



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Eficiencia de la oxidación Fenton y Foto Fenton en la remoción  
de DQO en lixiviados del botadero “El Porvenir”, distrito de El  
Tambo, Huancayo, Junín**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR:**

Bach. Yaranga Montañéz, Jheysonn Scott (Orcid: 0000-0002-1330-7701)

**ASESOR:**

Dr. Ordoñez Galvez, Juan Julio (Orcid: 0000-0002-3419-7361)

**LINEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y gestión de los Residuos

**LIMA – PERÚ**

**2021**

## **Dedicatoria**

A mi familia, que son el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional; inculcaron en mí el sentido de la responsabilidad, la puntualidad, la fortaleza y el deseo de superación. Desde entonces, veo en mí el reflejo de sus virtudes, enseñanzas y su gran corazón que me lleva a admirarlos cada día más.

### **Agradecimiento**

A los docentes que me brindaron sus enseñanzas a lo largo de mi etapa universitaria; cada lección, cada tema, cada una de sus experiencias fueron valiosas para plasmar todos esos conocimientos en este trabajo de investigación.

A mis padres por brindarme los cimientos en mi formación e inculcarme valores para ser una persona de bien y por darme la oportunidad de tener una carrera profesional.

A mis compañeros, a todos con los que en algún momento compartí ideas, anécdotas, proyectos; cada experiencia fue de suma importancia en mi vida.

A todas las personas que hicieron posible que pueda concluir este trabajo de investigación.

## Índice de contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	5
III. METODOLOGÍA.....	31
<b>3.1. Tipo, diseño y nivel de investigación</b> .....	31
<b>3.2. Variables y operacionalización</b> .....	32
<b>3.3. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis</b> .....	33
<b>3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos</b> .....	34
<b>3.5. Procedimiento</b> .....	35
<b>3.6. Método de análisis de datos</b> .....	45
<b>3.7. Aspectos éticos</b> .....	45
IV. RESULTADOS.....	46
V. DISCUSIÓN .....	65
VI. CONCLUSIONES.....	68
VII. RECOMENDACIONES .....	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	70

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Tiempos de descomposición de algunos residuos sólidos .....	14
<b>Tabla 2.</b> Fenómenos que ocurren en el proceso Fenton homogéneo .....	24
<b>Tabla 3.</b> Matriz de diseño experimental .....	31
<b>Tabla 4.</b> Técnicas e instrumentos que se emplearán en el Proyecto .....	35
<b>Tabla 5.</b> Caracterización de los lixiviados del botadero El Porvenir .....	46
<b>Tabla 6.</b> Resultados de concentraciones de DQO después del tratamiento.....	46
<b>Tabla 7.</b> Porcentaje de remoción de DQO en el proceso Fenton y foto-Fenton ...	47
<b>Tabla 8.</b> Porcentaje de remoción de DQO .....	48
<b>Tabla 9.</b> Hipótesis nula y alterna para T de dos muestras .....	56
<b>Tabla 10.</b> ANOVA de T de dos muestras .....	56
<b>Tabla 11.</b> Hipótesis nula y alterna para pH .....	57
<b>Tabla 12.</b> ANOVA de T de una muestra para el pH .....	57
<b>Tabla 13.</b> Hipótesis nula y alterna para los sólidos totales .....	58
<b>Tabla 14.</b> ANOVA de T para los sólidos totales .....	58
<b>Tabla 15.</b> Hipótesis nula y alterna para los sólidos suspendidos .....	59
<b>Tabla 16.</b> ANOVA para sólidos suspendidos .....	59
<b>Tabla 17.</b> Resumen de diseño de parcelas divididas-proceso Fenton .....	60
<b>Tabla 18.</b> ANOVA del proceso Fenton .....	60
<b>Tabla 19.</b> Resumen de diseño de parcelas divididas para el proceso foto-Fenton .....	63
<b>Tabla 20.</b> ANOVA para el proceso foto-Fenton.....	63

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Descomposición anaeróbica de los residuos sólidos orgánicos.....	15
<b>Figura 2.</b> Desplazamientos vertical y horizontal de los lixiviados.....	16
<b>Figura 3.</b> Tipos de procesos de Fenton.....	24
<b>Figura 4.</b> Diagrama del proceso de reacción foto-Fenton.....	27
<b>Figura 5.</b> Ubicación del punto de muestreo de lixiviados.....	36
<b>Figura 6.</b> Muestreo de lixiviados – Estación PML-01.....	38
<b>Figura 7.</b> Rellenado de cadena de custodia.....	38
<b>Figura 8.</b> Acondicionamiento de muestras.....	40
<b>Figura 9.</b> Porta lámpara de radiación Ultra Violeta.....	42
<b>Figura 10.</b> Ejecución del proceso de experimentación del Foto Fenton.....	43
<b>Figura 11.</b> Proceso Fenton a pH3 y pH4.....	44
<b>Figura 12.</b> Esquema de los procesos Fenton y Foto Fenton en etapa de experimentación.....	44
<b>Figura 13.</b> Efecto del pH en la remoción de DQO para $H_2O_2/Fe^{+2}$ de 2.....	49
<b>Figura 14.</b> Efecto del pH en la remoción de DQO para $H_2O_2/Fe^{+2}$ de 4.....	50
<b>Figura 15.</b> Efecto de $H_2O_2/Fe^{+2}$ con pH de 3 en la remoción de DQO.....	51
<b>Figura 16.</b> Efecto de $H_2O_2/Fe^{+2}$ con pH 4 en la remoción de DQO.....	52
<b>Figura 17.</b> Comparación de remoción de DQO en el proceso Fenton y foto-Fenton.....	52
<b>Figura 18.</b> Diferencia de remoción de DQO entre el proceso Fenton y foto-Fenton.....	53
<b>Figura 19.</b> Normalidad de los datos para el proceso Fenton.....	54
<b>Figura 20.</b> Normalidad de los datos para el proceso foto-Fenton.....	55
<b>Figura 21.</b> Diagrama de Pareto para el proceso Fenton.....	61
<b>Figura 22.</b> Diagrama de Pareto para el proceso foto-Fenton.....	64

## RESUMEN

En este trabajo de investigación se evaluó la comparación de la eficiencia de los procesos de oxidación Fenton y foto-Fenton en la remoción de DQO en lixiviados del botadero El Porvenir, ubicado en el distrito de El Tambo, provincia de Huancayo, región Junín; para ello en primer lugar se determinó las características físicas y químicas de estos lixiviados, también se evaluó la incidencia del pH y se determinó la relación del peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y sulfato ferroso ( $Fe^{+2}$ ) que maximizó la eficiencia en la comparación de los procesos de oxidación. Se recolectó 02 muestras de lixiviados del Botadero El Porvenir, los que fueron analizados; para la determinación de su caracterización; en el laboratorio de Análisis Químico de la Universidad Nacional del Centro del Perú y en el Laboratorio CERPER, además a lo largo de la experimentación se utilizó dos relaciones molares de 2:1 y 4:1 entre  $Fe(II) : H_2O_2$ ; así como valores de pH ácido de 3 y 4. El análisis inicial de caracterización de la muestra (sin tratamiento) de los lixiviados del botadero El Porvenir dio como resultado las concentraciones de 55818,00 ppm de DQO y 9058,00 ppm de DBO, la remoción de carga orgánica fue evaluada en términos del parámetro de DQO. Se alcanzó mejores resultados para un pH de 4 y para una relación molar de  $H_2O_2 : Fe(II)$  de 2:1; los cuales se obtuvieron a partir de la adición de una solución de ácido sulfúrico de 2N y concentración de 400 ppm de peróxido de hidrógeno con 200 ppm de sulfato de hierro respectivamente; obteniendo una eficiencia en la remoción de DQO de 53,66% para el tratamiento Fenton y 90,68% para el tratamiento foto-Fenton, en términos de partes por millón corresponde a un residuo de DQO de 5201,67 ppm y 25865,00 ppm para cada proceso respectivamente. El proceso foto-Fenton alcanzó mayores remociones por la radiación ultravioleta, que aceleró la mineralización de los compuestos orgánicos.

**Palabras clave:** lixiviados, residuos, botadero, luz ultravioleta, Fenton.

## ABSTRACT

In this investigation the comparison of the efficiency of the Fenton and photo-Fenton oxidation processes in the removal of COD in leachate from the El Porvenir dump was evaluated. For this purpose, the physical and chemical characteristics of these leachate were first determined, the incidence of pH was also evaluated and the ratio of hydrogen peroxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) and ferrous sulphate ( $\text{Fe}^{+2}$ ) was determined, which maximized the efficiency in the comparison of the oxidation processes. Two leachate samples were collected from dump El Porvenir, which were analyzed; for the determination of their characterization; in the Chemical Analysis Laboratory of the "Universidad Nacional del Centro del Perú" and in the CERPER Laboratory, in addition throughout the experimentation two molar ratios of 2:1 and 4:1 between Fe (II):  $\text{H}_2\text{O}_2$  were used; as well as acid pH values of 3 and 4.

The results of the characterization of the leachate from the El Porvenir dump were 55818,00 ppm COD and 9058,00 ppm BOD, the removal of organic load was evaluated in terms of the COD parameter. Better results were achieved for a pH of 4 and for a molar ratio of  $\text{H}_2\text{O}_2$  : Fe(II) of 2; which were obtained from the addition of a sulfuric acid solution of 2N and concentration of 400 ppm of hydrogen peroxide with 200 ppm of iron sulfate respectively; obtaining an efficiency in the removal of COD of 53,66 % for the Fenton process and 90,68 % for the photo-Fenton process, in terms of parts per million corresponds to a COD residue of 5201,67 ppm and 25865,00 ppm for each process respectively. The photo-Fenton process reached greater removals by ultraviolet radiation, which accelerated the mineralization of organic compounds.

**Keywords:** *leachate, waste, landfill, ultraviolet light, Fenton.*



## I. INTRODUCCIÓN

A medida que la población mundial aumenta con el paso de los años, la generación de residuos sólidos crece de manera más acelerada, es así que, la gestión de residuos sólidos se torna un tanto más complicado en sus tres ámbitos de influencia: económico, social y principalmente ambiental.

Puntualmente en el Perú, el manejo, la reducción y en general la gestión de residuos sólidos ha sido un problema constante en las zonas urbanizadas de nuestro territorio. Actualmente el Perú cuenta con treinta y dos (32) áreas de disposición final de residuos sólidos con denominación de Relleno Sanitario y mil cuatrocientos (1400) botaderos aproximadamente en funcionamiento. Técnicamente los Rellenos Sanitarios, son obras de ingeniería los cuales contemplan los aspectos técnicos mínimos y necesarios para evitar el impacto negativo antes, durante y después de su construcción y funcionamiento en un área determinada. La probabilidad de que pueda suceder una infiltración de lixiviados en el suelo en un relleno sanitario es baja debido a que se diseña un fondo impermeable en la base de la trinchera, un sistema de captación de lixiviados, así como un óptimo manejo de los residuos, los cuales minimizan la ocurrencia de este riesgo (MINAM, 2011). En ese sentido, enfocándonos sólo en los botaderos, estos carecen de tratamientos adecuados para los residuos tanto sólidos como los líquidos que derivan de estos (lixiviados); los lixiviados son sustancias líquidas compuestas por la humedad de los propios residuos y el agua externa como pueden ser las lluvias, en ambos casos esta sustancia genera arrastre de contaminantes nocivos y tóxicos existentes en los residuos lo que posteriormente provoca una evidente contaminación del suelo, agua subterránea y superficial de no realizarse un tratamiento adecuado a estos lixiviados.

Generalmente los lixiviados son considerados residuos desagradables por olores insoportables y tonalidades turbias, siendo este último, característico de sustancias recalcitrantes y ácidos húmicos que le otorgan esa coloración (Barros et al, 2017). En cuanto a la salud, las personas nos vemos afectados cuando hay un contacto directo e indirecto, por medio de alimentos y/o bebidas.

Actualmente, la municipalidad distrital de El Tambo realiza su disposición de residuos en el botadero “El Porvenir”, el cual lleva esta denominación por la cercanía al terreno del Fundo El Porvenir, colindante con el sector La Mejorada y el río Mantaro. Cabe resaltar que la creación de este botadero surge a la emergencia de tener un espacio para el confinamiento de los residuos sólidos, más no fue evaluado técnicamente para su funcionamiento. Es evidente que, por la premura, la gestión de residuos dentro de este botadero no es la óptima comparado con un Relleno Sanitario. En los botaderos es común observar residuos expuestos al aire libre, lixiviados canalizados sin impermeabilización de suelos, ausencia de chimeneas para gases provenientes de los residuos, los cuales generan impactos al ambiente en sus componentes: agua, aire, suelo, paisaje.

Según la caracterización de residuos sólidos, la mayor parte lo componen los residuos orgánicos, estos al descomponerse son arrastrados por los lixiviados que de no ser tratados de manera eficiente afectarían los niveles normales del cuerpo receptor que lo contienen sea suelo, agua superficial o agua subterránea por percolación.

Para la presente investigación, se ha considerado el siguiente **problema general**: ¿Cuál de los procesos de oxidación Fenton y Foto-Fenton es más eficiente en la remoción de DQO del lixiviado del Botadero “El Porvenir”, distrito de El Tambo, Huancayo, Junín?, dada esta interrogante, también se plantean complementariamente los **problemas específicos**: ¿Cuáles son las características fisicoquímicas de los lixiviados del botadero “El Porvenir”, distrito de El Tambo, Huancayo, Junín?, ¿Cómo incidirá el pH en la eficiencia, al comparar los procesos de oxidación Fenton y Foto-Fenton en la remoción de DQO en lixiviados del Botadero “El Porvenir”, distrito de El Tambo, Huancayo, Junín? y ¿Cuál será la mejor relación entre el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y el sulfato ferroso ( $Fe^{+2}$ ) que determinará mayor eficiencia al comparar los procesos de oxidación Fenton y Foto-Fenton en la remoción de DQO en lixiviados del Botadero “El Porvenir”, distrito de El Tambo, Huancayo, Junín?.

Se ha constatado mediante visitas al botadero “El Porvenir” que éste carece de tratamiento de lixiviados, carece de una infraestructura de características

técnicas y propicias para el manejo de los residuos la cual estaría ocasionando la contaminación del suelo. Es necesario resaltar que este botadero se encuentra aledaño al río Mantaro y que el contacto con estos lixiviados alteraría sus niveles de concentración en varios parámetros. Ante esta coyuntura, como **justificación** de esta tesis, se plantea una alternativa de solución al tratamiento de lixiviados de RR.SS. la cual deberá mermar la alta carga orgánica de estas aguas residuales, por ende, evitar la contaminación del medio que lo contenga.

Habiendo evaluado los impactos negativos que generan los lixiviados en el botadero “El Porvenir” se tuvo que buscar un proceso que se adecúe a las características del efluente y minimice la concentración de materia orgánica en los lixiviados llegando a la decisión de aplicar la oxidación química, es cual se caracteriza por ser un proceso avanzado de oxidación, la principal característica de este proceso es la generación de radicales hidroxilos con un potencial redox alto y la capacidad de destruir compuestos orgánicos.

Teniendo en cuenta de que el proceso de oxidación se realiza con sustancias de bajo costo además de que la fase lumínica del Fenton se puede realizar con UV no artificial hace del tratamiento de oxidación una opción viable económicamente, por otro lado se debe tener en cuenta la valorización de la problemática del hipotético caso de contaminación de fuentes de agua, suelo y el involucramiento de las personas que pueden estar bajo influencia directa de la contaminación producida por los lixiviados, es decir, el coste de tratamientos de descontaminación de agua y suelo serían elevados a comparación de costear gastos de los procesos de oxidación Fenton y foto Fenton.

Es por ello que surge la necesidad de presentar una opción viable económica y ambientalmente para la gestión de lixiviados de RR.SS., la cual alivie la problemática de su tratamiento en el confinamiento de RR.SS. del vertedero “El Porvenir”.

En ese sentido, **el objetivo general** de la investigación es: determinar las eficiencias de los procesos de oxidación Fenton y Foto-Fenton en la remoción de DQO en lixiviados del Botadero “El Porvenir”, distrito de El Tambo, Huancayo, Junín, los **objetivos específicos** son determinar las características físicas y

químicas de los lixiviados del botadero “El Porvenir”, distrito de El Tambo, Huancayo, Junín, evaluar la incidencia del pH en la comparación de la eficiencia de los procesos de oxidación Fenton y Foto-Fenton en la remoción de DQO en lixiviados del Botadero “El Porvenir”, distrito de El Tambo, Huancayo, Junín y determinar la relación del peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y el sulfato ferroso ( $Fe^{+2}$ ) que proporcione mayor eficiencia en la comparación de los procesos de oxidación Fenton y Foto-Fenton en la remoción de DQO en lixiviados del Botadero “El Porvenir”, distrito de El Tambo, Huancayo, Junín.

Se ha considerado como **hipótesis general** de la investigación a: El proceso de oxidación Foto-Fenton es más eficiente que el proceso de oxidación Fenton en la remoción de DQO del lixiviado del Botadero “El Porvenir”, distrito de El Tambo, Huancayo, Junín. Del mismo modo, las **hipótesis específicas** son: Las características fisicoquímicas de los lixiviados permiten la remoción de la DQO mediante los procesos de oxidación Fenton y Foto Fenton del lixiviado del Botadero “El Porvenir”, distrito de El Tambo, Huancayo, Junín, El pH de 4 propicia mayor eficiencia en los procesos de Fenton y Foto Fenton en la remoción de DQO en los lixiviados del Botadero “El Porvenir”, distrito de El Tambo, Huancayo, Junín, la relación del peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y el sulfato ferroso ( $Fe^{+2}$ ) que proporciona la mayor eficiencia en la remoción de DQO del lixiviado del Botadero “El Porvenir”, es de 4 a 1”.

## II. MARCO TEÓRICO

Para esta investigación se recabó información de diferentes artículos e investigaciones de autores, los cuales guardan cierta relación con el tema que se está tratando en el presente trabajo para un mayor entendimiento previo. A continuación, se presentan los trabajos analizados:

En el estudio realizado por Mireles-Muñoz y Páramo (2017) Se evaluaron procesos de tratamiento del lixiviado del antiguo relleno sanitario “La Reserva”, en León, Guanajuato. El lixiviado contiene altas concentraciones de DQO y cromo (2347 mg/L y 2.4 mg/L respectivamente) y es tratado con un método fisicoquímico, teniendo una remoción de DQO del 36%; por lo que se evaluaron metodologías de tratamiento enfocadas en la oxidación de la fracción orgánica y la remoción del metal; como el proceso Fenton y procesos físico-químicos de coagulación-floculación. Con el proceso de oxidación avanzada Fenton, se logró alcanzar un nivel máximo de remoción de DQO del 75.3% con las concentraciones iniciales de peróxido de hidrógeno y ion ferroso de 1500 mg/L y 200 mg/L, respectivamente. Con el tratamiento físicoquímico se lograron remociones de DQO, de 77.3% empleando sulfato férrico y 56.2% empleando sulfato de aluminio. En relación a la remoción de cromo, los valores máximos fueron del 55.5% en el tratamiento Fenton, 90.8% empleando sulfato férrico y 68.7% con sulfato de aluminio. Estos valores se compararon con las eficiencias del tratamiento actual, remoción máxima de DQO del 31.3% y de cromo del 43.7%. La coagulación fue el principal mecanismo de remoción en ambos procesos; participando también la oxidación química en el proceso Fenton.

Anrango (2018), en su estudio resume que las corridas experimentales a nivel de laboratorio se llevaron a cabo con una unidad muestral de 500 ml. Como pretratamiento se aplicó el proceso de Coagulación – Floculación, cuya dosis de coagulante inorgánico fue de 6000 mg/L y 1400 mg/L de coagulante orgánico, como resultado de este proceso se logró remover 75% de la Demanda Química de Oxígeno. El segundo tratamiento fue el proceso fenton, utilizando peróxido de hidrógeno y sulfato ferroso heptahidratado como catalizador. Se dosificaron los reactivos de acuerdo a la relación molar  $H_2O_2/DQO$  y  $H_2O_2/Fe^+$  y se logró remover

el 90% de DQO. Por último, como tercer método, se realizó la combinación de ambos en donde se obtuvo el 88% de remoción en este parámetro.

En la investigación de Ramírez y Vicente (2010) se realizó un pretratamiento con un biorreactor semiaeróbico. Posteriormente se aplicó el proceso Fenton para el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Tuxtla Gutiérrez en la ciudad de Chiapas. Las condiciones de trabajo en laboratorio fueron el pH de 2,5; 3,5; 4,5 y relaciones molares  $[H_2O_2]/[Fe^{+2}]$  de 2, 3 y 4. Se concluyó que, para un tiempo estacional de una hora, un pH de 3.5 y una proporción molar  $H_2O_2: Fe^{+2}$  de 2 se logró remover un aproximado de 50% para el parámetro de DQO y aproximadamente el 90% para el parámetro de color. El autor refiere que los resultados de las pruebas estadísticas bajo el método de ANOVA demuestran que no se encontraron diferencias significativas entre un pH de 4.5 y una relación molar de 2. La proporción más recomendable es este último mencionado en el estudio.

En el estudio realizado por Rosales (2017), el autor afirma que se logró la remoción parcial de contaminantes importantes como, color turbidez, DQO, por encima de 96%. La dosis optima encontrada fue de 12,17 ml/l de  $H_2O_2$  al 30% y 0,2 g/l de Fe, a un pH ácido 2,6, y 24 horas de estabilización del proceso, se trabajó bajo una temperatura ambiente, un tiempo de agitación de 60 minutos y a una velocidad de mezcla de 300 RPM. Los resultados muestran una reducción del valor inicial de >100 a 13 UC, una reducción de la turbidez inicial de 118,3 a 6,3 UNT, así mismo, la reducción del parámetro de DQO inicial de 1390 mg/l a 470,5 mg/l. El proceso fenton es un método adecuado para la remoción de concentraciones altas de colorantes, por lo cual nos da la alternativa de un manejo apropiado de las aguas tratadas.

En la investigación de Huichipa, Cuevas y Bernal (2016) se evaluó la eficiencia de eliminación DQO total, soluble y sólidos por medio de los procesos Fenton y foto-Fenton, en el tratamiento de los lixiviados generados en un sitio de disposición final de RSU de la ciudad de Irapuato, Guanajuato, México. Las condiciones óptimas del reactivo Fenton y foto-Fenton, se obtuvieron a valores ácidos de pH y, con ellas se pueden alcanzar altas remociones de los contaminantes orgánicos.

Las condiciones y dosis óptimas del proceso de oxidación Fenton; fueron: pH= 4, 1250 mg/L FeSO<sub>4</sub> y 1000 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Para el proceso foto-Fenton las mejores dosis encontradas fueron 500 mg/L FeSO<sub>4</sub> y 1000 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Las mejores remociones alcanzadas fueron con el tratamiento foto-Fenton con un 82% para la DQO solubles, 97 % para la turbidez y 19% para los SST. El tratamiento de lixiviado por el proceso foto-Fenton logró disminuir las dosis aplicadas de FeSO<sub>4</sub> a 500 mg/L, así como la masa de sólidos (0.21 g).

En el estudio realizado por Tony y Bedri (2014) se investiga la viabilidad del tratamiento foto-Fenton para la descontaminación de las aguas residuales de lavado de carros. Se aplicó un diseño factorial basado en la metodología de la superficie de respuesta para optimizar el proceso de oxidación de foto-Fenton, utilizando la remoción de la DQO como parámetro objetivo a optimizar. El reactivo (Fe<sup>2+</sup> y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y el pH se utilizan como factores de control que deben optimizarse. La reducción máxima de DQO (91,7 %) se logró cuando las muestras de aguas residuales fueron tratadas a pH 3,5 en cantidades de 403,9 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 48,4 mg/L de Fe<sup>+2</sup>.

El objetivo del artículo de investigación de Kwarciak-Kozłowska y Krzywicka, (2015) fue comparar la eficiencia de la reacción de los procesos Fenton y foto-Fenton en lixiviados de vertederos estabilizados. La relación de masa de DQO:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> se fijó en 1:2 para cada etapa. La dosis de reactivos (sulfato ferroso/peróxido de hidrógeno) fue diferente y osciló entre 0,1 y 0,5. La eficiencia del tratamiento fue realizado mediante la remoción de DBO, DQO, COT, nitrógeno amoniacal y la relación DBO/DQO. El experimento se llevó a cabo bajo las siguientes condiciones: la temperatura fue de 25 °C, el pH inicial se ajustó a 3,0, cada proceso duró 60 minutos. La dosis más adecuada de (Fe<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) fue de 0,25. Se constató que la aplicación de la radiación UV contribuyeron al aumento de DQO, el COT y la eliminación de amoníaco en una media del 14 %.

Leszczynski (2018) La investigación trata del estudio sobre el uso del proceso de Fenton y foto-Fenton para el tratamiento de lixiviados de vertederos desde un vertedero estabilizado. Los efluentes se caracterizaron por un pH de 8,1; color:

1320 mg Pt/L, DQO de 1670 mg/L, DBO<sub>5</sub> 155 mg/L, conductividad de 10,3 mS/cm y turbidez de 11 NTU. Se ha demostrado que utilizando Fe(II) y peróxido de hidrógeno en la reacción de Fenton, los compuestos orgánicos expresados como DQO pueden ser eliminados eficientemente de los efluentes. El proceso se llevó a cabo en varias dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y Fe(II), utilizando diferentes tiempos de reacción en el proceso de Fenton y diferentes tiempos de exposición en el proceso de foto-Fenton. Las mejores condiciones para el proceso de Fenton se obtuvieron con una relación Fe/DQO de 1,4 y una relación H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe molar de 3,2. En estas condiciones, la eficiencia de remoción de DQO fue de 85,8 %. También se demostró que la irradiación adicional de lixiviados por rayos ultravioleta en el denominado proceso de foto-Fenton y el uso de condiciones de dosificación adecuadas de peróxido de hidrógeno pueden aumentar la eficacia de la eliminación de DQO. El efecto máximo de la eliminación de DQO en el proceso fotográfico de Fenton fue del 70,7 % a una dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 3,3 g/L y una dosis de Fe(II) de 0,6 g Fe/L. Una ventaja adicional del proceso de foto-Fenton es la capacidad de acortar el tiempo de reacción y reducir la dosis de hierro, lo que puede reducir la cantidad de depósitos generados.

Guzmán, J., Abad y Ramírez (2015) en su investigación evaluaron el porcentaje de eliminación de la DQO de lixiviados no biodegradables del vertedero de la ciudad de Loja Ecuador, para ser sometido a un proceso de Fenton. Diferentes concentraciones de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y FeSO<sub>4</sub> se combinaron en pH ácido obteniendo cercanas al 80 % con una concentración de 500 mg/l de peróxido de hidrógeno y 1000 mg/l de FeSO<sub>4</sub> a pH 4, por lo tanto, se estableció una relación entre H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/FeSO<sub>4</sub> óptima de 0,5. A través de Box-Behnken se realizaron análisis estadísticos de los factores significativos, que corresponden al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y FeSO<sub>4</sub> empleados. Con esta información se optimizó el proceso, alcanzando un nivel teórico de eliminación del 81 % a concentraciones de 312 mg/l de peróxido de hidrógeno y 1087 mg/l de FeSO<sub>4</sub> a pH 4. Se observó en este proceso de remoción de 79 % de turbidez, 33 % de nitratos y 89 % de fosfatos.

En la investigación realizada por Roger, García, Riancho y Sauri, (2010) se llevó a cabo el tratamiento del Fenton para los lixiviados de residuos del relleno sanitario de la ciudad de Mérida en México. Para este proceso se utilizó la acción



complementaria del  $\text{H}_2\text{O}_2$  y  $\text{FeSO}_4$  bajo condiciones mínimas de pH (medio ácido) para lo cual se determinaron los tiempos de reacción, los índices más eficientes de potencial de hidrógeno, las concentraciones óptimas de reactivo Fenton. Posteriormente se aplicó un tratamiento post Fenton de floculación y coagulación. Las condiciones de la muestra fueron de concentraciones de  $\text{H}_2\text{O}_2$  de 600 mg/L y  $\text{Fe}^{2+}$  de 1 000 mg/L, un tiempo de agitación de 20 minutos, un pH ácido de 4 unidades. Los resultados de remoción de materia orgánica fueron expresados en de 78% en la remoción de Demanda Química de Oxígeno y 87% de Carbono Orgánico Total.

En la investigación de Pelayo (2018) se recabó antecedentes y datos teóricos de los últimos avances en los AOP's y sus proyecciones a futuro, así como las mejoras a realizar en futuras investigaciones para poder aplicar estas tecnologías a mayor escala y conseguir importantes resultados en el tratamiento de aguas residuales y, por tanto, en el desarrollo sostenible; todo esto en el marco de comparar y comprender los campos más factibles en los que seguir investigando. En este estudio se afirma que el incremento de los procesos híbridos, es decir, la unión de diferentes POA's individuales, se debe a la mejora de la eficiencia de mineralización de los contaminantes, además de la minimización de los problemas de los procesos individuales. Consiguiendo la eliminación de compuestos aromáticos, tintes, compuestos farmacéuticos y pesticidas.

En el artículo de investigación de Medina, Montero y Cruz (2016) se realizó el tratamiento de lixiviados del lugar de disposición de residuos Agua de las Vírgenes ubicado en la provincia de Huancayo. Evaluaron los parámetros de SST, DQO,  $\text{DBO}_5$ , metales plomo y cadmio, pH, conductividad, turbidez y dureza. Se aplicó el sistema de prueba de jarras y posteriormente para lograr mejores resultados se aplicó el método Fenton (diseño Box-behnken). Los mejores valores se hallaron en las temporadas de lluvia y estiaje, siendo estos: peróxido de hidrogeno de 1 096,55 mg/L, sulfato ferroso de 1 645,55 mg/L y pH de 3,19 para la primera temporada y valores de peróxido de hidrogeno de 1 180,33 mg/L, sulfato ferroso de 1 788,61 mg/L y pH de 3,26 para la segunda temporada. Se obtuvieron los valores de 0,329 y 0,568 que indicaron la biodegradabilidad tanto para épocas de estiaje y lluvias

respectivamente, además, se alcanzó una de remoción de DQO del 42 % para ambas épocas. Concluyeron que la aplicación del proceso Fenton resulta eficiente en el tratamiento y también post tratamiento de lixiviados.

Roger, García, Riancho y Sauri (2010) aplicaron del proceso Fenton en los lixiviados de un relleno sanitario ubicado en Mérida México, en donde trataron los contaminantes orgánicos utilizando relaciones entre los reactivos peróxido de hidrogeno y sulfato ferroso en ambientes ácidos. Los parámetros que variaron fueron el pH, la dosis para el tratamiento posterior de coagulación/floculación y el periodo de reacción. Se obtuvieron como resultados las mejores condiciones para los procesos experimentales de oxidación del lixiviado que fueron: 20 min para el periodo de reacción o contacto, un pH de 4 y concentración de peróxido (600 mg/L) y sulfato ferroso (1 000 mg/L). Se midió como DQO y DBO el porcentaje de remoción de la materia orgánica, siendo el resultado un 78 % y 87 % respectivamente.

En el trabajo de investigación realizado por Novelo (2010) se aplicaron 4 tecnologías para el tratamiento de los lixiviados del relleno sanitario ubicado en la ciudad de Mérida en México, estos métodos son: por adsorción, oxidación por el método Fenton, flotación y proceso de coagulación/floculación. En el estudio se determinó que los líquidos lixiviados poseían sólidos suspendidos con partículas coloidales de tamaños entre 0  $\mu\text{m}$  y 75  $\mu\text{m}$  que proporcionaron el color a los lixiviados. La eliminación de estas partículas se realizó a mínimos valores de pH obteniéndose una eficiencia de remoción del 40 % a un pH de trabajo menor a 2 para el tratamiento por coagulación/floculación y para el caso de flotación se obtuvo una eficiencia del 37 % a pH de 2. El tratamiento por adsorción resulta ser más eficiente que los procesos mencionados anteriormente, removiendo sólidos disueltos y suspendido, pero resulta ser un tratamiento costoso ya que se usa carbón activado. En los ensayos realizados obtuvieron una reducción de DQO desde un 60 % a un 30 % variando el tiempo de contacto. Finalmente realizaron los ensayos para el tratamiento mediante oxidación (proceso Fenton), usando como reactivos el peróxido y sulfato ferroso, trabajaron a condiciones de T° de entre 20

°C a 40 °C y pH ácido, resultando una eficiencia de remoción de DQO del 78 % y una eficiencia del 87 % para remoción de carbón orgánico total, trabajando para ello a un periodo de contacto de 20 min, un pH de 4 y concentraciones de 600 mg/L y 1 000 mg/L para el peróxido de hidrógeno y sulfato ferroso respectivamente. Se concluyó que este último proceso fue el más eficiente en el tratamiento de los líquidos lixiviados.

En el artículo de investigación de Torné, Rengifo y Vasquez (2014) evaluaron la eficiencia del proceso de coagulación seguido de oxidación foto-Fenton solar en la remoción de DQO en lixiviado de relleno sanitario. Informaron que actualmente la demanda de productos por parte de las personas conlleva a la generación de desechos que son dispuestos en grandes cantidades, dificultando su manejo y control, dada esa perspectiva, diversas poblaciones tienen propuestas para la optimización de los residuos desde su proceso de recolección hasta su tratamiento final, con el objetivo de minimizar sus impactos ambientales. En la mayoría de casos, son los rellenos sanitarios los encargados de estas funciones, además de realizar el tratamiento de los lixiviados que se originan después de la compactación de los residuos. Usualmente, los lixiviados son muy desagradables, presentando fétidos olores y un color muy turbio. Los materiales orgánicos e inorgánicos presentes, además de los metales no permiten una adecuada biodegradación ya que se presenta una relación baja entre DBO-DQO. Evaluaron dos procesos continuos para el tratamiento de los residuos, el primero consistió en un proceso de coagulación usando el reactivo cloruro férrico y seguido del proceso de oxidación avanzada de foto-Fenton utilizando ferrioxalato, finalmente determinaron la eficiencia de los procesos en la remoción de DQO y DBO<sub>5</sub>.

Posteriormente a la revisión de los antecedentes, se procedió a analizar ciertos conceptos ligados al entendimiento de las variables planteadas en esta investigación, así como: Aguas residuales, se refiere a los desechos producto de los procesamientos industriales o actividades que realizan los humanos, que son considerados altamente tóxicos y no pueden ser vertidas al agua o suelo sin un proceso preliminar que garantice la no modificación de las características naturales de ese medio (EcuRed, 2018). Botadero, definida como la aglomeración no propicia de desechos en áreas públicas, urbanas, zonas rurales o vías que causan daño al

ambiente y daños sanitarios. Estos almacenamientos se dan sin respetar la normativa (Agustin, 2018). Carga orgánica, definida como la presencia de elemento carbono en cualquier efluente, la característica principal de estos elementos de carbono es que se enlazan con elementos de hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, fósforo, cloro, azufre, etc. Presenta estructuras múltiples que pueden variar dependiendo al número de carbonos presentes en el compuesto (Jenk, 2013). El lixiviado es un residuo de tipo líquido que presenta mayor toxicidad y por ende de difícil tratamiento, ya que contiene residuos diversos y en altas concentraciones originados de la descomposición de la materia orgánica (Deng, 2007). Finalmente, el proceso Fenton es la aplicación de una relación de dosis de peróxido de hidrogeno y sulfato ferroso que es llamado el reactivo. Mediante la descomposición del peróxido se formará el radical hidroxilo el cual será el encargado de oxidar los lixiviados y posteriormente con el sulfato se precipitará la materia orgánica (Envitech, 2017).

La **definición de residuos** resulta ser amplia. Elías (2012), menciona que “residuo es aquella sustancia u objeto generado por una actividad productiva o de consumo, de la que hay q desprenderse por no ser objeto de interés directo de la actividad principal”.

Generalmente alude a los materiales desechados que no presentan valor o que ya cumplieron su función y deben ser descartados. Los residuos también son entendidos como una mezcla de 4 factores: sustancias incorrectas, en una calidad incorrecta, en un lugar equivocado, en un momento incorrecto. La definición presentada comprende los residuos generados por los humanos, productos de actividades fisiológicas y productivas, vertidos a la naturaleza (Cotrina C. , 2017).

La Convención de Basilea establece que la disposición final a los cuerpos receptores de los residuos como objetos, materia y/o sustancias se debe de dar en función a lo establecido por la normativa nacional (PNUMA, 2014).

El concepto referente a residuos sólidos (RRSS) ha ido variando en estos años en relación a los contextos sociales y económicos. Un resaltante ejemplo es la definición que propuso UNESCO en 1989, donde la definía como los subproductos de procesamientos industriales o de consumo que en cierto momento

de progreso social y tecnológico se desechan por no ser considerados aptos (Cotrina C. , 2017). Por otro lado, la EPA los define como aquellos materiales con presencia de compuestos complejos y tóxicos para el ambiente (Cotrina C. , 2017).

Según refiere Reno (2015), “una adecuada gestión de los RRSS constituye un derecho básico y una necesidad de la humanidad y la naturaleza. Basado en esta perspectiva, resulta indispensable para cualquier gobierno, industria, etc., el adecuado manejo de estos residuos”.

**La normativa vigente para RR.SS. en el Perú**, fue establecida por el Ministerio del Ambiente (2017) en su D.L. N°1278 de la “Ley integral de residuos sólidos” en la cual fija que “Los residuos sólidos generados en las actividades productivas y de consumo constituyen un potencial recurso económico, por lo tanto, se priorizará su valorización, considerando su utilidad en actividades de: reciclaje de sustancias inorgánicas y metales, generación de energía, producción de compost, fertilizantes u otras transformaciones biológicas, recuperación de componentes, tratamiento o recuperación de suelos, entre otras opciones que eviten su disposición final.”, es decir, que se deja de concebir a los residuos como basura para tomar un giro de materia prima en otras industrias.

Según el MINAM, en su página web refiere que la capacidad de RRSS municipales que nuestro país produjo en el año 2013 fue de 18 533 toneladas por día, de los cuales un 87,5 % fue acopiado y ubicado de cierta forma. Del porcentaje mencionado, más la mitad de ellos fueron a parar a los botaderos y el resto se dispuso en rellenos sanitarios del país (Cotrina C. , 2017).

El efecto de una inapropiada gestión de residuos sólidos, fue visto por (Cotrina C. , 2017) manifiesta que un inapropiado control y manejo de los RRSS produce grandes anomalías al ambiente y genera riesgos en la salud de las personas, ya que estos residuos son llevados a lo botaderos o en el mejor de los casos a rellenos sanitarios y por ende las personas están exponiendo su salud, su vida y dignidad. También refiere que existe presencia de organismos tóxicos en los residuos que generan daños a las personas, aunque no se haya demostrado completamente tal aseveración en las investigaciones realizadas; sin embargo, se pueden reflejar en

la creciente de enfermedades como el dengue, enfermedades gastrointestinales, leptospirosis, dificultad respiratoria, desnutrición ambiental, entre otros.

Los residuos que son dispuestos a cielo abierto, son la causa principal del aumento de vectores de transmisión de contaminantes y enfermedades; sumado a esta causa, la ausencia de cerco perimétrico hace propicio que ganado vacuno, ovino y comúnmente mascotas de casa ingresen a alimentarse de estos residuos que posteriormente tienen contacto directo con las personas.

Un confinamiento inadecuado de los residuos sólidos genera impactos negativos en el medio ambiente (agua, suelo, aire, flora, fauna y agua subterránea). El tiempo de descomposición de los residuos dependen de sus características fisicoquímicas. **En la tabla 1** se pueden observar el tiempo de descomposición de ciertos residuos comunes encontrados en un área de disposición final de residuos sólidos. (Cotrina C. , 2017).

**Tabla 1.** Tiempos de descomposición de algunos residuos sólidos

<b>Tipo de Residuo solido</b>	<b>Tiempo que tarda en descomponerse</b>
Papel	2 a 6 semanas
Materia orgánica	1 a 6 meses
Bolsas de plástico	10 a 1000 años
Botellas de plástico	> 450 años
Pañales desechables	250 a 500 años
<b>Pilas y baterías</b>	100 años
<b>Botellas de vidrio, poliestireno expandido (tecnopor)</b>	No se descomponen en escala de tiempo humano

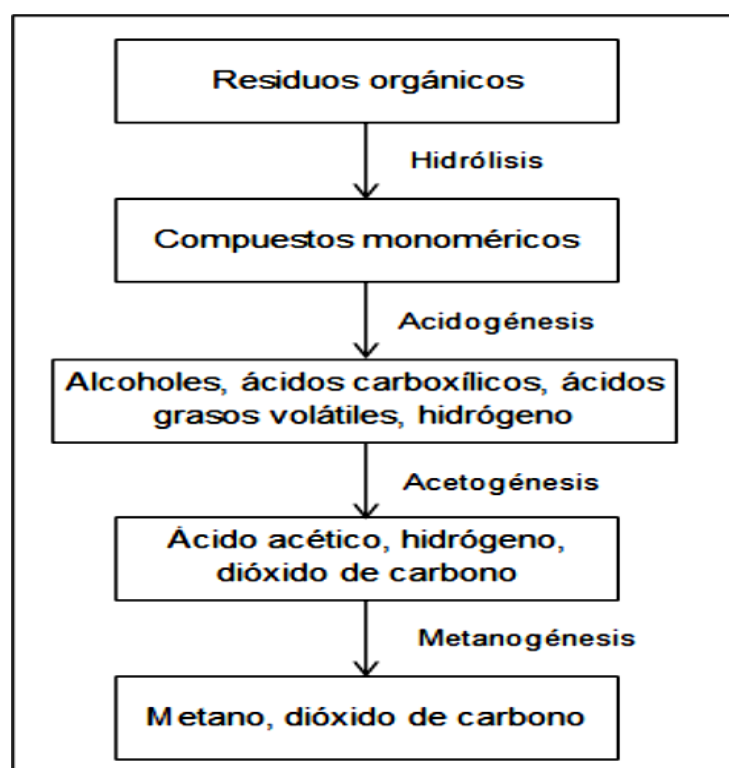
Fuente: (Cotrina, 2017)

Cuando los residuos sólidos pasan el proceso descomposición son condicionados por una serie de características propios de los mismos, tales como su densidad o lo que lo compone, la parte líquida del residuo, su temperatura, potencial de hidrógeno, la fracción orgánica, microorganismos que habitan en el residuo, entre otros. Para poder conocer a detalle el proceso de degradación de los residuos sólidos, es necesario conocer en particular las características de ese

residuo en estudio, su composición, sus características fisicoquímicas, su estructura, etc. (Reyes, 2015).

Dado el proceso de degradación de los residuos confinados, los principales agentes contaminantes son los lixiviados y gases que surgen básicamente por el accionar de microorganismos presentes en el proceso de degradación bajo la influencia directa de las condiciones climáticas. Se ha evidenciado ocasiones en que al no tener un manejo correcto de los gases generados ocasionan explosiones por la presión a la que se encuentran confinados, dañando por ende la flora y fauna, además de la emanación de olores tóxicos, entre otros. (Cotrina C. , 2017).

Los residuos orgánicos realizan una serie de procesos para su descomposición, en la que involucran reacciones químicas, produciendo compuestos gases, líquidos (lixiviados), como se muestra en la **Figura 1**.



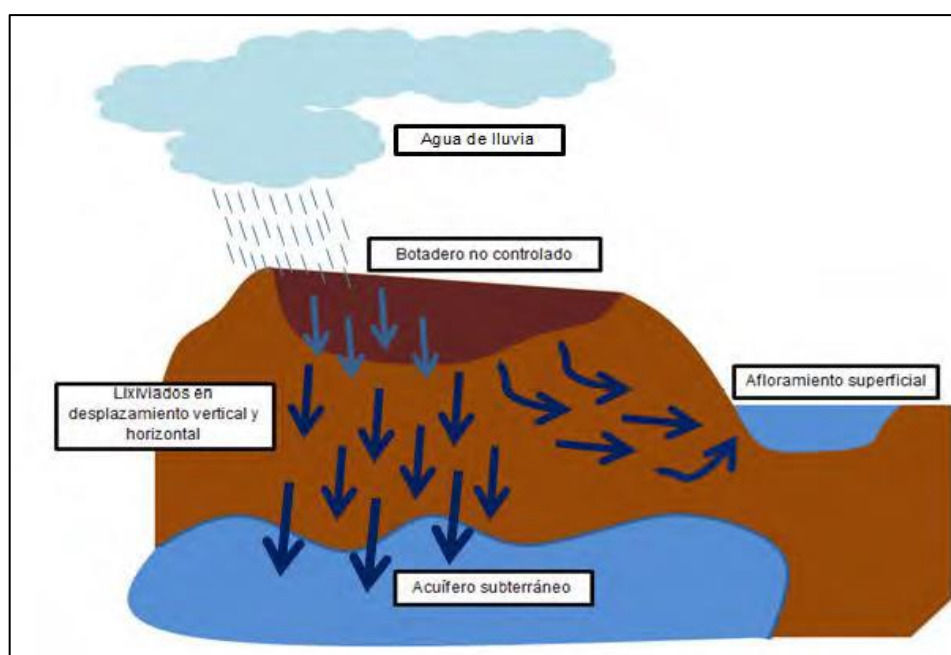
Fuente: (Cotrina, 2017)

**Figura 1.** Descomposición anaeróbica de los residuos sólidos orgánicos.

Los lixiviados son formados como producto final de la supresión de elementos solubles que están en los desechos o muchas veces se producen in-situ mediante

transformaciones químicas o biológicas o también por un proceso de percolación. Podemos indicar que la cantidad depende del lugar de disposición de los residuos, las condiciones climáticas, características del suelo y la disponibilidad del agua (López & Pagano, 2003).

La pluma de contaminación de los lixiviados puede ser de forma horizontal y vertical aflorando a la superficie o penetrando en el suelo, contaminando los acuíferos. **(Figura 2)**. Los lixiviados de residuos contienen elevadas concentraciones de Dióxido de carbono, metales pesados e hidrocarburos que son una amenaza constante para los cuerpos de agua tanto superficial como subterráneo. (Cotrina C. , 2017).



Fuente: (Cotrina, 2017)

**Figura 2.** Desplazamientos vertical y horizontal de los lixiviados.

Cabe resaltar que en las aguas superficiales que fueron contaminadas con RR.SS. hay un aumento notorio de la materia orgánica, lo cual influye en la disminución del OD y se incrementen las concentraciones de fósforo y nitrógeno, ocasionando la eutrofización de las aguas (Cotrina C. , 2017).

Definitivamente la contaminación de fuentes de agua por lixiviados ocasiona la pérdida de este recurso para el consumo de la población. Por tal razón es que existe mayor inquietud por la contaminación tanto ambiental como social, dado que



el recurso hídrico es la base para la supervivencia del planeta y la economía de los países (Cotrina C. , 2017).

Los lixiviados se generan cuando los residuos sólidos son dispuestos en botaderos o rellenos sanitarios, a medida que transcurre el tiempo estos van sufriendo diversos cambios en su estructura durante su etapa de degradación; estos residuos contienen humedad que va generando arrastre mientras se desplazan verticalmente a la base de los residuos. La degradación de los residuos por microorganismos genera el biogás que también es uno de los principales problemas de contaminación de los residuos hacia el medio ambiente (Sandoval I. , 2014).

En términos más simples, el lixiviado es el agua que se ha filtrado a través de los residuos arrastrando con él microorganismos, agentes tóxicos, minerales y sobre todo materia orgánica. Las áreas de confinamiento de residuos son considerados reactores complejos, con particularidades distintas en cada plataforma de residuos, teniendo características distintas, es complicado determinar el volumen y composición de los lixiviados (Sandoval I. , 2014).

En los lixiviados de residuos sólidos se reúne la mayor parte de tipos de contaminación que se conoce, por sustancias tóxicas, por carga orgánica, por metales pesados, por microorganismos, por agentes patógenos, etc. Una de las principales características es que tienen altas concentraciones de nitrógeno y fósforo, los cuales están condicionados por:

- El tiempo de explotación y la forma de trabajo en el vertedero.
- la cantidad y tipo de residuos predominantes almacenados.
- Las estaciones y características climatológicas del lugar.

**La estructura de los lixiviados**, según Sandoval (2014), menciona que la actividad de los microorganismos genera metabolitos salubres, disueltas en los lixiviados pudiendo tener una interacción entre sí, estas sustancias se pueden organizar de la siguiente manera:

- Componente mineral: compuesta por nitratos, iones de amonio, cloruros, bicarbonato, sodio. La descomposición biológica genera sales inorgánicas, generalmente los lixiviados se encuentran en ambientes aerobios en la cual existen bacterias quimiolitótrofas que son potencialmente oxidantes de las sales inorgánicas (Sandoval, 2014).
- Los fragmentos orgánicos que se biodegradan con facilidad son generalmente los ácidos grasos que se volatilizan como por ejemplo el ác. acético, butírico y propiónico, estos conforman el mayor porcentaje de carga orgánica en los lugares donde son colocados (Sandoval, 2014).
- El fragmento orgánico estabilizado está conformado por elementos húmicos y fúlvicos, que tienen la característica principal de no degradarse fácilmente, ya que son compuestos complejos orgánicos (Sandoval, 2014).
- El fragmento orgánico xenobiótico lo conforman generalmente los elementos que fueron sintetizados por los hombres (Sandoval, 2014).

La biodegradación de RR.SS. en condiciones anaeróbicas generaría la aglomeración de ácidos grasos volátiles lo que a su vez provocaría que ciertos metales tóxicos se tornen solubles. Los ácidos volátiles son degradados en las etapas de metanogénesis y acetogénesis provocando una disminución en la concentración de materia orgánica de los lixiviados. Así mismo, ciertos gases pueden disolverse en el lixiviado como, por ejemplo: el Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) en el agua, formándose ácido carbónico, un compuesto que puede solubilizar algunos metales existentes en los residuos (Sandoval, 2014).

Es necesario indicar que según el tiempo de antigüedad que tengan los rellenos sanitarios y características antes de la toma de muestra, es que variarán las características químicas del lixiviado. El procesado de biodegradación de los lixiviados varía según el tiempo y se puede determinar mediante los análisis de fracción entre  $\text{DBO}_5/\text{DQO}$ . Fracciones entre 0,4 y 0,6 indican una fácil biodegradación de los elementos orgánicos contenidos en los lixiviados (Sandoval, 2014).

De acuerdo al tiempo de antigüedad de los lixiviados de residuos sólidos, alcanzan niveles mucho más contaminantes, con el transcurso del tiempo, se torna de ácido a neutro ligeramente, el índice de biodegradabilidad (DBO/DQO) disminuye, así como también la relación  $\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^-$  se ve afectada por el paso del tiempo (Reyes, 2015).

La fracción orgánica en la etapa ácida de los lixiviados jóvenes se caracterizan por representar altos valores, por lo general oscilan entre los 5000 mg/L de DQO y alrededor de los 400 mg/L de nitrógeno (Sandoval I. , 2014).

En los lixiviados jóvenes, el índice de biodegradabilidad establecido por la relación  $\text{DBO}_5/\text{DQO}$  es aproximadamente de 0.4 a 0.5. La mayor parte de la fracción orgánica (medido como carbono orgánico total) la constituyen los ácidos grasos con peso molecular menor a 120 (aproximadamente el 95% de COT). Como ha sido mencionado líneas arriba de la investigación, el medio ácido (4 unidades) propicia la solubilización de metales. En esta etapa es recomendable los métodos de tratamiento biológico para los lixiviados en la reducción de materia orgánica (Sandoval I. , 2014).

Los lixiviados maduros cuentan con un índice de  $\text{DBO}_5/\text{DQO}$  alrededor de 0.1 a 0.3 y valores de 3000 mg/L a 15000 mg/L para el parámetro de DQO. Para esta etapa, los lixiviados alcanzan valores de 7 unidades aproximadamente en la escala de pH (neutro) (Cerdeja Sandoval, 2014).

En la etapa de metanogénesis de degradación anaeróbica, los microorganismos que generan el metano descomponen los ácidos grasos volátiles que a su vez disminuye la carga orgánica (Sandoval, 2014).

En la primera etapa se registran subidas de temperatura en los Residuos, el reactor es de tipo aerobio, sin embargo, la deficiencia de oxígeno se evidencia por el consumo en exceso de la  $\text{DBO}_5$ . Los lixiviados formados en esta etapa disuelven las sales presentes en los residuos como el cloruro de sodio (NaCl) (Kjeldsen, 2002).

Consecuente al agotamiento del oxígeno en los RR.SS. estos entran a una segunda etapa en un medio anaeróbico (primera etapa anaerobia), los microorganismos adaptados a este medio de carencia de oxígeno generan grandes cantidades de ácido acético, butírico, propiónico, alcoholes, amoníaco y dióxido de carbono. El potencial de hidrógeno se acidifica a valores de entre 4 a 5 unidades por lo que las concentraciones de materia orgánica también se elevan a valores altos de DQO (Kjeldsen, 2002).

Para la Etapa III, los RR.SS. ingresan a la segunda etapa anaerobia, los microorganismos comienzan a generar metano y dióxido de carbono en un medio neutro de pH (6.6. a 7.3). Los ácidos grasos volátiles comienzan a disminuir y el pH a estabilizarse a niveles neutros, la materia orgánica disminuye su producción ya que es difícil solubilizarse a pH neutro, las condiciones nuevas, hacen que las características químicas del lixiviado no tengan cambios radicales en esta etapa. (Kjeldsen, 2002). Suele haber un remanente de carbono orgánico, los cuales tienen un alto peso molecular difícil de someterse a una degradación biológica, los lixivios se encuentran estables y se denominan viejos. La materia orgánica persistente puede ser removido utilizando métodos fisicoquímicos. (Sandoval I. , 2014).

Durante esta segunda etapa anaerobia la concentración de  $DBO_5$  cae muchos más rápido que la DQO, por lo que el índice de biodegradabilidad alcanza valores aproximados de 0,1. (Sandoval I. , 2014).

Los lixivios que han llegado a la etapa de estabilización pueden mantener esa condición por décadas, manteniendo sus altas concentraciones de materia orgánica, lo que hace imposible su contacto con el ambiente sin un tratamiento previo (Sandoval I. , 2014).

### **Problemas y riesgos ligados a la producción de Lixiviados**

El agua es considerado uno de los elementos más influyentes en la producción de lixivios de residuos sólidos, depende de la impermeabilización de los residuos y demás características técnicas de infraestructura, el agua penetrará en los residuos condicionados por la velocidad y flujo (Sandoval I. , 2014).

Antes de confinar los residuos sólidos se debería tratar de reducir la humedad que contienen de la manera más posible, ya que el agua solubiliza los contaminantes, los dispersa y transporta, aparte que favorece el desarrollo de microorganismos (Sandoval I. , 2014). Uno de los problemas que existe en nuestra sociedad, es que la segregación en la fuente no se realiza de manera adecuada, es evidente que ciertos contaminantes tóxicos de tipo industrial van a parar a los botaderos, lo cual genera que los lixiviados generen arrastre de componentes tóxicos de tipo industrial. Hipotéticamente si el lixiviado no es manejado de la manera correcta estos irán a parar a los acuíferos, cuerpos de agua superficial o a la misma atmósfera (Sandoval, 2014).

Las consecuencias de la contaminación a los cuerpos de agua superficial y subterránea por parte de los líquidos lixiviados a cortos periodos, están en función de características que presentan estos medios (concentración de metales, alcalinidad, temperatura y pH, solo por nombrar algunos) (Sandoval I. , 2014). Las consecuencias a periodos cortos dependen generalmente de variaciones de pH en los cuerpos receptores, en medio ácido aumentan los efectos tóxicos de los ácidos y sulfuros que se encuentran en los lixiviados. Por otro lado, el agua dulce se verá afectada al incrementarse la conductividad del agua por la presencia de sales cloradas (Sandoval I. , 2014). La aportación de materia orgánica en cantidades importantes puede igualmente tener consecuencias tóxicas, por ejemplo, la formación de organismos (hongos y bacterias) pueden bajar la concentración de OD y causar cambios en la vida acuática (Sandoval I. , 2014).

Las consecuencias a largos periodos dependerán de la eficiencia en la oxidación del amoníaco en nitratos, de eficiencia en la degradación de elementos orgánicos y la presencia de elementos bioacumulables como materias orgánicas recalcitrantes y metales pesados (Sandoval I. , 2014). Las consecuencias a largos periodos también es una contaminación crónica, notada mediante variaciones en la fauna y flora de los lugares cercanos a donde se disponen los contaminantes, generalmente estas consecuencias son poco observables (Sandoval I. , 2014).

Para el **tratamiento de lixiviados**, hay una serie de procesos que se pueden llevar a cabo, los cuales se pueden clasificar por la eficiencia de remoción de algún

contaminante que logre el proceso o el tipo de contaminación que pueda reducir. Los lixiviados de residuos sólidos contienen gran parte de los tipos de contaminación que se conocen como son la contaminación por materia orgánica, por sustancias tóxicas, microorganismos, etc. Esto hace que la elección del tratamiento a emplear sea más compleja ya que los tratamientos interfieren entre sí a la hora de remover un contaminante. Se tiene un claro ejemplo del caso de la remoción de materia orgánica puede ser impedido por la presencia de metales pesados (Reyes, 2015).

Usualmente los procesos para tratamiento de lixiviados pueden agruparse en tres: el refluo y tratamiento combinado con aguas residuales municipales. La biodegradación de lixiviados en condiciones aerobias y anaerobias. Los tratamientos químicos como oxidación, adsorción, floculación, sedimentación, floculación, etc (Valles, 2013).

Diversos autores consideran que los **tratamientos fisicoquímicos** tienen costes más elevados y la eficiencia que llegan a obtener son reducidos, es recomendable su uso como un pretratamiento o postratamiento de un método biológico para obtener mejores resultados. (Valles, 2013).

Los métodos combinados de tratamiento fisicoquímico y biológico tienen mayor efectividad a la hora de tratar los lixiviados, solo el tratamiento biológico no garantiza la remoción de ciertas sustancias como metales pesados, biorefractarios u orgánicos halogenados. Los lixiviados tratados sólo con métodos biológicos pueden tener concentraciones altas de DQO y nitrógeno de entre 400 mg/L a 1500 mg/L y 20 mg/L a 50 mg/L respectivamente (Valles, 2013).

Dentro de los tratamientos químicos, **la oxidación de materia orgánica** es uno de los métodos que consiste en adicionar agentes oxidantes como el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) o hipoclorito de sodio ( $NaClO$ ). La separación de toxinas inorgánicas como sustancias sulfuradas, formaldehidos, cianuros, fenoles. Tienen mayor funcionamiento con los residuos disueltos; se produce la generación de hidrocarburos clorados al utilizar cloro (Valles, 2013).

- **Los Procesos de Oxidación Avanzada (POA)**, en los últimos años han tomado protagonismo a la hora de garantizar eficiencia en el proceso de oxidación de materia orgánica recalcitrante de los lixiviados. Los Procesos de Oxidación Avanzada señalan su eficacia en la oxidación de materia orgánica en la generación de radicales hidroxilos mediante reacciones químicas en las cuales la generación de estos radicales se da de manera autónoma mientras no haya deficiencia de algún componente (Reyes, 2015)

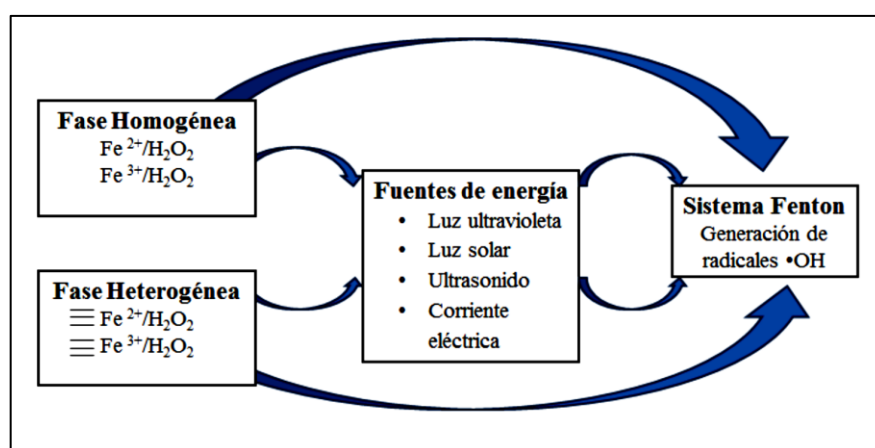
Los procesos de Oxidación Avanzada son utilizados a menudo como procesos complementarios a los sistemas comúnmente convencionales que permiten tratar contaminantes resistentes a la biodegradación. Las reacciones originadas en el proceso poseen una mayor factibilidad termodinámica y una mayor velocidad de oxidación por la presencia del radical hidroxilo (-OH), que tiene alto potencial de oxidación ( $E=2,80V$ ) (Rubio-Clemente, 2014).

Los POA también son usados con la catálisis en fase luminosa con Dióxido de titanio ( $TiO_2$ ), Foto Fenton, UV/peróxido de hidrógeno, Ozono y electro oxidación. Si bien es cierto los niveles de eficiencia que alcanzan estos métodos son mejores en comparación a los métodos biológicos, es necesario mencionar que los costes también son más elevados. Sin embargo, la biodegradabilidad de compuestos presentes en los lixiviados aumentaría con un pretratamiento de POA. (Valles, 2013).

- **La UV/ $H_2O_2$** , en este método, los rayos UV suministrados al efluente reaccionan con el  $H_2O_2$  para formar radicales hidroxilos (OH). La utilización de UV/ $H_2O_2$  muestra buenos beneficios: el oxidante se encuentra con facilidad para su adquisición, su temperatura de manejo es constante, es muy soluble con agua y no presenta dificultades de intercambios de masas vinculados a gases (Valles, 2013).
- **En el foto-Fenton**, En este proceso los iones  $Fe^{+3}$  y el  $H_2O_2$  son sujetos a la radiación UV, el peróxido se descompone por la actividad fotocatalítica de los iones  $Fe^{+3}$  que provoca la génesis de radicales -OH e iones  $Fe^{2+}$  (Giray, S. et al., 2018). La ventaja que tienen los procesos Foto Fenton radica en que no generan subproductos. Así mismo, se podría incrementar su eficiencia con la

combinación de fotocatalizadores como el  $\text{TiO}_2$ , estos procesos resultan muy importantes en la matriz ambiental por sus elevadas eficacias y características de viabilidad (Mirzaei et al., 2017).

En los **procesos Fenton**, la reacción se puede clasificar según la forma o fase en la que se adiciona el catalizador (hierro), las fases pueden ser homogénea y heterogénea (**Figura 3**). En la fase homogénea el hierro se agrega en forma de solución y en la fase heterogénea se agrega el hierro en con algún material en estado sólido (Hernández, 2014).



Fuente: Rosales Hernández, 2014

**Figura 3.** Tipos de procesos de Fenton.

El pH es uno de los indicadores para la determinación de la fase en la cual se está reaccionando. La fase heterogénea se da en un rango de pH de 4.4 – 7 y la fase homogénea en niveles menores a 4 unidades de pH. Para mayor entendimiento, la fase homogénea utiliza soluciones de hierro (en estados de oxidación +2 y +3 respectivamente) mientras en la fase heterogénea se emplea el hierro contenido en catalizadores como resinas, membranas u otros materiales. (Hernández, 2014).

En la **Tabla 2**, se puede observar ciertas características en la ocurrencia de un proceso Fenton en fase homogénea.

**Tabla 2.** Fenómenos que ocurren en el proceso Fenton homogéneo



<b>Fenómeno</b>	<b>Fenton homogéneo.</b>
<b>Fase</b>	La misma fase que tienen los reactivos.
<b>Mecanismo</b>	La reacción química está implicada únicamente en el proceso de degradación.
<b>Actividad catalítica</b>	Rápida
<b>Sitios activos</b>	Fe <sup>2+</sup> Fe <sup>3+</sup> iones complejos de hierro.
<b>pH</b>	Intervalo del pH ácido muy estresado y la necesidad de ajuste del pH antes y después de la reacción.
<b>Tratamientos de lodos</b>	Gran cantidad del efluente tratado se precipita en forma de lodos de hidróxido de hierro cuando la solución de reacción se naturalice.
<b>Perdida del catalizador</b>	La pérdida es alta después de efectuada la reacción, se requiere un tratamiento para la recuperación del catalizador.
<b>Recuperación del catalizador</b>	Se puede efectuar, pero es un proceso ineficaz que consume costos y tiempo.
<b>Desactivación</b>	Reacción irreversible con los productos. Los contaminantes recalcitrantes pueden alentar la reacción.

Fuente. (Hernández, 2014)

La reacción Fenton ha sufrido variantes con la finalidad de obtener una mayor eficiencia en cuanto a su aplicación, entre las variantes podemos encontrar: Foto Fenton (adición de luz UV o solar) y el electro Fenton en la que se generan electroquímicamente los dos reactivos de manera autónoma para que se ejecute la reacción. (Rosales Hernandez, 2014).

- Proceso de foto-Fenton, en la cual se utiliza luz solar natural o ultravioleta artificial (lámparas UV), como acelerador de proceso para la generación de radicales hidroxilos. (Rosales Hernandez, 2014)
- El proceso de electro-Fenton en el cual, el oxidante y catalizador pueden ser producidos electroquímicamente en la misma reacción. Se trata de una

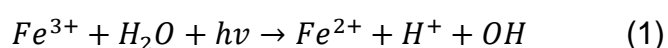
oxidación electroquímica indirecta que emplea los radicales OH generados por la reacción de Fenton para oxidar materia orgánica (Rosales Hernandez, 2014).

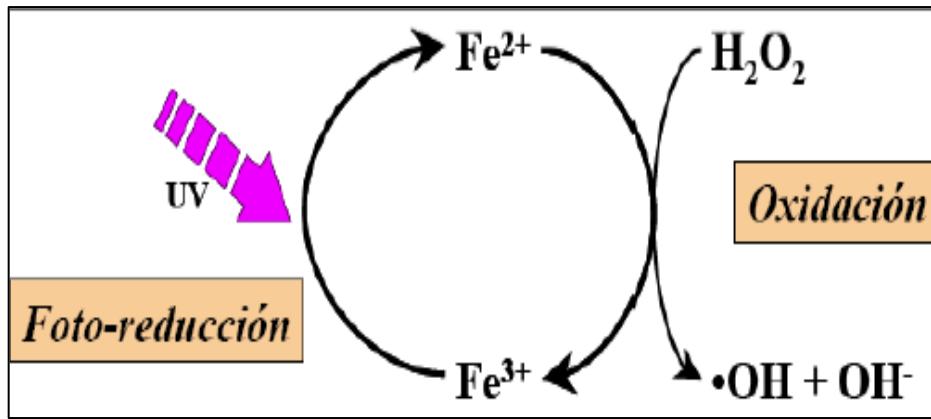
En la actualidad, las condiciones que un proceso debe tener para ser utilizado son: la eficiencia, la viabilidad económica y ambiental. Teniendo en cuenta estas características el Proceso Foto Fenton es considerado una de las opciones técnicas más favorables ya que empleando de manera adecuada la luz solar como fuente de energía reduciría costos sin tener modificaciones en los resultados (Rosales Hernández, 2014).

Si bien es cierto la reacción de Fenton tiene cualidades de reacción y eficiencia acelerada, una de las desventajas que podemos encontrar es la formación de lodos, los cuales se precipitan al incrementar el pH a la hora de neutralizar el efluente. De este modo en las plantas de tratamiento de lixiviados, el efluente es tratado previamente con floculantes y coagulantes para evitar la generación de lodos en grandes cantidades, de otro modo, requeriría un proceso de separación postratamiento para su disposición final. Lo que se traduce en un aumento de los costos de producción. (Umar, 2010).

El efluente tratado bajo el proceso de Foto Fenton cambia significativamente en su estructura fisicoquímica, demostrado en los parámetros materia orgánica orgánico, color y olor (Deng, 2007).

En el proceso de Foto Fenton se aplica radiación visible/UV a la reacción común de Fenton, bajo niveles de pH=3 a 4 aproximadamente, estos son los valores más óptimos que se ha podido encontrar a la actualidad para un mejor resultado. En la **ecuación 1** se puede observar la dinámica de la reacción llevada a cabo en el proceso del Foto Fenton en la que se da una foto-óxido-reducción de iones de sales de Hierro ( $Fe^{2+}$  a  $Fe^{3+}$ ). En la **Figura 4** se puede observar la combinación del peróxido de hidrógeno y la luz UV. Se ha comprobado que la velocidad de degradación de la fracción orgánica acelera con la irradiación de luz UV/visible (longitudes de onda >300 nm) (Hernández, 2014).



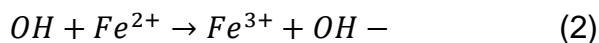


Fuente: Rosales Hernández, 2014

**Figura 4.** Diagrama del proceso de reacción foto-Fenton.

En la ecuación 1, se muestra el proceso de reacción del Foto Fenton, en el cual el Hierro oscila entre dos estados de oxidación  $2^+$  y  $3^+$ . La generación de radicales Hidroxilos es condicionada por la disponibilidad de luz UV y la concentración de  $H_2O_2$ . (Hernández, 2014).

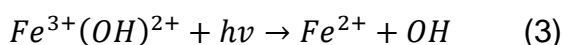
En la reacción Foto Fenton, el radical OH puede interactuar con otra especie de  $Fe^{2+}$  generando a su vez más  $Fe^{3+}$  como se indica en la ecuación 2. (Rosales Hernandez, 2014).



En el desarrollo del método foto-Fenton, ocurre la fotólisis directa al usar longitudes de onda inferiores a 300 nm, también se produce hidrólisis de materias orgánicas al tener pH con valores o demasiado bajos o muy altos (Hernández, 2014).

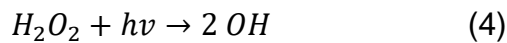
El proceso Foto Fenton muestra un incremento de su eficiencia por diversos factores como:

- La fotólisis de hidroxicomplejos de  $Fe^{3+}$  representa un adicional de  $\bullet OH$  (**ecuación 3**).



- El  $Fe^{2+}$  fotogenerado produce  $\bullet OH$  extras.

- Abarca un rango de longitudes de onda desde 300 nm hasta el visible (Hernández, 2014).
- La concentración de Fe<sup>2+</sup> a usarse pueden ser órdenes de magnitudes inferiores al del método Fenton.
- Al utilizarse longitud menor a 360 nm, se aprovechará la generación de •OH por fotólisis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> como se muestra en la **ecuación 4**.



Teniendo en cuenta que la ozonización demanda muchos gastos para su producción en la misma planta y que el TiO<sub>2</sub> en la fotocatalisis es un compuesto caro y complejo a la hora de realizar una separación en el efluente tratado. El Foto Fenton genera menos costos en su aplicación comparado con otros métodos de oxidación. Para la reacción del Foto Fenton se utiliza compuestos químicos de costos bajos, de fácil manejo y químicamente estables como las sales de hierro, el peróxido de hidrógeno y sumado a una fuente de luz que podría ser el sol o luz artificial de lámparas UV. De esta manera, la aplicación de este proceso en el lugar de generación del lixiviado resulta más conveniente (Hernández, 2014).

**Los parámetros** más resaltantes a la hora de otorgarle mayor eficacia al proceso Foto Fenton son: el nivel de pH, concentración de hierro, concentración de peróxido de hidrógeno, temperatura, tiempo de reacción y el efecto de la luz UV. Estos deben ser monitoreados y fijar las concentraciones que mejor se acomoden a las características del lugar y del efluente a tratar para una mayor optimización del proceso. Se describen estos factores para mayor entendimiento (Rosales Hernandez, 2014).

- **La temperatura**, muestra una influencia positiva en la remoción de la fracción orgánica de los lixiviados de residuos sólidos. Rivas y Zhang detectaron que la remoción de DQO aumenta en función del aumento de temperatura, investigando a niveles de 10°C - 30°C y 13°C – 37°C respectivamente. A menores temperaturas, se logra una mejor eficiencia en el proceso Fenton, siendo las menores a 20 °C las más óptimas. Temperaturas superiores a 40

°C o 50 °C desfavorecen la eficiencia de remoción, debido a la acelerada descomposición del peróxido y el agua. Si la cantidad de peróxido supera los 10 g/L o 20 g/L se debe controlar la temperatura (Hernández, 2014).

- **El pH**, el medio ácido es el más favorable para la reacción del Fenton homogéneo en un rango de 2,0 a 4,5 unidades en la escala de pH. Sin embargo, el aumentar la acidez no se traduce a un incremento de la eficiencia, a estos niveles, el  $\text{Fe}^{2+}$  que se ha generado hasta el momento del proceso reaccionaría más lento con el  $\text{H}_2\text{O}_2$  disminuyendo la producción de radicales OH (Hernández, 2014).
- **La concentración del Hierro**, este parámetro tiene una influencia directa en la velocidad de degradación, a mayor concentración del ión ferroso, mayor degradación de materia orgánica; esto hasta cierto nivel de saturación de Hierro que acepte la reacción, posteriormente la sobrecarga de Hierro significaría el aumento de SDT y conductividad en el efluente (Hernández, 2014).
- La concentración del peróxido de Hidrógeno, otro factor de incidencia directa en el proceso del Foto Fenton. Según estudios previos la eficiencia de degradación aumenta con un aumento de la dosis de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , sin embargo, es necesario tener un control de la dosis optima a suministrar al proceso ya que el  $\text{H}_2\text{O}_2$  contribuye a la DQO. En sistemas de tratamiento combinado se ha visto que el exceso de  $\text{H}_2\text{O}_2$  desfavorece el porcentaje de remoción cuando se utiliza el Foto Fenton como un pretratamiento de la oxidación biológica. Otro de los factores negativos es que inhibe los radicales hidroxilos cuando el peróxido se encuentra en exceso (Hernández, 2014).
- El tiempo de reacción, este parámetro es complementario y dependerá a las características del efluente a tratar, comúnmente los tiempos de reacción son alrededor de 30 a 60 minutos. Establecer etapas de suministro de los compuestos puede contribuir a una mayor eficiencia que añadir todo el hierro y peróxido al inicio del tratamiento (Hernández, 2014).

- Efecto de la luz UV/visible, la utilización de luz UV acelera la reacción del Foto Fenton, a su vez incrementa la degradación de la fracción orgánica del efluente tratado. La irradiación de luz UV influye directamente a la producción de radicales OH y la generación fotolítica de  $\text{Fe}^{2+}$  del complejo  $[\text{Fe}(\text{OH})]^{2+}$  en solución (Hernández, 2014).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo, diseño y nivel de investigación

Se aplicó una metodología de investigación cuantitativa, ya que se tuvo como sustento teorías científicamente comprobadas. Teniendo esa base científica se redactaron las hipótesis sobre la relación e interacción de las variables que forman parte de los problemas planteados. Se realizó la recolección de datos, mediante instrumentos debidamente validados a juicio de expertos, con la finalidad de evidenciar la relación entre las variables. Se ejecutó un procedimiento hipotético – deductivo ya que mediante las hipótesis que se formularon a partir de la teoría se procedió con la operacionalización de variables, procesamiento de datos e interpretación de resultados.

El presente trabajo es de diseño experimental (**Tabla 3**), en el cual se manipularon las variables que nos llevó a obtener mejores eficiencias en los procesos, con la finalidad de contrastar las hipótesis formuladas.

**Tabla 3.** Matriz de diseño experimental

		Fenton				foto-Fenton			
		Relación de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /Fe <sup>+2</sup>				Relación de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /Fe <sup>+2</sup>			
		R <sub>1</sub> : 2		R <sub>2</sub> : 4		R <sub>1</sub> : 2		R <sub>2</sub> : 4	
		pH <sub>1</sub> :3	pH <sub>2</sub> :4	pH <sub>1</sub> :3	pH <sub>2</sub> :4	pH <sub>1</sub> :3	pH <sub>2</sub> :4	pH <sub>1</sub> :3	pH <sub>2</sub> :4
RÉPLICAS	1	DQO <sub>1</sub>	DQO <sub>2</sub>	DQO <sub>3</sub>	DQO <sub>4</sub>	DQO <sub>1</sub>	DQO <sub>2</sub>	DQO <sub>3</sub>	DQO <sub>4</sub>
	2	DQO <sub>1</sub>	DQO <sub>2</sub>	DQO <sub>3</sub>	DQO <sub>4</sub>	DQO <sub>1</sub>	DQO <sub>2</sub>	DQO <sub>3</sub>	DQO <sub>4</sub>
	3	DQO <sub>1</sub>	DQO <sub>2</sub>	DQO <sub>3</sub>	DQO <sub>4</sub>	DQO <sub>1</sub>	DQO <sub>2</sub>	DQO <sub>3</sub>	DQO <sub>4</sub>

Fuente: Elaboración propia

En cada tratamiento (Fenton y foto-Fenton), se realizó 12 ensayos experimentales en total; considerando las 03 réplicas; haciendo un total de 24 ensayos en los dos tratamientos.

Como dentro de cada tratamiento (parcela) se aplicó un tipo de diseño DBCA, entonces corresponde las combinaciones de las variables de bloques para cada

tratamiento, estos son: relación del reactivo Fenton y pH, con dos niveles cada uno; entonces se presenta de la siguiente manera: 2<sup>k</sup>x3 para cada tratamiento.

Donde:

k=2 niveles de cada factor, para relación de reactivo Fenton de 2 y 4, para pH 3 y 4.

3= réplicas para minimizar el error obtenido en las respuestas en la variable dependiente.

### **Modelo Aditivo Lineal**

El modelo de regresión lineal para un diseño de parcela dividida según (Gutiérrez & De la Vara, 2010), se muestra a continuación.

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \delta_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (5)$$

**Donde:**

$y_{ijk}$  = Observación cualquiera dentro del experimento

$\mu$  = Media general

$\alpha_i$  = Efecto del i-ésimo nivel del factor de parcela

$\delta_{ik}$  = Error de parcela

$\beta_j$  = Efecto del j-ésimo nivel del factor B

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Efecto de interacción AB en la combinación ij

$\varepsilon_{ijk}$  = Error de la subparcela

### **3.2. Variables y operacionalización**

**Independiente:** Procesos de Oxidación Fenton y Foto Fenton

**Dependiente:** Remoción de DQO

**Operacionalización**

**Variable Independiente:** Procesos de Oxidación Fenton y Foto Fenton



Se trabajó bajo dos niveles de cada variable independiente para cada proceso (de los cuales se obtuvo la mejor dosis y su respectiva eficiencia máxima)

**Variable Dependiente:** Remoción de DQO

La materia orgánica es el principal factor de contaminación en los lixiviados de RR.SS. por lo que se pretende disminuir estas concentraciones a modo de pretratamiento, para un posterior reinsertado en el ambiente sin causar anomalías críticas en su composición.

### 3.3. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis

#### Población

Como universo contamos con los vertederos en general de RR.SS. municipales, los cuales generan los lixiviados. Se determinó como población un volumen de 10000 mL de los lixiviados del botadero “El Porvenir” del Distrito de El Tambo, provincia de Huancayo, región Junín.

#### Muestra

La muestra fue recolectada del ducto del cual se están generando los lixiviados (jóvenes) en el botadero “El Porvenir” que se encuentra en la zona Nor Oeste del distrito de El Tambo, se tomaron en total 10 litros de muestra; 3 litros para el laboratorio de caracterización y 7 litros para el análisis de las corridas experimentales.

El tamaño de muestra de lixiviado del botadero El Porvenir se calculó mediante la siguiente fórmula para estimar la proporción poblacional para una población cuantitativa finita (Nel, 2014):

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 * p * q * N}{N * E^2 + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad (6)$$

Dónde:

- **N:** tamaño de la población
- **p:** proporción de resultados favorables de la variable en la población, al seleccionar por primera vez una muestra de los lixiviados del botadero El Porvenir se consideró un valor del 50 % (Fernández Collado & Baptista Lucio, 2014).
- **q:** proporción de resultados desfavorables en la población ( $q=1-p$ ), al ser p igual a 50 % el valor de q fue de 50 %
- **$Z_{\alpha}$ :** Valor crítico para el grado de confianza del 95 % corresponde 1,96.
- **E:** Error estándar (6,4 %), considerado in situ por el investigador considerado como una tolerancia para que la muestra no sea representativa (Fernández Collado & Baptista Lucio, 2014).

Aplicando en la ecuación (6) se obtiene:

$$n = \frac{1,96^2 * 0,5 * 0,5 * 10\ 000}{10\ 000 * 0,064^2 + 1,96^2 * 0,5 * 0,5}$$

El tamaño de muestra por cada prueba experimental fue de 250,1 mL aproximándolo se consideró 250 mL de lixiviado para cada prueba experimental.

### **Muestreo**

Se realizó un muestreo puntual, ya que los lixiviados de RR.SS. se canalizan hacia un mismo punto, evidentemente los recipientes fueron enjuagados con la misma muestra para el aseguramiento de la calidad y representatividad.

### **Unidad muestral**

La unidad muestral fue de 250 ml para el análisis de cada experimento (24 corridas experimentales) en ambos procesos de oxidación.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Se recurrió a indagar acerca del tema de investigación mediante herramientas que nos permitieron recolectar datos, como formatos de campo para registrar

parámetros fisicoquímicos analizados, el procedimiento de muestreo mediante protocolo de muestras puntuales, informes de laboratorio de análisis y los demás datos recolectados durante el proceso de experimentación.

En cuanto a los instrumentos de investigación se evidencia en la parte de Anexos del presente trabajo la utilización de formatos establecidos por el autor para la recolección de datos en campo y laboratorio, así como los reportes de terceros (reportes de laboratorio de pre y post tratamiento).

Las técnicas e instrumentos que se utilizaron en la presente investigación se muestran en detalle en la **Tabla 4**:

**Tabla 4.** Técnicas e instrumentos que se emplearán en el Proyecto

ETAPA	FUENTE	TÉCNICA	INSTRUMENTO	RESULTADO
Estudio del proyecto de investigación	Material bibliográfico	Observación	Ficha de datos de campo	Información de la zona de estudio
Recolección de muestras	Botadero de RR.SS. "El Porvenir"	Observación	Protocolo de muestreo de aguas MINAM	Muestras de lixiviados
Determinación de las características iniciales	Muestreo y Análisis de lixiviados	Observación	Cadena de custodia	Caracterización inicial
Pruebas experimentales	Análisis De Pruebas En Laboratorio	Observación	Ficha de análisis de las pruebas realizadas	Eficiencia de los procesos de Oxidación
Análisis de resultados	Resultados de los análisis realizados	Observación	Resultados mediante software (Minitab, Excel)	Comprobación de los objetivos y las hipótesis

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5. Procedimiento

Se realizó un proceso experimental en el cual se manipuló la variable independiente que engloba los procesos Fenton y Foto Fenton conjuntamente con sus indicadores: pH, con los efectos producidos en la remoción del parámetro de DQO medido en los lixiviados del botadero "El Porvenir".

A continuación, se desglosa el procedimiento experimental desarrollado en la investigación bajo condiciones controladas, con el objetivo de demostrar la secuencia de acciones realizadas en el tratamiento de los lixiviados.

## Etapa Experimental

### A. Ubicación de la estación de muestreo en el botadero El Porvenir

El área de disposición final de RR.SS. “El Porvenir” se encuentra en el distrito de El Tambo, Huancayo, Junín. La ubicación del punto de muestreo está representada bajo las coordenadas UTM: 473379 por el Este y 8669563 por el Norte, zona de trabajo 18L a una altura de 3201 msnm, como se detalla en la **Figura 5**.



Fuente: Google Earth

**Figura 5.** Ubicación del punto de muestreo de lixiviados

Se realizó un muestreo puntual, referenciando una estación de muestreo (en la zona de salida de los líquidos lixiviados).

### Preparación antes del muestreo

- Se realizó un check list de los siguientes materiales: instrumentos de recojo de datos de campo, cadena de custodia, frascos de muestreo, cooler, los materiales y equipos necesarios para la toma de muestra, se verificó que estén en buen estado.

- Se rotularon los frascos para la toma de muestras: 01 envase PE-HD para el Laboratorio de Aguas de la Universidad Nacional del Centro del Perú y 01 envase PE-HD para el Laboratorio acreditado CERPER (Certificaciones del Perú) de acuerdo a su formato respectivo.
- Para el muestreo de los lixiviados de residuos sólidos, se contó con la protección de un par de botas de caucho, guantes de nitrilo antideslizante con cubierta de antebrazo, guantes descartables de látex sin talco, lentes de seguridad, protector y mascarilla KN95 con porosidad menor a 2.5  $\mu\text{m}$ .

### **Procedimiento para la recolección de muestras**

- Se recolectaron dos muestras representativas del líquido lixiviado del botadero El Porvenir, 500 mL para análisis de parámetros fisicoquímicos y de 250 mL para el análisis de DQO en frascos de polietileno de alta densidad (**Figura 6**).
- Se agregó preservante solamente a la muestra de DQO, para ello se usó ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), de acuerdo con especificaciones del laboratorio en donde se enviaron las muestras.
- Se registraron los datos de campo en el instrumento de recolección de datos N°1: Cadena de custodia (**Figura 7**), donde se indicó el tipo de muestra de agua (líquido lixiviado), los parámetros que se evaluaron, tipo de envase, volumen y número de muestras, reactivos para su preservación, conservación y alguna otra información necesaria como se especifica en el (Anexo A).
- Los frascos fueron almacenados en el cooler, debidamente conservados, para su transporte al laboratorio de Aguas de la Universidad Nacional del Centro del Perú y al Laboratorio CERPER (Certificaciones del Perú) donde fueron analizados los parámetros fisicoquímicos.
- Adicionalmente a las muestras para los análisis de los parámetros, se recolectó también 10 L de líquido lixiviado para realizar los procedimientos correspondientes a la investigación, para lo cual se siguió los mismos procedimientos de seguridad y se usó un balde de plástico de 10 L de capacidad, y fue almacenado a 4 °C.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 6.** Muestreo de lixiviados – Estación PML-01



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 7.** Rellenado de cadena de custodia.

### **B. Acondicionamiento de la muestra y cambio de pH**

- Para cada prueba experimental se trabajó con 250 mL de lixiviado en vasos precipitados de 500 mL de capacidad
- Valles (2013), indica que debido a que cuando la muestra presenta mucha carga de sedimentos es recomendable realizar la filtración con una tela de

filtro con tamaño de poro entre 60  $\mu m$  y 140  $\mu m$  antes de los tratamientos (Figura 8).

- Se determinó la concentración inicial de pH de la muestra usando el equipo multiparámetro PL-700AL Series Bench Top Meter.
- Como parte de nuestra experimentación variamos el pH de las muestras, ajustándolas a dos medidas (3 y 4) según el diseño experimental. Para ello usamos ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) a 2M que se preparó a partir del ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado al 97,7 % de pureza, marca J.T.Baker.
- Preparamos la solución de ácido sulfúrico a la concentración de 2M, de acuerdo con la siguiente formula:

$$V_1 = \frac{\rho \times V_2 \times \%}{\overline{PM} \times C} \quad (7)$$

Dónde:

$\rho$  = densidad del  $H_2SO_4$  (g/mL)

$\%$  = pureza del  $H_2SO_4$

$\overline{PM}$  = peso molecular del  $H_2SO_4$

$C$  = concentración (M)

$V_1$  = volumen que sacaremos del frasco (mL)

$V_2$  = volumen de solución que necesitamos preparar (mL)

Reemplazando valores para preparar 200 mL de solución de ácido sulfúrico a 2 M, se necesitó:

$$V_1 = \frac{1,84 \times 200 \times 0,977}{98,079 \times 2}$$

$$V_1 = 1,833 \text{ mL}$$

Se extrajo 1,833 mL de ácido sulfúrico y se aforó a 200 mL con agua destilada en una fiola a ese volumen. Así se obtuvo 200 mL de solución de ácido sulfúrico a 2M.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 8.** Acondicionamiento de muestras

**C. Determinación de cantidades del peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ):**

- Se utilizó para la experimentación peróxido de hidrogeno ( $H_2O_2$ ) al 10 % J.T Baker y sulfato ferroso heptahidratado ( $FeSO_4 \cdot H_2O$ ) al 99 % J.T Baker (Ramírez, Vicente, Ramos, Gutiérrez, & Nájera, 2010).
- Para los procesos Fenton y foto-Fenton, se determinó variar las cantidades de los reactivos de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ), de tal manera que nos dieron relaciones de 2 y 4 entre ( $H_2O_2 / FeSO_4$ ).
- Las concentraciones para el peróxido de hidrogeno fueron 400 mg/L y 800 mg/L, y para el sulfato ferroso fue 200 mg/L para ambos casos. Realizando la fracción respectiva entre ( $H_2O_2 / FeSO_4$ ) se obtuvo las relaciones requeridas para la experimentación.

**D. Preparación de 500 mL de peróxido de hidrógeno a una concentración de 400 mg/L y 800 mg/L:**



Se sabe que una solución de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 10 % representa 10 g de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> disuelto en 100 mL de agua destilada, se deduce entonces que por cada mililitro de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> equivale a 0,10 g. A partir de esta deducción se aplicó la siguiente fórmula para hallar las concentraciones requeridas del reactivo:

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2 \quad (8)$$

Dónde:

C<sub>1</sub>= concentración base del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en mg/L

V<sub>1</sub>= volumen que sacaremos del frasco en mL

C<sub>2</sub>= concentraciones que queremos hallar (400 mg/L y 800 mg/L)

V<sub>2</sub>= volumen que queremos preparar en mL

Reemplazando valores tenemos:

Para 400 mg/L

$$100000 \frac{mg}{L} \times V_1 = 400 \frac{mg}{L} \times 0,5L$$

$$V_1 = 0,002 L = 2 mL$$

Para 800 mg/L:

$$100000 \frac{mg}{L} \times V_1 = 800 \frac{mg}{L} \times 0,5L$$

$$V_1 = 0,004 L = 4 mL$$

Teniendo las cantidades en mL se sacaron del frasco inicial y fueron aforados a 500 mL en una fiola de esa capacidad.

#### **E. Preparación de 500mL de sulfato ferroso a una concentración 200 mg/L:**

Se pesó 100 mg de sulfato ferroso heptahidratado del frasco inicial y fue mezclado con cierta cantidad de agua destilada en una fiola de 500 mL. Luego se aforó la fiola con agua destilada hasta la capacidad indicada. Se mezcló homogéneamente.

## F. Procedimiento para el Foto Fenton

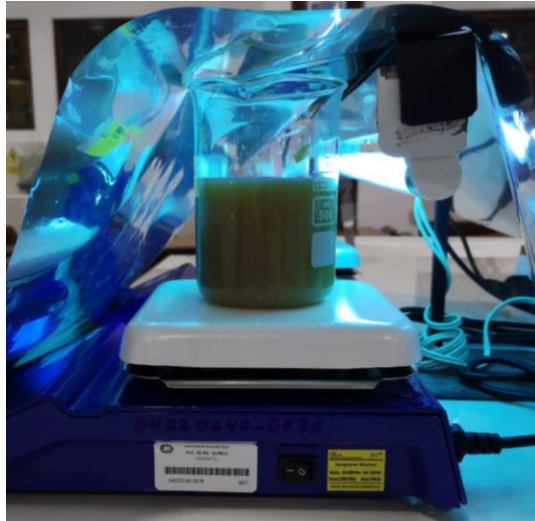
- La experimentación inicio con la adecuación de un reactor tipo batch de vidrio de un volumen de 500 mL que ya contenía las muestras de lixiviados, a un agitador magnético marca JKI, y por la parte superior se adaptó una estructura de metal diseñada para sostener el tubo fluorescente de UV de 16 wts, con una longitud de 44 cm. Adicionalmente se cubrió el sistema con papel metálico para evitar la radiación al ambiente (**Figura 9**).



Fuente: Elaboración propia

**Figura 9.** Porta lámpara de radiación Ultra Violeta

- Encontrándose en agitación las muestras, se pasó a añadir el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ) en las relaciones establecidas (2 y 4) de acuerdo al diseño, y con nuestra solución ya preparada de ácido sulfúrico a 2 M se reguló el pH a 3 y 4 de acuerdo al diseño experimental.
- Cada tratamiento fue expuesto a la radiación UV por un tiempo constante de 40 minutos.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 10.** Ejecución del proceso de experimentación del Foto Fenton

- Finalmente, las muestras de lixiviado fueron filtradas con papel filtro de 125 mm de diámetro (Whatman) y se tomaron alícuotas de 10 mL de cada prueba experimental para su respectivo análisis de remoción de DQO.

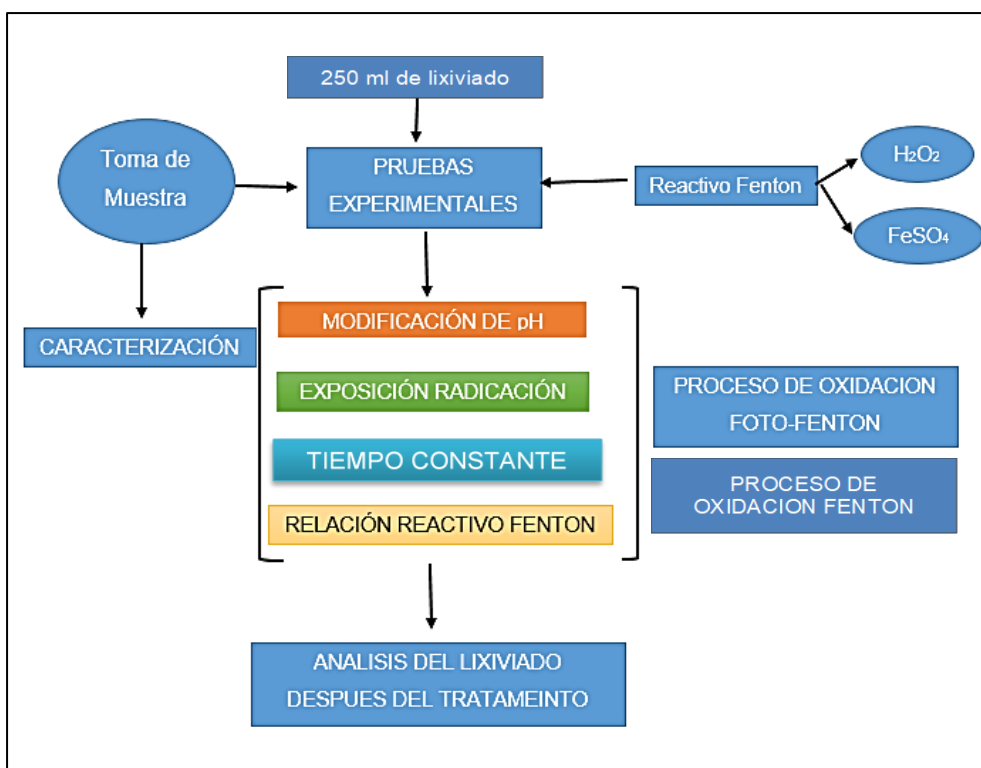
#### **G. Procedimiento para el Fenton**

- Para el proceso Fenton se utilizó el mismo reactor que en el procedimiento foto-Fenton, pero esta vez sin la portalámpara con 1 tubo fluorescente de UV (**Figura 11**).
- Encontrándose en agitación las muestras, se pasó a añadir el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ) en las relaciones establecidas (2 y 4) de acuerdo con el diseño y con nuestra solución ya preparada de ácido sulfúrico a 2M se reguló el pH a 3 y 4.
- Para el caso del proceso Fenton las muestras de lixiviado se agitaron por un tiempo constante de 40 min respectivamente.



Fuente: Elaboración propia  
**Figura 11.** Proceso Fenton a pH3 y pH4

Finalmente, las muestras de lixiviado fueron filtradas con papel filtro de 125 mm de diámetro (Whatman) y se tomaron alícuotas de 10 mL de cada prueba experimental para su respectivo análisis de remoción de DQO.



Fuente: Elaboración Propia  
**Figura 12.** Esquema de los procesos Fenton y Foto Fenton en etapa de experimentación

### **3.6. Método de análisis de datos**

La primera hipótesis fue contrastada mediante la prueba T de dos muestras, con el fin de comparar la eficiencia de los procesos de oxidación Fenton y foto-Fenton en la remoción de DQO, la segunda y tercera hipótesis fueron contrastadas mediante el análisis de ANOVA para un diseño completo de parcelas divididas.

### **3.7. Aspectos éticos**

Según el código de Ética de la Universidad Cesar Vallejo, referente a la investigación, se ejecuta siguiendo los criterios adecuados basados en la Resolución del Consejo Universitario N° 0126-2017/UCV; considerando el capítulo 3, para desarrollar este proyecto de investigación, menciona cuales son las etapas y pasos para la publicación de la investigación. Además, se determinó la línea de investigación basada en la RCU N°200-2018 / UCV y se tomó en consideración la RR N°0089-2019-UCV donde explica aspectos generales que se debe considerar en la redacción de la investigación.

Se respeta la propiedad intelectual y la autoría de la información bibliográfica, citando correctamente a los autores a través del ISO 690, con la referencia de sus datos de publicación que nos darán una información veraz y confiable. Finalmente, el proyecto de investigación se sube al turnitin para verificar el índice de similitud del proyecto de investigación con otras ya publicadas, constatando que es una investigación propia de los autores.

#### IV. RESULTADOS

La caracterización fisicoquímica y los indicadores de contaminación bioquímica de los lixiviados generados en el botadero El Porvenir, realizados en el Laboratorio de Análisis Químico de la Universidad Nacional del Centro del Perú, en el reporte N° 19-2019 (ver Anexo D), se muestran en la **Tabla 5**.

**Tabla 5.** Caracterización de los lixiviados del botadero El Porvenir

Parámetros	Cantidad
pH	7,7 unidades
Turbidez	5120 NTU
Sólidos Disueltos	26580 ppm
Sólidos en Suspensión	6876 ppm
Sólidos Totales	33456 ppm
DQO	55818 ppm
DBO	9058 ppm

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 6** se exponen las concentraciones de la DQO de las tres réplicas, sus promedios respectivos, teniendo como variables independientes a la relación de (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>+2</sup>) y pH, para el proceso Fenton y foto-Fenton.

**Tabla 6.** Resultados de concentraciones de DQO después del tratamiento

Proceso	Relación de concentraciones [H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /Fe <sup>+2</sup> ]	pH	Replica I DQO (ppm)	Replica II DQO (ppm)	Replica III DQO (ppm)	Promedio DQO (ppm)
Fenton	2	3	28527	28596	28656	28593,00
		4	25894	25900	25801	25865,00

<b>Foto Fenton</b>	4	3	30890	30905	30721	30838,67
		4	29197	29205	29106	29169,33
	2	3	6873	6904	6799	6858,67
		4	5227	5174	5204	5201,67
	4	3	13778	14001	13702	13827,00
		4	10582	10607	10512	10567,00

Fuente: Elaboración propia.

En la **Tabla 6**, se observó una concentración mayor de DQO promedio remanente de 30 838,00 ppm para una relación entre  $[H_2O_2/Fe^{+2}]$  de 4 y pH de 3; para una relación entre  $[H_2O_2/Fe^{+2}]$  de 2 y pH 4 hubo una remoción máxima, quedando 25 865,00 ppm de DQO remanente, en el proceso Fenton. Para una relación entre  $[H_2O_2/Fe^{+2}]$  de 4 y pH de 3 hubo un remanente de 13 827,00 ppm de DQO en promedio y para una relación entre  $[H_2O_2/Fe^{+2}]$  de 2 a pH de 4 se observó un remanente de 5 201,67 ppm de DQO en promedio en el proceso foto-Fenton.

En la **Tabla 7** se muestran los porcentajes de remoción promedio de DQO de las tres réplicas, para el proceso Fenton y el proceso foto-Fenton.

**Tabla 7.** Porcentaje de remoción de DQO en el proceso Fenton y foto-Fenton

Réplicas	Proceso Fenton			Proceso foto-Fenton		
	$[H_2O_2/Fe^{+2}]$	pH	% DQO	$[H_2O_2/Fe^{+2}]$	pH	% DQO
I	2	3	48,89	2	3	87,69
	2	4	53,61	2	4	90,64
	4	3	44,66	4	3	75,32
	4	4	47,69	4	4	81,04
	2	3	48,77	2	3	87,63
	2	4	53,60	2	4	90,73

II	4	3	44,63	4	3	74,92	
	4	4	47,68	4	4	81,00	
<hr/>							
III	2	3	48,66	2	3	87,71	
	2	4	53,78	2	4	90,68	
	4	3	44,96	4	3	75,23	
	4	4	47,86	4	4	81,07	
	<hr/>						
	<hr/>						

Fuente: Elaboración propia

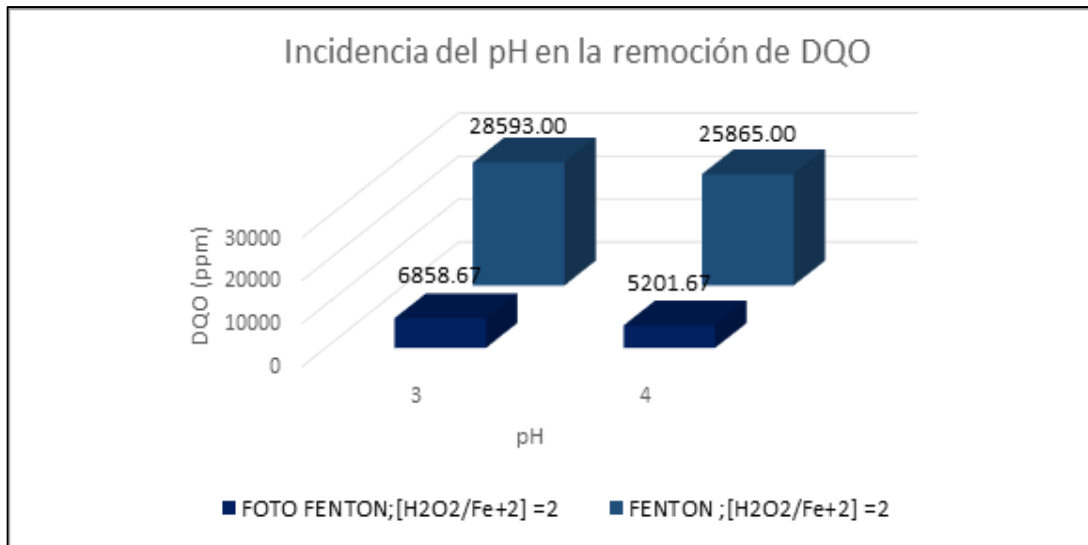
En la **Tabla 8** se muestra el porcentaje de remoción de DQO en promedio a partir de las tres réplicas trabajadas, éstas son necesarias y se aplicó en la discusión de resultados.

**Tabla 8.** Porcentaje de remoción de DQO

Proceso	[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /Fe <sup>+2</sup> ]	pH	% DQO (promedio)
Fenton	2	3	48,77
Fenton	2	4	53,66
Fenton	4	3	44,75
Fenton	4	4	47,74
Foto-Fenton	2	3	87,71
Foto-Fenton	2	4	90,68
Foto-Fenton	4	3	75,23
Foto-Fenton	4	4	81,07

Fuente: Elaboración propia

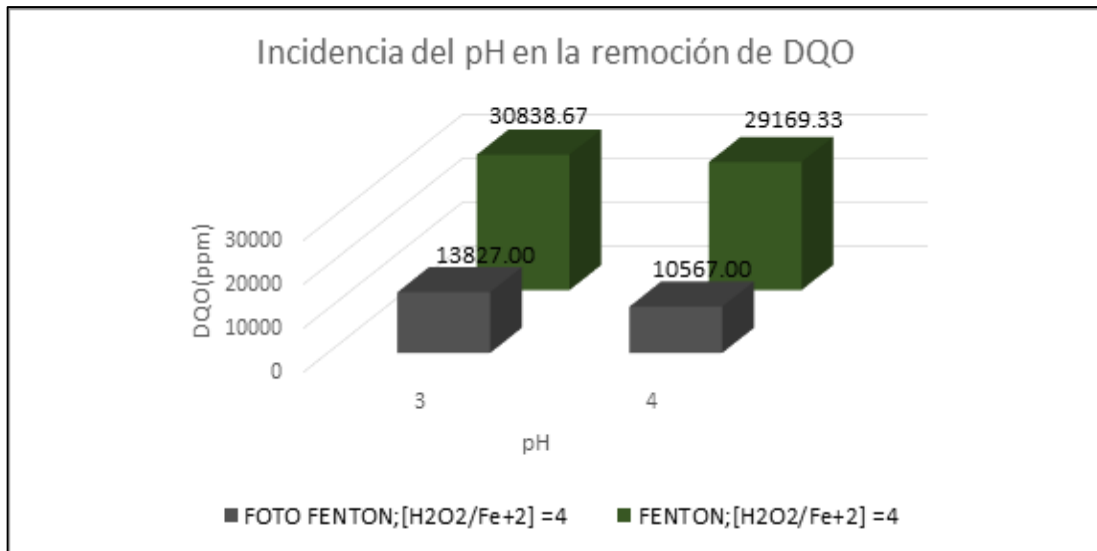




Fuente: Elaboración propia.

**Figura 13.** Efecto del pH en la remoción de DQO para H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>+2</sup> de 2.

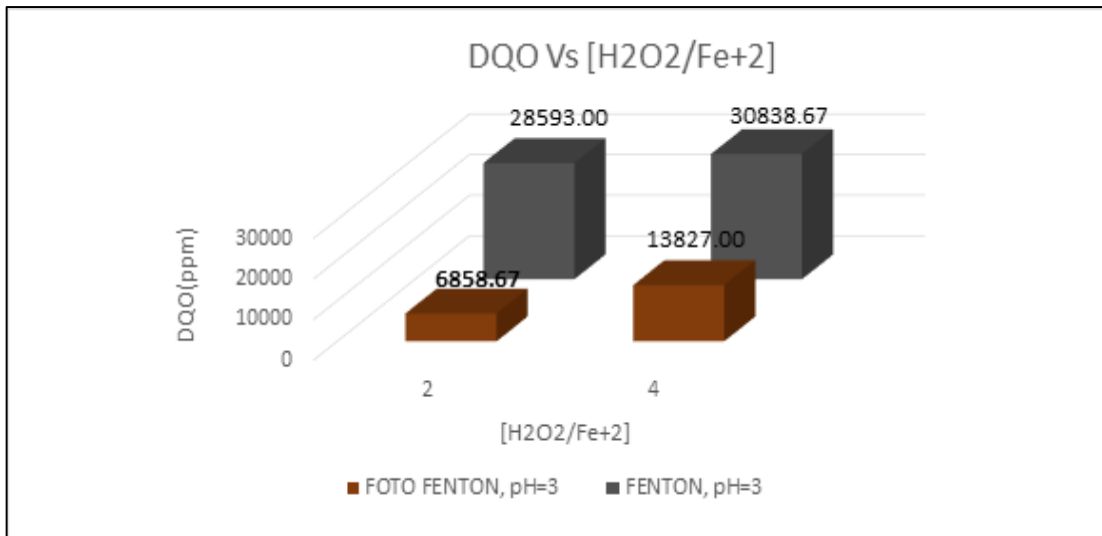
En la **Figura 13** se realizó la comparación entre los procesos de Fenton y foto-Fenton para la remoción de DQO, siendo trabajados a dos pH de 3 y 4 para cada proceso, manteniendo constante la relación entre H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>+</sup> de 2. Analizando para cada condición de operación se observa que a un pH de 3 unidades hay un remanente de 6 858,67 ppm de DQO para el proceso foto-Fenton y de 28 593,00 ppm para el proceso Fenton; por lo que se deduce que el proceso más efectivo es donde interviene la radiación UV. Los resultados de remanente de DQO que se obtuvieron a un pH de 4 unidades son de 5 201,67 ppm para el foto-Fenton y de 25 865,00 ppm para el proceso Fenton, por lo que se dice que hubo mayor remoción en el proceso foto-Fenton.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 14.** Efecto del pH en la remoción de DQO para H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>+2</sup> de 4.

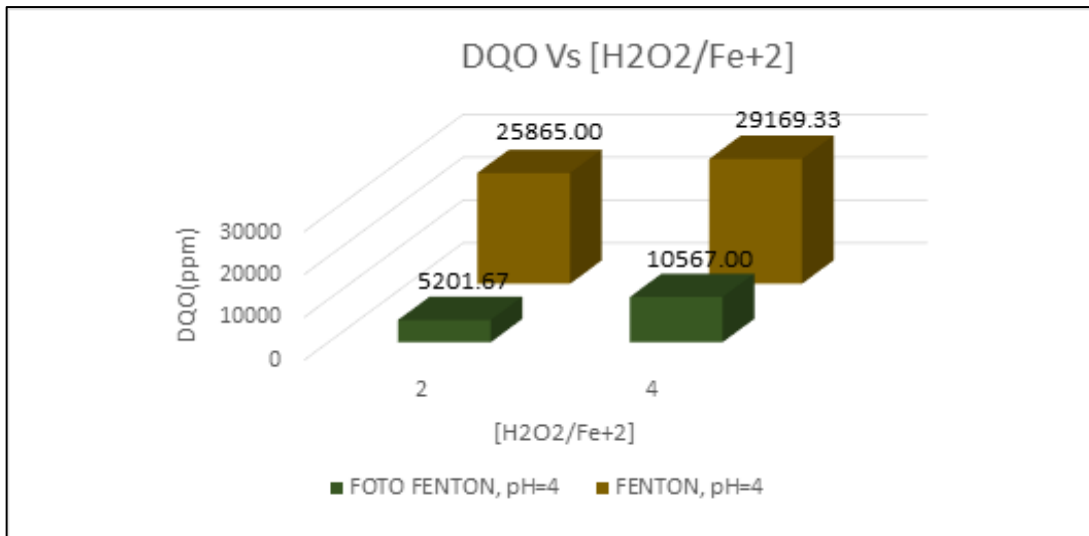
En la **Figura 14** se muestra la remoción de DQO realizadas a diferentes procesos; estas son: foto-Fenton y Fenton; permaneciendo constante la relación entre las concentraciones H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>+2</sup> a 4. Analizando los resultados de remanente de DQO tanto para cada proceso, llevados a una condición de operación de pH variantes se puede decir que para un pH de 3 existe mayor remoción de DQO en el proceso foto-Fenton, quedando en el sistema una cantidad de 13827,00 ppm de DQO a diferencia de 30838,67 ppm del proceso Fenton; para un pH de 4 unidades se puede observar que queda 10567,00 ppm de DQO en el proceso foto-Fenton y 29169,33 ppm para el proceso Fenton, por lo que se deduce que existe mayor remoción en el proceso foto-Fenton en el que interviene los rayos UV.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 15.** Efecto de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>+2</sup> con pH de 3 en la remoción de DQO

En la **Figura 15** se presenta los resultados obtenidos de DQO remanente en los procesos Fenton y foto-Fenton, variando la relación de concentraciones entre H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y FeSO<sub>4</sub>, manteniendo el pH constante de 3 unidades. Se observa que a una relación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/FeSO<sub>4</sub> de 2; la remoción en el proceso foto-Fenton fue de 6 858,67 ppm; es decir mucho mayor que el proceso Fenton, en la que queda 28 593,00 ppm de DQO. Para una relación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/FeSO<sub>4</sub> de 4, se observa que la remoción en el proceso foto-Fenton fue de 13 827,00 ppm, mucho mayor que en el proceso Fenton, en este proceso fue de 30 838,67 ppm. Analizando de manera general el proceso de remoción entre los dos procesos, las dos relaciones de concentraciones a un pH constante se observan que el proceso más eficaz es el foto-Fenton; además de observar que existió mayor remoción a una relación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/FeSO<sub>4</sub> de 2.

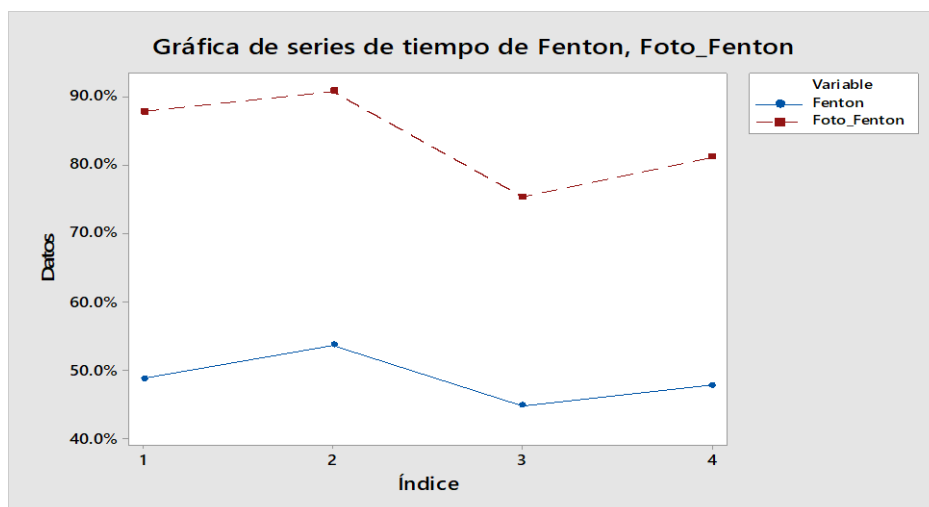


Fuente: Elaboración propia

**Figura 16.** Efecto de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>+2</sup> con pH 4 en la remoción de DQO.

La **Figura 16** muestra los resultados de DQO remanente a una relación entre H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/FeSO<sub>4</sub> de 2 y 4 a un pH constante de 4. Para el primer caso se observa que existió una remoción de 5 201,67 ppm de DQO en el proceso foto-Fenton, mientras que en el proceso Fenton fue de 25 865,00 ppm, en la cual se observa que la remoción en el proceso Fenton. Para el segundo caso, se observa que la mayor remoción se dio en el proceso foto-Fenton de 10 567,00 ppm a una remoción de DQO de 29 169,33 ppm en el proceso Fenton.

### Comparación entre el proceso Fenton y foto-Fenton en la remoción de DQO.

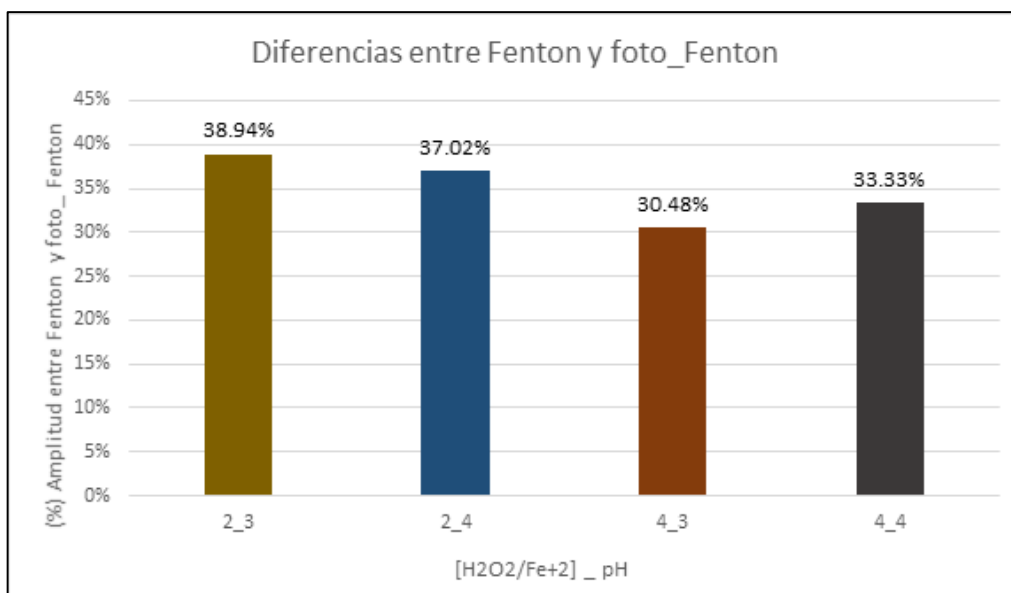


Fuente: Elaboración propia.

**Figura 17.** Comparación de remoción de DQO en el proceso Fenton y foto-Fenton.

En la **Figura 17** se puede observar la comparación de la remoción de DQO vs índices; en el proceso Fenton y foto-Fenton. Entendiéndose como índice a las condiciones de operación es decir: índice 1 es ( $[H_2O_2/Fe^{+2}]$ :pH) de (2:3), índice 2 es ( $[H_2O_2/Fe^{+2}]$ :pH) de (2:4), índice 3 es ( $[H_2O_2/Fe^{+2}]$ :pH) de (4:3), índice 4 es ( $[H_2O_2/Fe^{+2}]$ :pH) de (4:4). Los porcentajes de remoción de DQO mantienen un patrón constante, ya que para  $H_2O_2/Fe^{+2}$ :pH de 2:4 se observa que la remoción de DQO fue máxima para ambos procesos, para  $H_2O_2/Fe^{+2}$ :pH de 4:3 los porcentajes de DQO fue mínima para ambos procesos; siempre siendo mejor la remoción en el proceso foto-Fenton. En el proceso Fenton los contaminantes se fotolizan directamente, mejora la eficiencia del proceso de destrucción oxidativa ya que la radiación UV es una fuente adicional de  $OH^\cdot$  a partir de fotólisis del agua y hidroxocomplejos de  $Fe^{3+}$  en la cual existe la generación del  $Fe^{2+}$  por lo que las concentraciones de Fe(II) a emplearse pueden ser de órdenes menores, tal como señala (Kwarciak-Kozłowska y Krzywicka, 2015).

### Porcentaje de remoción de DQO de los procesos Fenton y foto-Fenton



*Fuente:* Elaboración propia.

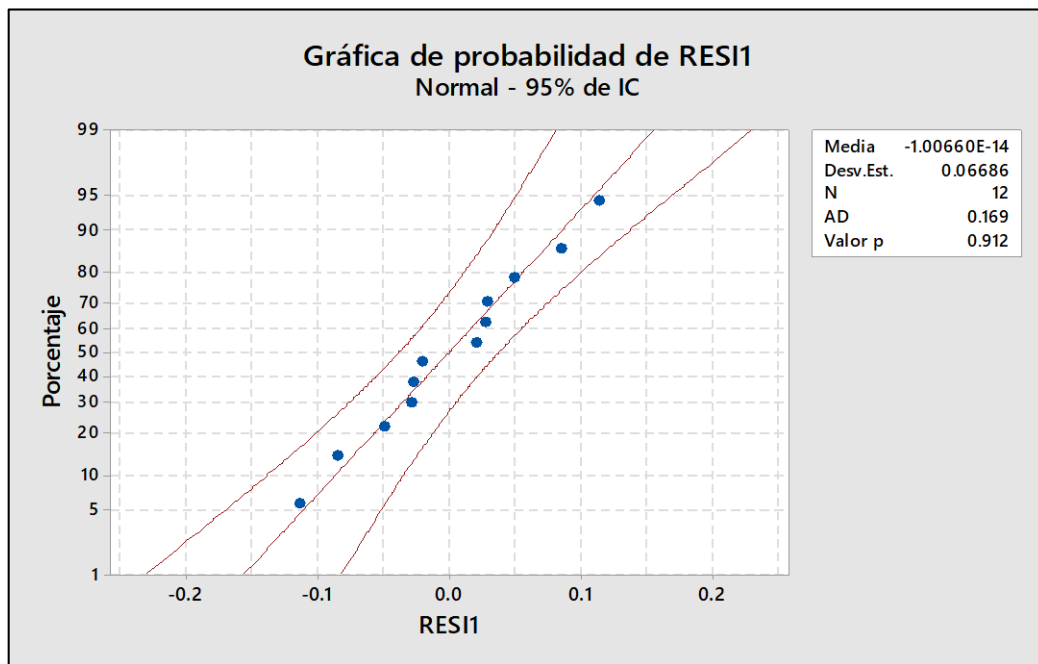
**Figura 18.** Diferencia de remoción de DQO entre el proceso Fenton y foto-Fenton.

La Figura 18 muestra las diferencias entre los porcentajes de remoción tanto para el proceso Fenton y foto-Fenton. Ella nos muestra que existió mayor diferencia en el porcentaje de remoción para una relación entre  $H_2O_2/Fe^{+2}$  de 2 unidades a un

pH de 3, está fue de 38,94 %, mientras, está condición conllevó a la existencia de mayor amplitud entre los porcentajes de remoción entre los procesos Fenton y foto-Fenton; entonces se puede advertir que a esta condición de tratamiento permite remover mayor cantidad de DQO para el proceso Fenton a la misma condición de tratamiento que el proceso Fenton; mientras para una relación entre  $H_2O_2/Fe^{+2}$  de 4 unidades a un pH de 3 existió menor diferencia entre los porcentajes de remoción de DQO, la cual fue de 30,48 %, de lo que se puede deducir que a estas condiciones de tratamiento no se ve favorecida tanto el proceso Fenton y foto-Fenton, tal como señala (Guzmán, J., Abad, y Ramírez, 2015).

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

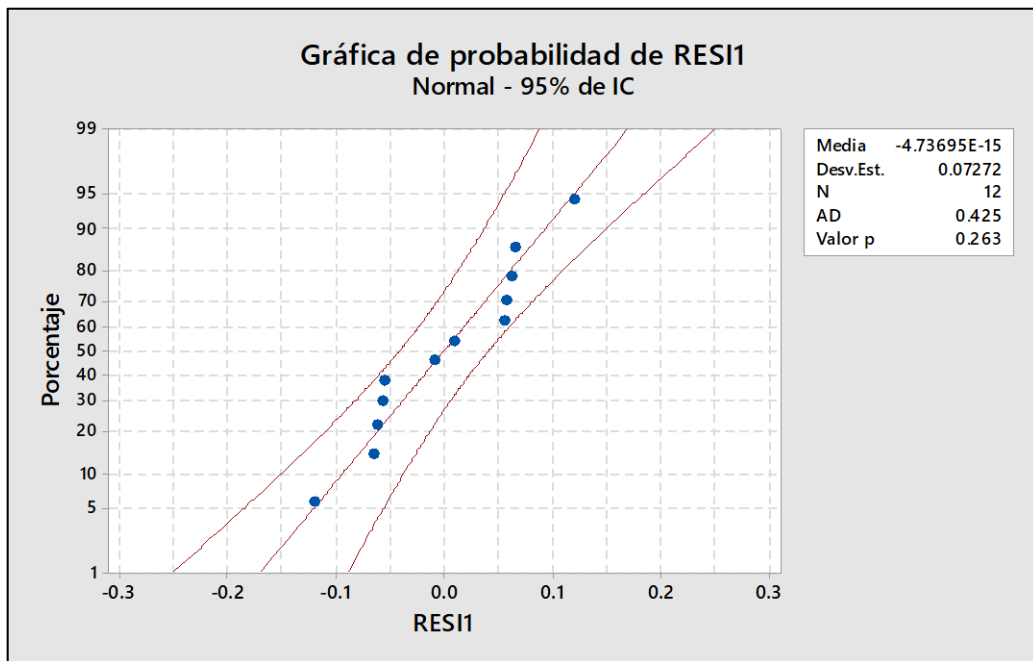
En la **Figura 19** se muestra los resultados obtenidos en la remoción de DQO por el proceso Fenton; la prueba de normalidad fue evaluada a partir de los residuales entre medias de los resultados de remoción DQO y las medias hipotéticas; la prueba de la normalidad de Shapiro Wilk (para muestras pequeñas  $n < 30$ ) muestra un p-valor de 0,912, mayor al nivel de significancia de 0,05; por lo tanto, la prueba no es significativa, la distribución es normal.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 19.** Normalidad de los datos para el proceso Fenton

En la **Figura 20** se observa la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, en el eje horizontal se muestra la diferencia entre la escala probabilística normal y la prevista por el modelo de distribución normal, en el eje vertical los valores en términos de porcentajes. El resultado muestra la distribución de los datos aproximadamente a una línea recta a 45°, además se afirma que, mediante un análisis se obtuvo un p-valor de 0,2632, mayor al nivel de significancia de 0,05; por lo consiguiente, afirmamos que la distribución es normal.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 20.** Normalidad de los datos para el proceso foto-Fenton

## CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS GENERAL

La comprobación de la hipótesis general se realizó mediante la prueba T dos muestras, con el fin de comparar los dos procesos Fenton y foto-Fenton.

- $H_0$ =Las diferencias de las medias de los resultados de remoción de DQO del proceso Fenton y foto-Fenton son iguales.
- $H_a$ =El proceso de oxidación foto-Fenton es más eficiente que el proceso Fenton.

## Prueba T e IC de dos muestras: % DQO\_Fenton, % DQO\_foto-Fenton Método

$\mu_1$ : media de % DQO\_Fenton

$\mu_2$ : media de % DQO\_foto-Fenton

Diferencia:  $\mu_1 - \mu_2$

Prueba

**Tabla 9.** Hipótesis nula y alterna para T de dos muestras

<b>Hipótesis nula</b>	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
<b>Hipótesis alterna</b>	$H_1: \mu_1 - \mu_2 > 0$

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 10.** ANOVA de T de dos muestras

<b>Valor T</b>	<b>GL</b>	<b>Valor p</b>
-17,05	16	0,000

Fuente: Elaboración propia

### Interpretación:

P valor (0,000) < 0,05: la diferencia entre las medias del proceso foto-Fenton es mayor que el proceso Fenton, con respecto a la diferencia hipotética. Entonces se deduce que existe diferencia estadística entre los procesos Fenton y foto-Fenton con respecto a la remoción de DQO.

## CONTRASTACIÓN DE LA PRIMERA HIPÓTESIS ESPECÍFICA

La contratación de la primera hipótesis se realizó mediante la prueba de T de una muestra, para comprobar si las características físicas y químicas de los lixiviados alteran la composición de las aguas del río Mantaro.

### T de una muestra: pH

- $H_0$ =Los valores del pH de los lixiviados del botadero El Porvenir se encuentran dentro de los valores límites máximos permisibles, según



la Norma de Calidad Ambiental de Descarga de Efluentes- Norma Ecuatoriana.

- Ha= Los valores del pH de los lixiviados del botadero El Porvenir no se encuentran dentro de los valores límites máximos permisibles, según la Norma de Calidad Ambiental de Descarga de Efluentes- Norma Ecuatoriana.

Prueba

**Tabla 11.** Hipótesis nula y alterna para pH

<b>Hipótesis nula</b>	$H_0: \mu = 7,7$
<b>Hipótesis alterna</b>	$H_1: \mu \neq 7,7$

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 12.** ANOVA de T de una muestra para el pH

<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>
4,47	0,140

Fuente: Elaboración propia

### **Interpretación:**

El p-valor fue de  $0,140 > 0,05$  (nivel de significancia), por ello, se acepta la hipótesis nula; es decir no existe una influencia estadísticamente significativa del pH en la alteración de la composición del cuerpo receptor.

### **T de una muestra: Sólidos totales**

- Ho=Las concentraciones de sólidos totales de los lixiviados del botadero El Porvenir se encuentran dentro de los valores límites máximos permisibles, según la Norma de Calidad Ambiental de Descarga de Efluentes- Norma Ecuatoriana.

- Ha= Las concentraciones de sólidos totales de los lixiviados del botadero El Porvenir no se encuentran dentro de los valores límites máximos permisibles, según la Norma de Calidad Ambiental de Descarga de Efluentes- Norma Ecuatoriana.

Prueba

**Tabla 13.** Hipótesis nula y alterna para los sólidos totales

<b>Hipótesis nula</b>	$H_0: \mu = 1600$
<b>Hipótesis alterna</b>	$H_1: \mu > 1600$

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 14.** ANOVA de T para los sólidos totales

<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>
20591,65	0,000

Fuente: Elaboración propia

### **Interpretación:**

El p-valor fue de  $0,000 < 0,05$  (nivel de significancia), por ello, se acepta la hipótesis alterna; es decir existe una influencia estadísticamente significativa de la concentración de sólidos totales en la alteración de la composición de las aguas del río Mantaro.

### **T de una muestra: Sólidos suspendidos**

- Ho=Las concentraciones de sólidos suspendidos de los lixiviados del botadero El Porvenir se encuentran dentro de los valores límites máximos permisibles, según la Norma de Calidad Ambiental de Descarga de Efluentes- Norma Ecuatoriana.
- Ha= Las concentraciones de sólidos suspendidos de los lixiviados del botadero El Porvenir no se encuentran dentro de los valores límites máximos permisibles, según la Norma de Calidad Ambiental de Descarga de Efluentes- Norma Ecuatoriana.

Prueba

**Tabla 15.** Hipótesis nula y alterna para los sólidos suspendidos

<b>Hipótesis nula</b>	<b><math>H_0: \mu = 100</math></b>
<b>Hipótesis alterna</b>	<b><math>H_1: \mu &gt; 100</math></b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 16.** ANOVA para sólidos suspendidos

<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>
3261,26	0,000

Fuente: Elaboración propia

**Interpretación:**

Se acepta la hipótesis alterna, ya que el p-valor es de 0,000, es menor al nivel de significancia de 0,05. Entonces decimos con respecto a la media de las concentraciones de los sólidos suspendidos es mayor al límite máximo permisible de 100 mg/L, para las descargas al sistema de alcantarillado público, según la Norma de Calidad Ambiental de Descarga de Efluentes- Norma Ecuatoriana.

**CONTRASTACIÓN DE LA SEGUNDA Y TERCERA HIPÓTESIS ESPECÍFICA**

La incidencia del pH y  $H_2O_2/ Fe^{+2}$  en el proceso Fenton y foto-Fenton en la remoción de DQO se realizó mediante el análisis ANOVA para un diseño factorial de parcelas divididas.

**Diseño factorial completo de parcelas divididas para el proceso Fenton**

**Hipótesis estadística para la segunda hipótesis específica**

$H_0$ = El pH no tiene una influencia estadística significativa en el proceso Fenton en la remoción de DQO en lixiviados del botadero El Porvenir.

$H_a$ = El pH tiene una influencia estadística significativa en el proceso Fenton en la remoción de DQO en lixiviados del botadero El Porvenir.

### Hipótesis estadística para la tercera hipótesis específica

Ho=La dosis de proporción suministrada de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y el sulfato ferroso ( $Fe^{+2}$ ) no tiene una influencia estadística significativa en la remoción de DQO en lixiviados del botadero El Porvenir.

Ha= La dosis de proporción suministrada de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y el sulfato ferroso ( $Fe^{+2}$ ) tiene una influencia estadística significativa en la remoción de DQO en lixiviados del botadero El Porvenir.

**Tabla 17.** Resumen de diseño de parcelas divididas-proceso Fenton

Factores:	2	Corridas por parcela completa:	6
Difíciles de cambiar:	1	Corridas por parcela completa:	2
Corridas:	12	Réplicas por parcela completa:	3
Bloques:	1	Réplicas por parcela sub-dividida:	1

\*Factores difíciles de cambiar: A

\*Generadores de parcelas completas: A

Fuente: Elaboración propia

### Regresión factorial de parcela dividida: % DQO vs. $H_2O_2/Fe^{+2}$ [HTC], pH

Análisis de Varianza

**Tabla 18.** ANOVA del proceso Fenton

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
$H_2O_2/Fe^{+2}$ [HTC]	1	74,1474	74,1474	3540,13	0,000
Error de PC	4	0,0838	0,0209	1,70	0,309
pH	1	46,5472	46,5472	3786,18	0,000
$H_2O_2/Fe^{+2}$ [HTC]*pH	1	2,6980	2,6980	219,46	0,000
Error de PD	4	0,0492	0,0123		
Total	11				

\*HTC: Factor difícil de cambiar

Fuente: Elaboración propia

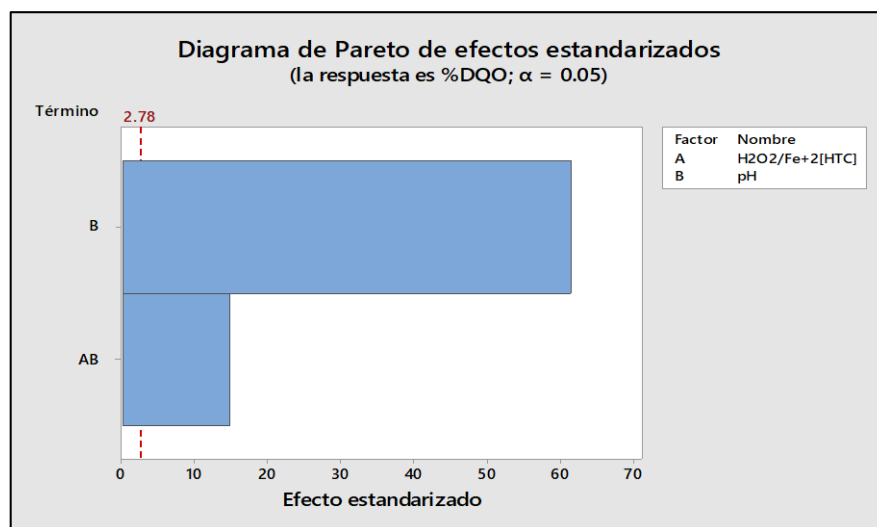
### Interpretación:

- **pH:** En el análisis de varianza arroja un p-valor de 0,000, el cual resulta menor al valor de significancia de 0,05, por ello se acepta la hipótesis alterna; el pH influye en la remoción de DQO del proceso Fenton.
- **H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>+2</sup>:** En el análisis de varianza arroja un p-valor de 0,000, el cual resulta menor al valor de significancia de 0,05, por ello se acepta la hipótesis alterna; la relación entre el peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y el sulfato ferroso (Fe<sup>+2</sup>) influye en la remoción de DQO del proceso Fenton.
- **H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>+2</sup>\*pH:** El análisis de la interacción entre H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>+2</sup>\*pH, el análisis de varianza arroja un valor menor a 0,05 (p-valor de 0,000), lo que indica que esta relación influye en la remoción de DQO del proceso Fenton.

### Ecuación de regresión para el Proceso Fenton

Realizado el análisis del diseño factorial de parcelas divididas, en el software Minitab versión 18 se determinó la ecuación de regresión con respecto a la relación entre [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>+2</sup>], pH y relación entre estos factores para determinar el porcentaje de DQO removido.

$$\% \text{ DQO} = 32,446 + 0,833 \text{ H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2} [\text{HTC}] + 6,784 \text{ pH} - 0,9483 \text{ H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2} [\text{HTC}] * \text{pH}$$



Fuente: Elaboración propia

**Figura 21.** Diagrama de Pareto para el proceso Fenton.

La Figura 21 se muestran las significancias en el proceso debido a los factores: A ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2}$ ), B(pH); así como su interacción entre ellas. Se puede advertir que el factor B cruza significativamente la línea de referencia que se encuentra en 2,78, lo que implica que el pH afecta al proceso es decir su influencia es mayor en el porcentaje de remoción de DQO, sin embargo, los factores de interacción entre A y B influyen en menor proporción ya que se extiende en menor medida.

### **Diseño factorial completo de parcelas divididas para el proceso foto-Fenton**

El diseño factorial desarrollado para el proceso foto-Fenton, fue el de parcelas divididas, realizado en el software Minitab versión 18. Se trabajó como parcela difícil de cambiar a la relación  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2}$  y como parcela fácil de cambiar al pH; se realizó réplicas para asegurar la homogeneidad de los datos.

### **Hipótesis estadística para la segunda hipótesis específica**

$H_0$ = El pH no tiene una influencia estadística significativa en el proceso foto-Fenton en la remoción de DQO en lixiviados del botadero El Porvenir.

$H_a$ = El pH tiene una influencia estadística significativa en el proceso foto-Fenton en la remoción de DQO en lixiviados del botadero El Porvenir.

### **Hipótesis estadística para la tercera hipótesis específica**

$H_0$ =La relación entre el peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) y el sulfato ferroso ( $\text{Fe}^{+2}$ ) no tiene una influencia estadística significativa en la remoción de DQO en lixiviados del botadero El Porvenir.

$H_a$ = La relación entre el peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) y el sulfato ferroso ( $\text{Fe}^{+2}$ ) tiene una influencia estadística significativa en la remoción de DQO en lixiviados del botadero El Porvenir.

### **Resumen del diseño**

**Tabla 19.** Resumen de diseño de parcelas divididas para el proceso foto-Fenton

Factores:	2	Corridas por parcela completa:	6
Difíciles de cambiar:	1	Corridas por parcela completa:	2
Corridas:	12	Réplicas por parcela completa:	3
Bloques:	1	Réplicas por parcela sub-dividida:	1

\*Factores difíciles de cambiar: A

\*Generadores de parcelas completas: A

Fuente: Elaboración propia

### Regresión factorial de parcela dividida: % DQO vs. $H_2O_2/FeSO_4$ [HTC], pH

Análisis de Varianza

**Tabla 20.** ANOVA para el proceso foto-Fenton

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
$H_2O_2/Fe^{+2}$ [HTC]	1	366,179	366,179	10797,87	0,000
Error de PC	4	0,136	0,034	2,33	0,216
pH	1	58,199	58,199	4001,63	0,000
$H_2O_2/Fe^{+2}$ [HTC]*pH	1	6,186	6,186	425,32	0,000
Error de PD	4	0,058	0,015		
Total	11				

\*HTC: Factor difícil de cambiar

Fuente: Elaboración propia

#### Interpretación:

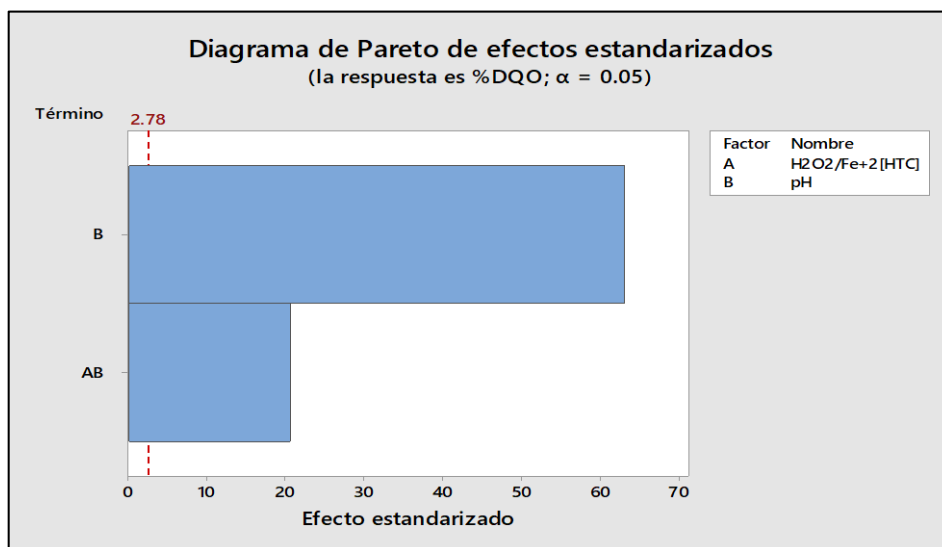
- **pH:** En el análisis de varianza resulta un p-valor de 0,000, el cual es menor al valor de significancia de 0,05, por ello se acepta la hipótesis alterna; el pH influye en la remoción de DQO del proceso foto-Fenton.
- **$H_2O_2/Fe^{+2}$ :** En el análisis de varianza resulta un p-valor de 0,000, el cual es menor al valor de significancia de 0,05, por ello se acepta la hipótesis alterna; la relación entre el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y el sulfato ferroso ( $Fe^{+2}$ ) influye en la remoción de DQO del proceso foto-Fenton.

- **H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>+2</sup> \*pH:** El análisis de la interacción entre H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>+2</sup> \*pH, el análisis de varianza resulta menor a 0,05 (p-valor de 0,000), entonces esta relación influye en la remoción de DQO del proceso foto-Fenton.

### Ecuación de regresión en unidades no codificadas para el Proceso foto-Fenton

Mediante el software estadístico Minitab se halló la ecuación de regresión. Se puede deducir que, a partir de las variables de la relación H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/FeSO<sub>4</sub>, pH y de la interacción entre ellas se puede obtener el porcentaje de remoción de DQO.

$$\%DQO = 99,906 - 10,550 \text{ H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2} [\text{HTC}] + 0,097 \text{ pH} + 1,4359 \text{ H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2} [\text{HTC}] * \text{pH}$$



Fuente: Elaboración propia

**Figura 22.** Diagrama de Pareto para el proceso foto-Fenton.

La **Figura 22** se muestran las significancias en el proceso debido a los factores: A (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>+2</sup>), factor B (pH); y su interacción entre ellas. Se observa que el factor B cruza la línea de referencia (2,78), produciendo un efecto estandarizado en el proceso de 60, con respecto al porcentaje de remoción de DQO y la interacción entre A y B produce un efecto estandarizado de aproximadamente 20, con respecto al porcentaje de remoción de DQO, lo que conlleva a una menor influencia en el porcentaje de remoción de DQO.



## V. DISCUSIÓN

En este estudio se puede ver que para un pH de 3 se logró remover 87,71 % de DQO y un 48,77 % de DQO en el proceso foto-Fenton y Fenton respectivamente; mientras que para un pH de 4 se logró remover 90,68 % de DQO y un 53,66 % de DQO para el proceso foto-Fenton y Fenton respectivamente; se concluyó para ambos casos de pHs que; el mayor porcentaje de remoción se vio en el proceso foto-Fenton, el cual añadía al proceso radiación UV, deduciéndose con ello que acelera la reacción química en la mineralización de la materia orgánica tal se puede contrastar con Kwarciak-Kozłowska & Krzywicka, (2015) en la que se removió DQO al 75,3 % ( $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2 = 0,33$ ) en el proceso foto-Fenton, a un 56,5 % ( $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2 = 0,25$ ) en el proceso Fenton a pH inicial de 3 , además se observa que a pH de 4 unidades se remueve mayor porcentaje de DQO, tal como señala Roger, García, Riancho, & Sauri, (2010), donde se realizó la remoción de la materia orgánica de 74 % a un pH de 4 unidades, sin embargo, a un pH de 2 y un pH de 3 hubo una remoción del 57 % de DQO y 70 % de DQO respectivamente que corresponde a una concentración de 600 mg/L de  $\text{H}_2\text{O}_2$  y 1 000 mg/L de  $\text{Fe}^{2+}$ .

Manteniendo constante la relación entre las concentraciones entre  $\text{H}_2\text{O}_2$  y  $\text{Fe}^{2+}$  de 4 unidades. Para un pH de 3, se realizó una remoción del 75,23 % y 44,75 % para el proceso foto-Fenton y Fenton respectivamente; mientras para un pH 4 se realizó una remoción del 81,07 % y 47,74 % tanto para el proceso foto-Fenton y Fenton respectivamente; pero el mayor porcentaje de remoción se vio a un pH de 4 unidades, estos resultados concuerdan con respecto a Guzmán, J., Abad, & Ramírez, (2015) donde la mayor remoción de DQO de lixiviados no biodegradables del vertedero de la ciudad de Loja Ecuador fue 80 % a un pH de 4, mientras para un pH de 3 y pH de 5 respectivamente los porcentajes de remociones fueron de 58,3 % y 75,2 %; además se observó que el proceso foto-Fenton removió mayor cantidad de contaminantes a excepción del proceso Fenton, tal como señala Leszczynski, (2018), donde la mayor porcentaje de remoción de DQO de los lixiviados de un vertedero fue de 70,7 % en el proceso foto-Fenton a un 67 % del proceso con un tiempo de 120 minutos y para un tiempo de 90 minutos se eliminó el 62 % de DQO en el proceso foto-Fenton y 57 % de DQO en el proceso Fenton para una relación molar entre  $\text{H}_2\text{O}_2$  entre  $\text{FeSO}_4$  de 9.

Con respecto a la variación en la relación de  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4$  a un pH constante de 3. Se observó una remoción del 87,71 % de DQO en el proceso foto-Fenton y una remoción del 48,77 % del proceso Fenton, a una relación entre  $[\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2}]$  de 2, mientras que para una relación entre  $[\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2}]$  de 4 unidades se dio una remoción del 75,23 % de DQO en el proceso foto-Fenton y un 44,75 % en el proceso Fenton. Ambos resultados muestran una remoción mayor para el proceso foto-Fenton, ya que los rayos UV han contribuido a la destrucción de los radicales hidroxilos las cuales oxidan a la materia orgánica, además se observa que la mayor remoción de contaminantes orgánicos se desarrolló para una relación entre  $[\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2}]$  de 2, es decir con un exceso de oxidante con respecto al catalizador, tal como se puede contrastar con Kwarciak-Kozłowska y Krzywicka, (2015), donde se realiza la remoción de DQO en lixiviados de un vertedero tanto en proceso Fenton y foto-Fenton; la dosis de reactivos (sulfato ferroso/peróxido de hidrógeno) osciló entre 0,1 y 0,5 a un pH de 3, en la cual se removi6 una cantidad del 26,8 % de DQO para una relación entre los reactivos de 0,1 en el proceso Fenton y para el proceso foto-Fenton se removi6 al 50,7 %; mientras que para una relación entre los reactivos de 0,5 removi6 64,7 % de DQO y 76,5 % para el proceso Fenton y foto-Fenton respectivamente, por lo que descubrieron que cuanto menor era la relación entre el peso del oxidante y el catalizador era que cuanto mayor era la eficiencia en la eliminación de DQO.

Con respecto a las variaciones entre las relaciones molares entre  $[\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2}]$  de 2 y 4 a un pH constante de 4; la remoción de DQO fue de 90,68 % en el proceso foto-Fenton y de 53,66 % en el proceso Fenton para  $[\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2}=2]$ , y se removi6 un 81,07 % de DQO en el proceso foto-Fenton, 47,74 % de remoción de DQO en el proceso Fenton para  $[\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2}=4]$ , por lo que se observa que la mayor remoción de contaminantes orgánicos se desarroll6 para una relación entre  $[\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2}]$  de 2, es decir con un exceso de oxidante con respecto al catalizador, tal como señala Ramírez, Vicente, Ramos, Gutiérrez, y Nájera, (2010), donde se aplica el proceso Fenton para el tratamiento de lixiviados provenientes del relleno sanitario de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; en el cual el porcentaje de remoción de DQO fue de 80 % para una relación molar entre el  $[\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2}]$  de 2 y para  $[\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2}]$  de 4 fue de 51,8 % a un pH constante de 3,5 unidades para un tratamiento de 1 hora, además Tony y

Bedri, (2014) aplica el proceso foto-Fenton en el tratamiento de aguas residuales de un Car Wash, en el cual la reducción máxima de DQO fue del 91,7 % a un pH de 3 en presencia de peróxido de hidrógeno y hierro en cantidades de 403,9 ppm y 48,8 ppm respectivamente.

## VI. CONCLUSIONES

1. Se evaluó la eficiencia de los procesos de oxidación Fenton y Foto Fenton; al biodegradar los compuestos orgánicos en el lixiviado, a un pH de 4 para una proporción entre  $[H_2O_2/Fe^{+2}]$  de 2/1; se obtuvo la mayor capacidad de remoción, quedando un resto de 5201,67 ppm de DQO en el proceso Foto Fenton cuya eficiencia promedio fue de 90,68%; mientras que para el proceso Fenton se obtuvo como mínimo un residuo de 25865,00 ppm (eficiencia promedio de 53,66%). El proceso Foto Fenton resulta más eficiente que el proceso Fenton, ya que usa la luz ultravioleta artificial como fuente de radiación para promover la aceleración de la mineralización de los compuestos orgánicos.
2. Se determinó las características físicas y químicas de los lixiviados del botadero “El Porvenir”, estas concentraciones señalan una elevada causa de contaminación que propicia al cuerpo receptor alterando el normal desarrollo del ecosistema.
3. La remoción de DQO, es mayor cuando el sistema se encuentra a un pH de 4 unidades; los porcentajes más altos obtenidos en la investigación tanto para el proceso Fenton y foto-Fenton manteniendo una  $[H_2O_2/Fe^{+2}]$  de 2 unidades fueron 53,66 % y 90,68 % respectivamente y para una relación  $[H_2O_2/ Fe^{+2}]$  de 4 unidades fueron 47,74 % y 81,07 %, resultando el proceso foto-Fenton 35,25 % más alto en eficiencia en la eliminación de DQO.
4. El mayor porcentaje de remoción de DQO, se desarrolló para una relación entre el  $[H_2O_2/Fe^{+2}]$  de 2 unidades, estos fueron de 87,71 % y de 48,77 % para el proceso foto-Fenton y Fenton respectivamente para un pH de 3 unidades, mientras que para un pH de 4 unidades fue de 90,68 % y 53,66 % tanto para el proceso foto-Fenton y Fenton respectivamente; siendo el proceso foto-Fenton el que más remueve de materia orgánica.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Para las próximas investigaciones se recomienda evaluar concentraciones inferiores entre el oxidante y el catalizador, para tener un mayor rango de datos máximos y mínimos, con la finalidad de mejorar el proceso; además de aumentar otros parámetros como la temperatura, velocidad de agitación que también podrían influir en la eficiencia de los procesos.

Determinar las concentraciones de iones y metales contenidos en el lixiviado para poder evaluar su influencia tanto en el sistema Fenton y foto-Fenton.

Realizar pruebas con otros catalizadores, como platino o cobre, empleando el mismo método usado en el presente trabajo.

Se sugiere adicionar a los procesos desarrollados en el presente trabajo coagulantes para mejorar la eficiencia en cuanto al porcentaje de remoción de DQO.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anrango Pavón, M. Métodos Alternativos para el tratamiento de Lixiviados del Relleno Sanitario del Canton Mejía, Pichincha, Ecuador. Universidad Internacional SEK. Quito, Ecuador. 2018.

Disponible en :

<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2882/5/TESIS%20ANRANGO%20PAVON%20MARIA%20JOSE.pdf>

Ascencio, Maria Teresa. Aplicación De Foto-Fenton A Lixiviados De Rellenos Sanitarios. Universidad Nacional Autónoma De México. Mexico. 2014

Disponible en <https://repositorio.unam.mx/contenidos/aplicacion-de-foto-fenton-a-lixiviados-de-rellenos-sanitarios>

360823?c=ea0dww&d=false&q=\*&i=1&v=1&t=search\_1&as=0

Barros Torné, Gustavo. Arana Rengifo, Victoria. Trilleras Vasquez, Jorge. Evaluación de la eficiencia del proceso de coagulación seguido de oxidación foto-Fenton solar en la remoción de DQO en lixiviado de relleno sanitario. Memorias III Seminario Internacional de Ciencias Ambientales SUE-Caribe, 229-231. 2017 [Fecha de Consulta: 20 de agosto del 2019].

Disponible en:

[http://mca.edu.co/wp-content/uploads/2019/09/m2017\\_60.pdf](http://mca.edu.co/wp-content/uploads/2019/09/m2017_60.pdf)

Castillo, Elba. Sauri, María. García-Reyes R. Mendez, R. Tratamiento de lixiviados por oxidación Fenton. Ingenieria e Investigacion, 30, 80-85. Febrero de 2010. [Fecha de Consulta: 08 de agosto del 2019].

Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/237038337\\_Tratamiento\\_de\\_lixivados\\_por\\_oxidacion\\_Fenton](https://www.researchgate.net/publication/237038337_Tratamiento_de_lixivados_por_oxidacion_Fenton)

Cordoba, U. d.. Revistas Digitales. Obtenido de Revistas Digitales. 2017.

Disponible en <http://revistas.unicordoba.edu.co/>

EcuRed. EcuRed conocimiento con todos y para todos. Obtenido de EcuRed

conocimiento con todos y para todos [Fecha de consulta: 10 de noviembre del 2018].

Disponible en [https://www.ecured.cu/Aguas\\_residuales](https://www.ecured.cu/Aguas_residuales)

Elías Xavier. Reciclaje de Residuos Sólidos Industriales. Residuos sólidos urbanos. 2da. Edición. España, 2012. 1295 pp.

Disponible en:

<https://books.google.com.pe/books?id=8yWSZEBqSXgC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Envitech, C. Condorchem envitech. Obtenido de Condorchem envitech. Barcelona. España. 2017. [Fecha de consulta: 15 de enero del 2019].

Disponible en: <https://blog.condorchem.com/>

Giray, S., Morcali, M. H., Akarsu, S., Ziba, C. A., & Dolaz, M. Comparison of classic

Fenton with ultrasound Fenton processes on industrial textile wastewater.

Sustainable Environment Research. 2018.

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.serj.2018.02.001>

Hidritec. Obtenido de Hidritec. Gijón – Asturias - España /2011-2016 [Fecha de consulta: 19 de noviembre del 2019].

Disponible en: <http://www.hidritec.com/hidritec/tratamiento-de-aguas-residuales-y-disminucion-de-dqo>

Huichipa, A. et al. Tratamiento de Lixiviados generados en un sitio de disposición final de RSU mediante los procesos Fenton y Foto fenton. Universidad de Guanajuato. División de Ingenierías. Guanajuato, México. (2016)

Ley N° 1278. Diario Oficial el peruano. Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Lima, Perú. 23 de diciembre del 2016. 2pp.

Medina Valderrama, C. J., Montero del Águila, E. M., & Cruz Pio, L. E. OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO FENTON EN EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE RELLENOS SANITARIOS. Rev Soc Quím Perú. 2016

Méndez, R., García, R., Castillo, E., & Sauri, M. (2010). Tratamiento de lixiviados por oxidación Fenton Treating leachate by Fenton oxidation. *Ingeniería e Investigación*, vol. 30, 80–85. México. 2010.

Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v30n1/v30n1a14.pdf>

MINAM. Ministerio del Ambiente. Guía / Manual: Guía de Diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual. Lima, Perú. 2011.

Mireles-Muñoz, H. Páramo-Vargas, J. Tratamiento del lixiviado del antiguo relleno sanitario La Reserva mediante procesos Fenton y fisicoquímico. Universidad Tecnológica de León. Guanajuato, México. 2017.

Mirzaei, A., Chen, Z., Haghghat, F., & Yerushalmi, L. Removal of pharmaceuticals from water by homo/heterogonous Fenton-type processes – A review. *Chemosphere*. (2017).

Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.02.019>

Murga Cotrina, Christian Julio. Propuesta De Gestión De Residuos Sólidos Para Sacsamarca, Ayacucho. Pontificia Universidad Católica Del Perú Escuela De Posgrado, 10-21. Perú. 2017.

Disponible en:

<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/9124>

Novelo, R. I., Borges, E. R., Riancho, M. R., Franco, C. A., Vallejos, G. G., & Cisneros, B. J. (). Comparación De Cuatro Tratamientos Fisicoquímicos De Lixiviados. *Revista Internacional Contaminacion Ambiental [en línea]*. Enero 2009. [Fecha de Consulta: 08 de agosto del 2019].

Disponible en:

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992009000300002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000300002)

Pelayo Torices, D. Procesos de oxidación avanzada: avances recientes y tendencias futuras. Universidad de Cantabria. Escuela Técnico Superior de



Ingenieros Industriales y de Telecomunicación. Santander, España. 2018.

Ramírez, J. A. B., Vicente, D. B., Vaquerizo, F. R., Hernández, R. F. G., & Aguilar, H. A. N. (). Proceso Fenton para lixiviados pretratados biológicamente [en línea]. Lacandonia, Vol 10, 61–70. Chiapas, México. Diciembre 2016 [Fecha de Consulta: 20 de agosto del 2019].

Disponible en: <https://docplayer.es/96087032-Proceso-fenton-para-lixiviados-pretratados-biologicamente.html>

Reno Joshua. “Waste and waste management”. Annual Review of Anthropology. Vol. 44. Palo Alto, California. 557-552 pp. octubre 2015.

Disponible en:

<https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-anthro-102214-014146>

Reyes Medina Manuel. Lixiviados de Residuos Sólidos. Una contribución para la selección del proceso de tratamiento. Tesis Doctoral. Valencia. Universidad Politécnica de Valencia, 2015.

Disponible en:

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/56763/REYES%20%20Lixiviados%20en%20plantas%20de%20residuos.%20Una%20contribuci%C3%B3n%20para%20la%20selecci%C3%B3n%20del%20proceso%20de%20trat...pdf?sequence=1>

Rosales Hernandez, A. G. PROCESOS DE OXIDACION AVANZADA TIPO FENTON CON Y SIN LUZ SOLAR PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS PRETRATADOS DE RELLENOS SANITARIOS. Universidad Nacional Autónoma de México, 1–107. Mexico, 2014.

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

Disponible en:

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/16614#:~:text=El%20pr>

oceso%20fenton%20es%20una,el%20contaminante%20que%20m%C3%A1s%20predomina.&text=El%20proceso%20fenton%20es%20un,o%20reciclar%20las%20aguas%20tratadas.

Rubio-Clemente, A. Chica, E & Peñuela, G. Application of Fenton process for treating petrochemical wastewater. Junio 2014.

Disponible en:

<http://www.scielo.org.co/pdf/inco/v16n2/v16n2a19.pdf>

Sandoval, Ivon. C. APLICACIÓN DE FOTO-FENTON A LIXIVIADOS DE RELLENOS SANITARIOS. Universidad Nacional Autónoma de México. México, 2014

SCielo 20 años. Obtenido de SCielo 20 años. Setiembre de 2018 [Fecha de Consulta: 14 de agosto del 2019].

Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/>

SCielo 20 años. Obtenido de SCielo 20 años. Setiembre de 2018 [Fecha de Consulta: 14 de agosto del 2019].

Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php>

Valderrama Medina, Águila, M. del, Cruz Pio Edgar, & Liz Erika. Fenton process optimization in the treatment of landfill leachates lixiviated. Revista de La Sociedad Química Del Perú, Vol 82(4), 454–466. Perú. Diciembre 2016

Disponible en:

[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810634X2016000400007&script=sci\\_arttextISSN 1810-634X](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810634X2016000400007&script=sci_arttextISSN%201810-634X)

Valles Chavez, A. M. Tratamiento Fisicoquímico y Biológico de lixiviado del Relleno Sanitario de la ciudad de Chihuahua. Centro de Investigacion En Materiales Avanzados, 1–85. [Tesis de Maestría]. México, 2013.

Disponible en: <http://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/127>

## ANEXOS

### Anexo 1. Declaratoria de Originalidad del Autor

#### Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, Yaranga Montañéz, Jheysonn Scott, Bach. de la Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental, alumno del taller de titulación 2020-II de la Universidad Cesar Vallejo sede Lima Norte, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan a la Tesis titulada: Eficiencia de la oxidación Fenton y Foto Fenton en la Remoción de DQO en lixiviados del botadero “El Porvenir”, Distrito de El Tambo, Huancayo, Junín; es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Se ha mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Lima, 23 de febrero de 2021



---

Yaranga Montañéz, Jheysonn Scott

DNI 70191144

ORCID: 0000-0002-1330-7701

## Anexo 2. Declaratoria de Autenticidad del Asesor

### Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, Ordoñez Galvez, Juan Julio, docente de la facultad de Ingeniería y Arquitectura y Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo sede Lima norte, revisor del trabajo de Tesis titulada **“Eficiencia de la oxidación Fenton y Foto Fenton en la Remoción de DQO en lixiviados del botadero “El Porvenir”, Distrito de El Tambo, Huancayo, Junín”** del estudiante Yaranga Montañéz, Jheysonn Scott (Orcid: 0000-0002-1330-7701), constato que la investigación tiene un índice de similitud de **16%** verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituye plagio. A mi leal saber y entender el trabajo de tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Atentamente,

Lima 14 de abril, 2021

  
Juan Julio Ordoñez Galvez  
DNI: 08447308



### Anexo 3. Matriz de Operacionalización de Variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA/UNIDAD DE MEDICIÓN
VI/V1 Oxidación Fenton y Fotofemton	En el proceso del Fenton el pH se encuentra en un intervalo ácido para favorecer la oxidación. Los valores de pH óptimos para los procesos tipo Fenton homogéneo se encuentran en el intervalo de 2,0 y 4,5. A valores muy bajos de pH, el $[Fe(H_2O)]_2^{2+}$ formado reacciona relativamente lento con $H_2O_2$ , produciendo menos radicales $\cdot OH$ (Rosales Hernandez, 2014) . Un valor muy bajo de pH puede inhibir la reacción entre el $Fe^{3+}$ y $H_2O_2$ , el potencial de oxidación del radical $\cdot OH$ disminuye al aumentar el pH de $E_0 = 2,8$ V a pH 0 y $E_{14} = 1,95$ V a pH 14 (Hernández, 2014).	Se ha demostrado que la eficiencia de los procesos Fenton y Foto Fenton aumentan cuando la muestra es ácida en intervalo entre 3 y 4 en la escala de pH. Comprende de la proporción entre el sulfato	Características físicas y químicas de lixiviado	pH	Escala 0-14
				Sólidos Totales	mg/L
				Sólidos en suspensión	mg/L
				Sólidos Disueltos	mg/L
				Turbidez	NTU
				DQO	mg/L
	Normalmente la velocidad de degradación incrementa con el aumento de la concentración del ión ferroso, por otra parte, un gran incremento en la concentración del ión ferroso provoca un aumento en la cantidad de hierro no útil para la reacción de Fenton, lo que contribuye a un aumento del contenido de sólidos totales disueltos y de conductividad en el efluente (Rosales Hernandez, 2014). Por tanto, se requieren estudios a escala laboratorio para establecer la concentración o dosis óptima de iones ferrosos en condiciones similares (Hernández, 2014).	Ferroso y el peróxido de Hidrógeno que se agregará a los experimentos, la eficiencia de los procesos es influenciada por las cantidades en las dosis de estas sustancias.	Incidencia del pH en los Proceso Fenton y foto Fenton	DBO <sub>5</sub>	mg/L
				Tiempo	Segundos
				pH <sub>1</sub> : 3 und. pH <sub>2</sub> : 4 und.	0-14 und.
				C <sub>1</sub> = 1(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) y 2(Fe) C <sub>2</sub> = 1(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) y 4(Fe)	mg/L
			Radiación UV	Watts	
VD/V2 Remoción de DQO	La DQO o Demanda Química de Oxígeno es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica y oxidable presente en un agua residual. Es por tanto una medida representativa de la contaminación orgánica de un efluente siendo un parámetro a controlar dentro de las distintas normativas de vertidos y que nos da una idea muy real del grado de toxicidad del vertido. Existen distintas formas de disminuir la DQO como los tratamientos físico-químicos, la electrocoagulación y el ozono (Hidritec, 2019).	La DQO es el parámetro que mejor representa el proceso de Oxidación por lo que será evaluado en ambos procesos de Fenton y Foto Fenton.	Relación de peróxido y sulfato para la mayor eficiencia de remoción de DQO	Eficiencia del proceso Ci - Cf	%



Instrumento 2. Hoja de datos de campo para muestreo de lixiviados	
<b>Título</b>	Eficiencia de la oxidación Fenton y Foto Fenton en la Remoción de DQO en lixiviados del botadero "El Porvenir", Distrito de El Tambo, Huancayo, Junín
<b>Línea de Investigación</b>	Tratamiento y gestión de los Residuos
<b>Responsable</b>	Yaranga Montañéz, Jheysonn Scott
<b>Asesor</b>	Dr. Juan Julio Ordoñez Galvez

Código de la Estación	Referencia y/o descripción	Tipo de Matriz (1)	Coordenadas UTM (WGS 84)		Altitud m.s.n.m.	Fecha de muestreo dd/mm/aa	Hora de muestreo 24 horas	Temp. Agua °C	pH Und.	Cond. Eléctrica uS/cm	Oxígeno Disuelto mg/L	Caudal L/s	Observaciones
			N	E									

(1) R= Superficial, S=Subterránea, AC=Agua de consumo, EL=Eluente Industrial, ED=Efluente doméstico, AM=Agua de mar

Responsable:

Firma:

Fecha de Entrega:

Recibido por:

**VALIDACIÓN DE EXPERTOS:**

<p>Atentamente,</p>  <p>Juan Julio Ordoñez Galvez DNI: 08447308</p>	<p></p> <p><b>Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera</b> DOCENTE E INVESTIGADOR CIP: 130267 RENACYT: P0078275</p>	<p></p> <p><b>Dr. Horacio Acosta S.</b> CIP N° 25450</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

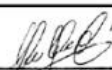

<b>Instrumento 3. Registro de pruebas experimentales</b>	
<b>Título</b>	Eficiencia de la oxidación Fenton y Foto Fenton en la Remoción de DQO en lixiviados del botadero "El Porvenir", Distrito de El Tambo, Huancayo, Junín
<b>Línea de Investigación</b>	Tratamiento y gestión de los Residuos
<b>Responsable</b>	Yaranga Montañéz, Jheysonn Scott
<b>Asesor</b>	Dr. Juan Julio Ordoñez Galvez

Descripción		FECHA:
Fenton ( )	Foto Fenton ( )	

CÓDIGO	Hora inicio	Hora final	pH	Dosis Fe/H2O2	Observaciones

Responsable	Firma

**VALIDACIÓN DE EXPERTOS:**

 J. Ordoñez Galvez DNI: 0847308	 <b>Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivares</b> DOCENTE E INVESTIGADOR CIP: 130267 REMACYT: P0078275	 <b>Dr. HORACIO ROSTAS</b> CIP N° 25450
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



## Anexo 5. Validación de Instrumentos

**SOLICITO:** Validación de instrumentos de recojo de información.

**Dr. ORDOÑEZ GALVEZ, JUAN JULIO**

Yo, Jheysonn Scott Yaranga Montañez identificado con DNI N° 70191144, alumno del Taller de Titulación 2020-II de la EAP de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo, a usted con el debido respeto me presento y expongo:

Que siendo requisito indispensable la recolección de datos tanto en campo como laboratorio para el desarrollo de la tesis que mi persona está elaborando, el cual lleva por título: **Eficiencia de la oxidación Fenton y Foto Fenton en la Remoción de DQO en lixiviados del botadero “El Porvenir”, Distrito de El Tambo, Huancayo, Junín**, solicito a Ud. se sirva validar los instrumentos técnicos adjuntados elaborados bajo los criterios académicos correspondientes. Por consiguiente, se adjunta los siguientes archivos:

- Instrumentos y fichas de evaluación
- Matriz de operacionalización de variables

Por tanto, ruego a usted, acceder a mi petición.



---

Jheysonn Yaranga Montañez

DNI 70191144

## Validación de instrumentos

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Ordóñez Gálvez, Juan Julio
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente de la UCV Sede Lima Norte
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Hidrólogo ambiental
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Cadena de Custodia**
- 1.5. Autor del Instrumento: **Jheyson Scott Yaranga Montañéz**

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las Necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-----

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

90%

Lima, 17 de enero de 2021

Atentamente,  
  
 Juan Julio Ordóñez Gálvez  
 DNI: 08447308

## Validación de instrumentos

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Ordóñez Gálvez, Juan Julio
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente de la UCV Sede Lima Norte
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Hidrólogo ambiental
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Hoja de datos de campo para muestreo de lixiviados
- 1.5. Autora de Instrumento: Jheysonn Scott Yaranga Montañéz

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-----

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

90%

Atentamente,  
Lima, 17 de enero de 2021

  
 Juan Julio Ordóñez Gálvez  
 DNI: 08447308

## Validación de instrumentos

### I. DATOS GENERALES

- 1.. 1.1. Apellidos y Nombres: Ordóñez Gálvez, Juan Julio
- 2.. 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente de la UCV Sede Lima Norte
- 3.. 1.3. Especialidad o línea de investigación: Hidrólogo ambiental
- 4.. 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Registro de pruebas experimentales**
- 5.. 1.5. Autora de Instrumento: **Jheysonn Scott Yaranga Montañez**

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

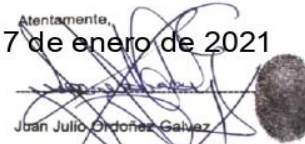
- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-----

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

90%
-----

Lima, 17 de enero de 2021

Atentamente,  
  
 Juan Julio Ordóñez Gálvez  
 DNI: 08447308

**SOLICITO:** Validación de instrumentos de recojo de información.

**Dr. CASTAÑEDA OLIVERA, CARLOS ALBERTO**

Yo, Jheysonn Scott Yaranga Montañez identificado con DNI N° 70191144, alumno del Taller de Titulación 2020-II de la EAP de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo, a usted con el debido respeto me presento y expongo:

Que siendo requisito indispensable la recolección de datos tanto en campo como laboratorio para el desarrollo de la tesis que mi persona está elaborando, el cual lleva por título: **Eficiencia de la oxidación Fenton y Foto Fenton en la Remoción de DQO en lixiviados del botadero “El Porvenir”, Distrito de El Tambo, Huancayo, Junín**, solicito a Ud. se sirva validar los instrumentos técnicos adjuntados elaborados bajo los criterios académicos correspondientes. Por consiguiente, se adjunta los siguientes archivos:

- Instrumentos y fichas de evaluación
- Matriz de operacionalización de variables

Por tanto, ruego a usted, acceder a mi petición.



---

Jheysonn Yaranga Montañez

DNI 70191144

## Validación de instrumentos

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. CASTAÑEDA OLIVERA, CARLOS ALBERTO**  
 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente e investigador/UCV Lima Norte**  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Tecnología mineral y ambiental**  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Cadena de custodia**  
 1.5. Autor(a) de Instrumento: **Jheysonn Scott Yaranga Montañez**

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X			

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

85%
-----

Lima, 20 de febrero de 2021

  
**Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera**  
 DOCENTE E INVESTIGADOR  
 CIP: 130287  
 RENACYT: P0078275

## Validación de instrumentos

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. CASTAÑEDA OLIVERA, CARLOS ALBERTO**  
 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente e investigador/UCV Lima Norte**  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Tecnología mineral y ambiental**  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Hoja de datos de campo para muestreo de lixiviado**  
 1.5. Autor(a) de Instrumento: **Jheysonn Scott Yaranga Montañez**

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X			

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

85%

Lima, 20 de febrero de 2021

  
**Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera**  
 DOCENTE E INVESTIGADOR  
 CIP: 130267  
 RENACYT: P0078275

## Validación de instrumentos

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. CASTAÑEDA OLIVERA, CARLOS ALBERTO**  
 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente e investigador/UCV Lima Norte**  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Tecnología mineral y ambiental**  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Registro de Pruebas experimentales**  
 1.5. Autor(a) de Instrumento: **Jheysonn Scott Yaranga Montañéz**

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las Necesidades reales de la investigación.										X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X			

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

85%

Lima, 20 de febrero de 2021

  
**Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera**  
 DOCENTE E INVESTIGADOR  
 CIP: 130267  
 RENACYT: P0076275



**SOLICITO:** Validación de instrumentos de recojo de información.


**Dr. ACOSTA SUASNABAR, EUSTERIO HORACIO**

Yo, Jheysonn Scott Yaranga Montañez identificado con DNI N° 70191144, alumno del Taller de Titulación 2020-II de la EAP de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo, a usted con el debido respeto me presento y expongo:

Que siendo requisito indispensable la recolección de datos tanto en campo como laboratorio para el desarrollo de la tesis que mi persona está elaborando, el cual lleva por título: **Eficiencia de la oxidación Fenton y Foto Fenton en la Remoción de DQO en lixiviados del botadero “El Porvenir”, Distrito de El Tambo, Huancayo, Junín**, solicito a Ud. se sirva validar los instrumentos técnicos adjuntados elaborados bajo los criterios académicos correspondientes. Por consiguiente, se adjunta los siguientes archivos:

- Instrumentos y fichas de evaluación
- Matriz de operacionalización de variables

Por tanto, ruego a usted, acceder a mi petición.



---

Jheysonn Yaranga Montañez

DNI 70191144

## Validación de instrumentos

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Dr. Acosta Suasnabar, Eusterio Horacio
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente e investigador/ UCV Lima Norte
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Ambiental
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Cadena de custodia**
- 1.5. Autor de Instrumento: **Jheysonn Scott Yaranga Montañéz**

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X			

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X
-----

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

85%
-----

Lima, 20 de febrero de 2021

  
 Dr. HORACIO ACOSTA S.  
 C.I.P. N° 25450

## Validación de instrumentos

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Dr. Acosta Suasnabar, Eusterio Horacio
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente e investigador/ UCV Lima Norte
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Ambiental
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Hoja de datos de campo para muestreo de lixiviados.
- 1.5. Autor de Instrumento: **Jheysonn Scott Yaranga Montañez**

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X			

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X
-----

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

85%
-----

Lima, 20 de febrero de 2021

  
 Dr. HORACIO ACOSTA S.  
 CIP N° 25450

## Validación de instrumentos

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Dr. Acosta Suasnabar, Eusterio Horacio
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente e investigador/ UCV Lima Norte
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Ambiental
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Registro de pruebas experimentales**
- 1.5. Autor de Instrumento: **Jheysonn Scott Yaranga Montañéz**

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X			

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X
-----

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

85%
-----

Lima, 20 de febrero de 2021

  
 Dr. HORACIO ACOSTA S.  
 C.I.P. N° 25450

## Anexo 6. Informes de Ensayo del laboratorio de Análisis



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ  
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO



### INFORME DE ENSAYO

**SOLICITANTE: JHEYSONN SCOTT YARANGA MONTAÑEZ**

MUESTRA : Lixiviado	N° DE REFERENCIA : 21 - 2019
LUGAR : Botadero El Porvenir	FECHA DE MUESTREO : 10/04/2019 19/04/2019
DISTRITO : El Tambo	FECHA DE ANÁLISIS : 10/04/2019
PROVINCIA : Huancayo	19/04/2019
REGIÓN : Junín	MUESTREADO: Jheysonn Yaranga Montañez

Analista: Ing. Carmen Velit Villarreal

**MÉTODOS NORMALIZADOS PARA ANÁLISIS DE AGUA POTABLE Y RESIDUAL, APHA, AWWA, WPCF**

Demanda Química de Oxígeno: MS-5220-D Reflujo Cerrado Colorimétrico

Muestras tratadas	Demanda Química de Oxígeno	Muestras tratadas	Demanda Química de Oxígeno
M-1	28527,0	M-13	6873,0
M-2	28596,0	M-14	6904,0
M-3	28656,0	M-15	6799,0
M-4	30890,0	M-16	13778,0
M-5	30905,0	M-17	14001,0
M-6	30721,0	M-18	13702,0
M-7	25894,0	M-19	5227,0
M-8	25900,0	M-20	5174,0
M-9	25801,0	M-21	5204,0
M-10	29197,0	M-22	10582,0
M-11	29205,0	M-23	10607,0
M-12	29106,0	M-24	10512,0

Huancayo, 22 de abril del 2019



Dr. Orlando Alfredo Vilca Moreno  
Responsable del LAQ

**INFORME DE ENSAYO N° 1-02904/19**

Pág. 1/1

Solicitante : **YARANGA MONTAÑEZ, JHEYSONN SCOTT**  
 Domicilio legal : **Cal. Federico Barreto Nro. 120 - El Tambo - Huancayo - Junin**  
 Producto declarado : **AGUA RESIDUAL**  
 Cantidad de Muestras para el Ensayo : **1 muestra x 1,5 L**  
**Muestra proporcionada por el solicitante**  
 Identificación de la muestra : **LIXIVIADO**  
**F/M: 2019-03-25 09:50**  
 Forma de Presentación : **En frascos de plástico, cerrados y refrigerados**  
 Fecha de recepción : **2019 - 03 - 26**  
 Fecha de inicio del ensayo : **2019 - 03 - 26**  
 Fecha de término del ensayo : **2019 - 03 - 31**  
 Ensayo realizado en : **Laboratorio Ambiental**  
 Identificado con : **H/S 19002584 (EXMA-03447-2019)**  
 Validez del documento : **Este documento es válido solo para las muestras descritas**

Ensayos	LD	Unidad	Resultados
Demanda Bioquímica de Oxígeno	2,00	mg/L	9 075
Demanda Química de Oxígeno	10,0	mgO <sub>2</sub> /L	55 869

LD: Límite de detección

**MÉTODOS**

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed.2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.

**Demanda Química de Oxígeno (DQO):** SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed.2017. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method

**OBSERVACIONES**

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Este documento a ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por el INACAL-DA

Callao, 02 de abril de 2019  
AA

**CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.**

**ING. ROSA PALOMINO LOO**  
C.I.P. N° 40302  
JEFE DE COORDINACIÓN DE LABORATORIOS

**CALLAO**  
Oficina Principal  
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao  
T. (511) 319 9000

**AREQUIPA**  
Calle Teniente Rodríguez N° 1415  
Miraflores - Arequipa  
T. (054) 265572

**CHIMBOTE**  
Urb. José Carlos Mariátegui s/n  
Centro Cívico, Nuevo Chimbote  
T. (043) 311 048

**PIURA**  
Urb. Angamos A - 2 - Piura  
T. (073) 322 908 / 9975 63161

info@cerper.com - www.cerper.com



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ  
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO



**INFORME DE ENSAYO**

**SOLICITANTE: JHEYSONN SCOTT YARANGA MONTAÑEZ**

MUESTRA : Lixiviado	Nº DE REFERENCIA : 19 - 2019
LUGAR : Botadero El Porvenir	FECHA DE MUESTREO : 29/03/2019
DISTRITO : El Tambo	HORA DE MUESTREO : 10:15 a.m.
PROVINCIA : Huancayo	FECHA DE ANÁLISIS : 29/03/2019
REGIÓN : Junín	MUESTREADO: Jheysonn Yaranga Montañez

Analista: Ing. Carmen Velit Villarreal

**METODOS NORMALIZADOS PARA ANALISIS DE AGUA POTABLE Y RESIDUAL, APHA, AWWA, WPCF**

**ANALISIS FISICOQUÍMICO:**

ENSAYOS	METODOS	RESULTADOS
Potencial de hidrogeno	MS-4500- H <sup>+</sup> - B - Electrométrico	7,7
Sólidos totales	MS-2540- B -Secado a 103°C- 105°C	33456,0 mg/L
Sólidos en suspensión	MS-2540- D - Secado a 103°C- 105°C	6876,0 mg/L
Solidos disueltos	MS-2540- C - Secado a 180°C	26580,0 mg/L
Turbidez	MS-2130- B – Nefelómetro	5120,0 NTU

**ANÁLISIS INDICADORES DE CONTAMINACIÓN BIOQUÍMICA Y QUÍMICA**

ENSAYOS	METODOS	RESULTADOS
Demanda Química de Oxígeno	MS-5220-D Reflujo Cerrado Colorimétrico	55818,0 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno	MS-5210- B ROB 5 días	9058,0 mg/L

Huancayo, 08 de abril del 2019



Dr. Orlando Alfredo Vilca Moreno  
Responsable del LAQ