

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



Facultad de Ingeniería

Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos

TESIS

**EFFECTO DE LA OXIDACIÓN FENTON SOBRE LA MATERIA ORGÁNICA DE
LOS LIXIVIADOS DE LA INFRAESTRUCTURA Y DISPOSICIÓN FINAL DE
RESIDUOS SÓLIDOS DE CAJAMARCA, 2019.**

Tesistas:

Lapeyre Cerna, Miguel Eduardo
Pequeño Otoyá, Juan Paulo

Asesor:

Dr. Ing°. Persi Vera Zelada

Cajamarca – Perú
2019

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



Facultad de Ingeniería

Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos

TESIS

**EFFECTO DE LA OXIDACIÓN FENTON SOBRE LA MATERIA
ORGÁNICA DE LOS LIXIVIADOS DE LA INFRAESTRUCTURA Y
DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DE CAJAMARCA, 2019.**

Tesis presentada en cumplimiento de los requerimientos para optar el
Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos.

Tesistas:

Lapeyre Cerna, Miguel Eduardo
Pequeño Otoyá, Juan Paulo

Asesor:

Dr. Ing°. Persi Vera Zelada

Cajamarca – Perú
2019

COPYRIGHT © 2019 by

LAPEYRE CERNA, MIGUEL EDUARDO
PEQUEÑO OTOYA, JUAN PAULO

Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y

PREVENCIÓN DE RIESGOS

**APROBACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS.**

**EFECTO DE LA OXIDACIÓN FENTON SOBRE LA MATERIA
ORGÁNICA DE LOS LIXIVIADOS DE LA INFRAESTRUCTURA Y
DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DE CAJAMARCA, 2019.**

Presidente:

Secretario:

Vocal:

Asesor:

DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado a Dios, a nuestros padres de familia, por guiarnos por buen camino y dándonos ánimos para seguir adelante ante las adversidades y tener fe en Dios.

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que formaron parte de nuestra formación profesional, gracias por todo lo que nos brindaron.

RESUMEN

El presente estudio de investigación evaluó el efecto de la oxidación Fenton sobre la materia orgánica de los lixiviados en la infraestructura y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, distrito de Jesús durante el periodo 2019. Ya que en la actualidad la mala gestión de residuos sólidos es un problema global, además, de la generación de lixiviados el cual genera problemas ambientales de limitadas soluciones. Que por consecuencia en las distintas épocas del año tienen diferente comportamiento; en la época de lluvia las pozas de lixiviación tienden a rebasar, arrastrando todo tipo de sustancia contaminando los suelos, aguas superficiales y subterráneas, y la salud pública, si no son gestionados adecuadamente. Es por ello que se aplicó el método más efectivo de la oxidación química avanzada – Fenton. Mediante el uso de reactivos: Peróxido de hidrógeno, sulfato ferroso y ácido sulfúrico, en un determinado tiempo de 2, 12, 24 horas, demostrando la reducción de la demanda química de oxígeno para la poza 1: 1505.1, 718, 314, mg/L; para la poza 2: 1400.8, 739, 301 mg/L; para la poza 3: 1041.3, 1005, 346 mg/L y para demanda bioquímica de oxígeno en la poza 1: 254, 329, 166 mg/L; para la poza 2: 335, 252, 151 mg/L; para la poza 3: 266, 299, 144 mg/L respectivamente. Tomando un punto de muestreo en cada una de las tres pozas de lixiviación. La conclusión de esta investigación detalla la efectividad de la oxidación química avanzada de Fenton para tratamiento de aguas residuales de lixiviados.

Palabras claves: Oxidación Fenton, agua residual, lixiviado.

ABSTRACT

This research study evaluated the effect of Fenton oxidation on the organic matter of leachate in the infrastructure and final disposal of solid waste from Cajamarca, district of Jesus during the period 2019. Since at present the bad management of solid waste is a global problem, in addition, the generation of leachate which generates environmental problems of limited solutions. That consequently at different times of the year they have different behavior; In the rainy season, leaching pools tend to overflow, dragging all kinds of substance contaminating soil, surface and groundwater, and public health, if not properly managed. That is why the most effective method of advanced chemical oxidation - Fenton was applied. Through the use of reagents: Hydrogen peroxide, ferrous sulfate and sulfuric acid, in a determined time of 2, 12, 24 hours, demonstrating the reduction of chemical oxygen demand for the pool1: 1505.1, 718, 314, mg / L; for pool 2: 1400.8, 739, 301 mg / L; for pool 3: 1041.3, 1005, 346 mg / L and for biochemical oxygen demand in pool 1: 254, 329, 166 mg / L; for pool 2: 335, 252, 151 mg / L; for pool 3: 266, 299, 144 mg / L respectively. Taking a sampling point in each of the three leaching pools. The conclusion of this investigation details the effectiveness of Fenton's advanced chemical oxidation for wastewater treatment of leachates.

Keywords: Fenton oxidation, wastewater, leachate.

ÍNDICE

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	viii
ÍNDICE	ix
LISTA DE TABLAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xiii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	11
1. Planteamiento del problema	11
1.1. Descripción de la realidad problemática	11
1.2. Definición de del problema.....	14
1.3. Objetivos	14
1.4. Justificación e importancia	15
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	16
2. Fundamentos teóricos de la investigación	16
2.2. Antecedentes teóricos	18
2.3. Marco teórico.....	24
2.4. Marco conceptual	33
2.5. Hipótesis.....	34
CAPÍTULO III. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	35
3. Metodología.....	35
3.1. Tipo de investigación	37
3.2. Diseño de investigación	37
3.3. Área de investigación.....	37
3.4. Población.....	37
3.5. Muestra.....	38
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	38
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	39
3.7.1. Procesamiento de datos	39

3.7.2. Técnicas de análisis de datos	40
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1. Presentación e interpretación de resultados.....	41
4.2. Proceso de prueba de hipótesis.....	54
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
5.1. Conclusiones	57
5.2. Recomendaciones.....	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
LISTA DE ABREVIATURAS.....	62
GLOSARIO.....	63
ANEXOS	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Demanda química de oxígeno en la poza 1 de lixiviación de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca.	41
Tabla 2. Demanda química de oxígeno en la poza 2 de lixiviación de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca.	43
Tabla 3. Demanda química de oxígeno en la poza 3 de lixiviación de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca	45
Tabla 4 . Demanda bioquímica de oxígeno en la poza 1 de lixiviación de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca.....	48
Tabla 5. Demanda bioquímica de oxígeno en la poza 2 de lixiviación de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca.....	49
Tabla 6 . Demanda bioquímica de oxígeno en la poza 2 de lixiviación de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca.....	51
Tabla 7. Prueba T de Estadísticas de muestras relacionadas-demanda química de oxígeno.....	54
Tabla 8. Prueba de muestras emparejadas (Fenton-Demanda química de oxígeno)	55
Tabla 9. Prueba T de Estadísticas de muestras relacionadas- demanda bioquímica de oxígeno.....	55
Tabla 10. Prueba de muestras emparejadas (Fenton-Demanda bioquímica de oxígeno)	55

Tabla 11. Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios y de seguridad.

..... 65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Concentración del reactivo Fenton en función del tiempo a 30°C en la demanda química de oxígeno para la poza 1 de lixiviación de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca.....	42
Figura 2. Concentración del reactivo Fenton en función del tiempo a 30°C en la demanda química de oxígeno para la poza 2 de lixiviación de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca.....	44
Figura 3. Concentración del reactivo Fenton en función del tiempo a 30°C en la demanda química de oxígeno para la poza 3 de lixiviación de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca.....	46
Figura 4. Concentración del reactivo Fenton en función del tiempo a 30°C en la demanda bioquímica de oxígeno para la poza 1 de lixiviación de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca.....	48
Figura 5. Concentración del reactivo Fenton en función del tiempo a 30°C en la demanda bioquímica de oxígeno para la poza 2 de lixiviación de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca.....	50
Figura 6. Concentración del reactivo Fenton en función del tiempo a 30°C en la demanda bioquímica de oxígeno para la poza 3 de lixiviación de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca.....	52

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1. Planteamiento del problema

1.1. Descripción de la realidad problemática

Es evidente que los impactos ambientales de mayor importancia se pueden generar durante la operación de un sistema de disposición final de residuos sólidos en un relleno sanitario, son sin duda alguna los lixiviados. El peligro potencial de los lixiviados es la contaminación de suelos, aguas superficiales y subterráneas, que pueden darse por escurrimientos no controlados o por infiltración a través de formaciones permeables. La afectación de los acuíferos provoca que sean inutilizados por largo tiempo ya que su regeneración toma muchos años (Ávila & Silva, 2010).

“El enfoque clásico de la operación de un Relleno Sanitario presenta dos principales problemas que resultan ser la generación de los gases invernadero y los lixiviados producidos” (Ávila & Silva, 2010).

“Los lixiviados han sido identificados como una fuente potencial de contaminación de aguas superficiales y subterráneas, ya que estos se pueden infiltrar a través del suelo provocando contaminación principalmente del agua” (Chávez, 2011).

La generación de lixiviados depende de la naturaleza de los residuos, es decir, su contenido de humedad y su grado de compactación. Su producción es mayor cuando es menos compactado. Asimismo, los componentes que intervienen para la composición de lixiviados, son: Precipitación, variación estacional del clima, tipo y composición de residuos, dependiendo de la calidad de vida de la población, estructura y edad del relleno sanitario (Chávez, 2011).

En gran parte de las grandes ciudades, es alarmante el crecimiento demográfico, trayendo consigo el incremento excesivo de residuos sólidos, para que finalmente sean trasladados a su disposición final, el cual es llamado relleno sanitario o infraestructuras de tratamiento y disposición final, es un lugar que cumple con las características necesarias para depositar todos los residuos generados, evitando así su dispersión y ocasionando focos de infección (Corena, 2008).

La infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de la población Cajamarquina cuenta con un espacio determinado de aproximadamente 3,5 hectáreas para la disposición de residuos sólidos de competencia municipal. Ésta estructura, tiene un promedio diario de ingreso con 140 toneladas de desechos, los cuales son esparcidos en capas de 1 m de alto y cubiertos con 0,30 m de suelo propio de la zona (Vásquez, 2017).

El proceso de recolección del lixiviado en el relleno sanitario de la ciudad de Cajamarca, se realiza a través de sistemas de drenaje de forma vertical en el interior de la celda y horizontal en su base, para luego ser conducido a una poza impermeabilizada con geo membranas, con una capacidad de almacenamiento de 10000 m³. Los lixiviados almacenados, son periódicamente recirculados sin ningún tratamiento previo (Vásquez, 2017).

En julio del año 2013, la Municipalidad Provincial de Cajamarca fue sancionado con la suma de 185000 Nuevos Soles (50 UIT), debido a la filtración de lixiviados, fuertes olores y proliferación de moscas. De tal manera que hay un impacto negativo para las comunidades aledaña. Por lo tanto la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental (DESA), a través de su órgano adscrito a la Dirección Regional de Salud de Cajamarca (DIRESA), emitió la Resolución Regional Sectorial N° 731 (Vásquez, 2017).

En la actualidad, se generan grandes volúmenes de lixiviados, producto de la descomposición de la materia orgánica de los residuos sólidos en la en la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, los cuales son almacenados en la poza 01, luego son trasladados a la poza 02 donde llevan un proceso de tratamiento con cal, posteriormente son evacuados a la poza 03, sin llevar un tratamiento previo.

1.2. Definición de del problema

¿Cuál es el efecto de la oxidación Fenton sobre la materia orgánica de los lixiviados de la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, 2019?

1.3. Objetivos

Objetivo General

- Evaluar el efecto de la oxidación Fenton sobre la materia orgánica de los lixiviados de la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, 2019.

Objetivos específicos

- Determinar la concentración de DBO y DQO de las muestras de los lixiviados de la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, 2019.
- Realizar la oxidación Fenton y sistematizar los datos para evidenciar su efecto en la materia orgánica de lixiviados de la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, 2019.
- Comparar los valores obtenidos de DBO y DQO, con la normatividad vigente que aplica para el análisis de la descarga de

efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios D.S N° -2009-MINAM .

1.4. Justificación e importancia

Los lixiviados requieren de una gestión adecuada por su caracterización fisicoquímica y microbiológica que pueden generar efectos nocivos en el ambiente, fuentes de agua, suelo, flora, fauna. Así como en las poblaciones aledañas. Sin embargo, los lixiviados solo son recirculados en las pozas, las cuales, al ser superadas en su capacidad, rebasan de forma directa al ambiente sin ningún tipo de tratamiento; de manera tal, que impacta negativamente al ambiente.

Con el presente estudio de investigación, se pretende evaluar la efectividad del método más eficiente de la oxidación química avanzada-Fenton, en los lixiviados provenientes de la infraestructura de tratamiento y disposición final de Cajamarca, cuyos resultados servirán para la realización de estudios favorables para instituciones públicas, privadas que respalden el cuidado ambiental, generando estudios de investigación. Asimismo, puede servir como instrumento para encontrar las posibles soluciones en el tratamiento de lixiviados.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2. Fundamentos teóricos de la investigación

a. Contaminación de aguas superficiales y subterráneas por lixiviados

Una de las fuentes principales de la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas son generados por los lixiviados, ya que les facilita infiltrarse en el suelo provocando contaminación principalmente del recurso hídrico (Montes, 2011).

La contaminación de aguas subterráneas por la infiltración de lixiviados generados en rellenos sanitarios puede ocurrir en las siguientes formas:

- El agotamiento del oxígeno disuelto.
- La adición es mayor en cuanto a la DBO₅ y DQO, los cuales no se encuentran presentes de una forma natural en el agua subterránea.
- Contaminación por virus y bacterias.
- El incremento de metales pesados y minerales (cloros, sulfatos, bicarbonato, sodio y potasio).
- El incremento de compuestos orgánicos complejos (pesticidas, hidrocarburos, productos químicos industriales).
- Presencia de la eutrofización en las aguas.

b. Oxidación Química de Fenton

Para realizar el proceso de la oxidación química se utilizan reactivos para la descomposición de compuestos orgánicos peligrosos. El peróxido de hidrógeno (H₂O₂) en la presencia de un catalizador (ej. Fe) genera radical hidroxilo (*OH) los cuales reaccionan con el material orgánico reduciéndolo de acuerdo al siguiente mecanismo de reacción (Montes, 2011).



El Fe³⁺ es un reactivo coagulante potente para controlar la remoción de constituyentes de alto peso molecular por la adsorción en los flóculos formados de Fe(OH)₃, siempre cuando la muestra se encuentre a un pH neutro. Las aplicaciones costo-eficiencia de la oxidación química sugieren una oxidación parcial de los compuestos orgánicos refractarios para hacerlos más biodegradables. La oxidación con H₂O₂ es realizado a un pH de 3.5 ya que corresponde a la tasa máxima de formación de

radicales libres en los sistemas $\text{H}_2\text{O}_2\text{-Fe}^{2+}$, donde Fe^{2+} (conocido también como reactivo Fenton) es utilizado como catalizador (Montes, 2011).

2.2. Antecedentes teóricos

Medina, (2018). Plasmó un estudio de investigación respecto a la optimización del proceso Fenton en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios con el objetivo de reducir la concentración de materia orgánica de las aguas residuales del camal municipal de Chota - Perú. Priorizando los parámetros más importantes: DBO_5 , DQO, sólidos totales, turbidez, temperatura, alcalinidad, dureza, pH, conductividad, potencial oxido-reducción, oxígeno disuelto y análisis microbiológicos para la presencia de Salmonella y E. Coli.

Para realizar este proceso de la oxidación Fenton, se utilizó el método de jarras con agitación a 30 rpm para tratar las diferentes concentraciones de las muestras de FeSO_4 y H_2O_2 y pH de acuerdo al diseño Box - Behnken y optimización. Dicho autor realizó una metodología de superficies con el software Statgraphics 5.1 plus. Por lo que se halló una concentración óptima de FeSO_4 , H_2O_2 y pH fueron de 2110,55 mg/L, 1092,67 mg/L y 3,22 respectivamente, en un tiempo de reacción de 18 minutos. Finalmente se observó una significativa

reducción a un valor de 0,5 y una remoción de 80% de la demanda química de oxígeno. Por lo tanto el proceso Fenton es una alternativa para el tratamiento de aguas residuales (Medina, 2018).

Escarcena, (2018). Realizó un estudio de investigación sobre la reducción de la demanda química de oxígeno en lactosuero mediante el proceso Fenton, con el objetivo reducir la carga orgánica del efluente; mediante el análisis de los parámetros: DQO, pH, sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV), sólidos totales disueltos (STD) y conductividad eléctrica, en el Laboratorio de Control de Calidad de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno-Perú. Este proceso se complementó con el desarrollo del análisis estadístico mediante Box-Behnken, donde se encontraron los valores óptimos para este tratamiento experimental Fenton.

Asimismo, para reducir la concentración de materia orgánica en el efluente, se realizó con un total de 30 ensayos; éste procedimiento arrojó los siguientes valores para: Peróxido de hidrógeno = 30,84 g, sal de Fe^{2+} = 3,65g (reactivo Fenton) con un tiempo de reacción de 43,84 minutos, pH en un intervalo 2,8 - 3 y temperatura de 15 °C. Finalmente con los valores obtenidos se describió el modelo cinético de la oxidación Fenton del lactosuero en condiciones climatológicas típicas de la zona altiplánica (3820 msnm aprox.). Logrando

porcentajes de reducción de DQO = 78,93 %, ST = 73,20 %, SV = 84,40 %, STD = 63,45% y 63,35 % para la Conductividad Eléctrica (Escarcena, 2018).

Medina, C. et al., (2017). Desarrollaron el siguiente estudio del proceso Fenton en el tratamiento de los lixiviados del relleno sanitario “Aguas de las Vírgenes”, Huancayo-Perú. Con el objetivo de analizar la eficacia de dicho proceso. Los parámetros evaluados fueron: DBO₅, DQO, alcalinidad, dureza, pH, conductividad, sólidos totales, turbidez, Pb y Cd. Dichos parámetros se determinaron en la época de lluvia (pH = 3,19, FeSO = 1645,55 mg/L y H₂O₂ = 1096,55 mg/L) y en época de estiaje (pH= 3,26, FeSO₄ = 1788,61 mg/L y H₂O₂ = 1180,83 mg/L). El indicador de biodegradabilidad obtenido fue 0,568 y 0,329 en época de lluvia y estiaje, respectivamente, con una eliminación cercana al 42% de la DQO en ambas épocas de estudio. Se concluye que la oxidación química de Fenton es una alternativa eficaz para tratamiento de lixiviados y puede ser aplicado como pos tratamiento.

Rosales, R. (2017). Realizó un estudio sobre la reducción del contenido de colorantes en efluentes de la industria textil usando el proceso Fenton, Zarate, 2017. Con el objetivo de reducir la concentración de residuos de colorantes directos empelados en la industria textil. para ello se buscó la dosis optima de (H₂O₂) como el

catalizador (Fe^{2+}), con un pH entre 2,5 y 3. Se logró la remoción de parámetros importantes como turbidez, color, DQO, por encima de 96%. Con una dosis optima de 12,17 mL/L de H_2O_2 al 30% y 0,2 g/L Fe^{2+} , pH ácido 2,6 y 24 horas de reposo del sistema, a una temperatura ambiente, tiempo de mezcla de 60 min y a una velocidad de mezcla de 300 rpm. Los resultados indicaron una reducción del contenido inicial de >100 a 13 unidades colorimétricas una turbidez inicial de 118,3 a 6,3 UNT así mismo un DQO inicial de 1 390 mg/L a 470,5 mg/L. El proceso fenton es un método adecuado para la remoción de porcentajes altos de colorantes, dando así la posibilidad de reutilizar o reciclar las aguas tratadas.

Huichapa, A. et al., (2016). Plantearon el siguiente estudio de investigación, respecto al tratamiento de lixiviados generados en un espacio determinado de disposición final de residuos sólidos urbanos mediante los procesos de oxidación Fenton y Fotofenton; Dicho estudio tiene como objetivo evaluar la eficiencia de eliminación de DQO total, soluble y sólidos. Las condiciones óptimas del reactivo Fenton y foto-Fenton, fueron: pH= 4; 1250 mg/L FeSO_4 y 1000 mg/L H_2O_2 . Para el proceso foto-Fenton 500 mg/L FeSO_4 y 1000 mg/L H_2O_2 . Los resultados obtenidos fueron con un 82% para la DQO solubles, 97% para la turbidez y 19% para los SST. Finalmente se

logro disminuir las dosis aplicadas de FeSO_4 a 500 mg/L, así como la masa de sólidos a 0,21 g.

Jesús, B. et al., (2016). Desarrollan la aplicación del proceso Fenton para tratamiento de lixiviados provenientes del relleno sanitario de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, los cuales fueron previamente tratados por un biorreactor semiaeróbico. Donde se utilizó ciertas variables: pH (2,5; 3,5 y 4,5) y relaciones molares $[\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{Fe}^{+2}]$, (2, 3 y 4). Considerando el mejor tratamiento desarrollado en un tiempo corto, en ciertas condiciones de pH 3,5 y relación molar $[\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{Fe}^{+2}]$, de 2, donde se alcanzaron remociones por arriba del 50% para DQO y más del 90% para color. Asimismo mediante el análisis estadístico (ANOVA), no se observaron diferencias significativas en una relación molar de 2 y pH de 4,5, siendo este último el más recomendable por requerir un menor consumo de reactivos ante un posible escalamiento.

Taco, M. & Mayorga, E. (2013). Mediante su investigación del proceso Fenton para la reducción de la materia orgánica en aguas residuales provenientes de la industria termoeléctrica. Dicha investigación se realizó con el propósito de disminuir la concentración de DQO; Dado que las variables de los reactivos fueron: pH (2,5 y 3,0) y la relación de 1/60 a 1/15 (en mg/L) para poder realizarse la reacción

Fenton, $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$, los porcentajes de remoción de DQO se encontraron en (entre el 72,51 y 88,60%) accediendo a cumplir con las normativas ambientales del distrito Metropolitano de Quito que detalla un máximo de 123 mg/L de DQO. Además se estudió la evolución de la remoción de materia orgánica en función del tiempo para una muestra de agua residual que presentó una DQO inicial de 357,14 mg O_2/L obteniéndose una reducción significativa de DQO (del 89,68%) en un tiempo de reacción de 352 minutos.

Méndez, R. et al. , (2010). Detallaron el tratamiento de lixiviados por oxidación Fenton en la península de Yucatán, México. Con el propósito de reducir los niveles de la materia orgánica de dichos contaminantes. El proceso mencionado anteriormente consiste en tratar de reducir la carga contaminante con una combinación de reactivos: H_2O_2 y FeSO_4 en condiciones ácidas. Para ello se empleó un determinado tiempo de 20 minutos, un valor de pH igual a 4, en concentraciones de H_2O_2 de 600 mg/L y Fe^{2+} de 1000 mg/L. Finalmente los porcentajes de remoción promedio de materia orgánica fue de 78%, 87% para DQO y COT respectivamente.

2.3. Marco teórico

Reacción química

Una reacción química es un proceso por el cual una o más sustancias, llamadas reactivos se transforman en otra u otras sustancias con propiedades diferentes, llamadas productos. En una reacción química, los enlaces entre los átomos que forman los reactivos se rompen. Entonces, los átomos se reorganizan de otro modo, formando nuevos enlaces y dando lugar a una o más sustancias diferentes a las iniciales (Monago & Charapaqui, 2014).

Proceso Redox

El siguiente proceso se realiza mediante un método estratégico de la transferencia de electrones de un átomo hacia otro. Estos procesos redox requieren de agentes oxidantes como el oxígeno o los nitratos.

Por ejemplo, con Fe^{+2} y el Mn^{+4} , tal que así:



En esta reacción, dos electrones son transferidos de Fe (2) para reducir Mn (4) en MnO_2 . El ion ferroso actúa como reductor y reduce Mn (4), mientras MnO_2 puede llamarse oxidante y oxida a Fe^{+2} .

Procesos de oxidación avanzada (Poas)

Los Procesos de Oxidación Avanzada (POAs “Advanced Oxidation Processes”). Se caracterizan por su capacidad de reducir o producir ciertos cambios en la estructura química de los contaminantes. Por lo que, este proceso puede ser desarrollado en medios fotoquímicos (incluida la luz solar) o por otras formas de energía, y posee alta efectividad para la oxidación de materia orgánica (Terán, 2016).

“Generalmente los POA son tratamientos terciarios basados en la generación de fuertes oxidantes, que tienen un propósito principal como la eliminación de compuestos solubles no biodegradables, presentes en las aguas residuales” (Castañeda, 2014).

Principios del proceso Fenton

“Un exceso en los reactivos de sulfato ferroso o peróxido de hidrógeno, pueden llevar a una gran contaminación de las corrientes a tratar en vez de una limpieza; el exceso de H_2O_2 puede inhibir la acción de los radicales $\cdot OH$ ” (GilPavas, 2011).

Proceso Fenton

El proceso Fenton es otro AOP en el que se producen radicales hidroxilos en medio ácido (entre 3 y 3,5 aproximadamente), con temperatura y presión ambiente y por medio del uso de peróxido de

hidrógeno, catalizado por Fe^{2+} (Pelayo, 2018). Este mecanismo se puede resumir en la reacción:



“El proceso Fenton depende fuertemente del pH de la solución. El pH óptimo de operación de este proceso es alrededor de 3 o 3,5 independientemente del sustrato” (Pelayo, 2018).

Su aplicación de este proceso de oxidación Fenton, garantiza la efectividad en tratamiento de aguas naturales y efluentes industriales, lixiviados, aguas de operaciones mineras, aguas subterráneas, suelos contaminados, asimismo, los que se encuentran en numerosos aditivos y colorantes de uso habitual en la industria textil (Sánchez, 2015).

El proceso Fenton ha resultado efectivo para degradar compuestos alifáticos y aromáticos clorados, policloruro de vinilos (PCB), nitroaromáticos, clorobenceno, fenoles, fenoles clorados, octacloro-p-dioxina y formaldehído (Valles, 2013).

La oxidación se desarrolla con facilidad a rangos ácidos de pH, sin recurrir a altas presiones, temperaturas y equipamiento sofisticado. El mecanismo de la reacción de Fenton se soporta en varias teorías en la

que están involucrados un gran número de intermediarios y reacciones elementales, las que han suscitado diversas posiciones y controversias entre investigadores, sin embargo lo que si se conoce con certeza es que el responsable de los procesos oxidativos es el radical hoxidrilo OH^* , que es extremadamente reactivo, y que en este caso es formado por la descomposición catalítica del peróxido de hidrógeno en medio ácido (Medina, 2018).

Para llevar a cabo la adición de reactivos se procede lo siguiente: La muestra a tratar tiene que ser ajustada a un pH ácido o básico, por lo que, el reactivo neutralizador debe ser agregado poco a poco para no alterar la temperatura interna. Para proceder añadiendo el reactivo Fenton, cantidad óptima necesaria para el proceso. Una vez transcurrido un determinado tiempo de reacción, y habiendo alcanzado el nivel de degradación oportuno, se pasa la muestra a un tanque de neutralización para adicionar una base y, de esta manera, precipitar el hidróxido de hierro. Éste se hace coagular en un tanque de floculación mediante un agente coagulante. Una vez separadas estas dos fases se obtendrá un efluente tratado (Castañeda, 2014).

Ajuste de pH del afluente

Para iniciar con este proceso de adición de reactivos, la muestra tiene que ser acidificada hasta un valor de pH en torno a 3, óptimo para el

desarrollo de la reacción de Fenton. Normalmente, la acidificación se lleva a cabo mediante la adición de ácido sulfúrico de grado técnico en una dilución adecuada (Sánchez, 2015).

Dosificación de Fenton

La dosis de los reactivos peróxido de hidrógeno interviene fundamentalmente sobre la eficacia del proceso, mientras que la concentración de hierro afecta a la cinética. Tanto la eficacia como la velocidad de la reacción tienden a aumentar con la concentración de los reactivos. Sin embargo, un exceso de hierro da lugar a una disminución de la eficacia debido a la activación de reacciones secundarias no deseadas, como el caso de la formación de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ que puede precipitar. Un exceso de peróxido de hidrógeno daría lugar a la degradación del mismo por los radicales hidroxilos (Castañeda, 2014).

Residuos sólidos

Son sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido de los que su generador dispone, o está obligado a disponer, en virtud de lo establecido en la normatividad nacional o de los riesgos que causan a la salud y el ambiente (Vásquez, 2017).

Relenos sanitarios

Son espacios determinados para la disposición final controlada de los residuos sólidos, sin causar peligro, daño o riesgo a la salud pública, minimizando los impactos ambientales y utilizando principios de ingeniería (Corena, 2008).

Generación de Lixiviados

Los residuos sólidos al ser transportados a los rellenos sanitarios, éstos comienzan a descomponerse mediante una serie de procesos químicos complejos. Por lo que, producto de esta descomposición se forman los líquidos lixiviados. Estos pueden perturbar la salud de las poblaciones aledañas, ya que, se forman mediante el percolado de líquidos (como, por ejemplo, agua de lluvia) a través de sustancias en proceso de descomposición. El líquido, al fluir, disuelve algunas sustancias y arrastra partículas con otros compuestos químicos (Corena, 2008).

Composición de Lixiviados

Los lixiviados en el relleno poseen elevadas cargas orgánicas y un color que varía desde café-pardo-grisáceo cuando están frescos hasta un color negro viscoso cuando envejecen (Corena, 2008).

Pueden presentar concentraciones tan elevadas como 60,000 mg/L de DQO. Además, elevadas concentraciones de sales inorgánicas (cloruro

de sodio y carbonatos) y de metales pesados. Según investigaciones, indican que el carbono orgánico en forma coloidal tiene el potencial de adsorber altas concentraciones de metales en su superficie, por lo que actúan como transporte de metales traza en los lixiviados (Corena, 2008).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Constituye, el parámetro de mayor importancia en la valoración del grado de contaminación de los lixiviados, toda vez que las muestras de residuos sólidos, corresponden a residuos de tipo doméstico, los cuales reúnen características básicamente orgánicas, condición que es determinada cuantitativamente por este indicador (Ávila & Silva, 2010).

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Este parámetro, es importante para establecer correlaciones con otras variables principalmente con la demanda bioquímica de oxígeno en la determinación de fracciones biológicamente susceptibles a ser oxidadas ya sea por medios químicos o biológicos. Además, sirve como parámetros de comprobación de los valores obtenidos para la demanda bioquímica de oxígeno, ya que como veremos más adelante estos conceptos guardan similares tendencias en sus resultados (Ávila & Silva, 2010).

Sólidos Disueltos (SD)

Indicador relacionado directamente con la contaminación orgánica, este es un parámetro muy importante, pues la percolación de los lixiviados a través del suelo, promueve una remoción de aquellos elementos en suspensión, ya sean estos orgánicos o inorgánicos; no sucede lo propio con los sólidos disueltos, pues estos prevalecen hasta entrar en contacto con estratos inferiores del suelo pudiendo incluso alcanzar la napa freática (Ávila & Silva, 2010).

Potencial de Hidrógeno (pH)

El un parámetro de gran importancia que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculando el número iones hidrógeno presentes. Se mide en una escala a partir de 0 a 14, en la escala 7, la sustancia es neutra, por debajo es ácida y por encima es básica. Cuando una sustancia es neutra el número de los átomos de hidrógeno y de oxhidrilos son iguales (Vásquez, 2017).

Debido a las variaciones que van a experimentar los lixiviados con relación a sus condiciones iniciales, se hace necesario el monitoreo del comportamiento de este parámetro en función al tiempo de duración del ensayo, pues este parámetro a su vez involucra indirectamente a indicadores como la actividad microbiana (Ávila & Silva, 2010).

Temperatura (T°)

Este parámetro físico influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración (Vásquez, 2017).

Este indicador será monitoreado con motivos referenciales a fin de reforzar el tramo final de la presente investigación referida al planteamiento de conclusiones, toda vez, que existe una relación directa entre las variaciones de la temperatura en relación a las variaciones de la actividad microbiana (Ávila & Silva, 2010).

Nitritos

Los nitritos (NO_2) son oxidados por el grupo de nitro bacterias para formar nitrato (NO_3). Los nitratos formados pueden servir como fertilizantes para las plantas. Estos son transportados por el agua, luego estos se filtran a través del suelo, debido a que el suelo no tiene la capacidad de retenerlos pudiendo encontrarse en concentraciones superiores en aguas subterráneas (Vásquez, 2017).

2.4. Marco conceptual

Lixiviados

Se generan por la liberación del exceso de agua de los residuos sólidos y por la percolación de agua pluvial a través de los estratos de residuos sólidos que se encuentran en las fases de composición (Corena, 2008).

Hierro

El Hierro es un metal que tiene dos estados de oxidación: Fe^{+2} y Fe^{+3} . Las sales ferrosas (Fe^{+2}) cristalizadas son de color verde y en forma anhidra son de color blanco o amarillo pálido. Las sales férricas (Fe^{+3}) cristalizadas son de color amarillo a causa de las especies $\text{Fe}(\text{OH})^{+2}$ y $\text{Fe}(\text{OH})_2$. La especie Fe^{+3} es un catión más ácido que la especie Fe^{+2} por lo que es más estable en un medio acuoso ácido, pero estas especies no son las únicas ya que existen $\text{Fe}(\text{OH})^{+2}$, $\text{Fe}^2(\text{OH})_2^{+4}$ y $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ con una concentración importante en medios alcalinos que pueden precipitar como sales básicas de color pardo rojizo (Medina, C. et al., 2017).

Peróxido de Hidrógeno

Líquido incoloro con punto de ebullición a $150,2\text{ }^\circ\text{C}$, con una densidad relativa de $1,45\text{ g/mL}$ a $20\text{ }^\circ\text{C}$, cuya estabilidad depende del pH y de la temperatura, pHs menores de 9 el peróxido es relativamente estable en un intervalo de temperatura de $10\text{ }^\circ\text{C}$ a $50\text{ }^\circ\text{C}$ para períodos menores a

96 horas y a pH mayores a 9, existe una marcada descomposición a períodos mayores a 96 horas (Medina, C. et al., 2017).

2.5. Hipótesis

- **H₁**: La oxidación Fenton es efectiva si disminuye la concentración de materia orgánica según el Decreto Supremo N° - 2009 - MINAM Aprueba los límites máximos permisibles (LMP) de efluentes de infraestructuras de residuos sólidos, para DBO y DQO.

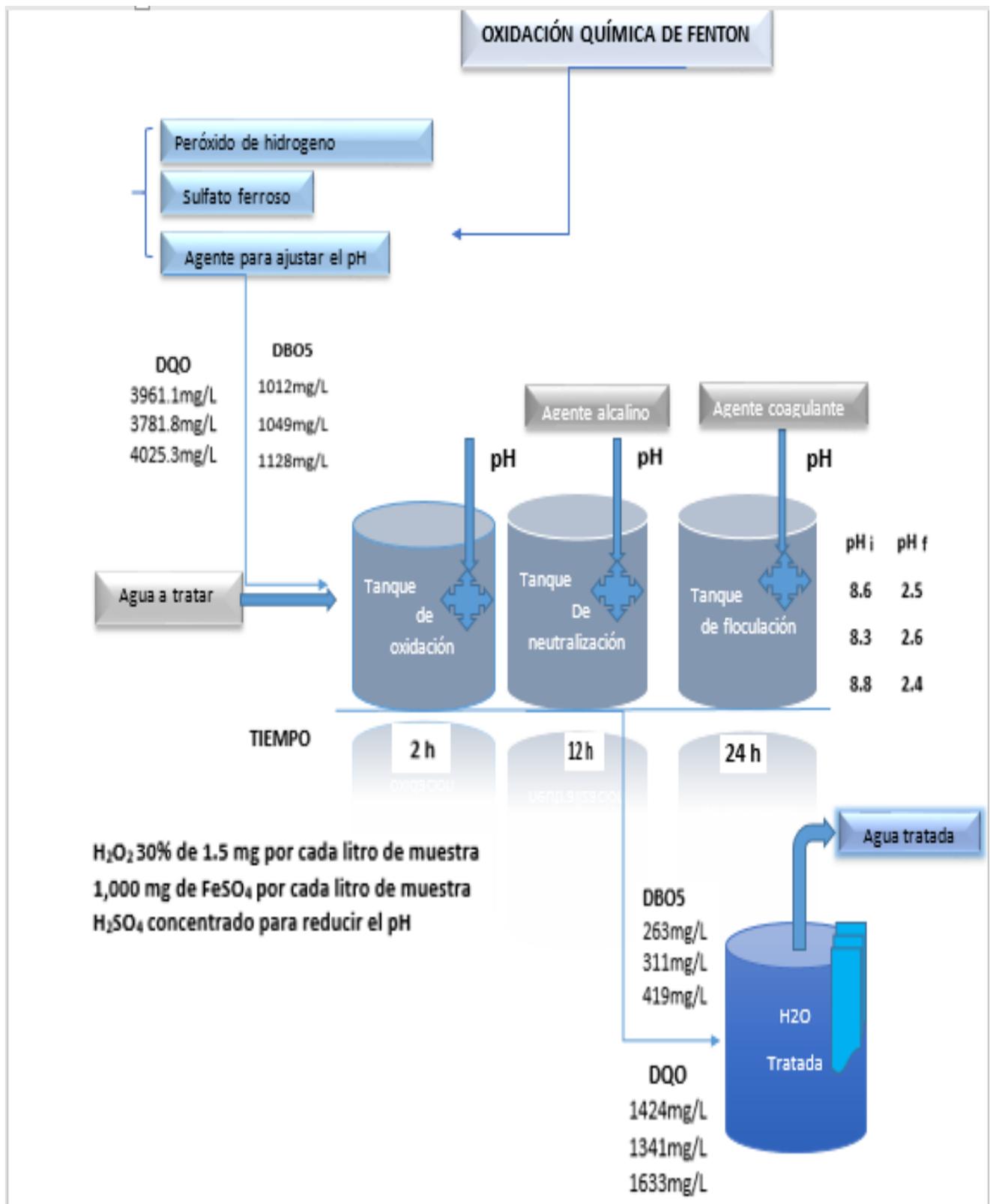
- **H₀**: La oxidación Fenton no es efectiva si no disminuye la concentración de materia orgánica según el Decreto Supremo N° - 2009 - MINAM Aprueba los límites máximos permisibles (LMP) de efluentes de infraestructuras de residuos sólidos, para DBO y DQO.

-

CAPÍTULO III. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3. Metodología

Se recogió las muestras en cada una de las tres pozas de lixiviados, en una sola oportunidad durante el mes de octubre de 2019, para luego ser analizadas en laboratorio, donde se realizó la oxidación Fenton. Para la oxidación química de Fenton se utilizaron los reactivos: H_2O_2 30% de 1.5 mg y 1,000 mg de FeSO_4 por cada litro de muestra, asimismo, H_2SO_4 concentrado para reducir o neutralizar el pH. Para dicho análisis se empleó un lapso de tiempo de 2, 12 y 24 horas. detallado en el siguiente diagrama.



Fuente: Elaboración propia

3.1. Tipo de investigación

Es una investigación Cuasiexperimental, ya que evalúa el efecto de la variable independiente como meta a conseguir realizando un enfoque científico con la variable dependiente, sujeta a un experimento mediante un análisis sistemático en laboratorio, con el propósito de predecir y controlar los valores de DBO y DQO mediante la oxidación Fenton (aplicación de reactivos: óxido ferroso y peróxido de hidrógeno) para examinar la probabilidad.

3.2. Diseño de investigación

El estudio de investigación indica un diseño transversal, es decir, se realizó un registro de datos en un solo tiempo, basándose en el sentido estático de la comparación (Cabré ; s.f).

3.3. Área de investigación

El presente estudio de investigación, se desarrolló el sector denominado Palturo, caserío San José de Canay, distrito de Jesús, provincia, departamento y región de Cajamarca en el kilómetro 13 de la carretera Cajamarca - San Marcos.

3.4. Población

Lixiviados generados en la infraestructura de tratamiento y disposición final de Cajamarca.

3.5. Muestra

1 L de lixiviado por cada punto de muestreo de las tres pozas.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se tomó una muestra en cada una de las tres pozas en la infraestructura de tratamiento y disposición final de Cajamarca.

Medios de transporte:

Camioneta

Materiales

Cooler

Frascos plastificados y vidrio

Baldes milimetrados (4L)

Guantes descartables

Mascarillas

Refrigerantes

Equipos

GPS

Cámara fotográfica

Soluciones y reactivos

Agua destilada

Preservantes

Formatos

Ficha de Campo

Cadena custodia

Material cartográfico

Mapa hidrográfico

Otros

Plumones indelebles

Cinta adhesiva

Papel secante

Libreta de campo

Cinta métrica

Tablero

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.7.1. Procesamiento de datos

Para el procesamiento de datos, se utilizó el programa de Microsoft Excel y el software estadístico SPSS, en los cuales se calcularon los

parámetros (DBO, DQO y pH), obteniendo la comparación mediante gráficos con la normativa vigente (D.S. N° – MINAM – 2009).

3.7.2. Técnicas de análisis de datos

Se realizó la toma de una muestra en cada una de las tres pozas de los lixiviados en la infraestructura de tratamiento y disposición final de Cajamarca.

El procesamiento de análisis de las muestras tomadas fue realizado en el Laboratorio SGS Cajamarca. Para ello se tomó en cuenta la secuencia de una sistematización sencilla indicando: Nombre del parámetro, código o nombre del punto del muestreo, hora y fecha del inicio del muestreo y puntualizar si se hizo uso algún preservante. Para que finalmente con los resultados arrojados se realice una respectiva comparación con la normativa vigente (D.S. N° – MINAM – 2009).

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Presentación e interpretación de resultados

Los parámetros analizados fueron: DBO y DQO por separado, así como el pH. Tomando un punto de muestreo en cada una de las tres pozas. Para ser analizados los niveles de concentración de materia orgánica en los parámetros investigados en laboratorio, mediante el uso de reactivos. Los resultados obtenidos fueron digitados y almacenados en Microsoft Excel, permitiendo realizar tablas y gráficos, que a continuación se describe su interpretación y análisis respectivo.

Tabla 1. *Demanda química de oxígeno en la poza 1 de lixiviación de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca.*

TIEMPO (h)	POZA1-M1 (mg/L)	LMP (mg/L)
0	3961.1	120
2	2456	120
12	1738	120
24	1424	120
48	796	120
72	168	120
74	115.66	120

Fuente: Elaboración propia

12h-----1738 mg/L	12h-----1738 mg/L	12h-----1738 mg/L
24h-----1424mg/L	24h-----1424mg/L	24h-----1424mg/L
48h-----X	72h-----X	74h-----X
Por extrapolación:	Por extrapolación:	Por extrapolación:
X=796 mg/L	X=168 mg/L	X=115.66 mg/L

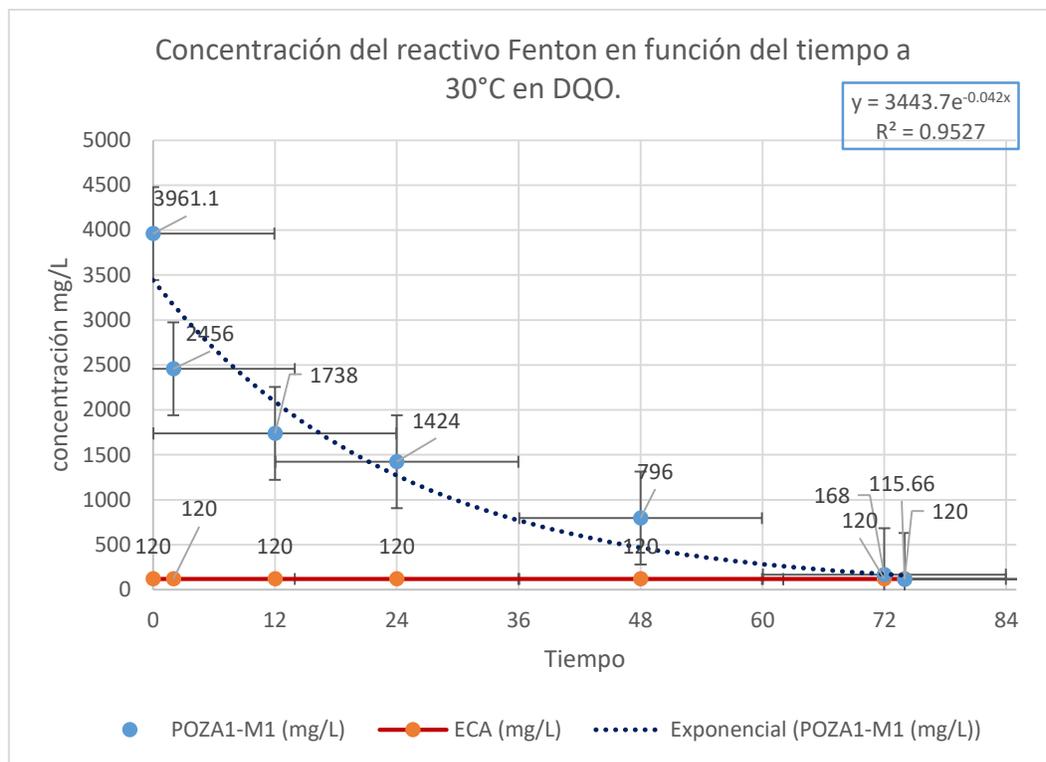


Figura 1. Concentración del reactivo Fenton en función del tiempo a 30°C en la demanda química de oxígeno para la poza 1 de lixiviación de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca.

Para facilitar la interpretación de los valores encontrados después de la oxidación química de Fenton; se ha reducido la concentración de materia orgánica en las horas indicadas 2, 12 y 24 h en el ensayo de laboratorio, sin embargo, para alcanzar los valores recomendados de los LMP (D.S. N° – MINAM – 2009). Se requiere de 48, 72, 74h de acuerdo a la interferencia del análisis de la cinética química.

Tabla 2. *Demanda química de oxígeno en la poza 2 de lixiviación de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca.*

TIEMPO (h)	POZA2-M2 (mg/L)	LMP (mg/L)
0	3781.8	120
2	2381	120
12	1642	120
24	1341	120
48	739	120
74	88.92	120

Fuente: Elaboración propia

12h-----1642 mg/L

24h-----1341 mg/L

24h-----1341 mg/L

48h-----739 mg/L

48h-----X

74h-----X

Por extrapolación:

Por extrapolación:

X=739 mg/L

X=88.92 mg/L

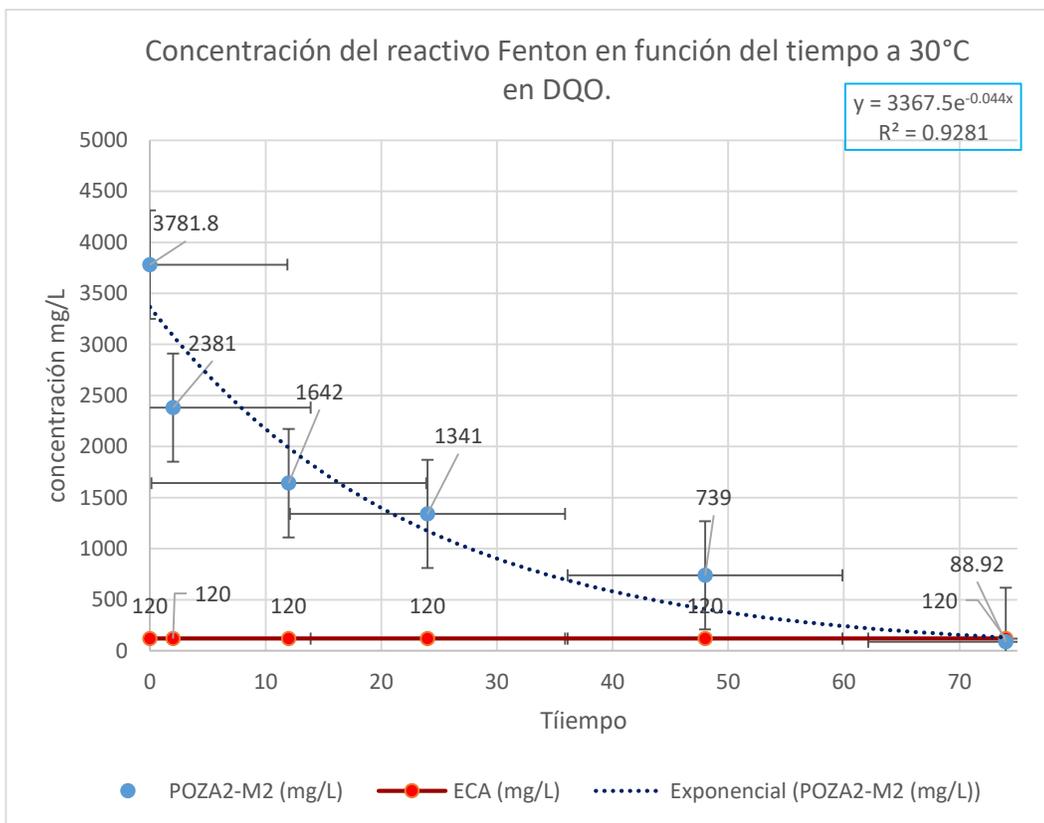


Figura 2. Concentración del reactivo Fenton en función del tiempo a 30°C en la demanda química de oxígeno para la poza 2 de lixiviación de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca.

Para facilitar la interpretación de los valores encontrados después de la oxidación química de Fenton; se ha reducido la concentración de materia orgánica en las horas indicadas 2, 12 y 24 h en el ensayo de laboratorio, sin embargo, para alcanzar los valores recomendados de los LMP (D.S. N° – MINAM – 2009). Se requiere de 48 y 74h de acuerdo a la interferencia del análisis de la cinética química.

Tabla 3. *Demanda química de oxígeno en la poza 3 de lixiviación de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca*

TIEMPO (h)	POZA3-M3 (mg/L)	LMP (mg/L)
0	4025.3	120
2	2984	120
12	1979	120
24	1633	120
48	941	120
76	133.67	120
77	104.83	120

Fuente: Elaboración propia

12h-----1979 mg/L	24h-----1633 mg/L	24h-----1633mg/L
24h-----1633 mg/L	48h----- 941mg/L	48h-----941mg/L
48h-----X	76h-----X	77h-----X
Por extrapolación:	Por extrapolación:	Por extrapolación:
X=941 mg/L	X=133.67 mg/L	X=104.83 mg/L

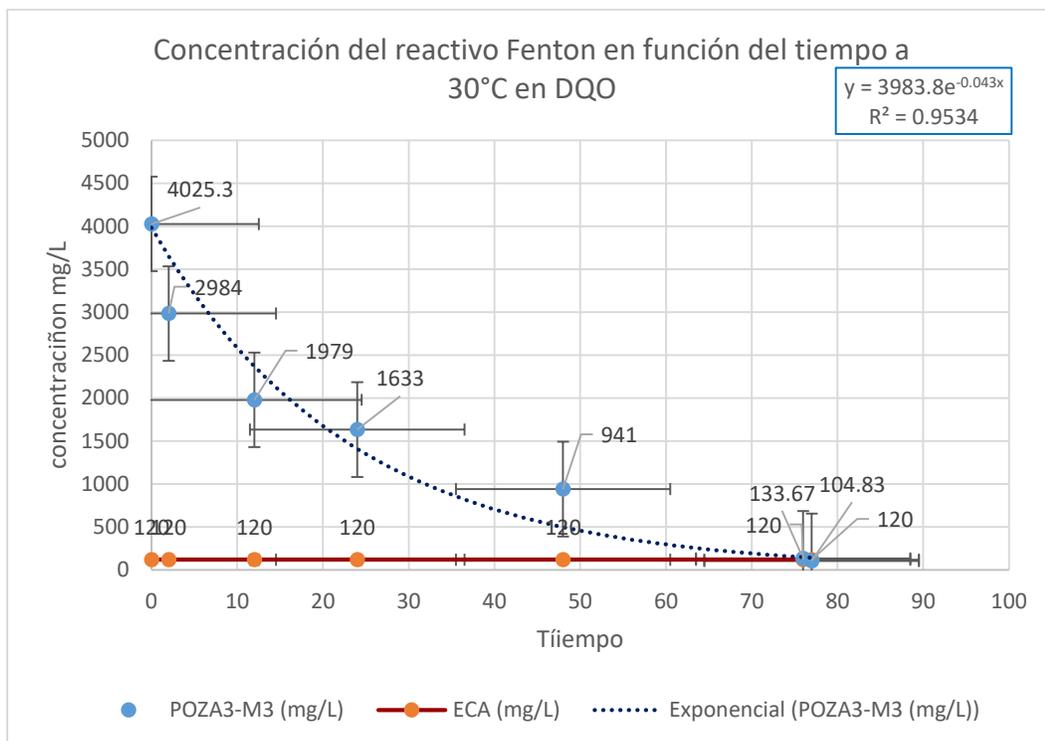
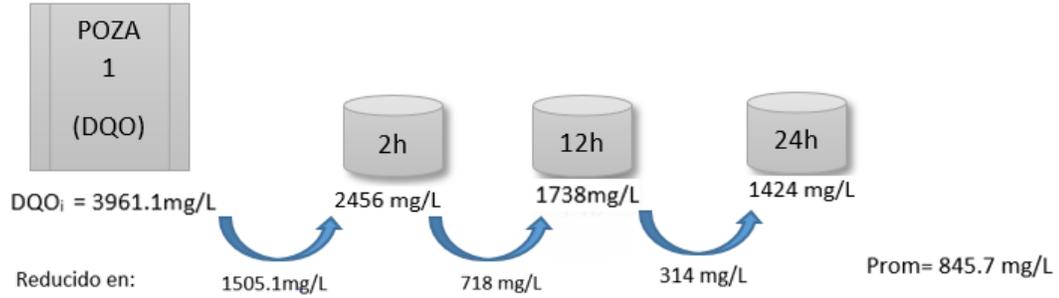


Figura 3. Concentración del reactivo Fenton en función del tiempo a 30°C en la demanda química de oxígeno para la poza 3 de lixiviación de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca.

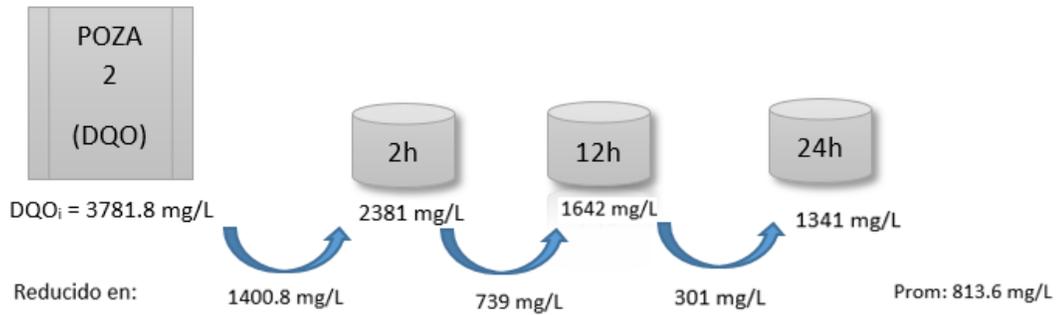
Para facilitar la interpretación de los valores encontrados después de la oxidación química de Fenton; se ha reducido la concentración de materia orgánica en las horas indicadas 2, 12 y 24 h en el ensayo de laboratorio, sin embargo, para alcanzar los valores recomendados de los LMP (D.S. N° – MINAM – 2009). Se requiere de 48, 76, 77h de acuerdo a la interferencia del análisis de la cinética química.

- Proceso final para demanda química de oxígeno después de la reacción Fenton

Poza 1: Demanda química de oxígeno después de la reacción Fenton



Poza 2: Demanda química de oxígeno después de la reacción Fenton



Poza 3: Demanda química de oxígeno después de la reacción Fenton

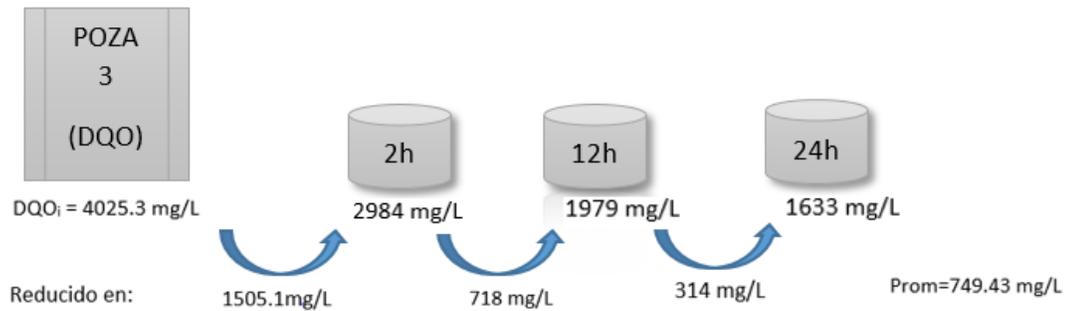


Tabla 4 . Demanda bioquímica de oxígeno en la poza 1 de lixiviación de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca

TIEMPO (h)	POZA1-M1 (mg/L)	LMP (mg/L)
0	1012	120
2	758	120
12	429	120
24	263	120
42	14	120

Fuente: Elaboración propia

12 h----- 429 mg/L

24 h-----263 mg/L

42 h-----X

Por extrapolación:

X= 14 mg/L

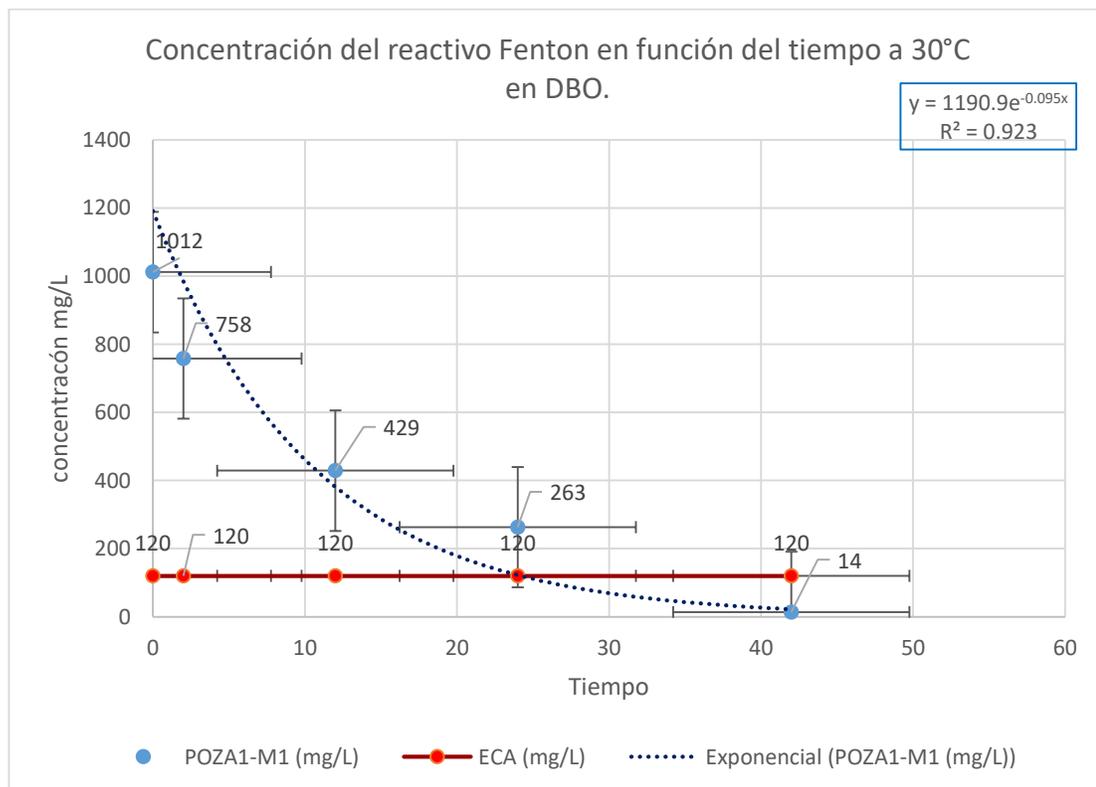


Figura 4. Concentración del reactivo Fenton en función del tiempo a 30°C en la demanda bioquímica de oxígeno para la poza 1 de lixiviación de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca.

Para facilitar la interpretación de los valores encontrados después de la oxidación química de Fenton; se ha reducido la concentración de materia orgánica en las horas indicadas 2,12 y 24 h en el ensayo de laboratorio, sin embargo, para alcanzar los valores recomendados de los LMP (D.S. N° – MINAM – 2009). Se requiere de 42h de acuerdo a la interferencia del análisis de la cinética química.

Tabla 5. *Demanda bioquímica de oxígeno en la poza 2 de lixiviación de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca.*

TIEMPO (h)	POZA2-M2 (mg/L)	LMP (mg/L)
0	1049	120
2	714	120
12	462	120
24	311	120
48	9	120

Fuente: Elaboración propia

12 h----- 462 mg/L

24 h-----311 mg/L

48 h-----X

Por extrapolación:

X= 9 mg/L

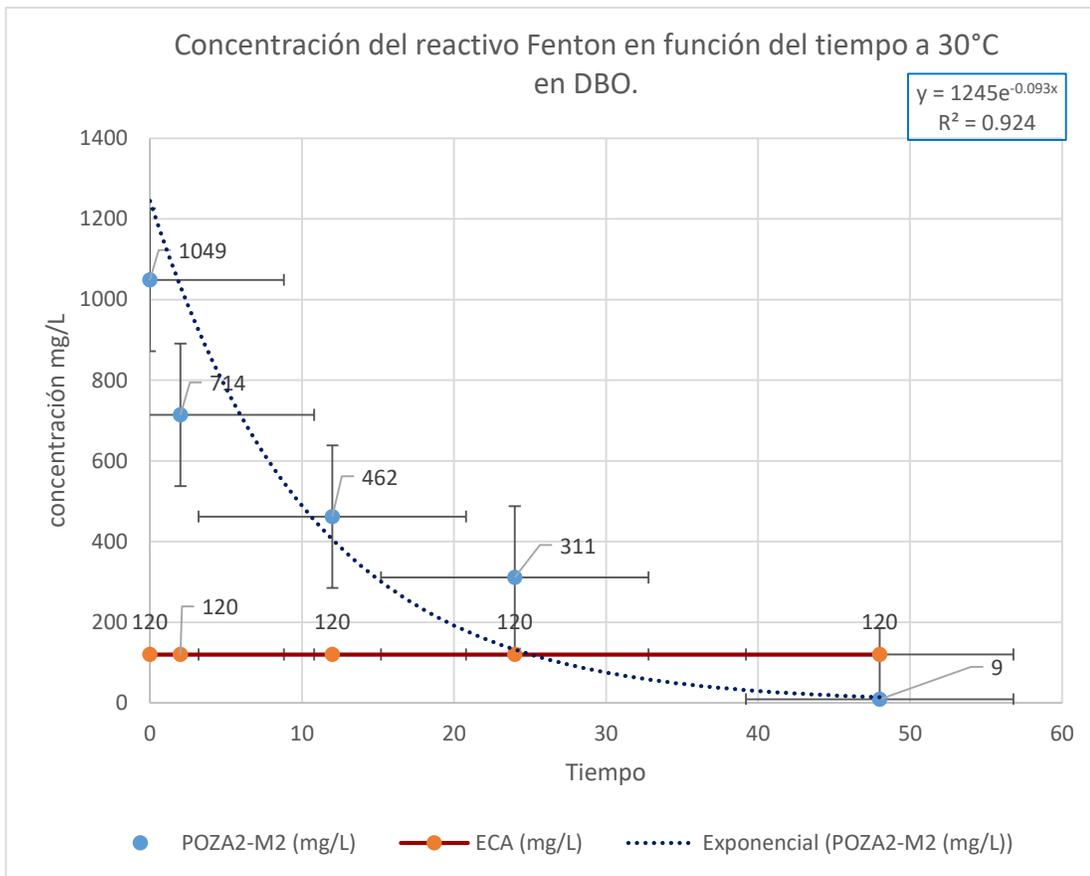


Figura 5. Concentración del reactivo Fenton en función del tiempo a 30°C en la demanda bioquímica de oxígeno para la poza 2 de lixiviación de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca.

Para facilitar la interpretación de los valores encontrados después de la oxidación química de Fenton; se ha reducido la concentración de materia orgánica en las horas indicadas 2, 12 y 24 h en el ensayo de laboratorio, sin embargo, para alcanzar los valores recomendados de los LMP (D.S. N° – MINAM – 2009). Se requiere de 48h de acuerdo a la interferencia del análisis de la cinética química.

Tabla 6 . *Demanda bioquímica de oxígeno en la poza 2 de lixiviación de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca.*

TIEMPO (h)	POZA3-M3 (mg/L)	LMP (mg/L)
0	1128	120
2	862	120
12	563	120
24	419	120
48	131	120
60	13	120

Fuente: Elaboración propia

12h-----563 mg/L

24h-----419 mg/L

24h-----419 mg/L

48h----- 131mg/L

48h-----X

60 h-----X

Por extrapolación:

Por extrapolación:

X= 131 mg/L

X=13 mg/L

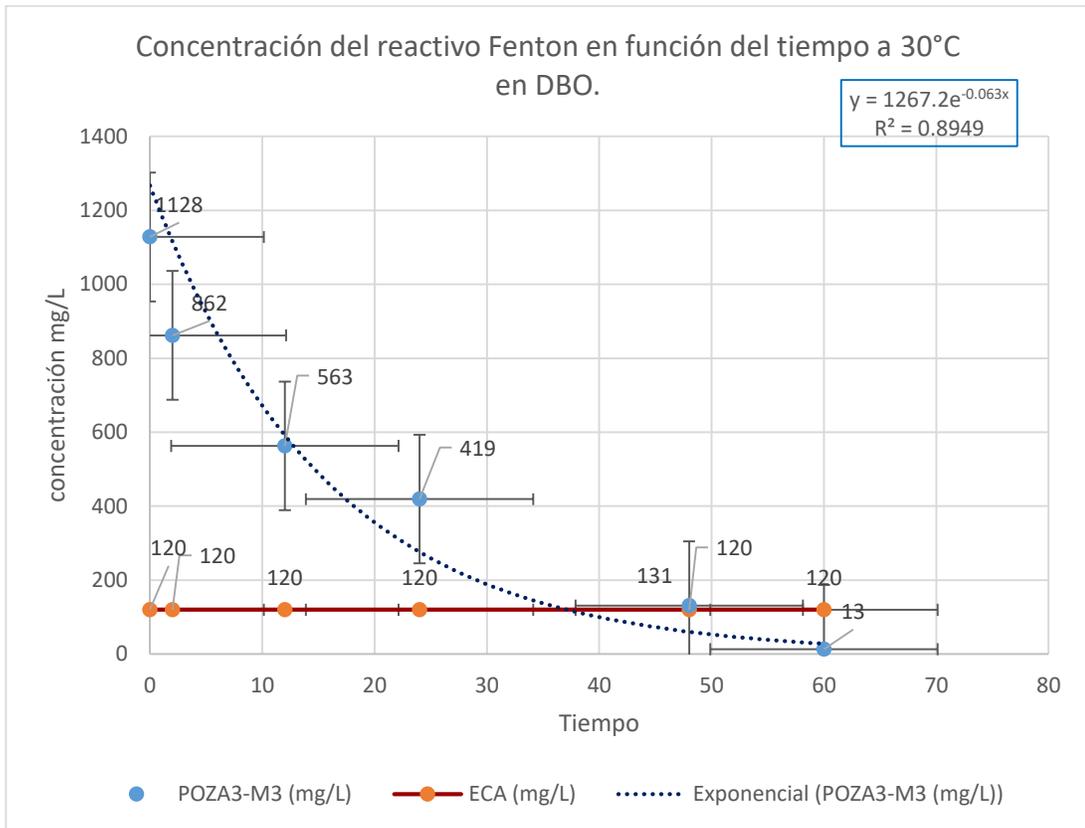
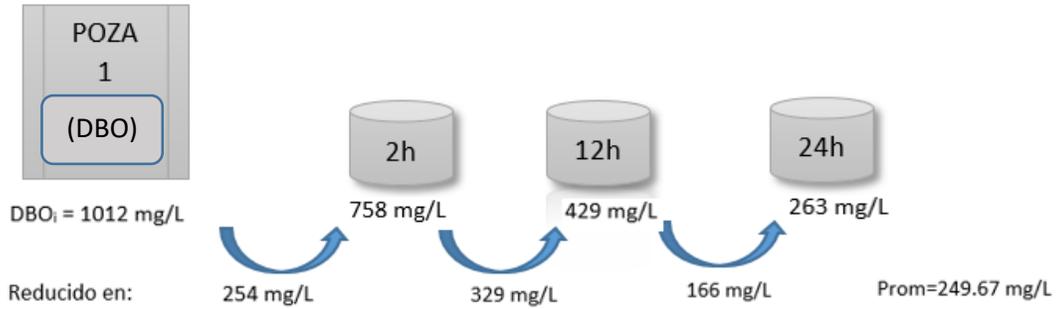


Figura 6. Concentración del reactivo Fenton en función del tiempo a 30°C en la demanda bioquímica de oxígeno para la poza 3 de lixiviación de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca.

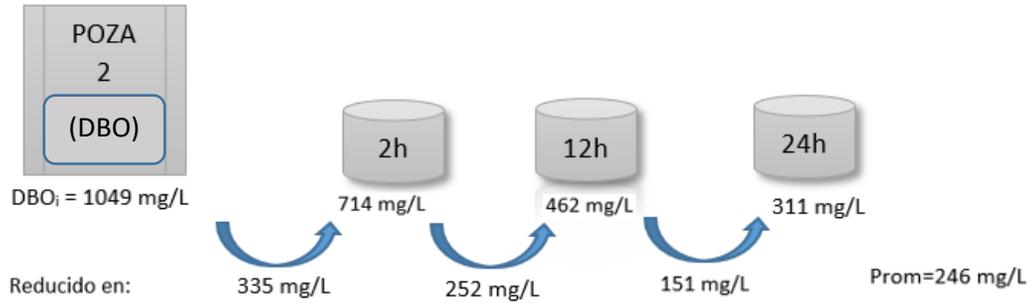
Para facilitar la interpretación de los valores encontrados después de la oxidación química de Fenton; se ha reducido la concentración de materia orgánica en las horas indicadas 2, 12 y 24 h en el ensayo de laboratorio, sin embargo, para alcanzar los valores recomendados de los LMP (D.S. N° – MINAM – 2009). Se requiere de 48 y 60h de acuerdo a la interferencia del análisis de la cinética química.

- Proceso final para demanda bioquímica de oxígeno después de la reacción Fenton

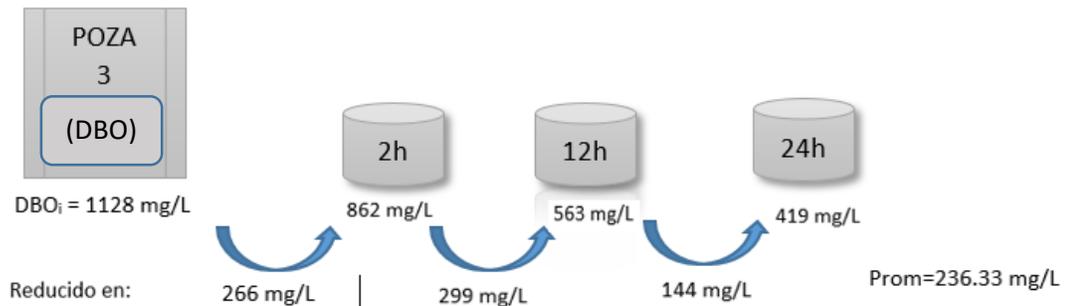
Poza 1: Demanda bioquímica de oxígeno después de la reacción Fenton



Poza 2: Demanda bioquímica de oxígeno después de la reacción Fenton



Poza 3: Demanda bioquímica de oxígeno después de la reacción Fenton



4.2. Proceso de prueba de hipótesis

Una vez recogido los datos útiles para la investigación, éstas fueron consistenciados en forma manual, almacenados en las hojas de cálculo del programa Microsoft Excel y luego fueron codificados y almacenados en la plataforma del software estadístico SPSS.

El estudio estadístico ha consistido en el cálculo de media, desviación estándar, desviación error estándar, grado de significancia. Los resultados se analizaron estadísticamente por prueba de muestras relacionadas de t – Student., con un grado de significancia $\alpha=0,05$. El resultado para $t = 0,000$, lo cual permitió enfocarse en el estudio de la hipótesis de estudio.

Tabla 7. Prueba T de Estadísticas de muestras relacionadas-demanda química de oxígeno

		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	VAR_FENTON	2,00	12	,853	,246
	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	2445,517	12	1007,2506	290,7682

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Prueba de muestras emparejadas (Fenton-Demanda química de oxígeno)

		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	VAR_FENTON - DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	-24,435,167	10,071,569	2,907,411	-30,834,336	-18,035,997	-8,404	11	,000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Prueba T de Estadísticas de muestras relacionadas- demanda bioquímica de oxígeno

		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	VAR_FENTON	2,00	12	,853	,246
	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	667,500	12	300,3457	86,7023

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Prueba de muestras emparejadas (Fenton-Demanda bioquímica de oxígeno)

		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	VAR_FENTON - DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	-6,655,000	3,001,925	866,581	-8,562,332	-4,747,668	-7,680	11	,000

Fuente: Elaboración propia.

- H₁: La oxidación Fenton es efectiva si disminuye la concentración de materia orgánica según el D. S. N° -2009-MINAM, para DBO y DQO.

- H0: La oxidación Fenton no es efectiva si no disminuye la concentración de materia orgánica según el D. S. N° - 2009 - MINAM, para DBO y DQO.

H0: $t > 0,05$ La oxidación Fenton no es efectiva si no disminuye la concentración de materia orgánica según el D. S. N° - 2009 - MINA, para DBO y DQO.

- H1: $t \leq 0,05$ La oxidación Fenton es efectiva si disminuye la concentración de materia orgánica según el D. S. N° - 2009 - MINAM, para DBO y DQO.

$t = 0,000$ Por lo tanto, sí hay un efecto significativo de la oxidación Fenton en la disminución de los valores de DBO y DQO de los lixiviados de la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, 2019.

La descripción de la prueba de hipótesis de la presente investigación se desarrolló con la prueba estadística de t de *Student*. Después de aplicar la correspondiente prueba de hipótesis, en la significancia bilateral (t) se obtuvo un valor de 0,000; valor que muestra que existe incompatibilidad para el supuesto que la hipótesis nula (H0) sea cierta, éste valor es menor al parámetro 0,05 al 95% de confianza. Por lo tanto, rechazamos la H0 “La oxidación Fenton no es efectiva si no disminuye la concentración de materia orgánica según el D. S. N° - 2009 - MINAM, para DBO y DQO”, razón por cual inferimos que se da por válida la prueba de hipótesis de investigación.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se evaluó el efecto de la oxidación Fenton en un tiempo determinado de 2, 12, 24 horas, sobre la concentración de DBO y DQO de los lixiviados de la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, 2019.

Se realizó la oxidación Fenton, mediante el uso de reactivos: Peróxido de hidrogeno, sulfato ferroso y ácido sulfúrico, sobre la concentración de DBO y DQO de los lixiviados de la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, 2019.

Finalmente se demostró la reducción de la demanda química de oxígeno para la poza1: 1505.1, 718, 314, mg/L; poza 2: 1400.8, 739, 301 mg/L; poza 3: 1041.3, 1005, 346 mg/L y para demanda bioquímica de oxígeno en la poza 1: 254, 329, 166 mg/L; poza 2: 335, 252, 151 mg/L; poza 3: 266, 299, 144 mg/L respectivamente., se ha reducido la concentración de materia orgánica en las horas indicadas 2,12 y 24 h en el ensayo de laboratorio, sin embargo, para alcanzar los valores recomendados de los LMP (D.S. N° – MINAM – 2009). Se requiere

de más tiempo de acuerdo a la interferencia del análisis de la cinética química,

5.2. Recomendaciones

Durante las pruebas experimentales se recomienda trabajar bajo una campana de extracción porque los olores que presentan las aguas residuales de lixiviados son muy fuertes debido a la presencia de sustancias volátiles y puede representar un riesgo para la salud.

La dosificación óptima de los reactivos de Fenton para el tratamiento de aguas residuales es única para cada tipo de muestra de acuerdo a las condiciones ambientales, sin embargo, los valores obtenidos en esta investigación pueden usarse como punto de partida para otras investigaciones respecto al tema y en otras condiciones, no sin antes recomendar la aplicación de pruebas preliminares.

Se recomienda efectuar un estudio minucioso en cuanto a la concentración de sustancias volátiles en las aguas de lixiviados sobre todo después del tratamiento Fenton para dilucidar su efectividad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ávila, D., & Silva, C. (2010). *Tratamiento de lixiviados diluido con aguas residuales en una planta piloto a escala de un sistema de lodos activados con el fin de lograr un efluente optimo*. Lima-Perú.
- Cabré ; s.f. (s.f.). *Diseños cuasiexperimentales y longitudinales*. Departamento de Metodología de las Ciencias del Comportamiento, Facultad de Psicología, Universidad de Barcelona.
- Castañeda, A. (2014). *Procesos de oxidación avanzada aplicados en el tratamiento de aguas de la industria del petróleo*. Escuela Colombiana de ingeniería “JULIO GARAVITO” especialización en recursos hidráulicos y medio ambiente.
- Chávez, W. (2011). *Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la Cd. de Chihuahua, Méx.* Chihuahua.
- Corena, M. D. (2008). *Sistemas de tratamiento para lixiviados generados en Rellenos Sanitarios*. Obtenido de <https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/304/2/628.44564C797.pdf>
- Escarcena, A. M. (2018). *Reducción de la demanda química de oxígeno en lactosuero mediante el proceso Fenton*. Puno - Perú.
- GilPavas, E. (2011). *Procesos avanzados de oxidación para el tratamiento de residuos líquidos peligrosos procedentes de los laboratorios de Ingeniería de Procesos*. Universidad EAFIT, Grupo de investigación de procesos ambientales y biotecnológicos, Medellín.
- Huichapa, A. et al. (2016). *Tratamiento de lixiviados generados en un sitio de disposición final de RSU mediante los procesos de Fenton y Foto-Fenton*. Universidad de Guanajuato, Campus

Guanajuato, División de Ingenierías, Departamento de Ingeniería Civil. Av. Juárez No.77 Col. Centro 3600. Guanajuato.

Jesús, B. et al. (2016). *Proceso Fenton para lixiviados pretratados biológicamente*. Departameto de Ingeniería Química. Instituto Tecnológico de Tapachula. Tapachula, Chiapas.

Medina, C. (2018). *Aplicación del proceso Fenton para degradar aguas residuales del camal de Chota*. Universidad Nacional Autonoma de Chota.

Medina, C. et al. (2017). *Optimización del proceso Fenton en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios*. Huancayo-Perú.

Méndez, R. et al. . (2010). *Tratamiento de lixiviados por oxidación Fenton*. México.

Monago, R., & Charapaqui, R. (2014). *“Determinación experimental de la cinética aparente de la degradación del O-Clorofenol por ozono en el medio acuoso*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.

Montes, W. M. (2011). *Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la Cd. de Chihuahua, Méx.* Chihuahua, Mexico.

Pelayo, D. (2018). *Procesos de oxidación avanzada: Avances recientes y tendencias futuras*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación, Universidad de Cantabria

Rosales, R. (2017). *Reducción del contenido de colorantes en efluentes de la industria textil usando el proceso fenton, Zarate, 2017*. Universidad Cesar Vallejo, Lima Perú.

Sánchez, C. (2015). *Reacciones Fenton (FT-TER-003)*. Universidad de Coruña-water and enviromental engineering group.

Taco, M., & Mayorga, E. (2013). *Aplicación del metodo Fenton en la disminucion de materia orgánica en aguas residuales de la industria termoeléctrica*. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Químicas, Ciudadela Universitaria, Quito-Ecuador.

Terán, M. (2016). *Estudio de la aplicación de proceso de oxidacion avanzada a aguas contaminadas*.
Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.

Valles, A. (2013). *Tratamiento Fisicoquímico y Biológico de lixiviado del Relleno Sanitario de la ciudad de Chihuahua*. Centro de investigacion en materiales avanzados - Chihuahua.

Vásquez, M. (2017). *Efecto de los microorganismos eficaces en la calidad fisicoquímica y microbiológica de los lixiviados del relleno sanitario municipal de Cajamarca*. Universidad Nacional De Cajamarca. Escuela De Postgrado. Cajamarca. Perú.

LISTA DE ABREVIATURAS

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno.

DBO5: Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días.

DQO: Demanda Química de Oxígeno.

pH: Potencial de Hidrógeno

POA: Procesos de Oxidación avanzada.

ECA: Estándar de calidad ambiental

GLOSARIO

Ácido sulfúrico: es un compuesto químico extremadamente corrosivo cuya fórmula es H_2SO_4 .

Peróxido de hidrógeno: es un compuesto químico con características de un líquido altamente polar, fuertemente enlazado con el hidrógeno tal como el agua, pero que en general se presenta como un líquido ligeramente más viscoso

Sulfato ferroso: es un compuesto químico iónico de fórmula. También llamado sulfato ferroso, caparrosa verde, vitriolo verde, se encuentra casi siempre en forma de sal heptahidratada, de color azul-verdoso.

Lixiviado: se denomina lixiviado al líquido resultante de un proceso de percolación de un fluido a través de un sólido.

ANEXOS

Anexo n° 1: Panel fotográfico de muestreo en las pozas de lixiviación en la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, 2019.



Fotografía 1. Ingreso a las pozas de lixiviación en la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca.



Fotografía 2. Pozas de lixiviación



Fotografía 3. Inicio de muestreo en las pozas de lixiviación.



Fotografía 4. Toma de muestra de lixiviado

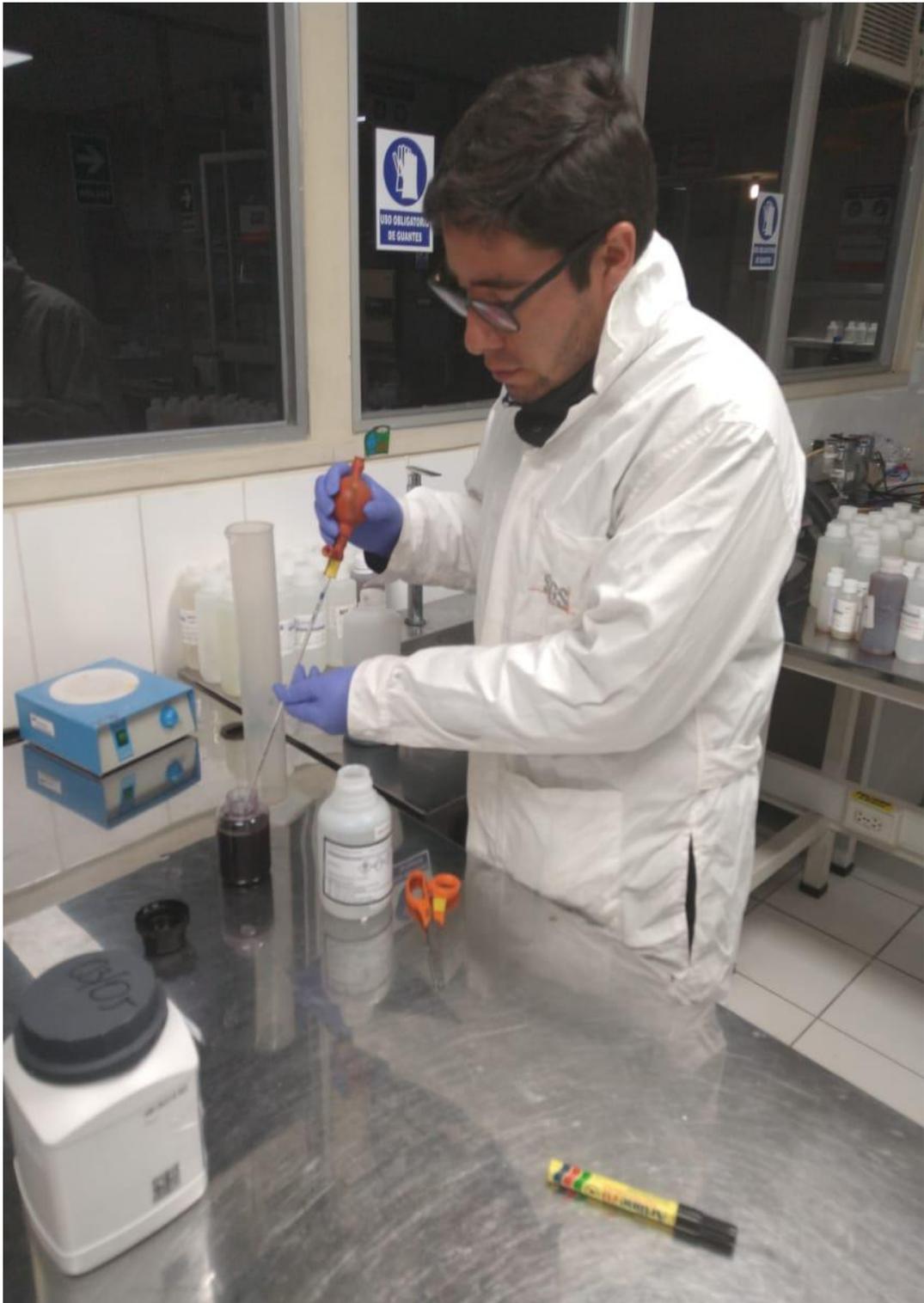
Anexo n° 2: Panel fotográfico del procesamiento de muestras en el laboratorio SGS de Cajamarca.



Fotografía 5. Preparación de reactivos Fenton



Fotografía 6. Procesamiento de muestras con el reactivo Fenton



Fotografía 7. Adición de reactivo ácido sulfúrico para neutralizar de pH



Fotografía 8. Adición del reactivo Fenton en la muestra de lixiviado

Anexo n° 3: Estándares de calidad ambiental.

Tabla 11. *Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios y de seguridad*

	Parámetros	Unidad	LMP	Método de ensayo
I	Generales			
1	pH		6,5 – 8,5	APHA 4500-H+ - B Pág. 4-90 a 4-94 21ava edición
	Parámetros	Unidad	LMP	Método de ensayo
2	Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	30	APHA 2540-D Pág. 2-58 a 2-59 21ava edición
II	Orgánicos			
3	DQO	mg/L	120	EPA method 410.1 600/4-79-020 REVISED MARCH
4	DBO	mg/L	20	APHA -AWWA-WEF 5210 B. 21st edition
5	Hidrocarburos Totales de Petróleo		10	DIN EN ISO 9377-2. Julio 2001
III	Inorgánicos			
6	Amonio (como N)	mg/L	10	
7	Arsénico total	mg/L	0,1	APHA 3114-C Pág. 3-37 a 3-38 21ava edición
8	Cadmio total	mg/L	0,1	APHA 3111-B, Pág 3-17 a 3-19, 21st Edition.
9	Cobre total	mg/L	0,5	APHA 3111-B Pág. 3-17 a 3-19 21ava edición
10	Cromo VI (*)	mg/L	0,1	Standard Methods for the examination of water and wastewater APHA-AWWA-WEF. 3500 Cr-B 21 st Edition
11	Hierro total	mg/L	2	APHA 3111-B Pág. 3-17 a 3-19 21ava edición
12	Mercurio total	mg/L	0,01	APHA 3112-B Pág. 3-23 a 3-24 21ava edición
13	Plomo total	mg/L	0,5	APHA 3111-B Pág. 3-17 a 3-19 21ava edición
14	Zinc total	mg/L	0,5	APHA 3111-B Pág. 3-17 a 3-19 21ava Edición
IV	Biológico			
15	Coliformes totales	NMP/100 mL	1 000	APHA 9221 B Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st Edition

Fuente: Fuente: D.S. N° – MINAM – 2009.

Anexo n° 3: Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales
- (Resolución Jefatural N° 010 - 2016 - ANA).



CUT: 135807

Expediente
Materia

: CUT - 135907 - 2015
Protocolo Nacional para el Monitoreo de la
Calidad de los Recursos Hídricos

RESOLUCIÓN JEFATURAL N° 010 -2016-ANA

Lima, 11 ENE. 2016

VISTO:

El Memorando N°2484-2015-ANA-DGCRH de la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos; y,

CONSIDERANDO:

Que, conforme el artículo 15° de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, es función de la Autoridad Nacional del Agua, dictar normas y establecer procedimientos para asegurar la gestión integral y sostenible de los recursos hídricos;

Que, según el artículo 76° de la acoitada Ley, la Autoridad Nacional del Agua en el lugar y el estado físico en que se encuentre el agua, sea en sus cauces naturales o artificiales, controla, supervisa y fiscaliza el cumplimiento de las normas de calidad ambiental del agua sobre la base de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y las disposiciones y programas para su implementación establecidos por la autoridad del ambiente. También estableció medidas para prevenir, controlar y remediar la contaminación del agua y los bienes asociados a esta. Asimismo, implementa actividades de vigilancia y monitoreo, sobre todo en las cuencas donde existan actividades que pongan en riesgo la calidad o cantidad de recurso;

Que, el artículo 126° del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, aprobado mediante Decreto Supremo N° 001-2010-AG, establece que el monitoreo de la calidad de las aguas, en el marco del Plan Nacional de Vigilancia de la Calidad del Agua, se efectúa de acuerdo con el protocolo aprobado por la Autoridad Nacional del Agua;

Que, asimismo el artículo 6° de las Disposiciones para la Implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua, aprobado por Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, y modificado por Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, prescribe que la autoridad competente establece el protocolo de monitoreo de la calidad ambiental del agua, en coordinación con el MINAM y la participación de los sectores respectivos;

Que, el "Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial" fue aprobado mediante Resolución Jefatural N° 182-2011-ANA;

Que, con Resolución Jefatural N° 251-2015-ANA se publicó un proyecto de protocolo nacional de monitoreo de la calidad de los cuerpos naturales de agua superficial, para que durante el plazo de quince (15) días hábiles, se reciban los opiniones y comentarios respectivos;

Fuente: Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales -
(Resolución Jefatural N° 010 - 2016 - ANA).

6.8. Preparación de materiales, equipos e indumentaria de protección

Para ejecutar un monitoreo de manera efectiva, se deberán preparar con anticipación los materiales de trabajo, soluciones estándar de pH, conductividad, formatos (fichas de registro de campo y cadenas de custodia) de acuerdo con la necesidad u objetivo del monitoreo. Asimismo, se deberá contar con todos los materiales y equipos de muestreo operativos y debidamente calibrados descritos en el cuadro 2.

Cuadro 3. Materiales y equipos necesarios para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales.

Medios de transporte	Vehículo para transporte terrestre (camioneta) y acuático (embarcación, zodiac, lancha) ¹
Materiales	Cooler grandes y pequeños, frascos de plásticos y vidrio ² , baldes de plástico transparente de primer uso y limpios (4-20 litros de volumen), guantes descartables ³ , mascarillas ³ , pizetas, refrigerantes
Equipos	GPS, correntómetro, multiparámetro ⁴ , cámara fotográfica, botellas hidrográficas, brazo muestreador
Soluciones y reactivos	Agua destilada, preservantes ² , soluciones estándar (pH, conductividad, etc.)
Formatos	Etiquetas (anexo II), ficha de datos de campo (anexo I), cadena de custodia (anexo III)
Permisos	Recursos hídricos marinos y lacustres: DICAPI Embalses: operador hidráulico Otros permisos en caso se requieran en la zona de intervención
Material cartográfico	Mapa hidrográfico o marino según corresponde
Indumentaria de protección	Zapatos de seguridad, botas de jebe cortas, botas de jebe musleras, vestimenta de seguridad con cinta reflectiva (pantalón, polo o camisa de manga larga, casaca, chaleco), lentes, casco, gorra, ponchos impermeables, arnés, chaleco salvavidas
Otros	Plumones indelebles, lápices, cinta adhesiva, papel secante, libreta de campo, soga, cinta métrica, linterna de mano, pizarra acrílica o tablero

Elaboración propia



Dónde:

- 1: Deben cumplir condiciones de seguridad para el transporte del personal, equipos y materiales establecidos en la ficha de seguridad de la embarcación, este último es obligatorio para el monitoreo de los cuerpos de agua marinos.
- 2: Frascos de primer uso cuyo volumen y características serán determinados por el parámetro a evaluar (anexo VII)
- 3: Los frascos deberán ser únicos por cada punto de monitoreo.
- 4: Se deberá verificar la calibración de los sensores de pH, OD y conductividad dentro de las 24 horas antes del muestreo. El sensor de oxígeno disuelto debe calibrarse entre muestreo y muestreo si existe una diferencia significativa en altitud.