

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

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

**EFECTO DEL VOLUMEN DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO Y TIEMPO DE
REACCIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES,
CHACHAPOYAS, AMAZONAS.**

**AUTOR : Bach. INGRID PATRICIA MELENDEZ HERRERA
Bach. REYNA MARIBEL OCAMPO TELLO**

ASESOR: JEFFERSON FITZGERALD FARJE REYES

CHACHAPOYAS – PERÚ

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

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

**EFFECTO DEL VOLUMEN DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO Y
TIEMPO DE REACCIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES, CHACHAPOYAS, AMAZONAS**

AUTORES:

Bach. MELENDEZ HERRERA, INGRID PATRICIA

Bach. OCAMPO TELLO, REYNA MARIBEL

ASESOR: Ing. JEFFERSON FITZGERALD FARJE REYES

CHACHAPOYAS – PERÚ

2018

DEDICATORIA

A mi madre Lucia Herrera, que con su esfuerzo y apoyo, logró sacarme adelante, por sus constantes consejos y palabras de aliento y superación para mejorar cada día como persona y estudiante. A mi hermana y hermano que estuvieron apoyandome en mi formación profesional.

Ingrid Patrica

A mí querida madre Marcelina por su apoyo incondicional día a día, por inculcarme valores en el transcurso de mi formación personal y profesional, a mis hermanitos (Percy, Ivan, Oscar y Neiser) por estar siempre conmigo apoyándome en cada paso que doy, a mis tíos (Asunta y Herles) por su apoyo mutuo y a mi mejor amiga Patricia por estar siempre conmigo en cada momento.

Reyna Maribel

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Dr. Policario Chauca Valqui

Rector

Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón

Vicerrector Académico

Dra. Flor Teresa García Huamán

Vicerrectora de Investigación

Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

JURADO DE TESIS

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

Presidente

Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

Secretario

Dr. MANUEL EMILIO MILLA PINO

Vocal

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y NO PLAGIO

Yo **Ingrid Patricia Melendez Herrera**, identificado con DNI N° 47427235, y **Reyna Maribel Ocampo Tello**, identificado con DNI N° 72259243, bachilleres en Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

Declaramos bajo juramento que:

1. Somos autores de la tesis titulada:

Efecto del volumen de peróxido de hidrógeno y tiempo de reacción en el tratamiento de aguas residuales, Chachapoyas, Amazonas.

La misma que presento para optar:

El título profesional en Ingeniero Ambiental

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o investigación presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para LA UNTRM en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraran causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción se deriven.

Chachapoyas 22 de abril de 2018

Bach. Ingrid Patricia Melendez Herrera
DNI N° 47427235

Bach. Reyna Maribel Ocampo Tello
DNI N° 72259243

VISTO BUENO DEL ASESOR

Yo, **Jefferson Fitzgerald Farje Reyes**, con DNI N° 16634664, actual docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

DOY VISTO BUENO, al Informe de tesis titulado “**Efecto del volumen de peróxido de hidrógeno y tiempo de reacción en el tratamiento de aguas residuales, Chachapoyas, Amazonas**”, elaborado por las tesisistas **Ingrid Patricia Melendez Herrera y Reyna Maribel Ocampo Tello**, egresados de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.

Por lo tanto:

Para mayor constancia y validez firmo la presente.

Chachapoyas, 30 de abril de 2018.

Jefferson Fitzgerald Farje Reyes
DNI N° 16634664

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS.....	ii
JURADO DE TESIS	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y NO PLAGIO.. ..	iv
VISTO BUENO DEL ASESOR	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
III. MARCO TEÓRICO	4
3.1. Antecedentes de la investigación	4
3.2. Bases teóricas	6
3.2.1. Aguas residuales.....	6
3.2.2. Base legal	9
3.3. Definición de términos	11
IV. MATERIAL Y MÉTODOS	12
4.1. Área de estudio.....	12
4.2. Métodos.....	12
4.2.1. Población, muestra y muestreo.....	12
4.2.2. Obtención de la muestra.....	13
4.2.3. Evaluación de las características fisicoquímicas y microbiológicas de la muestra de agua residual antes de aplicar el tratamiento electro-Fenton.....	13
4.2.4. Aplicación del experimento electro-Fenton	22
4.2.5. Análisis estadístico.....	24
V. RESULTADOS.....	25

5.1. Características fisicoquímicas y microbiológicas de la muestra de entrada.....	25
5.2. Efecto del volumen de peróxido de hidrógeno y tiempo de reacción de la muestra de salida	25
5.3. Grado de vinculación entre el volumen de peróxido de hidrógeno y tiempo de reacción	27
VI. DISCUSIÓN	28
VII. CONCLUSIONES	30
VIII. RECOMENDACIONES	31
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
ANEXOS	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Reacciones químicas que involucran en la reacción Fenton.....	8
Tabla 2. Estándares de Calidad Ambiental del agua – Categoría 3 para Riego de vegetales.....	10
Tabla 3. Combinación entre niveles de factores: volume y tiempo.....	12
Tabla 4. Relación DQO-Volumen de dilución de la muestra.....	18
Tabla 5. Características fisicoquímicas y microbiológicas de la muestra de entrada....	25
Tabla 6. Características fisicoquímicas y microbiológicas de la muestra de salida a 1mL de peróxido de hidrógeno.....	26
Tabla 7. Características fisicoquímicas y microbiológicas de la muestra de salida 2,5mL de peróxido de hidrógeno.....	26
Tabla 8. Prueba de Kruskal-Wallis.....	27
Tabla 9. Análisis de varianzas para los efectos principales e interacción	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del experimento electro-Fenton.....	23
Figura 2. Experimento electro-Fenton.....	24
Figura 3. Cantidad eliminada de turbidez.....	39
Figura 4. Cantidad reducida de oxígeno disuelto.....	39
Figura 5. Cantidad eliminada de dureza.....	40
Figura 6. Cantidad eliminada de alcalinidad.....	40
Figura 7. Cantidad eliminada de cloruros.....	41
Figura 8. Cantidad eliminada de DBO ₅	41
Figura 9. Cantidad eliminada de DQO.....	42
Figura 10. Cantidad eliminada de coliformes totales.....	42
Figura 11. Cantidad eliminada de coliforme fecales.....	43
Figura 12. Cantidad eliminada de <i>E. coli</i>	43
Figura 13. Recolección de muestra de agua del sector El Molino.....	44
Figura 14. Aplicación del tratamiento de aguas residuales.....	44
Figura 15. Reacción del peróxido de hidrógeno + agua residual + corriente eléctrica...44	44
Figura 16. Preparación y siembra en los tubos con caldo Lauril sulfato.....	44
Figura 17. Prueba de confirmación de coliformes totales.....	45
Figura 18. Prueba de confirmación de <i>E. coli</i> (placa 1: presencia de coliformes fecales y en la placa 2: ausencia de coliformes fecales).....	45

RESUMEN

Debido al crecimiento poblacional en la ciudad de Chachapoyas se incrementó las cantidades de alcantarillados domésticos y sanitarios siendo una fuente principal de aguas residuales. El vertimiento y el manejo inadecuado de éstas, genera impactos negativos sobre los cuerpos de agua receptoras. Los elementos contaminantes presentes en las aguas residuales pueden ser de tipo físico, químico o biológico. El tratamiento de aguas residuales es importante, por lo cual esta investigación tuvo como objetivo tratar el agua residual para ser reusada en el riego agrícola. Se recolectó muestras de agua del sector El Molino y se aplicó la técnica de tratamiento electro-Fenton a nivel laboratorio, se determinó el volumen de peróxido y el tiempo de reacción en el tratamiento de éstas. Los resultados indican que la técnica electro-Fenton es efectiva, logrando remover una gran cantidad de contaminante tanto para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. El mejor tiempo de reacción fue de 30 minutos con un volumen de peróxido de hidrógeno de 2, 5 mL para reducir los parámetros fisicoquímicos y para los parámetros microbiológicos el mejor tiempo de reacción y volumen de peróxido de hidrógeno fue de 30 minutos y 1 mL, respectivamente.

Palabras clave: procesos avanzados de oxidación, agua residual, electroquímica, Fenton.

ABSTRACT

Due to the population growth in the city of Chachapoyas increased the amounts of domestic sewage and sanitation being a main source of wastewater, dumping and the inadequate management of these, generates negative impacts on the receiving water bodies. The polluting elements present in wastewater can be physical, chemical or biological. Wastewater treatment is important, so this research aimed to treat wastewater to be reused in agricultural irrigation. Water samples were collected from the El Molino sector and the electro-Fenton treatment technique was applied at the laboratory level. The peroxide volume and the reaction time in the treatment of these were determined. The results indicate that the electro-Fenton technique is effective, managing to remove a large amount of contaminant for both physicochemical and microbiological parameters. The best reaction time was 30 minutes with a volume of hydrogen peroxide of 2.5 mL to reduce the physicochemical parameters and for the microbiological parameters the best reaction time and volume of hydrogen peroxide was 30 minutes and 1 mL, respectively.

Keywords: Advanced oxidation processes, wastewater, electrochemistry, Fenton.

I. INTRODUCCIÓN

Según la UNESCO (2003) el 69% del agua dulce disponible en el planeta se destina a la agricultura, el 23% a la industria y el 8% a la utilización doméstica. La mala distribución temporal y espacial o la degradación determinan la actual oferta existente y la creciente demanda de agua. La búsqueda de fuentes alternativas de agua, sobre todo para la agricultura sector que demanda un mayor porcentaje ha llevado a desarrollar y conocer tecnologías no convencionales para el tratamiento de las aguas residuales (Agencia *et al.*, 2003), con el fin de rehusar y reducir el consumo de agua para riego, bebida para animales, actividades domésticas entre otras (Ambiente, 2017).

Se ha venido incrementando el consumo de la explotación de recursos naturales como el agua debido al crecimiento poblacional y entonces se aumentaron el número de alcantarillados domésticos y sanitarios produciendo más cantidades de aguas residuales, el vertimiento y el manejo inadecuado de estas, traen consecuencias negativas al ambiente (Salgado-Bernal *et al.*, 2012).

La problemática de las aguas residuales conlleva a una serie de consecuencias que dificultan o imposibilitan la vida, la elevada presencia de microorganismos patógenos favorece al desarrollo de enfermedades que afectan la salud humana, al crecimiento de las plantas y animales. El elevado contenido de materia orgánica facilita la actividad microbiana, la aparición de olores desagradables e implica una disminución del nivel de oxígeno disuelto que dificulta la vida acuática. Los sólidos en suspensión que provocan acumulación, dificultan y modifican el curso natural de las aguas superficiales. Los nutrientes facilitan el crecimiento de plantas acuáticas y si este es descontrolado provoca la eutrofización y con ella la muerte de peces y plantas (Meoño *et al.*, 2015).

Los contaminantes presentes en las aguas residuales pueden ser de tipo físico, químico o biológico y la carga microbiana dependerá de las actividades desarrolladas. El vertimiento de aguas residuales produce impactos sobre los cuerpos receptores de agua causando eutrofización (Gleyce *et al.*, 2013).

Como una alternativa al uso de métodos convencionales y como una tecnología limpia, se ha propuesto el uso de los Procesos de Oxidación Avanzada (POAs) para el tratamiento de aguas residuales (Escalante-Pozos *et al.*, 2014), técnica que consiste en la producción

de radicales hidroxilo (OH^\bullet) (Silva *et al.*, 2009). Los POAs presentan procesos como ozono/luz, UV, H_2O_2 /luz UV, ultrasonido, fotocátalisis, heterogénea y homogénea y los tratamientos electroquímicos (Sarria *et al.*, 2005), la electroquímica consiste en el estudio de la interacción y correlación de los procesos químicos y eléctricos mediante las reacciones de óxido-reducción (Quezada & Varela, 2008). Dentro de la electroquímica se encuentra el proceso de electro-Fenton y esta técnica es amigable con el medio ambiente.

La técnica electro-Fenton se basa en el uso de una mezcla de peróxido de hidrógeno y sales de hierro (Fe^{2+}) para la generación de radicales (OH^\bullet) a pH ácido y condiciones ambientales (Bautista *et al.*, 2007). Este tipo de proceso ha demostrado alta efectividad y bajo costo (Corona-Vasquez *et al.*, 2012).

En esta investigación se determinó el efecto del volumen de peróxido de hidrógeno y tiempo de reacción en el tratamiento de aguas residuales, con la finalidad de disminuir la cantidad de materia orgánica presente en las aguas residuales y cumplan con los estándares de Calidad Ambiental (Categoría 3: D1 para Riego de vegetales) para el agua y sea apta para el riego en la agricultura y amigable con el medio ambiente.

II. OBJETIVOS

2.1.Objetivo general

Determinar el efecto del volumen de peróxido de hidrógeno y tiempo de reacción en el tratamiento de aguas residuales.

2.2.Objetivos específicos

- Determinar el efecto del volumen de peróxido en el tratamiento de aguas residuales.
- Determinar el tiempo de reacción más efectivo del volumen de peróxido de hidrógeno en el tratamiento de aguas residuales.
- Determinar el grado de vinculación entre el volumen de peróxido de hidrógeno y el tiempo de reacción.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes de la investigación

Existen estudios en tratamiento de aguas residuales donde se evaluaron las condiciones y la eficiencia de la técnica de electro-Fenton en la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos; entre los más recientes se encuentran:

Panizza & Cerisola, (2001), obtuvieron la reducción de oxígeno a H_2O_2 sobre el electrodo de grafito a 1 V. La máxima remoción de DQO (87%) y color (89%) fueron obtenidos con una concentración de Fe^{+2} de 3mM con el proceso de tratamiento por electro-Fenton. La cinética de remoción de DQO siguió una reacción de pseudo segundo orden.

Qiang *et al.*, (2002), mencionan Fe^{+2} de 3mM que las condiciones óptimas de operación para la generación de H_2O_2 fue a un potencial de 0,5 V, flujo másico de oxígeno de $8,2 \times 10^{-2}$ mol/min y pH 2. La generación de H_2O_2 fue favorecida a bajas temperaturas y la concentración de $NaClO_4$.

Wang *et al.*, (2005), removieron el carbón orgánico total (COT) en un 70% a 360 minutos de electrólisis y bajo condiciones de operación de 0,36 A, concentración de Fe^{2+} y pH 3.

Bautista *et al.*, (2007), obtuvieron mejores resultados a un pH inicial a un intervalo de 2,5 - 3, dosis de Fe^{2+} de 200 mg/L y relación en peso inicial H_2O_2 correspondiente al valor de la estequiometría teórica.

Wang *et al.*, (2008), demostró que la remoción de color de las aguas residuales de teñido, por peróxido de hidrógeno e iones Fe (II) electrogenerado fue eficaz. La densidad de corriente y pH óptima en este trabajo fue de 69 A/m² y A/m³ respectivamente, añadiendo iones ferrosos se incrementó la eficiencia de remoción.

Silva *et al.*, (2009), obtuvieron buena eficiencia del tratamiento con foto-Fenton para depurar las aguas residuales con compuestos orgánicos solubles en agua,

provenientes del laboratorio químico. Las concentraciones a las que mineralizaron en menor tiempo el agua tratada fueron 27,5 mg/L de Fe^{2+} y 300 mg/L de H_2O_2 .

Ghosh *et al.*, (2010), obtuvieron que las condiciones óptimas para la reducción de DQO del efluente (DQO~11 500 mg/L) fue observado a pH 3, concentraciones iniciales de H_2O_2 de 3M y Fe^{2+} de 0,06 M. La relación más eficaz [$\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$] fue de 50:1, alcanzando una reducción de 97,5%.

Salas, (2010), demostraron que la oxidación Fenton presenta su máxima actividad catalítica a pH 3. Un incremento o disminución en este valor de pH reduce bruscamente su eficiencia. Para valores de $\text{pH} > 3$, el Fe^{3+} precipita como $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y descompone el H_2O_2 preferentemente a O_2 y H_2O , para valores de pH más ácidos, la generación de Fe^{2+} por reacción del Fe^{3+} con el H_2O_2 se vio inhibida.

Bianco *et al.*, (2011), obtuvieron una máxima remoción del 80% de DQO para una relación de concentraciones de [DQO_i]/ [H_2O_2] de 0,58 y relación de [H_2O_2]/[Fe^{2+}] igual a 15.

Hincapié-Mejía *et al.*, (2011), obtuvieron las más altas remociones con la tecnología fotocatalisis heterogénea se asemejan a los obtenidos con la tecnología UV/ H_2O_2 . Las condiciones óptimas encontradas fueron utilizando una concentración de ion ferroso de 0,3mM y una concentración de H_2O_2 de 35mM.

Ghosh *et al.*, (2011), aplicaron la técnica electro-Fenton sin la necesidad de agregar iones de fierro y las condiciones óptimas de funcionamiento se dio con una corriente de 0,2 A (0,90 A/dm²) y concentración de H_2O_2 de 1530 mg/L. el requerimiento de energía usado en el método electro-Fenton para la reducción de DQO fue de 1,7 kWh/kg reduciéndose en un 88% en 50 minutos.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Aguas residuales

3.2.1.1. Características de las aguas residuales, las aguas residuales crudas (no tratadas) son consideradas altamente contaminadas, aun cuando la cantidad de contaminante que éstas contengan pueda parecer pequeña. El agua residual doméstica es aparentemente gris y turbia y tiene una temperatura de 10° a 20° (Mihelcic & Zimmerman, 2012).

3.2.1.2. Clasificación de las aguas residuales

- Aguas residuales industriales, son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial.
- Aguas residuales domésticas, son aquellas aguas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, provenientes de la actividad humana.
- Aguas residuales municipales, son aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado (OEFA, 2014).

3.2.1.3. Parámetros de la calidad de agua

Materia orgánica (MO): representa la parte más importante de la contaminación, es aquella que agota el Oxígeno disuelto en las masas de agua. En agua residual presenta cerca del 70 % de los Sólidos Suspendidos, y el 45-50% de los Sólidos Fijos o Filtrados.

Oxígeno Disuelto (OD): principal parámetro en tratamiento de aguas residuales. El OD es el principal indicador del estado de contaminación de una masa de agua, la materia orgánica contenida en ella tiene como efecto directo el consumo del OD. Como indicador de la calidad de las AR, el OD debe de tener un máximo de 110% de la concentración de saturación.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO): causado por la MO arrojada a las masas y corrientes de agua. La DBO se define como la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer la MO presente en el agua residual mediante la acción de bacterias en condiciones aerobias. La DBO es causado por la respiración de las bacterias y cesará al agotarse totalmente la MO.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): es otra manera de medir la MO indirectamente, a través de la demanda de oxígeno de los compuestos orgánicos.

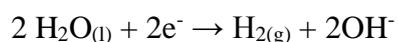
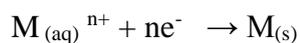
Sólidos: la MO a menudo está en forma de partículas en suspensión. Los sólidos totales se componen de los sólidos suspendidos más sólidos disueltos.

pH; es una medida relativa de la acidez o alcalinidad del agua (Orozco, 2005).

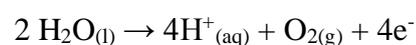
3.2.1.4. **Electroquímica y reacciones.** La electroquímica es la rama de la química dedicada al estudio de la interacción y correlación de los procesos químicos y eléctricos mediante las reacciones de óxido-reducción. Una de las principales técnicas es el proceso de electro – Fenton (Quezada & Varela, 2008).

Reacciones:

Reacción de reducción en el cátodo



Reacciones de oxidación en el ánodo:



3.2.1.5. **Procesos de oxidación avanzada (POAs)** Los procesos de oxidación avanzada son utilizados para eliminar contaminantes orgánicos en aguas, en especial los no biodegradables. Estos se basan en la generación en el medio de especies químicas con un alto poder de oxidación como los radicales hidroxilo (OH^{\bullet}) oxidante químico de carácter no selectivo y con un elevado potencial de oxidación capaz de reaccionar rápidamente con muchos compuestos orgánicos (Quezada & Varela, 2008).

3.2.1.6. Proceso Fenton

Henry J.Fenton descubrió que utilizando peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y sal de hierro (Fe²⁺, Fe³⁺) como catalizador, conseguía oxidar moléculas orgánicas (Al-Momani & Esplugas, 2003).

La reacción Fenton, es el proceso de la descomposición de H₂O₂ con sales de hierro, bajo condiciones de presión atmosférica y temperatura entre los 20 y los 40° (Chávez & Durán, 2006). Para el caso del Fe²⁺ se puede observar las reacciones en la tabla 1.

Tabla 1. Reacciones químicas que involucran en la reacción Fenton

Reacción	Número reacción
$Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + HO^{\bullet} + OH^{-}$	(1)
$Fe^{2+} + HO^{\bullet} \rightarrow Fe^{3+} + OH^{-}$	(2)
$Fe^{3+} + H_2O \leftrightarrow [FeOH]^{2+} + H^{+}$	(3)
$Fe^{3+} + H_2O_2 \leftrightarrow [FeOH_2]^{2+}$	(4)
$Fe^{3+} + H_2O_2 \leftrightarrow [FeOH_2]^{2+}$	(5)
$[FeOH]^{2+} \rightarrow Fe^{2+} + HO^{\bullet}$	(6)
$[FeOH_2]^{2+} \rightarrow Fe^{2+} + HO^{\bullet}$	(7)
$[Fe(OH)(HO_2)]^{+} \rightarrow Fe^{2+} + HO_2^{\bullet} + HO^{-}$	(8)
$RH + HO^{\bullet} \rightarrow R^{\bullet} + H_2O$	(9)

HO[•] = Radical hidroxilo HO⁻ = Ion hidroxilo

Fuente: Construcción de dos celdas electrolíticas escala laboratorio para la Electrogenación del reactivo de Fenton y para oxidación anódica (2006).

El proceso Fenton, requiere optimizar las condiciones experimentales para garantizar un rendimiento eficiente ya que distintas variables como: pH, volumen de H₂O₂, sales de hierro y tiempo de reacción, pueden afectar la efectividad en la remoción de contaminantes y parámetros de la calidad del agua (Martinez, *et al.*, 2013).

Las principales ventajas del proceso Fenton para el tratamiento de agua son las siguientes: operación simple y flexible que permite una fácil implementación en plantas existentes, manejo sencillo de los compuestos

químicos utilizados. También existen desventajas, tales como: los riesgos y altos costos asociados al almacenamiento y transporte del H₂O₂, utilización de cantidades elevadas de agentes químicos utilizados para acidificar el medio a pH entre 2 y 4 (Martínez & López, 2000), no siempre se logra una mineralización completa debido a la formación de complejos de hierro (Brillas, *et al.*, 2009).

3.2.2. Base legal

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

La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

Tabla 2. Estándar de Calidad Ambiental del agua - Categoría para riego de Vegetales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales	
		Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido
Físicos-químicos			
Aceites y Grasas	mg/L		5
Bicarbonatos	mg/L		518
Cianuro Wad	mg/L		0,1
Cloruros	mg/L		500
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co		100 (a)
Conductividad	(μ /cm)		2500
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L		40
Detergentes (SAAM)	mg/L		0,2
Fenoles	mg/L		0,002
Fluoruros	mg/L		1
Nitratos (NO ₃ --N) + Nitritos (NO ₂ --N)	mg/L		100
Nitritos (NO ₂ --N)	mg/L		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L		≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	unidad de pH		6,5 – 8,5
Sulfatos	mg/L		1000
Temperatura	°C		$\Delta 3$
Microbiológicos			
Coliformes	NMP/100 mL	1000	2000
Termotolerantes	mL		
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	1000	**

Fuente: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

3.3. Definición de términos

Aguas residuales, son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas (OEFA, 2014) y contienen impurezas o contaminantes en forma de sólidos, líquidos o gases o sus combinaciones en una concentración tal que sea dañina si se vierte en el medio ambiente.

Calidad de agua, termino referido con el uso del recurso. Es decir que una fuente de agua limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar no adecuado para la industria (Barrenechea, 2004).

Ánodo, electrodo internamente positivo de una célula electrolítica hacia donde migran los aniones dentro de electrolito y en donde ocurre la oxidación (Chávez & Durán, 2006).

Cátodo, electrodo internamente negativo de una célula electrolítica hacia donde migran los cationes dentro del electrolito y donde ocurre la reducción (Chávez & Durán, 2006).

Coliformes, son bacterias que se encuentran en los intestinos y excremento de los humanos y animales.

IV. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Área de estudio

La planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Chachapoyas se ubica en el barrio El Molino, distrito de Chachapoyas, provincia de Chachapoyas, departamento de Amazonas. Se encuentra a 5km del centro de la ciudad, con una población de 200 habitantes.

4.2. Métodos

4.2.1. Población, muestra y muestreo

4.2.1.1. Población

La población objetivo fue el agua residual con materia orgánica de la planta de tratamiento de aguas residuales, de la ciudad de Chachapoyas.

4.2.1.2. Muestra

Para cada uno de las 8 combinaciones de los niveles de los factores volumen y tiempo se tomaron 3 muestras, para un total de 24 muestras, en las cuales se les midió las variables respuestas como son los indicadores según parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales.

Tabla 3. Combinación entre niveles de factores: volumen y tiempo

Factores		Repeticiones		
Volumen	Tiempo	R ₁	R ₂	R ₃
V ₁	T ₁			
	T ₂			
	T ₃			
	T ₄			
V ₂	T ₁			
	T ₂			
	T ₃			
	T ₄			

4.2.1.3. Muestreo

El muestreo para el estudio fue probabilístico ya que se tomaron las muestras de agua residual aleatoriamente en las 3 repeticiones, para que no haya ninguna variación en los resultados según la técnica de electro-Fenton en concentración de materia orgánica de las aguas residuales a diferentes volúmenes y a diferentes tiempos y evaluar el efecto significativo.

4.2.2. Obtención de la muestra

Las muestras de agua residual se tomaron de la planta de tratamiento del sector El Molino que se encuentra en Chachapoyas, en frascos de vidrio de 1 litro de color ámbar, frascos de vidrio de 1 litro transparente y en frascos de polietileno de 1 litro respectivamente esterilizados.

De las muestras de agua se evaluaron sus parámetros físicoquímicos y microbiológicos en el Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

4.2.3. Evaluación de las características físicoquímicas y microbiológicas de la muestra de agua residual antes de aplicar el tratamiento electro-Fenton

Se evaluó los parámetros físicoquímicos: pH, turbidez, oxígeno disuelto, dureza, alcalinidad, cloruros, conductividad eléctrica y parámetros microbiológicos: coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* (Garrido *et al.*, 2013).

Parámetros físico-químicos

- Determinación de pH

Se usó el método 4500-H⁺; APHA, AWWA, WPCF: Electrodométrico.

Análisis de las muestras

- Se lavó con agua destilada el electrodo y se secó con papel absorbente. Se sumergió el electrodo en el cuerpo de agua, cuando era viable, de lo contrario tomar una alícuota en un vaso y sumerja el electrodo limpio en el vaso.
- Se esperó que se estabilice la lectura en la pantalla (use la función AR si es posible). Se hizo la lectura y se registró el dato de pH. Repetir la lectura para confirmar el valor.
- Se retiró el electrodo y se lo enjuagó con agua destilada y se secó con papel absorbente. Se introdujo el sensor en la solución de KCl 3M, para evitar daños (cuando aplique) y se colocó el bulbo protector.

- **Determinación de turbidez**

Se llevó a cabo la medición de turbidez de una muestra de agua residual, con un turbidímetro el que fue calibrado previamente.

- **Determinación de oxígeno disuelto**

Se usó el método 4500 - OG; APHA, AWWA, WPCF: Electrodo de membrana.

Análisis de la muestra

- Se tomó una alícuota en una botella (Winkler) o de boca estrecha.
- Se lavó con agua destilada el electrodo y se secó con papel absorbente, se sumergió el electrodo en el cuerpo de agua, cuando era viable, de lo contrario sumerja el electrodo limpio en la boca de la botella para evitar intercambio gaseoso
- Se esperó que se estabilice la lectura en la pantalla (use la función AR si es posible). Se hizo la lectura y se registró el dato de Oxígeno disuelto y la temperatura de la muestra. Se repitió la lectura para confirmar el valor. Entre 30 segundos a 2 minutos aproximadamente demoró la lectura de acuerdo al equipo.

- Se retiró el electrodo, se enjuagó con agua destilada y se secó con papel absorbente. Se colocó dentro del protector.
- La medida que arrojó es en las unidades mg/L de OD.

- **Determinación de dureza**

Se usó el método 2340C APHA, AWWA, WEF: Titulación con EDTA.

Análisis de la muestra

- Se agregó a un matraz 100mL de la muestra.
- Se adicionó 2mL de Buffer Dureza + una pizca muy pequeña de NET.
- Se tituló con la solución estándar de EDTA 0,02N hasta que cambió de color fucsia a azul. Se anotó el volumen de EDTA gastado en la titulación.

$$\text{Dureza total en EDTA} = \frac{N_a V_G}{V_M} (50000) = \text{ppm CaCO}_3$$

Donde:

NA = Concentración Normal del EDTA

VG = Volumen (mL) de EDTA gastado

VM = Volumen (mL) de muestra de agua empleado

- **Determinación de alcalinidad**

Se usó el método 2320B; APHA, AWWA, WEF: Titulación con HCL

Análisis de la muestra

- Se agregó a un matraz 100mL de la muestra.
- Se adicionó 3 gotas del indicador Rojo de Metilo + Verde de bromocresol.
- Se tituló con la Solución de Ácido Clorhídrico 0,01N hasta que cambió del color azul a rojo canela.

- Se anotó el volumen de HCl gastado en la titulación.

$$\text{Alcalinidad total} = \frac{N_a V_G}{V_M} (50000) = \text{ppm CaCO}_3$$

Donde:

N_a = Concentración Normal del HCl

V_G = Volumen (mL) de HCl gastado

V_M = Volumen (mL) de muestra de agua empleado

- Determinación de cloruros

Se usó el método 4500-Cl-B APHA, AWWA, WEF: Argentico

Análisis de la muestra

Se recomienda que se utilicen volúmenes de muestra que necesiten menor de 50mL de la solución tituladora, pues se obtiene un punto más preciso.

- Se tomó 100mL de la muestra y se colocó en un matraz Erlenmeyer.
- Se adicionó 03 gotas del indicador dicromato de potasio.
- Se tituló con la solución estándar de AgNO_3 0,01N hasta que cambió del color amarillo a rojo ladrillo. Se anotó el volumen de AgNO_3 gastado en la titulación.

$$\text{Cloruros} = \frac{N_2 V_2}{V_1} (35500) = \text{ppm Cl}^-$$

N_2 = Concentración de AgNO_3

V_2 = Volumen (ml) de AgNO_3 gastado

V_1 = Volumen (mL) de muestra de agua empleado

- Determinación de conductividad eléctrica

Se usó el método 2510 B; APHA, AWWA, WPFC: Electrodométrico

Análisis de la muestra

- Se lavó con agua destilada el electrodo y se secó con papel absorbente y

se enjuagó con la muestra. Se sumergió el electrodo en el cuerpo de agua, cuando fue viable, de lo contrario tomar una alícuota en un vaso y sumerja el electrodo limpio en el vaso.

- Se esperó que se estabilice la lectura en la pantalla (use la función AR si es posible). Se hizo la lectura y se registró el dato de pH. Se repitió la lectura para confirmar el valor. Entre 30 segundos a 2 minutos aproximadamente demoró la lectura de acuerdo al equipo.
- Se anotó el resultado que será expresado en $\mu\text{/cm}$.

- **Determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno**

Se usó el método 8043*; HACH: Dilución. Aceptado por la USEPA (Agencia para la protección del ambiente de EE.UU.)

Procedimiento:

Preparación del agua de dilución:

- Se tomó con una pipeta 01mL de los reactivos Buffer Sulfato, Sulfato de Magnesio, Cloruro de Calcio y Cloruro Férrico.
- Se colocó en una fiola de 01L y se aforó con agua destilada.
- Se oxigenó el agua de dilución durante 20 minutos con un aireador.

Dilución de la muestra:

Según este método la DBO está en función del análisis de DQO.

- Se tomó el (los) volumen (es) de la muestra de acuerdo al resultado de la concentración de la DQO expresados en la siguiente tabla, y se colocó en botellas Winkler de color ámbar de 250mL y luego se aforó con agua de dilución.

Tabla 4. Relación DQO-Volumen de dilución de la muestra

Relación DQO – volumen de dilución de la muestra	
DQO (ppm)	Dilución
01 – 05	Directa
05 – 10	Directa y al 50 %
10 – 15	50 % y 30 %
15 – 25	30 % y 15 %
25 – 50	15 % y 10 %
50 – 100	10 % y 5 %
100 – 200	2 % y 1 %
400 – 800	1 % y 0,5 %

Fuente: Manual de laboratorio, tratamiento de aguas.

- Se hizo un blanco con agua de dilución, se midió la concentración de oxígeno disuelto de las muestras y se tapó las botellas de modo que no quedó burbujas.
- Se llevó a incubadora durante 05 días, al término de ese tiempo se midió la concentración y Oxígeno Disuelto de las muestras.

Para determinar la concentración de DBO_5 mgO_2/L en las muestras, se reemplazó las mediciones de OD antes y después de los 5 días, además del volumen total y de la muestra utilizada.

La ecuación para la determinación de DBO_5 en el agua es:

$$DBO_5 \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{OD_{INICIAL} - OD_{FINAL}}{f} (V)$$

OD_i = Concentración de Oxígeno Disuelto inicial OD_f = Concentración de Oxígeno Disuelto final

V = Volumen Total

t = Volumen tomado de la muestra

- Determinación de Demanda Química de Oxígeno

Se usó el método 8000*; HACH: Digestión de Reactor

Procedimiento:

Preparación de la curva de calibración para 40mg/L

- Se precalentó el reactor de DQO a 150°C.
- En fioles de 50mL se agregó 01; 5; 10; 20 y 30ml de Solución Patrón de Ftalato ácido de potasio [50mg/L O₂], se aforó con agua desionizada, para obtener Soluciones Standard de: [1.0; 5.0; 10; 20 y 30mg/L O₂].
- Se trasvasó 02mL de las soluciones estándar, se colocó lentamente y por las paredes de los tubos DQO debidamente rotulados con solución de digestión para el rango de 0,7 a 40 mg O₂/L, en un tubo adicional rotular “BR” (Blanco Reactivo) y adicionarle 02mL de agua desionizada.
- Se mezcló por inversión y se llevó al digestor por 02h a 150°C. Pasado las 02h se dejó enfriar las muestras durante 20min antes de la lectura en espectrofotómetro.
- Se colocó en celdas diferentes 3.5mL del contenido de cada tubo, se ubicó en orden ascendente (BR,..., 30) y correlativo (B, 1,...,5) de las posiciones marcadas en el equipo.
- Se seleccionó una de las opciones siguientes según sea el caso:

Para calibración de nuevo reactivo: El espectrofotómetro debe estar encendido 20min antes de realizar las lecturas. Presione TEST>Curva estándar e ingrese los parámetros solicitados por el equipo y proporcionados por el fabricante del reactivo en el inserto correspondiente o según método estandarizado. Como dato referencial los parámetros para el reactivo DQO son: $\lambda = 420\text{nm}$, N° de estándar= 05, N° de muestra= 05, Ajuste de Curva= Lineal, Unidades= mg/L. Asignar el nombre del REACTIVO. Presionar Correr Estándar, siga las instrucciones en pantalla, una vez corrido los estándares para comprobar la concentración de los mismos, presione Correr Análisis, siga las instrucciones en pantalla, y como resultado debe tener concentraciones iguales o muy cercanas a las indicadas teóricamente. Guardar el método y borrar el almacenado anteriormente. Realizar este proceso con cada lote nuevo de reactivo y cada vez que considere necesario.

- Se anotó los datos obtenidos en el cuaderno de registro de calibración y se comunicó al personal de laboratorio sobre la nueva calibración.

Análisis de las muestras

- Se precalentó el digestor de DQO seleccionando el programa DQO (2h a 150°C).
- Se tomó 100mL de las muestras y se homogenizó durante 05 minutos.
- Se colocó 02mL de la muestra por las paredes interiores de los tubos con solución de digestión y se llevó al digestor DQO durante 02 horas a 150°C. Se dejó enfriar durante 20 minutos aproximadamente.
- Se colocó en celdas diferentes 3.5mL del contenido de cada tubo, se ubicó en orden ascendente (BR, M1,..., M5) y correlativo (B, 1,...,5) de las posiciones marcadas en el equipo.
- Se colocó en el espectrofotómetro las celdas con sus respectivas muestras. En el equipo se presionó TEST>Inicio SMART, se ubicó y se seleccionó el programa DQO40 (última calibración) y se siguió las instrucciones de pantalla (de ser necesario cambie el número de muestras), se presionó CORRER ANÁLISIS. Los resultados se obtuvieron en las unidades mg/L.

Parámetros microbiológicos:

-Determinación Coliformes totales (CT)

Se utilizó la técnica del número más probable (NMP) y la siguiente metodología (Chavez & Hoyos, 2015):

Prueba presuntiva de Coliformes totales

- Se prepararon los tubos (o matraces) de caldo Lauril sulfato que fueron sembrados. Se utilizaron tres diluciones (10^1 , 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} y 10^{-6}) a partir original de la muestra de agua residual, cada dilución con una serie de cinco tubos o repeticiones.
- Se identificaron los tubos y se incubaron a 37° C (\pm 1° C) hasta 48 h (\pm 3 h).

- Transcurrida la incubación se consideraron tubos presuntivamente “positivos” aquellos en los que se observó turbidez, burbujas en las campanas de fermentación de Durham (captura de gas).
- Se anotó el número de tubos positivos de cada serie, y con esta secuencia se obtiene un número en la tabla del NMP provisional o presuntivo.

Prueba de confirmación

Las pruebas de confirmación de CT y CF se realizaron simultáneamente.

a. Prueba de confirmación de Coliformes totales

Se prepararon tantos tubos con caldo brilla como tubos presuntamente positivos (en lauril sulfato). Previa homogeneización de cada uno de los tubos presuntamente positivos, se sembraron con asa (ó 2 gotas de pipeta Pasteur) en el caldo brilla y se incubó a 37 °C (± 1 °C) durante 24 – 48h (± 2 h).

Tras la incubación se comprobó la producción de gas y turbidez en los tubos sembrados.

Lectura:

Las pruebas de confirmación de Coliformes totales son positivas sí: Las colonias han fermentado la Lactosa con producción de gas (más del 20% en las campanas Durham colocadas en cada tubo con caldo brilla) y si hay turbidez del medio.

b. Prueba confirmativa de Coliformes fecales

A partir de cada uno de los tubos presuntamente positivos (en lauril sulfato), se sembraron (al tiempo que en caldo brilla, e identificándolos de la misma forma) en los correspondientes tubos de Caldo EC, un asa (ó 2 gotas de pipeta Pasteur). Se llevó a incubar a 44 °C ($\pm 0,5$ °C) durante 24 – 48h (± 2 horas).

Lectura:

La prueba de confirmación de Coliformes Fecales es negativa si:

No se observa crecimiento bacteriano o no hay gas en las campanas de Durham.

La prueba de confirmación de Coliformes Fecales es positiva si:

Hay crecimiento bacteriano con producción de gas.

c. Prueba de confirmación de *Escherichia coli*.

A partir del crecimiento en el caldo EC donde se ha efectuado la prueba de confirmación de Coliformes fecales, se reservó los tubos positivos y se realizó una siembra por estría en placas con agar EMB y se incubó (placa invertida) a 37 °C (± 1 °C) durante 24 h (± 2 h).

Lectura:

La prueba de confirmación de *E. coli* es positiva si hay crecimiento de colonias verde metálicas a negras.

4.2.4. Aplicación del experimento electro-Fenton

- Se colocó 150 mL de muestra de agua residual en tres vasos viker de 500 mL.
- Se colocó un p-Hmetro en la muestra de agua y se procedió a la lectura del valor del pH, si éste se encuentra alcalino se añade gotas de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) para lograr un pH ácido para realizar el experimento.
- Con la ayuda de una pipeta de 2 mL y una bombilla se añadió 1 mL y 2,5 mL de peróxido de hidrógeno con una concentración de 0,88 M (10 volúmenes) a la muestra de agua de acuerdo a lo que indica los niveles de cada tratamiento.
- Se colocó los electrodos: el ánodo y el cátodo de graffito (50 mm de largo x 10 mm de diámetro) sujetos por cada cable de la fuente generador de energía, se colocó verticalmente en los vasos viker espaciados entre 1-1,5 cm.
- Se empleó una fuente generador de energía de 20 V y 4 Amp., dejando

reaccionar durante los tiempos establecidos indicados en los niveles de cada tratamiento.

- Después se colocó las muestras en frascos esterilizados y fueron evaluados los parámetros ya mencionados anteriormente.

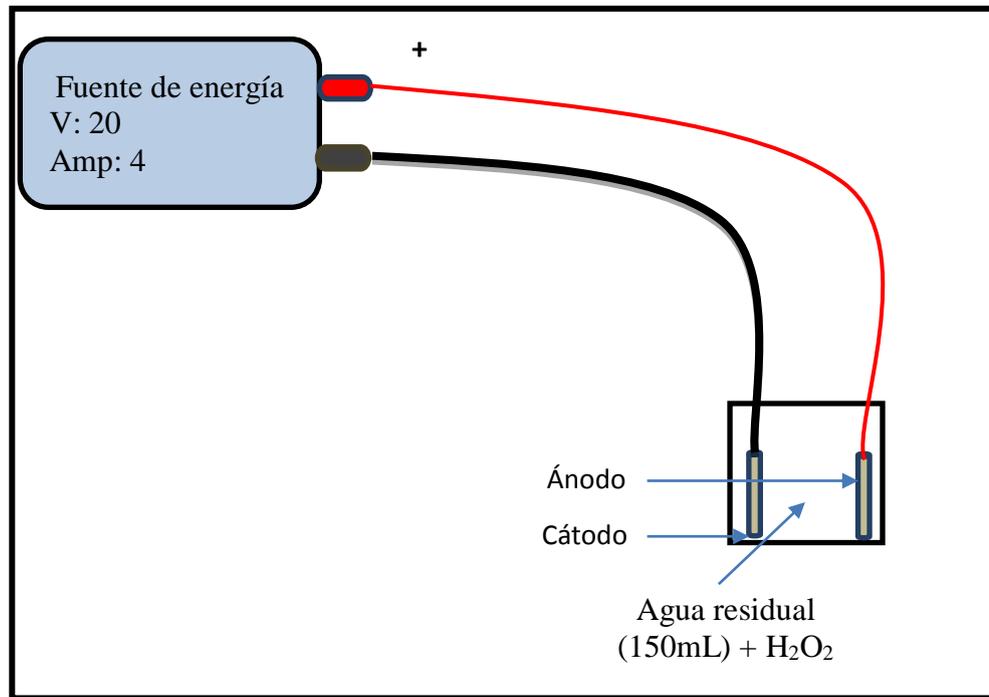


Figura 1. Esquema del experimento electro-Fenton

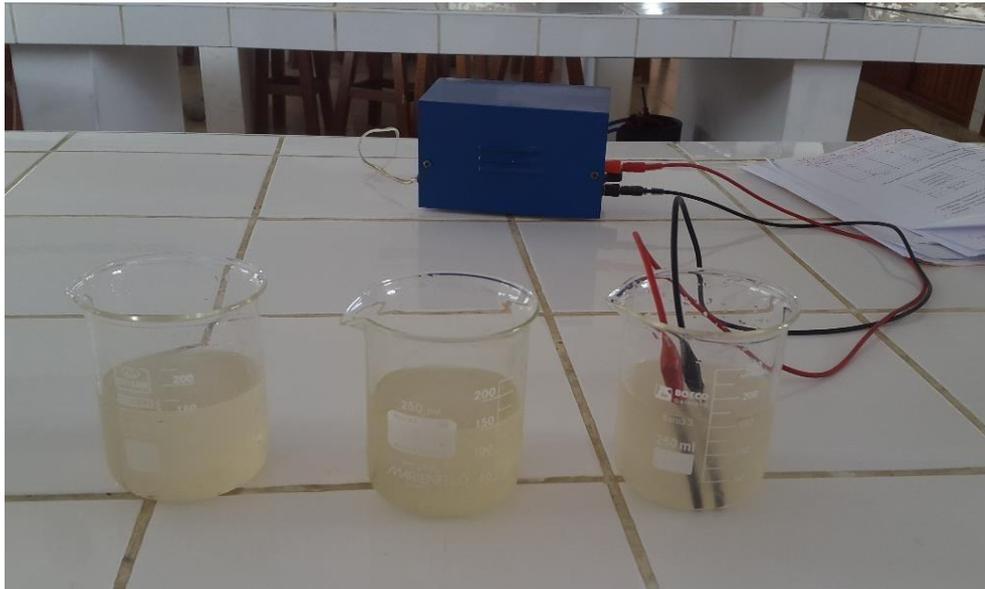


Figura 2. Experimento electro-Fenton

- Se evaluó las características fisicoquímica y microbiológica de las muestras de agua residual después de aplicar el tratamiento de electro-Fenton, siguiendo la metodología descrita anteriormente.

4.2.5. Análisis estadístico

Los datos obtenidos a nivel de laboratorio se ingresaron al *software* Excel y Minitab 15.0, para identificar el efecto del volumen de peróxido de hidrógeno, el tiempo de reacción en el tratamiento de aguas residuales y el grado de vinculación entre el volumen de peróxido de hidrógeno y tiempo de reacción.

En el análisis descriptivo a través de Microsoft Excel, se ingresaron todos los datos de laboratorio para cada parámetro, con la finalidad de determinar el efecto del volumen de peróxido de hidrógeno y el tiempo de reacción del tratamiento del agua residual, posteriormente se comparó los valores de la muestra de entrada con los de la muestra de salida.

Para cada parámetro se evaluó, si los errores siguen una distribución normal y si las varianzas son iguales, de acuerdo a esto se aplicó la prueba no paramétrica (Kruskal- Wallis).

V. RESULTADOS

5.1. Características fisicoquímicas y microbiológicas de la muestra de entrada

Una vez establecido los parámetros físico-químicos y microbiológicos a analizar se procedieron a determinar la cantidad de presencia de oxígeno disuelto, dureza, cloruros, alcalinidad, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, coliformes fecales, coliformes fecales, *E. coli* y el valor del pH, temperatura, turbidez, ver tabla 5.

Tabla 5. Características fisicoquímicas y microbiológicas de la muestra de entrada

Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la muestra de entrada		
Parámetros Físicos		
Parámetros	Und.	Resultado
pH	pH	6.79
Temperatura	°C	21.50
Turbidez	UNT	164
Oxígeno Disuelto	mg/L	6.75
Dureza	ppmCaCO ₃	500
Alcalinidad	ppmCaCO ₃	135.32
Cloruros	ppmCl	300.53
Conductividad Eléctrica	μS/cm ²	1265.98
Parámetros Inorgánicos		
Parámetros	Und.	Resultado
D.B.O. ₅	mg/L de O ₂	86,32
D.Q.O.	mg/L de O ₂	124,60
Parámetros microbiológicos		
Parámetros	U.D.	Resultado
C. Totales	NMP/100mL	79000,0
C. Fecales	NMP/100mL	49000,0
<i>E. Coli</i>	NMP/100mL	280,0

5.2. Efecto del volumen de peróxido de hidrógeno y tiempo de reacción en la muestra de salida

Una vez aplicada la técnica electro-Fenton para el tratamiento de aguas residuales se evaluaron los parámetros físico-químicos y microbiológicos, analizando la cantidad de presencia de oxígeno disuelto, dureza, cloruros, alcalinidad, demanda bioquímica

de oxígeno, demanda química de oxígeno, coliformes fecales, coliformes fecales, E. coli y el valor del pH, temperatura y turbidez , ver tabla 6 y 7.

Tabla 6. Características fisicoquímicas y microbiológicas de la muestra de salida con volumen de 1mL de peróxido de hidrógeno

Parámetro	Unid	T ₁ (V1:1mL y 5 min.)		T ₂ (V1:1mL y 10 min.)		T ₃ (V1:1mL y 20 min.)		T ₄ (V1:1mL y 30 min.)	
		Prom.	% Elim.	Prom.	% Elim.	Prom.	% Elim.	Prom.	% Elim.
		Turbidez	UNT	130,00	20,73	114,00	30,49	98,00	40,24
O. D.	Mg/L	3,88	42,52	3,75	44,44	3,62	46,37	3,56	47,26
Dureza	CaCO ₃	474,44	31,74	396,02	43,02	317,60	54,30	278,40	59,94
Alcalinidad	CaCO ₃	124,35	8,11	120,89	10,66	117,43	13,22	115,70	14,50
Cloruro	ppm Cl ⁻	267,45	11,01	265,69	11,59	263,93	12,18	249,85	16,86
DBO ₅	mg/L de O ₂	77,63	10,06	71,47	17,20	59,15	31,47	57,28	33,64
DQO	mg/L de O ₂	108,80	12,68	96,36	22,66	71,48	42,63	61,30	50,80
C. T	NMP/100mL	2	100	3	100	4	99,99	6	99,99
C. F	NMP/100mL	2	100	3	99,99	4	99,99	6	99,99
<i>E. Coli</i>	NMP/100mL	2	99,29	3	98,93	4	98,57	6	97,86

Tabla 7. Características fisicoquímicas y microbiológicas de la muestra de salida con volumen de 2,5mL de peróxido de hidrógeno

Parámetro	Unid	T ₅ (V2:1mL y 5 min.)		T ₆ (V2:1mL y 10 min.)		T ₇ (V2:1mL y 20 min.)		T ₈ (V2:1mL y 30 min.)	
		Prom.	% Elim.	Prom.	% Elim.	Prom.	% Elim.	Prom.	% Elim.
		Turbidez	UNT	85,00	48,17	69,00	57,93	53,00	67,68
O. D.	Mg/L	3,48	48,84	3,01	55,41	2,55	62,22	2,32	65,63
Dureza	CaCO ₃	196,99	71,26	192,77	72,26	188,55	72,87	186,44	73,17
Alcalinidad	CaCO ₃	97,98	27,59	93,90	30,61	89,82	33,62	87,78	35,13
Cloruro	ppm Cl ⁻	121,88	59,44	118,88	60,44	114,26	61,98	112,35	62,62
DBO ₅	mg/L de O ₂	48,84	45,73	43,21	49,94	29,14	66,24	22,11	74,39
DQO	mg/L de O ₂	58,88	52,74	54,04	56,63	49,20	60,51	46,6	62,60
C. T	NMP/100mL	6	99,99	5	99,99	4	99,99	4	99,99
C. F	NMP/100mL	6	99,99	5	99,99	4	99,99	4	99,99
<i>E. Coli</i>	NMP/100mL	0	100	5	98,21	4	98,57	4	98,57

5.3. Grado de vinculación entre el volumen de peróxido de hidrógeno y tiempo de reacción

Tabla 8. Prueba de Kruskal-Wallis

Parámetro	Kruskal-Wallis		Observación
	χ^2	P	
Dureza	21.24	0.003	El mejor tratamiento fue el T ₈ a un volumen de 2,5 mL de H ₂ O ₂ y un tiempo de 30 minutos.
Coliformes totales	12.465	0.086	El mejor tratamiento fue el T ₁ a un volumen de 1 mL de H ₂ O ₂ y un tiempo de 5 minutos.
Coliformes fecales	12.971	0.073	El mejor tratamiento fue el T ₁ a un volumen de 1 mL de H ₂ O ₂ y un tiempo de 5 minutos.
<i>E.coli</i>	14.561	0.042	El mejor tratamiento fue el T ₁ a un volumen de 1 mL de H ₂ O ₂ y un tiempo de 5 minutos.

Tabla 9. Análisis de varianzas para los efectos principales e interacción

Parámetro	Análisis de varianza			Observación
	Factor	F	P	
Turbidez	Volumen	2430,00	0,000	Se afirma que a un volumen de 2,5 mL de H ₂ O ₂ y tiempo de 30 minutos la cantidad de eliminación es mayor.
	Tiempo	377,60	0,000	
	Volumen *tiempo	0,00	1,000	
Oxígeno disuelto	Volumen	26,89	0,000	Se afirma que a un volumen de 2,5 mL de H ₂ O ₂ y tiempo de 30 minutos la cantidad de eliminación es mayor.
	Tiempo	4,11	0,024	
	Volumen *tiempo	1,42	0,274	
Alcalinidad	Volumen	909,68	0,000	Se afirma que a un volumen de 2,5 mL de H ₂ O ₂ y tiempo de 30 minutos la cantidad de eliminación es mayor.
	Tiempo	23,20	0,000	
	Volumen *tiempo	0,37	0,775	
Cloruros	Volumen	32067,10	0,000	Se afirma que a un volumen de 2,5 mL de H ₂ O ₂ y tiempo de 30 minutos la cantidad de eliminación es mayor.
	Tiempo	43,46	0,000	
	Volumen *tiempo	8,12	0,002	
D.B.O ₅	Volumen	626,67	0,000	Se afirma que a un volumen de 2,5 mL de H ₂ O ₂ y tiempo de 30 minutos la cantidad de eliminación es mayor.
	Tiempo	78,7	0,000	
	Volumen *tiempo	1,09	0,383	
D.Q.O.	Volumen	1821,78	0,000	Se afirma que a un volumen de 2,5 mL de H ₂ O ₂ y tiempo de 30 minutos la cantidad de eliminación es mayor.
	Tiempo	327,37	0,000	
	Volumen *tiempo	113,74	0,000	

VI. DISCUSIÓN

El valor del pH para realizar esta investigación fue de 3 ya que en medio ácido la técnica electro-Fenton es más efectiva para la reducción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO). Según Bautista *et al.*, (2007) y Ghosh *et al.*, (2010) obtuvieron mejores resultados a un pH inicial entre 2,5-3, con respecto a DBO₅ y DQO.

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados son: turbidez, oxígeno disuelto, dureza, alcalinidad, cloruros, DBO₅, DQO, coliformes totales, coliformes fecales y *E.coli* ya que estos parámetros son principales para determinar la calidad de agua y aplicar la técnica electro-Fenton en el tratamiento de aguas residuales (Vargas Zavala, 2007).

El valor inicial de la conductividad eléctrica fue de 4501.38 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$, el cual aumentó a medida que se iba incrementando el volumen de peróxido de hidrógeno y el tiempo de exposición a la corriente eléctrica (20 vol. y 4 amp.). Por lo general la conductividad eléctrica se incrementa si la densidad de corriente se eleva durante el proceso del tratamiento (Awang *et al.*, 2014).

El valor obtenido de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) en la muestra de entrada fue de 86,32 mg/L de O₂, después de aplicar el tratamiento se redujo a 22,11 mg/L de O₂; a medida que el volumen de peróxido de hidrógeno se incrementó y el tiempo de reacción se logró una remoción máxima de 74,39%, a mayor tiempo de exposición y volumen la técnica es más eficiente en un 75% para reducir la DBO₅ (Ochoa *et al.*, 2016), en cambio la Demanda Química de Oxígeno (DQO) alcanzó una remoción máxima de 62,60% mg/L de O₂ con una densidad de corriente de 20 voltios, según Kulik *et al.*,(2008), si la densidad de corriente se incrementa, la reducción de DQO es mayor.

Los cloruros se electrolizaron por lo que en el ánodo se produjo hipoclorito de sodio (NaCl) el cual es altamente desinfectante influyendo en los parámetros microbiológicos logrando eliminar gran cantidad de coliformes (Sarria *et al.*, 2005).

En los parámetros fisicoquímicos como turbidez, oxígeno disuelto, alcalinidad y Demanda Bioquímica de Oxígeno con valores de $P > 0,05$, la técnica electro-Fenton aplicada en el tratamiento de aguas residuales no influye significativamente, lo cual indica que no existe

interacción ya que el volumen de peróxido de hidrógeno es independiente del tiempo, en cambio para los parámetros de cloruros y Demanda Química de Oxígeno que tienen valores de $P < 0,05$, indica que son altamente significativos, es decir que el volumen de peróxido de hidrógeno es dependiente del tiempo.

La aplicación de energía eléctrica continua descompone el peróxido de hidrógeno en agua + oxígeno, el oxígeno naciente es altamente oxidante y desinfectante (García & Daza, 2014), de tal manera que influye significativamente en un 99% de reducción en los parámetros microbiológicos eliminando en 5 minutos y a 1 mL de peróxido de hidrógeno de 77000 NMP/100mL de coliformes totales, 47000 NMP/100mL de coliformes fecales y 278 NMP/100mL de *E. coli* ; a partir de una cantidad inicial de coliformes totales, coliformes fecales y *E. coli* de 79000 NMP/100mL, 49000 NMP/100mL y 280 NMP/100mL respectivamente.

VII. CONCLUSIONES

Para el tratamiento de muestras de 150 mL de aguas residuales, el volumen más efectivo de peróxido de hidrógeno fue de 2,5 mL y 1 mL para los parámetros fisicoquímicos y parámetros microbiológicos respectivamente.

Para el tratamiento de muestras de 150 mL de aguas residuales, el tiempo de reacción más efectivo fue de 30 minutos y 5 minutos para los parámetros fisicoquímicos y parámetros microbiológicos respectivamente.

El mejor tratamiento de muestras de 150 mL de aguas residuales, para reducir los parámetros fisicoquímicos fue el T₈, con un volumen de 2,5 mL de peróxido de hidrógeno y un tiempo de reacción de 30 minutos; el mejor tratamiento para reducir los parámetros microbiológicos fue T₁ a un volumen de 1 mL de peróxido de hidrógeno y un tiempo de reacción de 5 minutos.

Los resultados del tratamiento de la muestra de agua residual se ajustan a los Estándares de Calidad Ambiental con respecto al agua para la Categoría 3-D1 para “Riego de vegetales”.

VIII. RECOMENDACIONES

Realizar estudios de tiempo en función a la exposición de la técnica de tratamiento para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos y determinar si aumenta o disminuye los niveles de concentración de dichos parámetros.

Realizar estudios a diferentes niveles de concentración y volumen de peróxido de hidrógeno para determinar si aumenta o disminuyen los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Realizar estudios en el cuál se incluyan parámetros fisicoquímicos como fosfatos, nitratos, sólidos totales y otros, para evaluar si la técnica de electro-Fenton tiene efecto en la disminución sobre éstos.

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento “SUNASS” realice controles periódicos todas las épocas del año para conocer el perfil y estado de la planta de tratamiento “El Molino”, para así plantear estrategias de manejo y tratamiento del sistema y evitar impactos negativos al Medio Ambiente.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia, O. M. S., Agencias, P., Agencias, U., Agencias, F. A. O., Agencias, O., Agencias, O., ... Mundial, B. (2003). La situación La crisis mundial del agua.
- Al-Momani, F., & Esplugas, S. (2003). Combination of photo-oxidation processes with biological treatment.
- Ambiente, M. del M. (2017). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias, *10*, 10–19.
- Awang, Z. . B., Bashir, M. J. K., Kutty, S. R. M., & Isa, M. H. (2014). Post-Treatment of Slaughterhouse Wastewater using Electrochemical Oxidation. *Journal of Chemistry and Environment*, *15*(2), 229–237.
- Barrenechea, A. M. (2004). Aspectos fisicoquímicos del agua. *Editorial Acribia, Lima-Perú*, 86.
- Bautista, P., Mohedano, A. F., Gilarranz, M. A., Casas, J. A., & Rodriguez, J. J. (2007). Application of Fenton oxidation to cosmetic wastewaters treatment Journal of Hazardous Materiale gghghf. *Journal of Hazardous Materials*, *143*(1–2), 128–134.
- Bianco, B., Michelis, D. I., & Veglio, F. (2011). Fenton treatment of complex industrial wastewater : Optimization of process conditions by surface response method. *Journal of Hazardous Materials*, *186*(2–3), 1733–1738.
- Brillas, E., Sire, I., & Oturan, M. A. (2009). Electro-Fenton Process and Related Electrochemical Technologies Based on Fenton ' s Reaction Chemistry. *Chemical Reviews*, *109*, 6570–6631.
- Chávez, E. I., & Durán, A. (2006). Construcción de dos celdas electrolíticas escala laboratorio para la electrogeneración del reactivo de Fenton y para oxidación anódica.
- Chavez, J., & Hoyos, I. (2015). Recuento de Coliformes Totales y Coliformes Fecales/*Escherichia coli* en aguas (Número mas probable).

- Corona-Vasquez, B., Aurioles, V., & Bandala, E. R. (2012). Safe Drinking Water Generation by Solar-Driven Fenton-Like Processes. *Solar Radiation*, 3, 447–458.
- Escalante-Pozos, V., & Bandala, E. R. (2014). Calidad del agua y su relación con alimentos: aplicación de procesos Fenton y tipo Fenton en la eliminación de contaminantes en agua, 8(1), 34–47.
- García, J., & Daza, C. (2014). Procesos Fenton y foto-Fenton para el tratamiento de aguas residuales de laboratorio microbiológico empleando Fe₂O₃ soportado en nanotubos de carbono.
- Garrido, C. P., Rodríguez León, M., & Delgadillo García, G. R. (2013). Tratamiento de Aguas. Manual de Laboratorio, 1, 25.
- Ghosh, P., Samanta, A. N., & Ray, S. (2010). COD reduction of petrochemical industry wastewater using Fenton's oxidation. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 88, 1021–1026. <https://doi.org/10.1002/cjce.20353>
- Ghosh, P., Samanta, A. N., & Ray, S. (2011). Reduction of COD and removal of Zn²⁺ from rayon industry wastewater by combined electro-Fenton treatment and chemical precipitation. *Desalination*, 266(1–3), 213–217. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.08.029>
- Gleyce Teixeira, C., Sánchez Ortiz, I., Gebara, D., Aglio Sobrinho, M., & Sunao, M. (2013). Remoción de fósforo de diferentes aguas residuales en reactores aeróbios de lecho fluidizado trifásico con circulación interna. Phosphorus removal in different wastewater by fluidized bed airlift reactors with internal circulation, 67(2), 172–182.
- Hincapié-Mejía, G. M., Ocampo, D., Restrepo, G. M., & Marín, J. M. (2011). Fotocatálisis Heterogénea y Foto-Fenton Aplicadas al Tratamiento de Aguas de Lavado de la Producción de Biodiesel, 22(2), 33–42. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642011000200005>
- Kulik, N., Trapido, M., Goi, A., Veressinina, Y., & Munter, R. (2008). Combined chemical treatment of pharmaceutical effluents from medical ointment production.

Chemosphere, 70, 1525–1531. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.08.026>

- Martínez, A. ., Ramírez, F. J., & Toledo, R. M. (2013). Total organic carbon removal from a chemical lab ' s wastewater using Fenton ' s reagent. *Ingeniería E Investigación*, 33(2), 30–35.
- Martínez, E. C., & López, G. D. (2000). Tratamiento Químico de contaminantes orgánicos el proceso Fenton. *INGAR. Instituto de Desarrollo Y Diseño (Conicet) Y Universidad Tecnológica Nacional*.
- Martínez-Huitile, Carlos Hernández, F., Ferro, S., Quiroz, M., & De Battisti, A. (2006). Oxidación electroquímica: Una alternativa para el tratamiento de aguas con contaminantes orgánicos, 63, 26–34.
- Meoño, J. F. L., Taranco, C. G., & Yennyfer Morales Oivares. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber Y Hacer*, 2(2), 09–25.
- Mihelcic, J. R., & Zimmerman, J. B. (2012). *Ingeniería ambiental : Autores y Editores*.
- Ochoa, B., Ramos, L., Garibay, A., Pérez-Corona, M., Cuevas, M. C., & Cárdenas, J. (2016). Electrokinetic treatment of polluted soil at pilot level coupled to an advanced oxidation process of its wastewater. *Physics and Chemistry of the Earth*, 91, 68–76. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.09.012>
- OEFA. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales, 42. Retrieved from http://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Orozco, A. (2005). Bioingeniería de aguas residuales.
- Panizza, M., & Cerisola, G. (2001). Removal of organic pollutants from industrial wastewater by electrogenerated Fenton ' s reagent, 35(16), 3987–3992.
- Qiang, Z., Chang, J., & Huang, C.-P. (2002). Electrochemical generation of hydrogen peroxide from dissolved oxygen in acidic solutions. *Water Research*, 36(1), 85–94.
- Quezada, R., & Varela, E. (2008). Tratamiento de aguas residuales provenientes de la curtiembre por via electroquímica, 1(1), 6.

- Salas, G. (2010). Tratamiento por oxidación avanzada (reacción Fenton) de aguas residuales de la industria textil. *Revista Peruana de Ingeniería Química*, 13(1), 30–38.
- Salgado-Bernal, I., Durán-Domínguez, C., Cruz-Arias, M., Carballo-Valdés, M. E., & Martínez-Sardiñas, A. (2012). Bacterias rizosféricas con potencialidades fisiológicas para eliminar materia orgánica de aguas residuales. *Rev. Int. Contam. Ambiental.*, 28(1), 17–26.
- Sarria, V. M., Parra, S., Rincón, Á. G., & Torres, R. A. (2005). Nuevos sistemas electroquímicos y fotoquímicos para el tratamiento de aguas residuales y de bebida. *Revista Colombiana de Química*, 34(2), 161–173.
- Silva, A. S. M., Trujillo, S. J., Aguilar, M. L. G., & Hincapié, P. M. (2009). Tratamiento de contaminantes orgánicos por foto Fenton con luz artificial. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 53–62.
- Vargas Zavala, A. (2007). Electrogenación del reactivo de Fenton para el tratamiento de aguas residuales.
- Wang, A., Qu, J., Ru, J., Liu, H., & Ge, J. (2005). Mineralization of an azo dye Acid Red 14 by electro-Fenton's reagent using an activated carbon fiber cathode. *Dyes and Pigments*, 65, 227–233. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2004.07.019>
- Wang, C., Hu, J., Chou, W., & Kuo, Y. (2008). Removal of color from real dyeing wastewater by Electro-Fenton technology using a three-dimensional graphite cathode. *Journal of Hazardous Materials*, 152(2), 601–606.

ANEXOS

Anexo 1: Resultados de análisis fisicoquímicos de la muestra de entrada

	 UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS	Código: 0036	CCFT- Versión: 01
		INFORME DE ENSAYO	
INFORME DE ENSAYO N°		LAB18-AA-073	
I. DATOS GENERALES.			
RAZON SOCIAL O NOMBRE	:	REYNA M. OCAMPO TELLO	
DIRECCIÓN	:	NO ESPECIFICA DIRECCION	
RUC / DNI	:	72259243	
REFERENCIA	:	TESIS	
PROCEDENCIA	:	CHACHAPOYAS (BARRIO MOLINO)	
PRESENTACION	:	01 FRASCO DE PLASTICO OSCURO Y 01 FRASCO DE VIDRIO ESTERIL	
MUESTREO POR	:	REYNA M. OCAMPO TELLO	
FECHA Y HORA DE COLECTA	:	viernes, 09 de febrero de 2018	11:00:00 a.m.
FECHA Y HORA DE RECEPCION	:	viernes, 09 de febrero de 2018	03:00:00 p.m.
FECHA Y HORA DE INICIO DE ENSAYOS	:	viernes, 09 de febrero de 2018	04:00:00 p.m.
FECHA Y HORA DE EMISION DEL INFORME DE	:	martes, 12 de diciembre de 2017	08:30:00 a.m.
CODIGO DE MUESTRA CLIENTE	:	MOSHA	
TIPO DE AGUA	:	PTAR	
LUGAR DE DESARROLLO DE LOS ANALISIS	:	MB/ FQ	
AUTORIZADO Y REALIZADO POR: Jesús Rascón Barrios	FUNCIONES:	Responsable del Area de Análisis Fisicoquímico de Aguas	FIRMA:

2. RESULTADOS DE ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS.

PARÁMETROS FÍSICOS Y DE AGREGACIÓN					
PARÁMETROS	MÉTODO	U.D.	L. D.	MUESTRA	
pH	Método 4500-H ⁺ ; APHA, AWWA, WPFC.	pH	>0.001	#	
T* (in situ)	Método 2550B; APHA, AWWA, WPFC.	°C	>0.1	#	
TURBIDEZ	-	UNT	>1	#	
OXÍGENO DISUELTO	Método 4500-O G; APHA, AWWA, WPFC.	mg/L	>0.01	#	
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	Método 2510 B; APHA, AWWA, WPFC.	µS/cm ²	>0.1	#	
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	-	mg/L	-	#	
SÓLIDOS TOTALES	Método 2540 B; APHA, AWWA, WPFC.	mg/L	>0.1	#	
PARÁMETROS INORGÁNICOS NO METÁLICOS					
PARÁMETROS	MÉTODO	U.D.	L. D.	MUESTRA	
ALCALINIDAD	Método 2320B; APHA, AWWA, WPFC.	ppm CaCO ₃	>0.5	#	
CLORUROS	Método 4500-Cl-B; APHA, AWWA, WPFC.	ppm Cl ⁻	>0.355	#	
DUREZA	Método 2340C; APHA, AWWA, WPFC.	ppm CaCO ₃	>0.5	#	
NITRATOS	Método 8039; HACH.	ppm NO ₃	>0.1	#	
NITRITOS	Método 8507; HACH.	ppm NO ₂	>0.001	#	
SULFATOS	Método 375.4; EPA.	ppm SO ₄	>1.0	#	
FOSFATOS	Método 8190; HACH.	ppm PO ₄	>0.04	#	
AMONIO	Método 4500 NH ₃ C; APHA, AWWA, WPFC.	ppm NH ₄	>0.02	#	
D.B.O. ₅	Método 8043; HACH: Dilución	mg/L de O ₂	>0.01	86,317	
D.Q.O.	Método 8000; HACH: Digestión de Reactor	mg/L de O ₂	>0.7	124,600	

L. D.= Límite mínimo de detección del método. U.D.= Unidad de Medida. #= Parámetro no solicitado. MB=Área de Análisis Microbiológico. FQ= Área de Análisis Fisicoquímico

Anexo 2: Resultados de análisis microbiológicos de la muestra de entrada

	 UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS	Código: CCFT-0036	Versión: 01
		INFORME DE ENSAYO	

INFORME DE ENSAYO N° : LAB18-AA-073

3. RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

GRUPO COLIFORMES				
PARÁMETROS	MÉTODO	U.D.	L. D.	MUESTRA
DILUCIÓN	Número Más Probable	10 ⁶	-	5
COLIFORMES TOTALES	Técnica Estandarizada de Fermentación en Tubo Múltiple(NMP) de Coliformes Totales	NMP/100mL	NMP	79000,0
COLIFORMES FECALES	Método 9221-C; APHA, AWWA, WPPC: Procedimiento de NMP para Coliformes Fecales	NMP/100mL	NMP	49000,0
E. COLI	Método 9225-B; APHA, AWWA, WPPC: Diferenciación de Bacterias Coliformes	NMP/100mL	NMP	280,0

GRUPO ESTREPTOCOCOS				
PARÁMETROS	MÉTODO	U.D.	L. D.	MUESTRA
DILUCIÓN	Número Más Probable	10 ⁶	-	#
ESTREPTOCOCOS	Método 9230-B; APHA, AWWA, WPPC: Técnica de Tubo Múltiple	NMP/100mL	NMP	#
ENTEROCOCOS	Método 9230-B; APHA, AWWA, WPPC: Técnica de Tubo Múltiple	NMP/100mL	NMP	#

SALMONELLA				
PARÁMETROS	MÉTODO	U.D.	L. D.	MUESTRA
SALMONELLA	Método 9260-B; APHA, AWWA, WPPC: Procedimientos Generales Cualitativos de Aislamiento e Identificación de <i>Salmonella</i>	PRESENCIA / AUSENCIA	P/A	0,0

VIBRIO CHOLERAE				
PARÁMETROS	MÉTODO	U.D.	L. D.	MUESTRA
V. CHOLERAE	Método 9260-H; APHA, AWWA, WPPC: <i>Vibrio cholerae</i>	PRESENCIA / AUSENCIA	P/A	0,0

L. D= Límite mínimo de detección del método. #= Parámetro no solicitado.

* OBSERVACIONES	Sin observaciones
-----------------	-------------------

Anexo 3: Cantidad eliminada por cada parámetro

Figura 3. Cantidad eliminada de turbidez

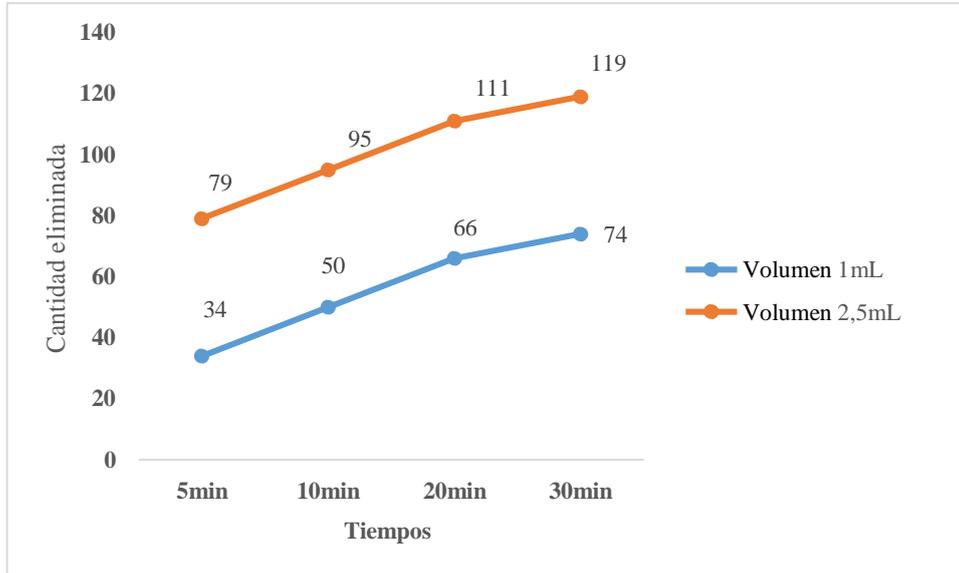


Figura 4. Cantidad reducida de oxígeno disuelto

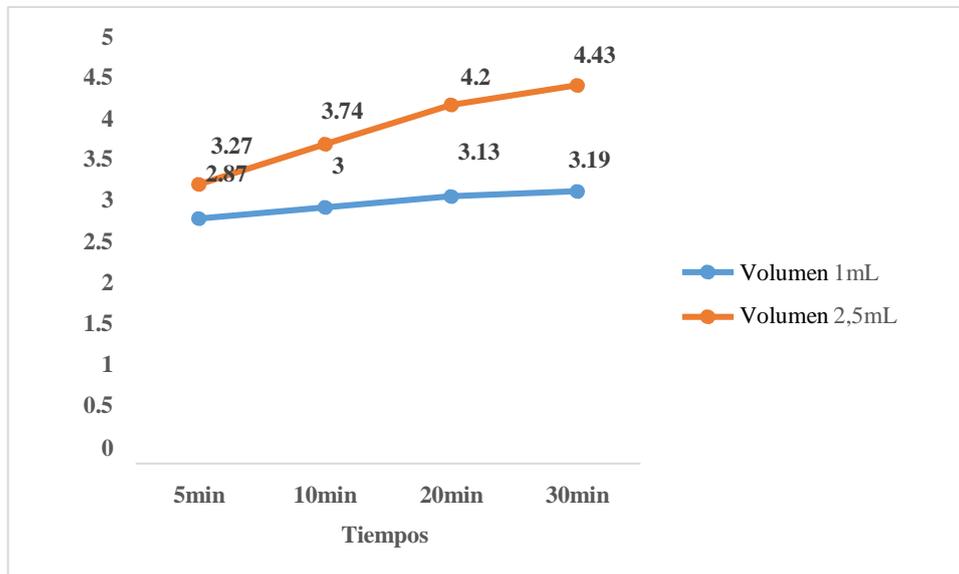


Figura 5. Cantidad eliminada de dureza

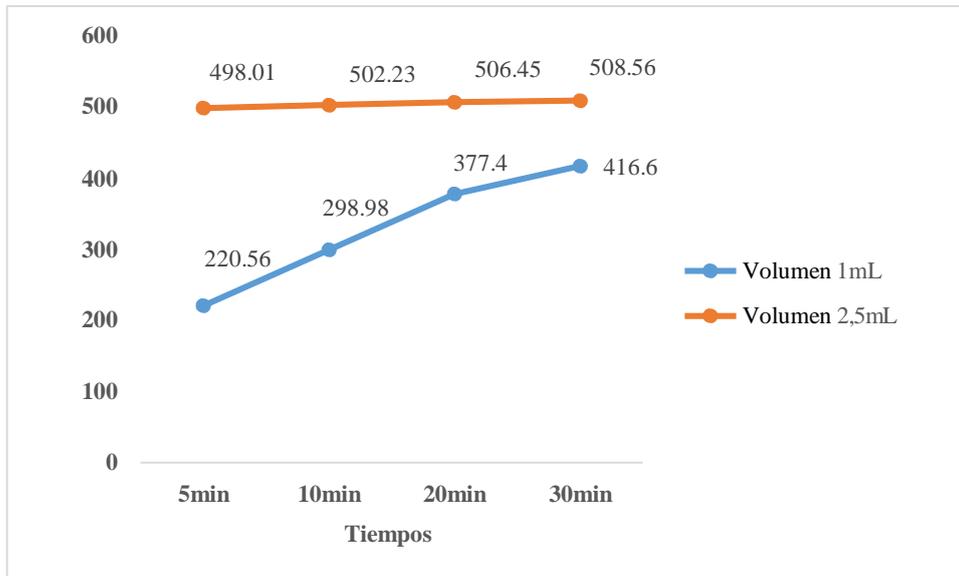


Figura 6. Cantidad eliminada de alcalinidad

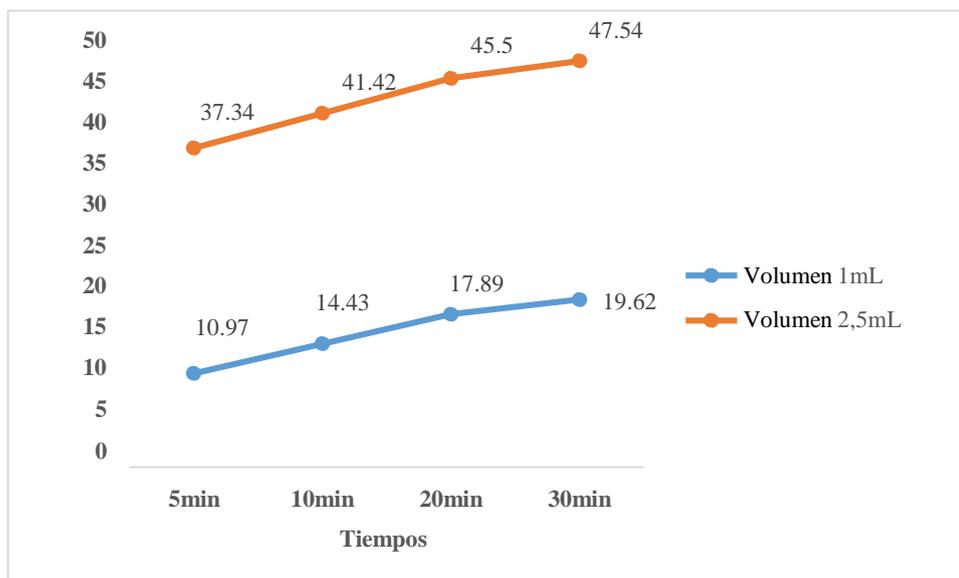


Figura 7. Cantidad eliminada de cloruro

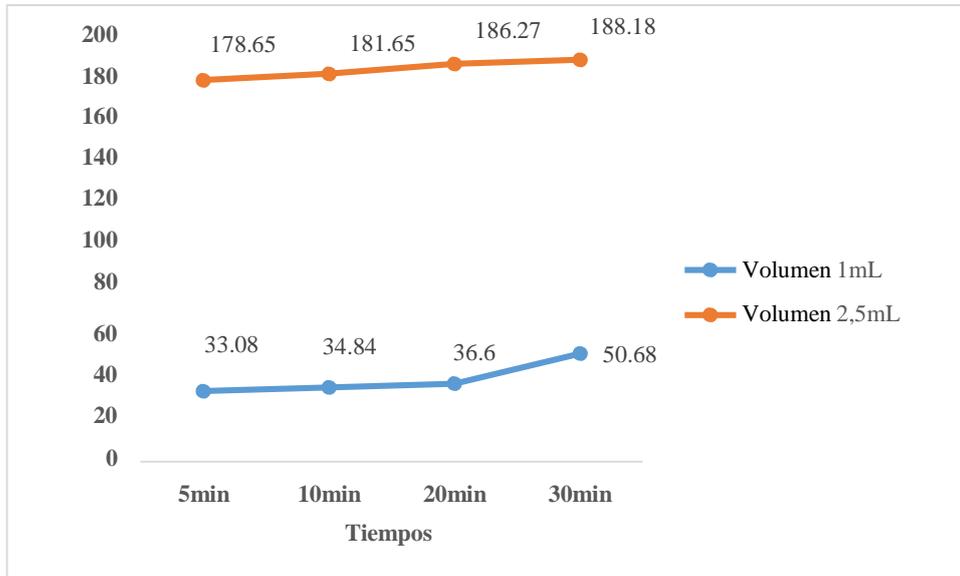


Figura 8. Cantidad eliminada de DBO₅

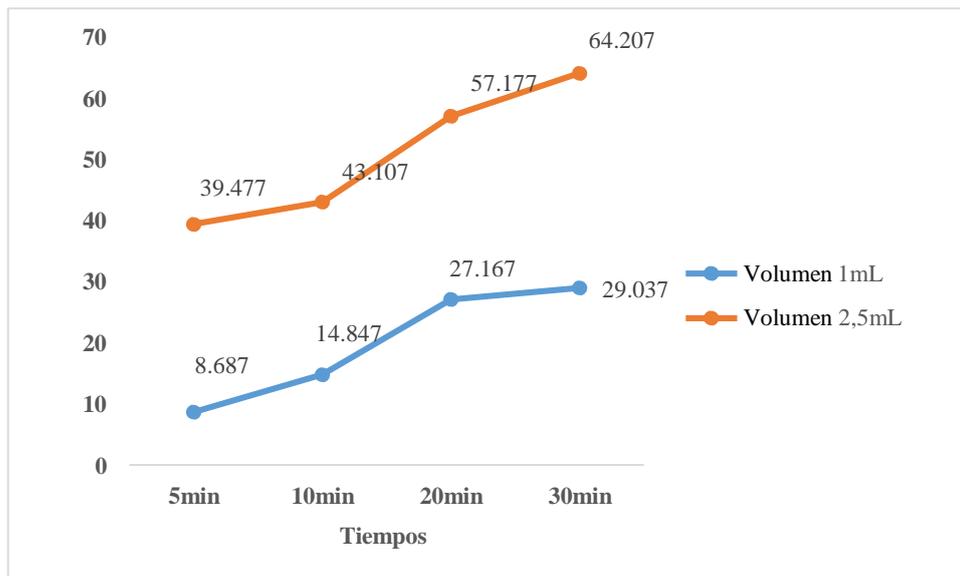


Figura 9. Cantidad eliminada de DQO

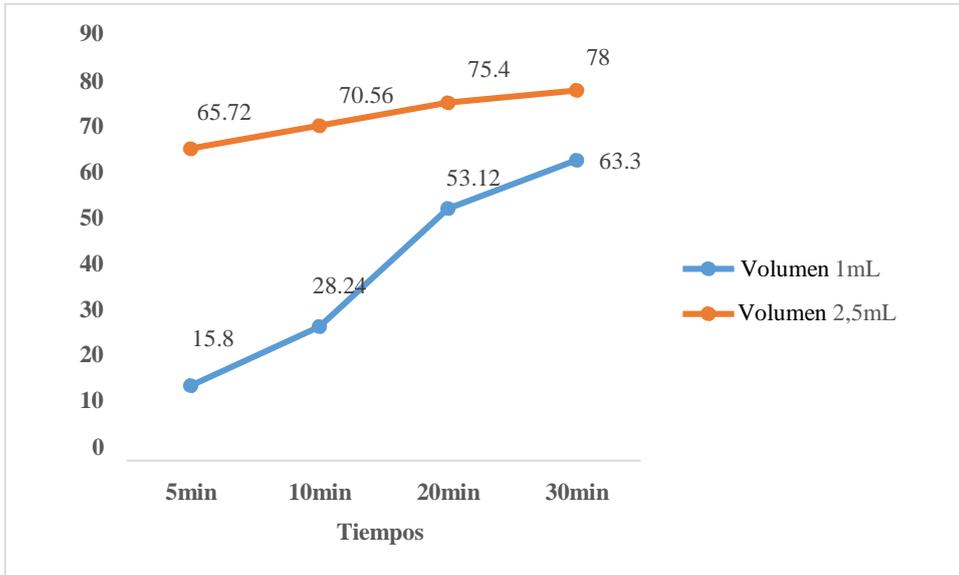


Figura 10. Cantidad eliminada de coliformes totales

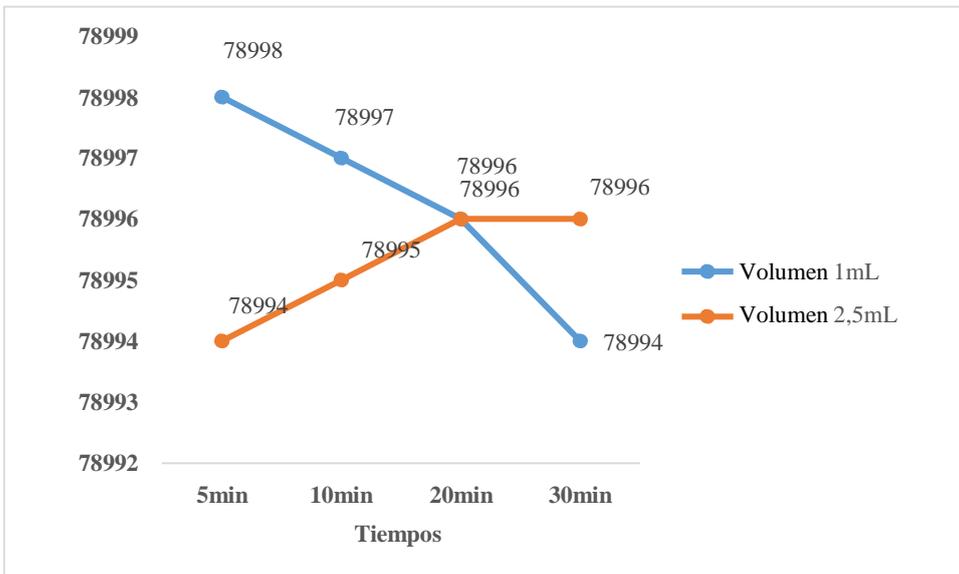


Figura 11. Cantidad eliminada de coliformes fecales

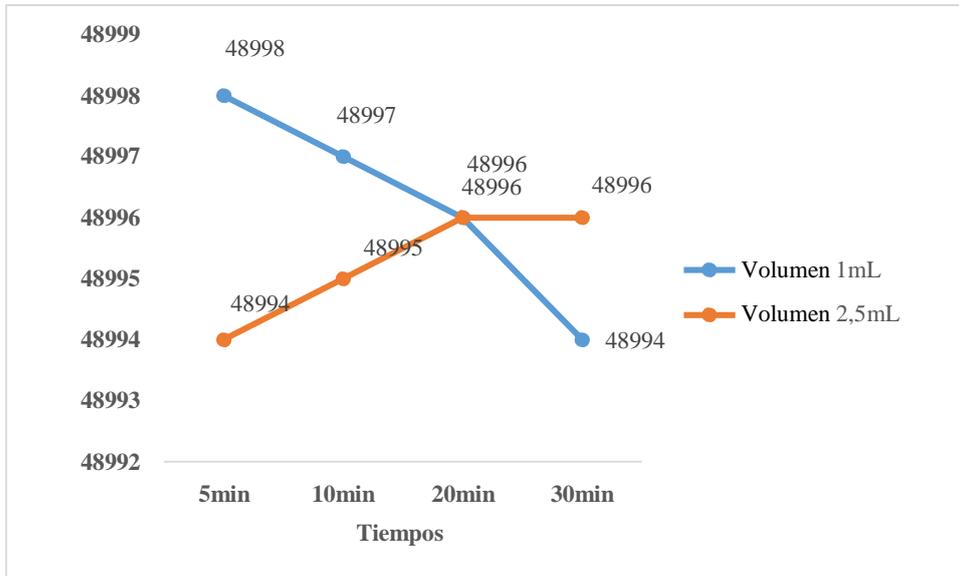
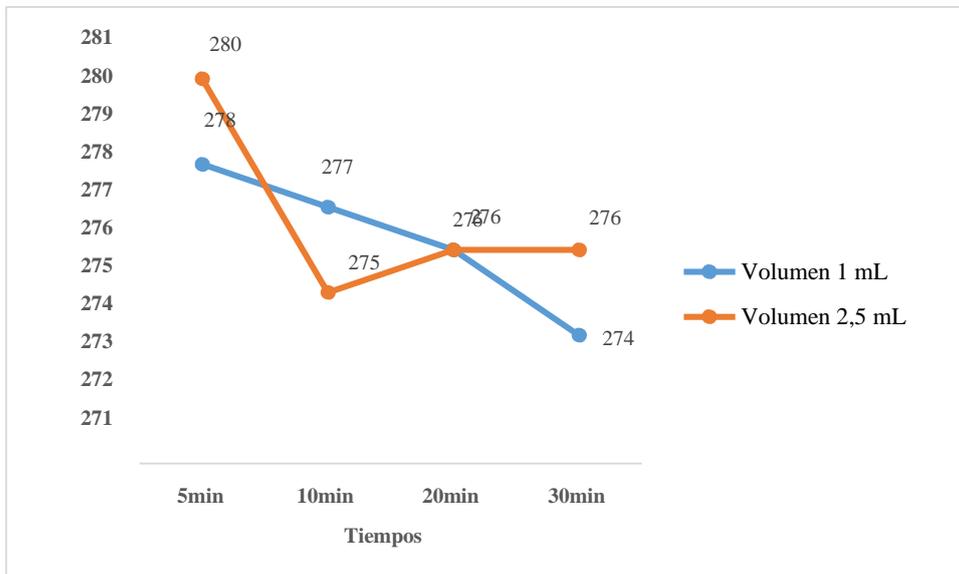


Figura 12. Cantidad eliminada de *E. coli*.



Anexo 3: Panel fotográfico

Figura 13. Recolección de la muestra de agua del sector El Molino



Figura 14. Aplicación del tratamiento de aguas residuales

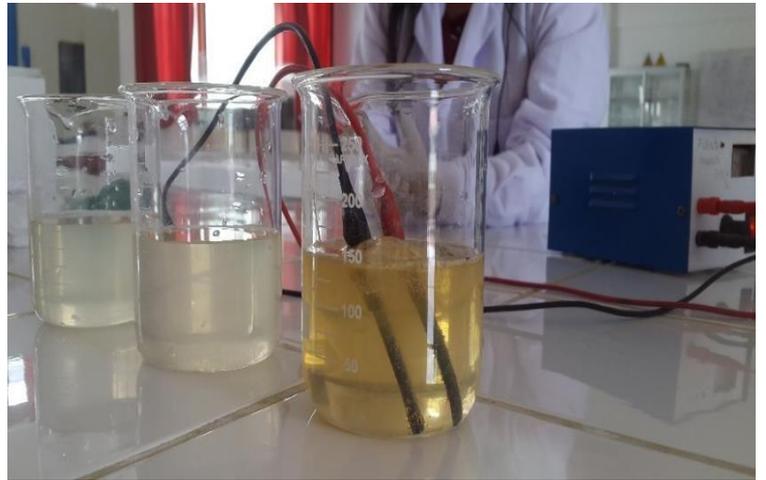


Figura 15. Reacción de H_2O_2 + agua residual + corriente eléctrica

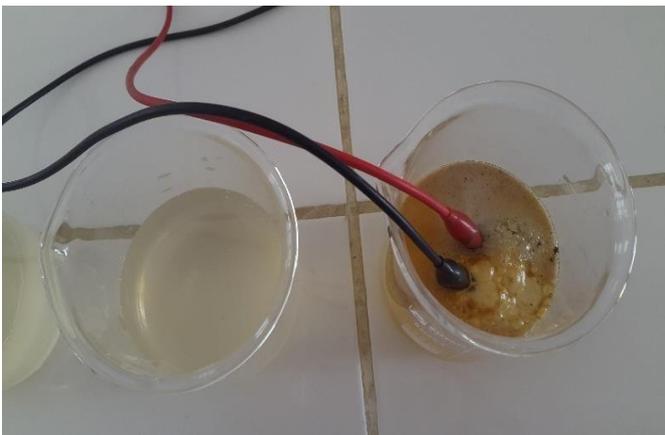


Figura 16. Preparación y siembra en los tubos con caldo Lauril Sulfato



Figura 17. Prueba de confirmación de Coliformes totales

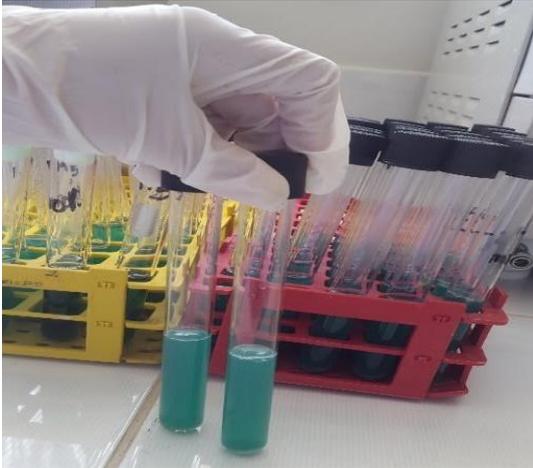


Figura 18. Prueba de confirmación de *E. coli*, (placa 1: presencia de Coliformes fecales, placa 2: ausencia de coliformes fecales)

