactivo Fenton	5.75	1.31972	1.0
B: Tiempo de reacción	9.25	1.31972	1.0
C: Potencial de Hidrogeno	-9.0	1.31972	1.0
AA	20.3333	1.94258	1.01111
AB	21.0	1.86637	1.0
AC	10.5	1.86637	1.0
BB	14.3333	1.94258	1.01111
BC	11.5	1.86637	1.0
CC	31.8333	1.94258	1.01111

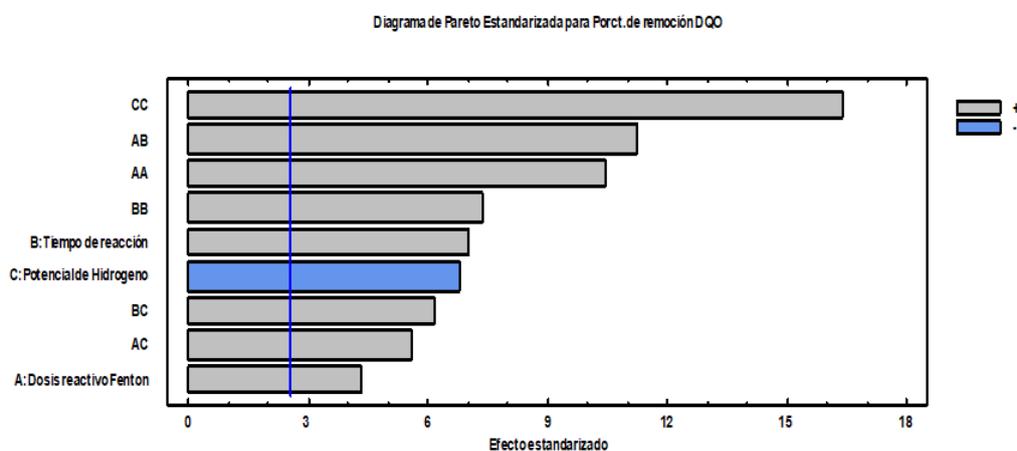
Errores estándar basados en el error total con 5 g.l.

La tabla 15 muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1.01111. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos.

Para graficar los estimados en orden decreciente de importancia, seleccione Diagrama de Pareto de la lista de Opciones Gráficas. Para probar la significancia estadística de los efectos, seleccione Tabla ANOVA de la lista de Opciones Tabulares. Puede retirar efectos significativos pulsando el botón secundario del ratón, seleccionando Opciones de Análisis, y pulsando el botón de Excluir.

Figura 14

Diagrama Pareto estandarizado para porcentaje de remoción de DQO



El diagrama de Pareto nos muestra de manera gráfica, que las tres variables que estamos analizando tienen efecto significativo en el grado de remoción de la Demanda Química de Oxígeno, al igual que sus interacciones y los cuadrados de cada variable.

Tabla 16

Análisis de varianza para porcentaje de remoción DQO

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Dosis reactivo Fenton	66.125	1	66.125	18.98	0.0073
B: Tiempo de reacción	171.125	1	171.125	49.13	0.0009
C: Potencial de Hidrogeno	162.0	1	162.0	46.51	0.0010
AA	381.641	1	381.641	109.56	0.0001
AB	441.0	1	441.0	126.60	0.0001
AC	110.25	1	110.25	31.65	0.0025
BB	189.641	1	189.641	54.44	0.0007
BC	132.25	1	132.25	37.97	0.0016
CC	935.41	1	935.41	268.54	0.0000
Error total	17.4167	5	3.48333		
Total (corr.)	2437.6	14			

R-cuadrada = 99.2855 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 97.9994 por ciento

Error estándar del est. = 1.86637

Error absoluto medio = 0.611111

Estadístico Durbin-Watson = 1.73993 (P=0.1105)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.189394

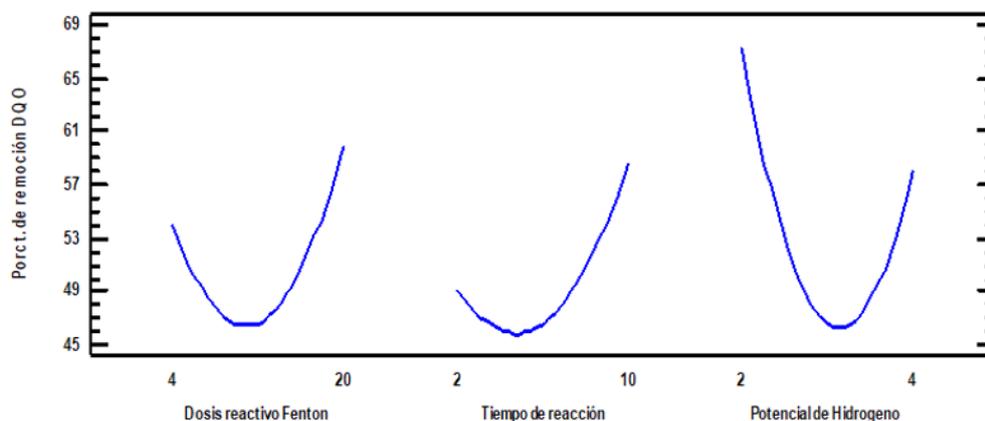
La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Porcentaje de remoción DQO en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 9 efectos tienen una valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99.2855% de la variabilidad en Porcentaje de remoción DQO. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 97.9994%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 1.86637. El error medio absoluto (MAE) de 0.611111 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.

La tabla ANOVA nos muestra que tanto la concentración del Potencial de Hidrogeno, dosis del reactivo Fenton y el tiempo de reacción tienen efecto significativo en la remoción de la demanda química de oxígeno, al igual que sus interacciones, esto al dar como resultado Valores-P menores a 0.05. Además, el valor de R-cuadrada nos indica que en este caso diseño factorial Box-Behnken se ajusta a los datos, por lo que, es adecuado para el desarrollo del experimento.

Figura 15

Gráfico de efectos principales para porcentaje de remoción de DQO



La figura 15, detalla el gráfico de efectos principales nos muestra la interacción de los factores en el resultado, en el que podemos observar que la dosis del reactivo Fenton está en el rango de 4mg/L a 20mg/L a medida que va descendiendo y luego asciende nuevamente; al aumentar el tiempo de reacción de 2 a 10 horas sucede lo mismo que con la dosis del reactivo Fenton y el Potencial de Hidrogeno (pH) en el rango de 2 a 4 a medida que aumentamos en un rango de pH=2 y luego empieza a descender en pH=4.

En el estudio de investigación realizado en Puno, por Huaranca Jara (2019) coincide la evaluación de los procesos de oxidación química del método de electro-Fenton se consiguió remover la demanda química de oxígeno de las aguas residuales rojas del matadero municipal de la ciudad de Ayaviri para el efecto del pH, corriente, dosis de H_2O_2 y distanciamiento de electrodos en un tiempo de tratamiento de 60 minutos hasta concentraciones finales de 384.00, 256.00, 320.00 y 448.00 mg/L respectivamente donde éstas estuvieron por debajo del Límite Máximo Permisible según el Decreto Supremo 2009-MINAM. Por lo que, el presente estudio también desarrolló el diseño experimental de Box-Behnken, donde se obtuvo una máxima remoción de la Demanda química de oxígeno a un 94.70% a un pH 5, densidad de corriente de 23.81 mA/cm^2 , dosis de H_2O_2 10 mL/L y tiempo de tratamiento 30 minutos; y los datos experimentales se ajustaron satisfactoriamente al modelo de regresión de segundo orden con un nivel de confianza del 95%.

Asimismo, Nitola Acero (2021) señala que el proceso de oxidación química avanzada de Fenton heterogéneo alcanza un promedio de remoción del 99,8 % en cuando degradación de colores textiles o industriales en un periodo de 6 horas, utilizando 2,94 mL de H₂O₂, 15 g/L de calamina, en condiciones de pH 3. Para estas concentraciones, se obtienen también remociones de 86,3% para demanda química de oxígeno y 54,8% para carbono orgánico total, lo que permite evidenciar la oxidación y mineralización del compuesto de estudio.

Optimizar Respuesta

Meta: Maximizar Porcentaje de remoción DQO

Valor óptimo = 103.974

Tabla 17

Valor óptimo de la remoción de DQO

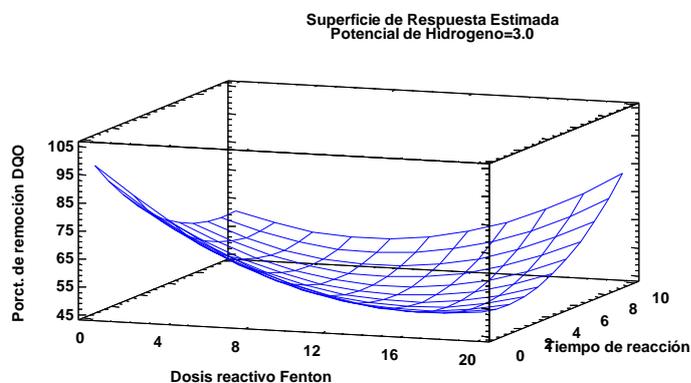
<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
Dosis reactivo Fenton	4.0	20.0	20.0
Tiempo de reacción	2.0	10.0	9.94979
Potencial de Hidrogeno	2.0	4.0	3.99994

La tabla 17 muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Porcentaje de remoción de Demanda Química de Oxígeno sobre la región indicada. Use el cuadro de diálogo de Opciones de Ventana para indicar la región sobre la cual se llevará a cabo la optimización. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

En la tabla de valores óptimos para la remoción del parámetro de la demanda química de oxígeno, se refiere a la combinación de niveles de los factores que produce la mejor respuesta deseada, identificada mediante un análisis de la superficie de respuesta. Mediante el cual se obtuvo una eficiencia del proceso Fenton al 99.28%. Considerando un valor óptimo de 20.0mg/L dosis del reactivo fenton, 9.9 horas de tiempo de reacción y un valor de pH=3.9.

Figura 16

Superficie de respuesta estimada con $pH=3$



La figura 16, nos muestra el modelo ajustado al 99.28 %.

4.7.2. Análisis estadístico para Demanda Bioquímica de Oxígeno

Tabla 18

Análisis de experimento - porcentaje de remoción de demanda bioquímica de oxígeno

Proceso Fenton en la Demanda Bioquímica de Oxígeno				
Tratamientos	Dosis Fenton(mg/L)	Tiempo de reacción(h)	PH (unidad de pH)	%REM DBO5
T1	20	6	2	45
T2	12	6	3	52
T3	4	2	3	35
T4	12	6	3	51
T5	12	10	2	76
T6	4	10	3	64
T7	12	2	2	38
T8	12	2	4	56
T9	4	6	2	46
T10	12	10	4	46
T11	20	10	3	41
T12	20	6	4	32
T13	20	2	3	44
T14	4	6	4	43
T15	12	6	3	48

En la tabla 18 se muestra el análisis de experimento del porcentaje de remoción de demanda bioquímica de oxígeno en base a la distribución del tiempo de reacción, dosis de reactivo Fenton en un determinado rango de pH. Para ajustar al diseño estadístico, Diseño Box - Behnken para optimizar la eficiencia del reactivo Fenton.

Tabla 19

Efectos estimados para porcentaje de remoción DBO₅ (%)

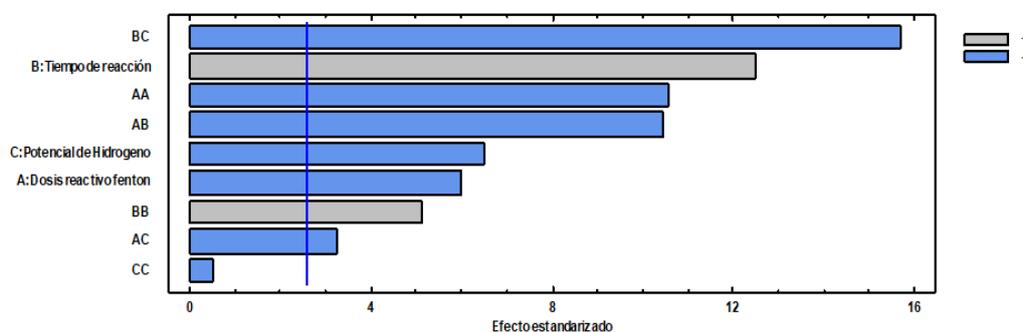
<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
promedio	50.3333	0.881917	
A: Dosis reactivo fenton	-6.5	1.08012	1.0
B: Tiempo de reacción	13.5	1.08012	1.0
C: Potencial de Hidrogeno	-7.0	1.08012	1.0
AA	-16.8333	1.5899	1.01111
AB	-16.0	1.52753	1.0
AC	-5.0	1.52753	1.0
BB	8.16667	1.5899	1.01111
BC	-24.0	1.52753	1.0
CC	-0.833333	1.5899	1.01111

Errores estándar basados en el error total con 5 g.l.

La tabla 19 muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1.01111. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos. Para graficar los estimados en orden decreciente de importancia, seleccione Diagrama de Pareto de la lista de Opciones Gráficas. Para probar la significancia estadística de los efectos, seleccione Tabla ANOVA de la lista de Opciones Tabulares. Puede retirar efectos significativos pulsando el botón secundario del ratón, seleccionando Opciones de Análisis, y pulsando el botón de Excluir.

Figura 17

Diagrama Pareto estandarizado para porcentaje de remoción de DBO₅



La figura 17, muestra el diagrama de Pareto nos muestra de manera gráfica, que las tres variables que estamos analizando tienen efecto significativo en el grado de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno. Podemos observar que el tiempo de reacción tiene mayor impacto positivo en la variable respuesta, mientras que el potencial de hidrogeno tiene impacto negativo.

Tabla 20

Análisis de varianza para porcentaje de remoción DBO₅

Fuente	Suma de Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Dosis reactivo fenton	84.5	1	84.5	36.21	0.0018
B: Tiempo de reacción	364.5	1	364.5	156.21	0.0001
C: Potencial de Hidrogeno	98.0	1	98.0	42.00	0.0013
AA	261.564	1	261.564	112.10	0.0001
AB	256.0	1	256.0	109.71	0.0001
AC	25.0	1	25.0	10.71	0.0221
BB	61.5641	1	61.5641	26.38	0.0037
BC	576.0	1	576.0	246.86	0.0000
CC	0.641026	1	0.641026	0.27	0.6226
Error total	11.6667	5	2.33333		
Total (corr.)	1760.4	14			

R-cuadrada = 99.3373 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 98.1444 por ciento

Error estándar del est. = 1.52753

Error absoluto medio = 0.644444

Estadístico Durbin-Watson = 0.831548 (P=0.0049)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.326786

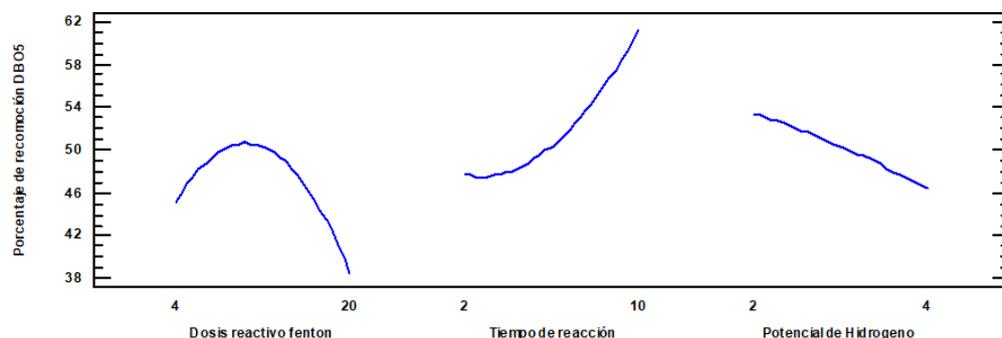
La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Porcentaje de remoción DBO_5 en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 8 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99.3373% de la variabilidad en Porcentaje de remoción DBO_5 . El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 98.1444%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 1.52753. El error medio absoluto (MAE) de 0.644444 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Debido a que el valor-P es menor que 5.0%, hay una indicación de posible correlación serial al nivel de significancia del 5.0%. Grafique los residuos versus el orden de fila para ver si hay algún patrón que pueda detectarse.

La tabla ANOVA nos muestra que tanto la concentración del Potencial de Hidrogeno, dosis del reactivo Fenton y el tiempo de reacción tienen efecto significativo en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, al igual que sus interacciones, esto al dar como resultado Valores-P menores a 0.05. Además, el valor de R-cuadrada nos indica que en este caso diseño factorial Box-Behnken se ajusta a los datos, por lo que, es adecuado para el desarrollo del experimento.

Figura 18

Grafica de efectos principales para porcentaje de remoción de DBO_5



La figura 18, muestra el gráfico de efectos principales nos muestra la interacción de los factores en el resultado, en el que podemos observar que la dosis del reactivo Fenton está en el rango de 4mg/L a 20mg/L va ascendiendo hasta llegar a un punto máximo y luego va descendiendo, al aumentar el tiempo de reacción de 2 a 10 horas, y el Potencial de Hidrogeno (pH) en el rango de 4 a 10, va descendiendo.

En su estudio de investigación, Dueñas y Huaylla (2022) realizado de la ciudad de Arequipa, realizó un experimento de tratamiento de aguas residuales enfocando el parámetro de la demanda bioquímica de oxígeno – DBO_5 , tanto inicial y final de las muestras contaminadas y tratadas para poder hallar el porcentaje de remoción en el tratamiento de cavitación hidrodinámica, por lo que, se evidencia de los diez tratamientos que se realizaron, el más eficiente fue en el tratamiento 10, con 27%, así mismo se puede observar que para los tratamientos 1,2,4,5,8 y 9 no hay porcentaje de reducción ya que estos muestran un incremento totalmente algo. A diferencia del presente estudio que se desarrolló con el proceso Fenton, para el tratamiento de aguas residuales domésticas, a partir del segundo tiempo de reacción ya se logró un porcentaje de remoción significativo.

Asimismo, Huaranca Jara (2019) señala que el parámetro de demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) es el más utilizado en la contaminación orgánica en aguas superficiales y aguas

residuales. Su determinación implica la medición del oxígeno disuelto empleada por los microorganismos durante la oxidación bioquímica de la materia orgánica.

Optimizar Respuesta

Meta: maximizar Porcentaje de remoción DBO₅

Valor óptimo = 78.4988

Tabla 21

Valor óptimo de la remoción de DBO₅

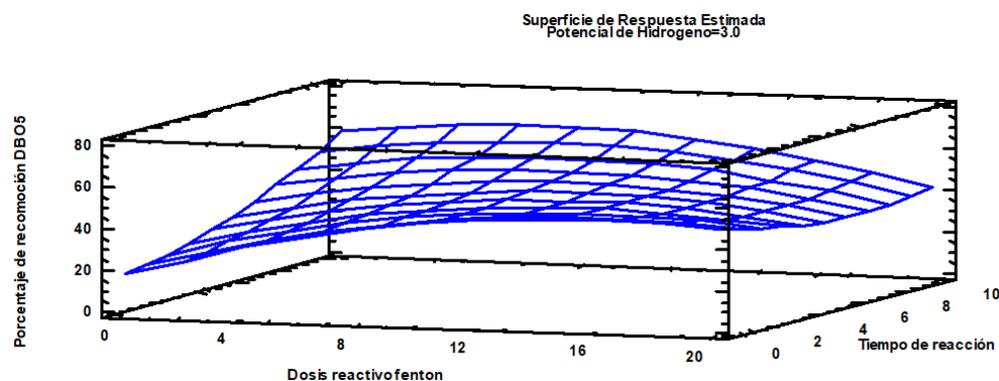
<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
Dosis reactiva Fenton	4.0	20.0	7.84899
Tiempo de reacción	2.0	10.0	9.99674
Potencial de Hidrogeno	2.0	4.0	2.0

La tabla 21, muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Porcentaje de remoción DBO₅ sobre la región indicada. Use el cuadro de diálogo de Opciones de Ventana para indicar la región sobre la cual se llevará a cabo la optimización. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

En la tabla 21 de valores óptimos para la remoción del parámetro de la demanda bioquímica de oxígeno, se refiere a la combinación de niveles de los factores que produce la mejor respuesta deseada, identificada mediante un análisis de la superficie de respuesta. Mediante el cual se obtuvo una eficiencia del proceso Fenton al 99.33%. Considerando un valor óptimo de 7.8 mg/L dosis del reactivo fenton, 9.9 horas de tiempo de reacción y un valor de pH=2.

Figura 19

Superficie de respuesta estimada con pH=3



La figura 19, muestra el modelo ajustado al 99.33 %.

4.7.3. Análisis estadístico para Coliformes Termotolerantes

Tabla 22

Análisis de experimento del porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes

Análisis de experimento del porcentaje de remoción de Coliformes Termotolerantes				
Tratamientos	Dosis Fenton(mg/L)	Tiempo de reacción(h)	PH (unidad de pH)	%REM COLTER
T1	4	2	3	71
T2	4	6	4	79
T3	4	6	2	89
T4	12	2	4	69
T5	20	6	2	70
T6	4	10	3	67
T7	20	10	3	65
T8	20	2	3	58
T9	12	2	2	59
T10	20	6	4	84
T11	12	10	4	66
T12	12	10	2	67
T13	12	6	3	47
T14	12	6	3	48
T15	12	6	3	46

En la tabla 14 se muestra el análisis de experimento del porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes en base a la distribución del tiempo de reacción, dosis de reactivo Fenton en

un determinado rango de pH. Para ajustar al diseño estadístico, Diseño Box - Behnken para optimizar la eficiencia del reactivo Fenton.

Tabla 23

Efectos estimados para porcentaje remoción de coliformes termotolerantes

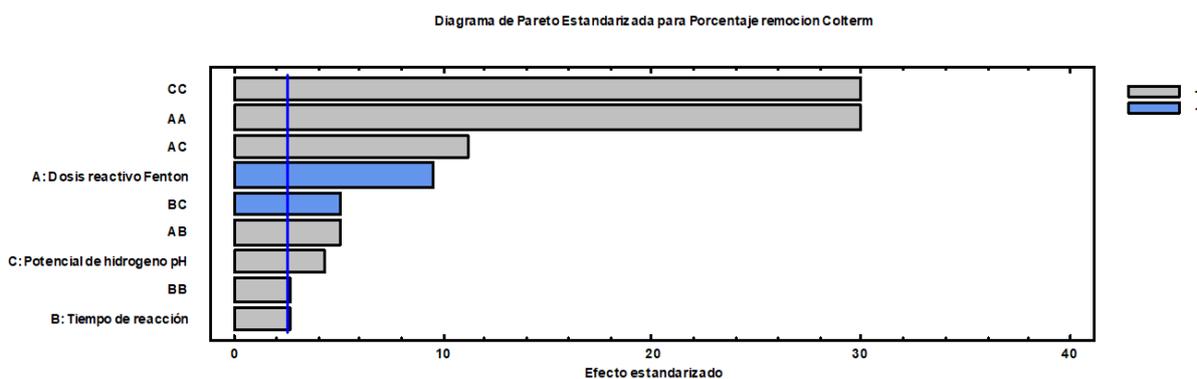
<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
promedio	47.0	0.619139	
A: Dosis reactivo Fenton	-7.25	0.758288	1.0
B: Tiempo de reacción	2.0	0.758288	1.0
C: Potencial de hidrogeno pH	3.25	0.758288	1.0
AA	33.5	1.11617	1.01111
AB	5.5	1.07238	1.0
AC	12.0	1.07238	1.0
BB	3.0	1.11617	1.01111
BC	-5.5	1.07238	1.0
CC	33.5	1.11617	1.01111

Errores estándar basados en el error total con 5 g.l.

Esta tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1.01111. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos. Para graficar los estimados en orden decreciente de importancia, seleccione Diagrama de Pareto de la lista de Opciones Gráficas. Para probar la significancia estadística de los efectos, seleccione Tabla ANOVA de la lista de Opciones Tabulares. Puede retirar efectos significativos pulsando el botón secundario del ratón, seleccionando Opciones de Análisis, y pulsando el botón de Excluir.

Figura 20

Diagrama Pareto estandarizado para porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes



La figura 20, muestra el diagrama de Pareto, muestra de manera gráfica, que las tres variables que estamos analizando tienen efecto significativo en el grado de remoción de Coliformes Termotolerantes, al igual que sus interacciones y los cuadrados de cada variable. De igual forma, podemos observar que el potencial de hidrogeno tiene mayor impacto positivo en la variable respuesta, mientras que la dosis del reactivo Fenton tiene impacto negativo.

Tabla 24

Análisis de varianza para porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Dosis reactivo Fenton	105.125	1	105.125	91.41	0.0002
B: Tiempo de reacción	8.0	1	8.0	6.96	0.0461
C: Potencial de hidrogeno pH	21.125	1	21.125	18.37	0.0078
AA	1035.92	1	1035.92	900.80	0.0000
AB	30.25	1	30.25	26.30	0.0037
AC	144.0	1	144.0	125.22	0.0001
BB	8.30769	1	8.30769	7.22	0.0434
BC	30.25	1	30.25	26.30	0.0037
CC	1035.92	1	1035.92	900.80	0.0000
Error total	5.75	5	1.15		
Total (corr.)	2271.33	14			

R-cuadrada = 99.7468 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.2912 por ciento

Error estándar del est. = 1.07238

Error absoluto medio = 0.533333

Estadístico Durbin-Watson = 2.39946 (P=0.8026)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.298913

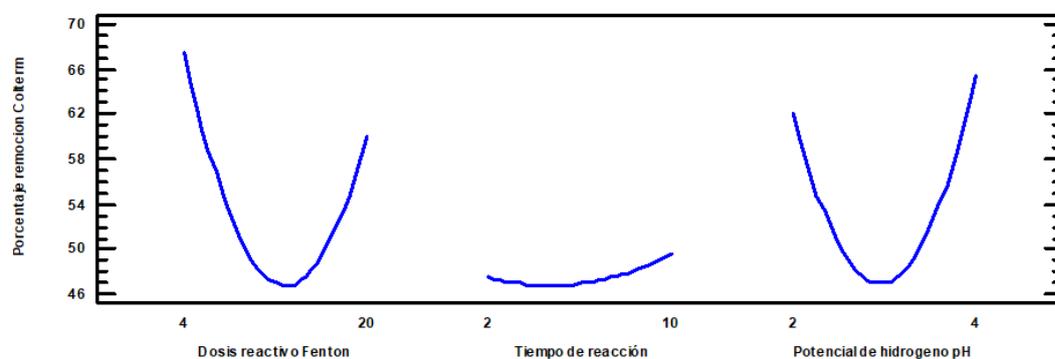
La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Porcentaje remoción de Coliformes Termotolerantes en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 9 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99.7468% de la variabilidad en porcentaje remoción de Coliformes Termotolerantes. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 99.2912%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 1.07238. El error medio absoluto (MAE) de 0.533333 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.

La tabla ANOVA nos muestra que tanto la concentración del Potencial de hidrogeno, dosis del reactivo Fenton y el tiempo de reacción tienen efecto significativo en la remoción de Coliformes Termotolerantes, al igual que sus interacciones, esto al dar como resultado Valores-P menores a 0.05. Además, el valor de R-cuadrada nos indica que en este caso diseño factorial Box-Behnken se ajusta a los datos, por lo que, es adecuado para el desarrollo del experimento.

Figura 21

Gráfico de efectos principales para porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes



La figura 21, muestra el gráfico de efectos principales nos muestra la interacción de los factores en el resultado, en el que podemos observar que la dosis del reactivo Fenton en el rango de 4 a 20 mg/L a medida que sube, llega a descender; al disminuir el tiempo de reacción de 2 a 10 horas sucede lo mismo que con la dosis del reactivo Fenton y el Potencial de Hidrogeno (pH) a medida que asciende, también logra disminuir y nuevamente ascender, se encuentra entre un pH=2 y pH=4.

Sumado a ello Taipei y Uchuypoma (2024) determinaron la dosificación óptima del peróxido de hidrógeno al 30% si influye en el proceso de oxidación avanzada para la eliminación de coliformes termotolerantes de las aguas residuales domésticas del distrito de Chilca, Huancayo debido a que el valor de p obtenido al analizar los resultados obtenidos fue de 0,000 el cual es menor al valor de significancia de 0,05 lo cual nos permite afirmar lo mencionado, además que se determinó que la dosis óptima fue de 30 mL, debido a que estas condiciones se obtuvo los mejores resultados de eliminación de coliformes termotolerantes pues se llegó a obtener porcentajes mayores al 97,3%, siendo el mejor con condiciones de tiempo de 60 min pues se obtuvo el 98,67% de eliminación.

En el estudio de investigación realizado por Torres Andrade (2014) menciona que luego de adicionar el H₂O₂, los coliformes totales se eliminan totalmente para dosis de peróxido de

hidrógeno entre 28 y 70 mL. Sin embargo, al utilizar una dosis de 14 mL de H₂O₂, la velocidad de remoción disminuye; observándose una remoción de coliformes fecales del 50% a los 5 minutos de reacción, y a los 15 minutos de reacción una remoción total de estos. Se realizaron pruebas adicionales con dosis inferiores de 1 y 7 mL de H₂O₂ y se observó la remoción total de coliformes totales, lo que indica que la adición mínima de este reactivo oxidante permite la desinfección total del agua.

Según la investigación realizada por Naranjo y Morillo en el año 2019, quienes estudiaron la remoción de tensoactivos y coliformes agua residual de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en Quito, Ecuador en el cual tuvo como resultados que a condiciones de concentración de H₂O₂ de 56,33 mL, relación molar Fe²⁺: citrato: H₂O₂. 1:1:9, agitación continua y pH 6 se redujeron por completo los coliformes fecales. Mientras que el tratamiento que dio mejores resultados en nuestro estudio en la eliminación de coliformes termotolerantes fue el que se incorporó 30 mL de H₂O₂ y trabajo un tiempo de 60 min obteniendo resultados de eliminación promedio de 1467 NMP/100 mL y un porcentaje de eficiencia promedio de 98,67%. Además, cabe mencionar que los análisis de resultados de demuestran que cuando mayor es la dosis del peróxido de hidrógeno y el tiempo de reacción, la muestra contaminada, tiende a disminuir el porcentaje de eliminación de los coliformes termotolerantes, por ende, se considera como un tratamiento eficiente.

Optimizar Respuesta

Meta: maximizar Porcentaje remoción Coliformes Termotolerantes

Valor óptimo = 90.9875

Tabla 25

Valor óptimo de la remoción de Coliformes Termotolerantes

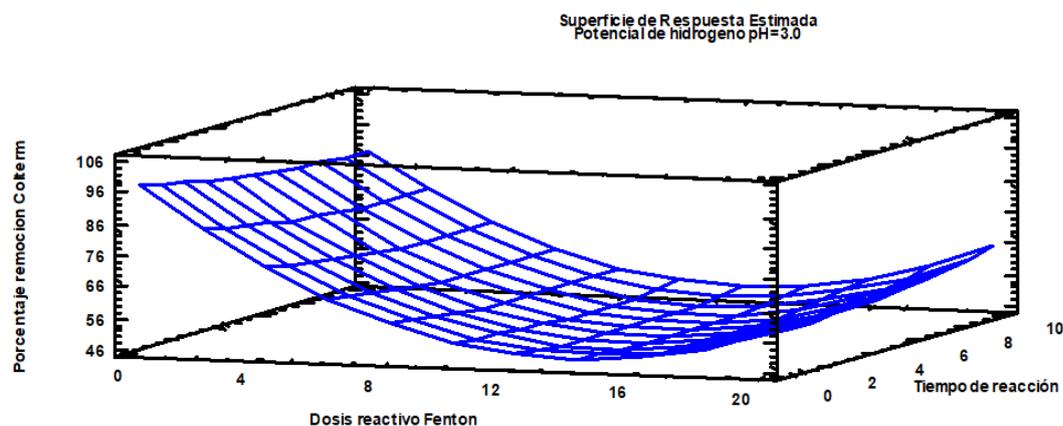
<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
Dosis reactivo Fenton	4.0	20.0	4.00081
Tiempo de reacción	2.0	10.0	9.9916
Potencial de hidrogeno pH	2.0	4.0	2.0

La tabla 25, muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Porcentaje remoción de Coliformes Termotolerantes sobre la región indicada. Use el cuadro de diálogo de Opciones de Ventana para indicar la región sobre la cual se llevará a cabo la optimización. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

En la tabla 25 de valores óptimos para la remoción del parámetro de coliformes termotolerantes, se refiere a la combinación de niveles de los factores que produce la mejor respuesta deseada, identificada mediante un análisis de la superficie de respuesta. Mediante el cual se obtuvo una eficiencia del proceso Fenton al 99.74%. Considerando un valor óptimo de 4 mg/L dosis del reactivo fenton, 9.9 horas de tiempo de reacción y un valor de pH=2.

Figura 22

Superficie de respuesta estimada con pH=3



La figura 22, muestra el modelo ajustado al 99.74 %.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

1. Se evalúa la eficiencia del proceso Fenton en el nivel de concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente de las aguas residuales domésticas. Evidenciando que el proceso Fenton, disminuye las concentraciones elevadas de los contaminantes.
2. Se evidencia la eficiencia del proceso Fenton en el nivel de concentración de los parámetros físicos de las aguas residuales domésticas, Llacanora, 2023. Sin embargo, los parámetros de potencial de hidrogeno, solidos suspendidos totales y temperatura no sobrepasan los Límites Máximos Permisibles.
3. Se verifica la eficiencia del proceso Fenton en el nivel de concentración de los parámetros químicos del efluente de las aguas residuales domésticas, Llacanora, 2023. Para el parámetro demanda química de oxígeno, se obtuvo un porcentaje de remoción de 99.28 %, considerando un valor óptimo de 20.0 mg/L dosis del reactivo fenton, 9.9 horas tiempo de reacción y un valor de pH=3.9. Y para el parámetro demanda bioquímica de oxígeno, se obtuvo un porcentaje de remoción de 99.33 %, considerando un valor óptimo de 7.8 mg/L dosis del reactivo fenton, 9.9 horas de tiempo de reacción y un valor de pH=2.

4. Se demuestra la eficiencia del proceso Fenton en el nivel de concentración de los parámetros microbiológicos del efluente de las aguas residuales domésticas, Llacanora, 2023. Con un porcentaje de 99.74 % para el parámetro de coliformes termotolerantes, considerando un valor óptimo de 4 mg/L dosis del reactivo fenton, 9.9 horas de tiempo de reacción y un valor de pH=2.

CAPITULO VII

REFERENCIAS

- Antitupa Iquiapaza, C. E. (2021). *Remoción de grasas de los efluentes de la industria de jabones, en la localidad de Arequipa, por el método de la electrocoagulación*. Universidad Nacional de San Agustín - Arequipa, p. 23.
- Batanero, C., & Díaz, C. (2008). *Análisis de datos con Statgraphics*. Departamento de Didáctica de la Matemática , Facultad de Ciencias de la Educación , Universidad de Granada : SEJ2007-60110/EDUC, MEC- FEDER.
- Becerra, M. S., & Cadena, S. F. (2016). *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*. México, p.18.
- Benites Ruesta, P. J. (2021). *Evaluación físico-química y microbiológica del agua consumida por la población y propuestas tendientes a su mejora, en Chulucanas, provincia de Morropón-Piura*. Piura, p. 33.
- Calero, A., & Brena, B. (2023). “*Caracterización de la relación DQO (Demanda Química de Oxígeno)/DBO5, 20 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) en los efluentes líquidos residuales de industrias localizadas en Montevideo como método de “screening” rápido para determinar la eficiencia en el tr.* Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Química, p. 22.
- Castaño Arbeláez, P. E. (2018). Tratamiento de aguas residuales de la industria textil mediante coagulación química acoplada a procesos fenton intensificados con ultrasonido de baja frecuencia. *SciELO Analytics*, Universidad Escuela de Administración, Finanzas y Tecnología (EAFIT), Carrera 49 núm. 7 Sur-50, Avenida Las Vegas, Medellín, Colombia, p. 2-4.

- Cordova Quispe, B. (2022). *Efluentes domésticos y su incidencia en la contaminación de la calidad del río Rimac , cuenca baja,año 2017*. Universidad Nacional Federico Villareal - Lima - Perú, p,11.
- Correa Sánchez, S. (2016). *Evaluación del proceso ozono-fenton para el tratamiento de aguas residuales de una industria textil*. Departamento de ingeniería de procesos - Medellin, p. 9.
- Cueva Merayo, N. (2014). Desarrollo y evaluación de procesos de oxidación avanzada para el tratamiento de aguas residuales papeleras. *Dialnet*, p. 6.
- Dueñas, R. A., & Huaylla, K. C. (2022). *Evaluación de tratameinto de coagulacion y floculación seguido de una tecnología de cavitación hidrodinamica con agente oxidante para la reduccion de contaminantes en aguas residuales de curtiembres del parque industrial Rio Seco, Arequipa- 2021*. Universidad Nacional De San Agustin de Arequipa.
- Durán, E., & Villalobos, C. (2017). *Encapsulación de hierro: Otra estrategia para la prevención o tratamiento de la anemia por deficiencia de hierro*. Departamento de Fomento de la Producción Animal, Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Universidad de Chile. p. 3.
- Epinoza Paz, E. (2010). *Planta de tratamiento de aguas residuales en san juan de miraflores*. Universidad de Piura. Piura, p.6-10.
- Escalante Rojas, J. C. (2018). *Caracterización De Las Aguas Del Río Mashcón Y San Lucas, Y Del Efluente De Las Lagunas De Estabilización De La Ciudad De Cajamarca Con Fines De Evaluación Ambiental, Marzo - Agosto Del 2007*. Cajamarca, p.11-14.
- Frías, T. D., & Montilla, L. (2016). *Evaluación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el sector Puerto de Productores río Itaya, Loreto-Perú 2014-2015*. Universidad científica del Perú, San Juan - Perú, p. 21.
- Gamarra, C., & Toro, A. (2014). Decoloración del Anaranjado de metilo empleando el sistema Fenton. *SciELO Analytics*, p.10.

- García Herrera, J. (2014). *Proceso Fenton y Foto fenton para el tratamiento de aguas residuales del laboratorio microbiológico empleando Fe₂O₃ soportado en los nanotubos de carbono*. Pontificia Universidad Javeriana - Bogotá.
- Gómez Baeza, E. (2016). *Calidad del Agua*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile/BCN, p. 2.
- Gonzales Tavera, R. (2018). *Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en el asentamiento humano señor de los milagros, distrito de Yarinacocha- region Ucayali- 2018*. Pucallpa - Perú, p. 17.
- González Pérez, J. (2021). *Evaluación de coliformes termotolerantes y Enterococcus como indicadores de calidad de agua en la cuenca del Arroyo Maldonado*. Licenciatura en Gestión Ambiental, p. 30.
- Guillermo Ramirez, K. P. (2011). *Calidad de aguas residuales del tratamiento primario en pozas de oxidacion de distrito de Viques-Huancayo*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Distrito de Viques-Huancayo, p. 10.
- Huarancca Jara, R. (2019). *Aplicación del método de electro - Fenton para el tratamiento de aguas residuales del matadero municipal Ayaviri - Puno*. Universidad Nacional del antiplano - Puno, p. 76.
- Infante, N., & Tacilla, T. (2017). *Influencia del vertimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en la calidad de agua del río cajamarquino - Llacanora, 2017*. Universidad Privada Privada del Norte - Cajamarca. p. 24.
- Larrea, J., & Rojas, M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas. *Redalyc*, Centro Nacional de Investigaciones Científicas Ciudad de La Habana, Cuba, p. 25.
- León, J., & Medina, C. (2020). Aplicación del método Foto-fenton para el tratamiento de aguas residuales en la industria láctea. *Dialnet*, Revista científica - Ciencias técnicas y aplicadas, p. 4.
- Lima Huacho, L. M. (2021). *Efecto del vertimiento de aguas residuales domiciliarias en la calidad del agua en el río Sicra Lircay – Huancavelica 2018*. Huancavelica, p.9: Universidad Continental.

- López Ramírez ; et al. (2021). Oxidación avanzada como tratamiento alternativo para las aguas residuales. Una revisión. *Dialnet*, p. 76-87.
- Machicao Ordoñez, N. (2020). *Análisis de la calidad del agua en el río chili (distritos de Tiabaya y Uchumayo) antes y después de la puesta en marcha y operación de la planta de tratamiento de agua residuales "La Enlozada" aplicando un modelo matemático*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, p.15.
- Medina Valderrama, C. J. (2016). Optimización del proceso Fenton en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios. *SciELO Analytics*, 8.
- Morales Travezaño, J. A. (2022). *Evaluación del monitoreo de la calidad de agua superficial de la laguna Angascancha para el consumo humano – Colquijirca Pasco 2019*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión - Pasco, p. 16.
- Naranjo, L., & Morillo, D. (2021). Remoción de tensoactivos y coliformes en aguas residuales domésticas mediante procesos fenton. *SciELO Analytics*, p.2-4.
- Nitola Acero, J. A. (2021). *Evaluación de la aplicación del proceso Fenton para el tratamiento de un agua sintética coloreada empleando calamina*. Bogota.
- Núñez, J. L., & Saldaña, L. A. (2021). *La contaminación del rio Cumbaza y su implicancia a vivir en unambiente adecuado según la ley 28611, Morales 2021*. Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático, Tarapoto - Perú, p. 2-14.
- Oliveros Betance, V. (2021). *Sistema mixto de tanques anaerobios y fitoremediación como una alternativa de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales en centros recreativos*. Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S. C. Departamento de Posgrado, Chihuahua, p. 18.
- Orozco, C., & Ruben, T. (2020). Efecto de la temperatura del agua sobre la constante de velocidad de reacción de los contaminantes en un humedal construido para el tratamiento de aguas residuales porcícolas. *SciELO Analytics*, nstituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). p, 5.
- Palomino Avellaneda, P. D. (2016). Evaluación de la calidad del agua en el río Mashcón, Cajamarca, 2016. *Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima - Perú*, p. 229.

- Quispe Quispe, E. (2021). *Remoción de sólidos suspendidos para mejorar la calidad de agua superficial en el sector Pampilla de la cuenca Azángaro, Ananea 2021*. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental - Universidad Continental, Huancayo, p. 19.
- Raffo, E., & Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Redalyc*, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú, p. 75.
- Ramírez Jiménez, D. F. (2021). Sistema de medición y control de temperatura para un prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales. *Dialnet*, Instituto de Educación Técnica Profesional de Roldanillo, Colombia, p. 2.
- Ramirez Trujillo, Y. (2023). *Parametros fisicoquimicos y microbiologicos del agua residual del camal y calidad ambiental del agua del rio Huayllaga en Tingo Maria 2021*. Universidad Nacional Hermilio Valdizán - Escuela de Posgrado - Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible - Huanuco.
- Rojas Osorio, L. F. (2018). *Caracterización fisicoquímica y bacteriológica de agua de consumo humano del centro poblado de San Marcos, distrito de Chontabamba, provincia de Oxapampa – 2018*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, p. 12.
- Rosabal, C., & Chang, H. (2012). Evaluación de la demanda química de oxígeno en aguas de la provincia de Granma, Cuba. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, p. 16.
- Rubio, A., & Chica, E. (2014). Aplicación del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales de origen petroquímico. *SciELO*, 213.
- Saavedra Mejía, L. N. (2019). *Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad del agua en el río Llaucano de la ciudad de Bambamarca*. Bambamarca, p. 11: Escuela de Ingeniería Ambiental.
- Stella Gaitan, M. (2023). Reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) en las aguas residuales. *SIGMA*, p. 2.
- Taipe, G. Y., & Uchuypoma, L. M. (2024). *Análisis de la influencia del proceso de oxidación avanzada en la eliminación de coliformes termotolerantes de las aguas residuales domesticas en el distrito de Chilca, Huancayo-2023*. Huancayo - Perú.

- Terán Solíz, M. (2016). “*Estudio de la aplicación de procesos de oxidación avanzada a aguas contaminadas.*”. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) - Barcelona, p. 24-38.
- Torres Andrade, G. F. (2014). *Tratamiento de aguas residuales mediante la combinación de técnicas avanzadas de oxidación y biofiltros.* España - Universidad de Las Palmas de Gran Canaria , p. 53.
- Torres, G., & Lozano, E. (2017). Disminución de sólidos de aguas grises mediante un proceso de aireación. *Redalyc*, Universidad Autónoma Indígena de México, p. 4.
- Trujillo Ramirez, Y. (2023). *Parametros fisicoquimicos y microbiológicos del agua residual del camal y calidad ambiental del agua del rio Huallaga en Tingo Maria 2021.* Universidad Nacional Hermilio Valdizán - Escuela de Posgrado - Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Vargas Páramo, J. (2015). *Tratamiento del efluente de un rastro municipal mediante procesos de oxidación avanzada tipo fenton.* Universidad Tecnológica de León - México. p. 6-10.
- Vergara, J., & Quesada, V. (s/f). *Introducción a la estadística, distribuciones de frecuencias, gráficos estadísticos, medidas de tendencia central, dispersión, posición y forma, con ejemplos resueltos en Microsoft Excel.* Universidad de Cartagena, p. 8 -14: Grupo métodos cuantitativos de gestión - Estadística basada con aplicaciones en MS Excel.
- Vidales, A., & Magallanes, M. (2010). Extracción de Grasas y Aceites en los Efluentes de una Industria Automotriz . *Dialnet*, Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, p. 2.
- Yáñez Torrente, S. (2018). *Influencia del pH en la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en humedales construidos de flujo vertical.* Universidad de Coruña - Facultad de ciencias, p. 11.

CAPITULO VI

ANEXOS

Anexo 01: Monitoreo y desarrollo del proceso Fenton

Figura 26 Monitoreo de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en campo

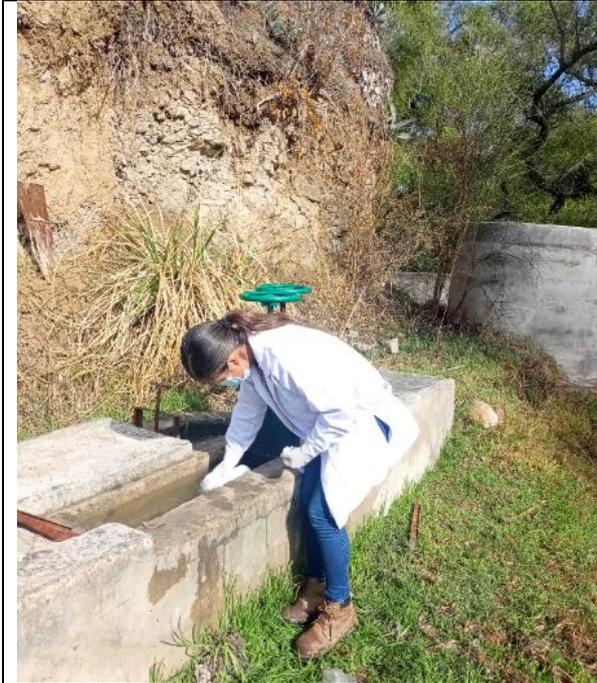




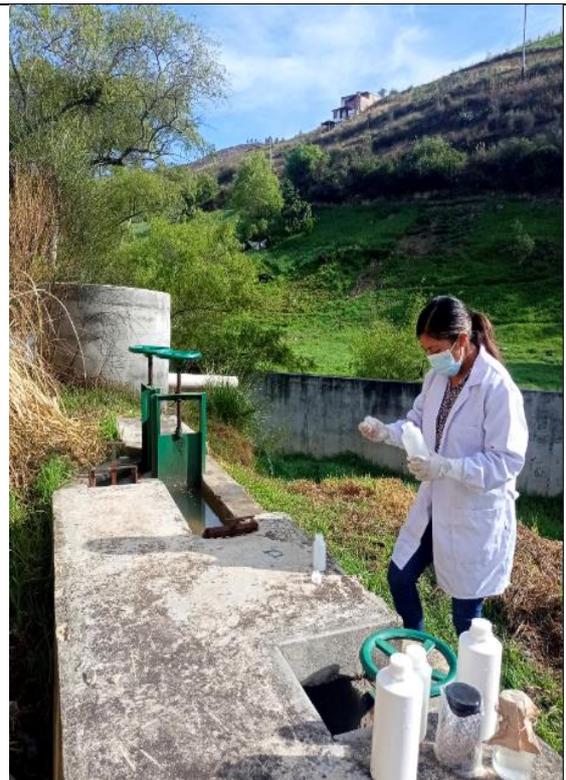
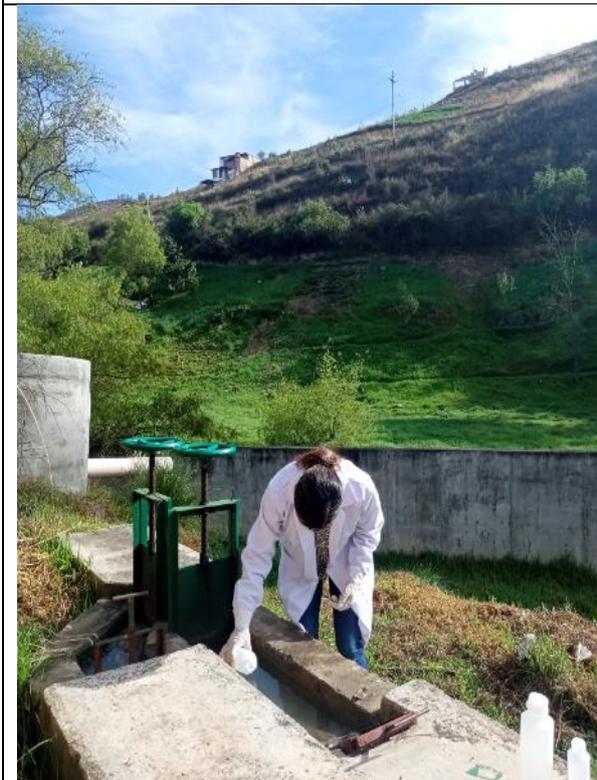
Toma de muestra del parámetro de Coliformes Termotolerantes



Toma de muestra del parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno



Toma de muestra del parámetro de Demanda Química de Oxígeno



Toma de muestra del parámetro de Solidos Suspendidos Totales

Figura 27 *Procesamiento de muestras y desarrollo de experimento de proceso Fenton en laboratorio SGS*



Procesamiento de muestras en laboratorio SGS



Análisis de Potencial de Hidrogeno (pH)



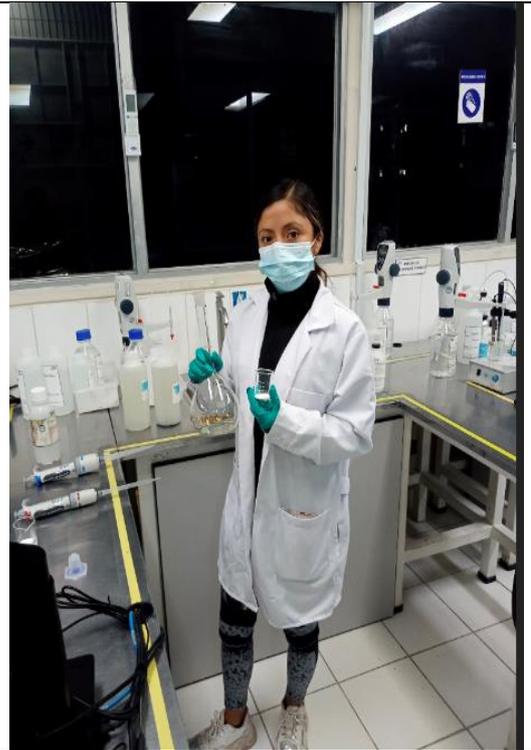
Neutralización de Potencial de Hidrogeno (pH)



Reactivo Fenton



Peso de Sulfato Ferroso

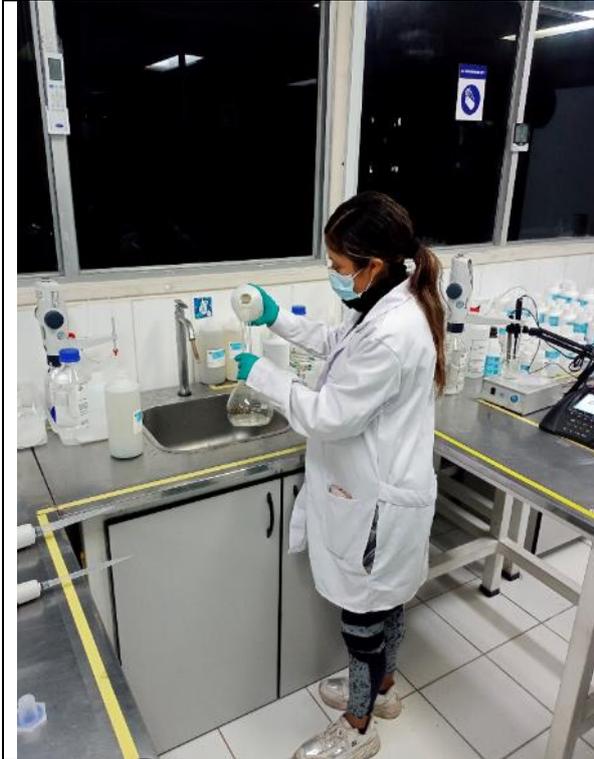


Colocación de la muestra contaminada a las fiolas

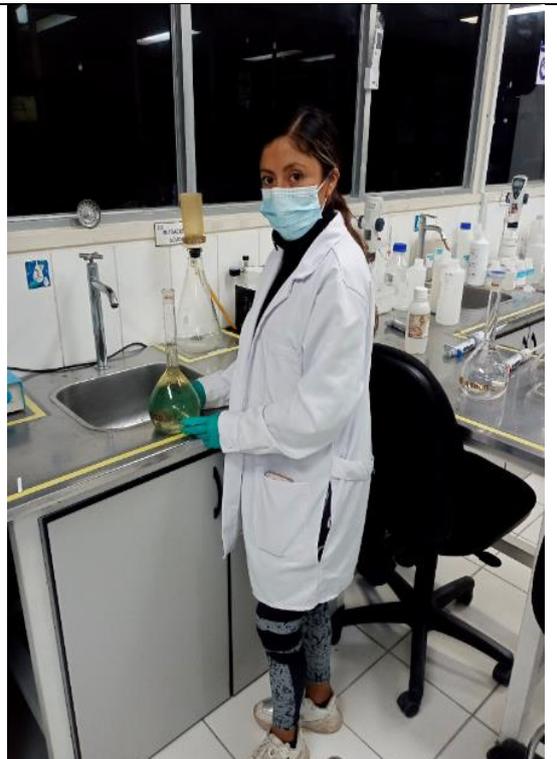


Colocación de diferentes dosis de reactivo Fenton en la muestra contaminada a las fiolas en diferentes tiempos y pH.





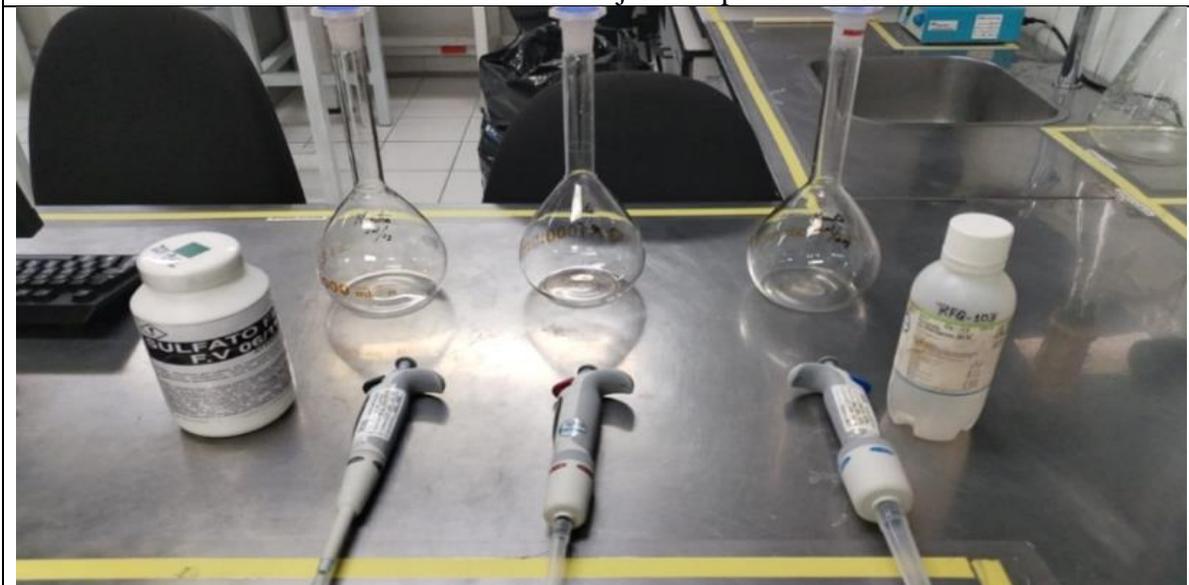
Colocación de diferentes dosis de reactivo Fenton en la muestra contaminada a las fioas en diferentes tiempos y pH.



Colocación de diferentes dosis de reactivo Fenton en la muestra contaminada a las fioas en diferentes tiempos y pH.



Desarrollo del método de jarras – proceso Fenton



Materiales y reactivos utilizados para los tratamientos de las muestras, fiolas, agitador magnético, micropipetas, balanza analítica, reactivos sulfato de hierro y peróxido de hidrogeno y ácido sulfúrico

Anexo 02: Resultados de análisis de laboratorio



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2335299 Rev. 0**

FADAL SERVICIOS GENERALES S.A.C.

JR. CAMILO BLAS 292-CAJAMARCA

ENV / LB-353089-002

PROCEDENCIA : ESTUDIO PARA TESIS

Fecha de Recepción SGS : 17-10-2023

Fecha de Ejecución : Del 17-10-2023 al 23-10-2023

Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Observación : Eficiencia del proceso Fenton en la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente de las aguas residuales domésticas, Llacanora, 2023"

Estación de Muestreo
MUESTRA CRUDA
MUESTRA- 2
MUESTRA-5
MUESTRA-10

Emitido por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 27/10/2023

Jade C. Huarcaya Soto

C.B.P. 8471

Jefe de Oficina

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



Registro N° LE - 002

**INFORME DE ENSAYO
MA2335299 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					MUESTRA CRUDA	MUESTRA- 2
FECHA DE MUESTREO					16/10/2023	16/10/2023
HORA DE MUESTREO					07:30:00	09:00:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMESTICA	AGUA RESIDUAL DOMESTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Análisis Generales						
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APHA2540D_CX	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3	112 ± 13	73 ± 9
Potencial de Hidrógeno	EW_APHA4500HB_CX	pH	--	--	3.61 * ± 1.090	3.54 * ± 1.060
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B_CX	mg/L	1.0	2.6	171.5 ± 20.60	68.9 ± 8.30
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D_CX	mgO ₂ /L	1.8	4.5	424.0 ± 42.40	253.2 ± 25.30
Acetiles y Grasas	EW_ASTMD3921	mg/L	0.2	0.4	8.0 ± 1.80	2.3 ± 0.50
Análisis Microbiológicos						
Numeración de Coliformes Fecales o Termotolerantes	EW_APHA9221E_NMP_CX	NMP/100 mL	--	--	920,000.0	350,000.0
Datos de Campo proporcionados por el Cliente						
Temperatura	EW OPERATIONS	°C	--	--	21.4 *	21.1 *

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					MUESTRA-5	MUESTRA-10
FECHA DE MUESTREO					16/10/2023	16/10/2023
HORA DE MUESTREO					11:00:00	14:00:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMESTICA	AGUA RESIDUAL DOMESTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Análisis Generales						
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APHA2540D_CX	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3	53 ± 6	21 ± 3
Potencial de Hidrógeno	EW_APHA4500HB_CX	pH	--	--	2.78 * ± 0.83	2.31 * ± 0.69
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B_CX	mg/L	1.0	2.6	27.2 ± 3.30	12.4 ± 1.50
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D_CX	mgO ₂ /L	1.8	4.5	119.0 ± 11.90	67.1 ± 6.70
Acetiles y Grasas	EW_ASTMD3921	mg/L	0.2	0.4	2.5 ± 0.60	3.8 ± 0.80
Análisis Microbiológicos						
Numeración de Coliformes Fecales o Termotolerantes	EW_APHA9221E_NMP_CX	NMP/100 mL	--	--	54,000.0	9,200.0
Datos de Campo proporcionados por el Cliente						
Temperatura	EW OPERATIONS	°C	--	--	21.0 *	20.6 *



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2335299 Rev. 0**

CONTROL DE CALIDAD

LC: Límite de cuantificación
 MB: Blanco del proceso.
 LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.
 MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.
 MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.
 Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery	MS %Recovery	MSD %RPD
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	2.6	<2.6	8 - 9%	97 - 102%		
Potencial de Hidrógeno	pH	--		0%	100 - 101%		
Sólidos Totales en Suspensión	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	3	<3	2 - 3%	94 - 103%		
Aceites y Grasas	mg/L	0.4	<0.4	0%	95%	103%	
Demanda Química de Oxígeno	mgO ₂ /L	4.5	<4.5		103%	100%	2%



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2335299 Rev. 0**

REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
EW_APHA2540D_CX	Cajamarca	Sólidos Totales en Suspensión	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D; 23rd Ed: 2017. Solids: Total Suspended Solids dried at 103-105 °C
EW_APHA4500HB_CX	Cajamarca	Potencial de Hidrógeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+B; 23rd Ed: 2017. pH Value: Electrometric Method.
EW_APHA5210B_CX	Cajamarca	Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B ;23rd Ed: 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5-Day BOD test
EW_APHA5220D_CX	Callao	Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24th Ed.2023.Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
EW_APHA9221E_NMP_CX	Cajamarca	Numeración de Coliformes Fecales o Termotolerantes	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221E.1, 24th Ed; 2023. Multiple-tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Thermotolerant (Fecal) Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium).
EW_ASTMD3921	Callao	Aceites y Grasas	ASTM D3921 - 96 (Reapproved 2011).Standard Test Method for Oil and Grease and Petroleum Hydrocarbons in Water. (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2015



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



Registro N° LE - 002

**INFORME DE ENSAYO
MA2335299 Rev. 0**

NOTAS

Notas:

- El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.
- Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.
- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C., las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas; no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

Última Revisión Enero 2022