

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y
AMBIENTAL**



**“TRATAMIENTO ELECTROQUÍMICO PARA REMOVER
SÓLIDOS SUSPENDIDOS DEL AGUA PROCEDENTE DE
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL
(PTAR) - JAÉN - 2020”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL**

Autor: Bach. Milagros Esteffani, SonapoTroya

Asesor: MsC. Segundo Alipio, Cruz Hoyos

JAÉN - PERÚ, ABRIL, 2023

NOMBRE DEL TRABAJO

TRATAMIENTO ELECTROQUÍMICO_V1.pdf

AUTOR

Milagros Sonaco

RECuento DE PALABRAS

6857 Words

RECuento DE CARACTERES

34115 Characters

RECuento DE PÁGINAS

40 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

1021.1KB

FECHA DE ENTREGA

Apr 18, 2023 11:06 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Apr 18, 2023 11:06 AM GMT-5**● 17% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 16% Base de datos de Internet
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 9% Base de datos de trabajos entregados

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 02 de mayo del año 2023, siendo las 09:00 horas, se reunieron de manera presencial los integrantes del Jurado:

Presidente : Mariela Nuñez Figueroa.
Secretario : Luis Arturo Gil Ramírez.
Vocal : Delicia Liliana Bazán Tantaleán, para evaluar la Sustentación del Informe Final:

- () Trabajo de Investigación
(x) Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado:

"Tratamiento Electroquímico para remover sólidos suspendidos del agua procedente de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) – Jaén, 2020", presentado por estudiante/egresado o Bachiller **Milagros Esteffani Sonapo Troya**, de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental.

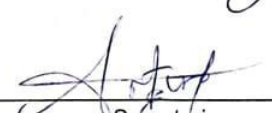
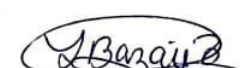
Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad ()
Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (16) |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 9:50 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

 _____ Presidente	
 _____ Secretario	 _____ Vocal

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
I. INTRODUCCIÓN.....	3
II. OBJETIVOS	6
2.1. Objetivo general	6
2.2. Objetivos específicos.....	6
III. MATERIALES Y MÉTODOS	7
3.1. Ubicación del área de estudio.....	7
3.2. Población	8
3.3. Muestra	8
3.4. Muestreo	8
3.5. Metodología.....	9
3.5.1. Construcción de la celda electroquímica a escala de laboratorio para los experimentos	9
3.5.2 Caracterización físico química del agua procedente de la PTAR – Jaén, antes del tratamiento electroquímico	10
3.5.3. Determinación de la concentración de sólidos suspendidos del agua procedente de la PTAR Jaén, después del tratamiento electroquímico	14
3.5.4. Determinación el porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos del agua procedente de la PTAR – Jaén.....	15
IV. RESULTADOS.....	18
4.1. Construcción de la celda electrolítica	18
4.2. Caracterización física y químicamente del agua procedente de la PTAR – Jaén, antes del tratamiento electroquímico.	19
4.2.1. Determinación del pH	19

4.2.2. Determinación de la conductividad eléctrica	20
4.2.3. Medición del oxígeno disuelto	21
4.2.4. Cálculo de los sólidos suspendidos antes del tratamiento electroquímico.....	22
4.3.Determinación de los sólidos suspendidos después del tratamiento electroquímico	23
4.4. Determinación del porcentaje de remoción de sólidos suspendidos del agua residual de la PTAR- Jaén, empleando el proceso electroquímico	25
V. DISCUSIÓN	29
VI. CONCLUSIONES	31
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	33
DEDICATORIA	36
AGRADECIMIENTO	37
ANEXOS	38

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1:</i> Ensayos de electrocoagulación realizados.....	15
<i>Tabla 2:</i> Parámetros para el proceso electroquímico... ..	16
<i>Tabla 3:</i> Parámetros para el proceso electroquímico... ..	17
<i>Tabla 4:</i> Lectura de pH y promedio... ..	19
<i>Tabla 5:</i> Lectura de la conductividad eléctrica	20
<i>Tabla 6:</i> Lectura del oxígeno disuelto... ..	21
<i>Tabla 7:</i> Solidos suspendidos antes de la electrolisis.....	22
<i>Tabla 8:</i> Solidos suspendidos después de la electrolisis.....	23
<i>Tabla 9:</i> Prueba de normalidad de Shapiro Wilk... ..	24
<i>Tabla 10:</i> Prueba t student para la diferencia de concentraciones de los sólidos suspendidos antes y después del proceso electroquímico.....	24
<i>Tabla 11:</i> Resultados del porcentaje de remoción para emplear un modelo estadístico de diseño Box – Behnken... ..	25
<i>Tabla 12:</i> Efectos estimados para la eficiencia de remoción... ..	26
<i>Tabla 13:</i> Coeficiente de regresión para el porcentaje de eficiencia de la remoción de los sólidos suspendidos del agua de la PTAR- JAEN	27
<i>Tabla 14:</i> Valores óptimos del proceso electroquímico... ..	28

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1:</i> Vista georreferenciada de la planta de tratamiento de aguas residuales del Distrito de Jaén	7
<i>Figura 2:</i> Secuencia del muestreo del agua residual de la PTAR – JAEN	8
<i>Figura 3:</i> Construcción de celdas electrolíticas	10
<i>Figura 4:</i> Lectura del pH de las muestras de agua de la PTAR – JAEN.....	11
<i>Figura 5:</i> Lectura de la conductividad eléctrica.....	12
<i>Figura 6:</i> Secado y pesado del papel filtro.....	12
<i>Figura 7:</i> Medición del oxígeno disuelto	14
<i>Figura 8:</i> Celdas electrolíticas en paralelo	18
<i>Figura9:</i> Ph versus ensayos realizados.....	19
<i>Figura 10:</i> Conductividad eléctrica versus ensayos realizados.....	20
<i>Figura 11:</i> Concentración del oxígeno disuelto versus ensayos realizados	21
<i>Figura 12:</i> Concentración de solidos suspendidos antes del proceso electroquímico	22
<i>Figura 13:</i> Concentración de sólidos en suspensión antes y después del proceso electroquímico... ..	23
<i>Figura 14:</i> Porcentaje de remoción diseño Box – Behnken... ..	26
<i>Figura 15:</i> Límites máximos permisibles.....	38
<i>Figura 16:</i> Muestreo del agua de la PTAR – Jaén	39
<i>Figura 17:</i> Electrolisis del agua	39
<i>Figura 18:</i> Caracterización del agua residual en el laboratorio de Química	40
<i>Figura 19:</i> Construcción de las celdas electroquímicas a escala de laboratorio... ..	40

RESUMEN

El agua residual municipal contiene partículas coloidales y/o aceites, posee propiedades ionizantes, por lo tanto, pueden reaccionar en procesos electroquímicos. El problema de investigación fue: La elevada presencia de sólidos suspendidos del agua procedente de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la provincia de Jaén – Cajamarca, superando los límites máximos permisibles. El objetivo fue remover los sólidos suspendidos de las aguas residuales proveniente de la PTAR, empleando el proceso electroquímico. La hipótesis planteada fue el tratamiento electroquímico remueve los sólidos suspendidos del agua de la planta de tratamiento de aguas residuales. El método investigativo utilizado fue el inductivo deductivo, el tipo de investigación fue experimental. La caracterización en cuanto a los sólidos totales en suspensión dio como resultado 62.61 ppm. El proceso electroquímico empleó dos electrodos de aluminio a una distancia de cinco centímetros por cada celda y logró hacer disminuir los sólidos suspendidos a 37.23 ppm. Se utilizó el estadístico t de student para los 13 ensayos propuestos, obteniendo un valor de t experimental de 23.693 mayor que el t tabulado 1.783 por lo tanto, existió diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos antes y después del proceso electroquímico. La eficiencia remoción producida fue de 59.40 %. Se optimizó la eficiencia de remoción.

Palabras claves: agua residual doméstica, electroquímica, remoción

ABSTRACT

Municipal wastewater, as it contains colloidal particles and/or oils, has ionizing properties, therefore, it can react in electrochemical processes. The research problem was: the high presence of suspended solids in the water from the wastewater treatment plant (WWTP) in the province of Jaen - Cajamarca, exceeding the maximum permissible limits. The objective was: to remove the suspended solids from the WWTP, using an electrochemical process. The proposed hypothesis was: the electrochemical treatment removes the suspended solids from the water of the wastewater treatment plant. The research method used was inductive deductive, the type of research was experimental. The characterization in terms of total suspended solids resulted in 62.61 ppm. The electrochemical process used two aluminum electrodes at a distance of five centimeters for each cell and managed to reduce the suspended solids to 37.23 ppm. The student's t statistic was used for the 13 proposed tests, obtaining an experimental t value of 23.693 greater than the tabulated t 1.783, therefore, there were statistically significant differences between the treatments before and after the electrochemical process. The removal efficiency produced was 59.40%. Removal efficiency was optimized.

Keywords: domestic wastewater, electrochemistry, removal.

I. INTRODUCCIÓN

Con el crecimiento poblacional de la humanidad cada vez se vuelve un reto disminuir la contaminación ambiental, lo cual implica realizar gestionar e innovar el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Cada año a nivel global se destinan más de mil millones de dólares en Ayuda Oficial al Desarrollo (AOD) a construir plantas de tratamiento de aguas residuales. Muchas de estas plantas no funcionan o funcionan parcialmente, esta situación se debe a problemas de diseño, operación y mantenimiento, que incluyen errores a la hora de elegir la tecnología adecuada, una capacidad deficiente, financiamiento insuficiente para la operación y el mantenimiento y problemas aguas arriba, todo ello agravado por obstáculos institucionales.

(WaterAid, 2019).

Así mismo en el Perú una problemática de hoy en las PTAR es que no cuentan con instrumentos ambientales aprobados, cuentan con tecnologías inadecuadas para poder cumplir las normas ambientales, de las 118 PTAR con información de coliformes termotolerantes en el afluente y efluente, se encontró que el 82% de los tratamientos no logran alcanzar una eficiencia de remoción de los sólidos suspendidos para cumplir con el valor de dicho parámetro en los LMP. En 81 de las PTAR operativas, es decir, el 47%, los valores de los parámetros de los afluentes reportados por las empresas prestadoras son inferiores a todos los establecidos en los VMA. El 21% de las PTAR operativas se sobrepasa uno o más parámetros de VMA, mientras que en el 32% restante no se monitorean los parámetros de VMA. SUNASS (Rosi Luna, 2010).

La ciudad de Jaén cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales PTAR que se ubica en la zona de Linderos del distrito de Jaén, emplea dos tratamientos: el tratamiento primario que emplea rejillas de desbaste y el sedimentador, seguido del tratamiento secundario con 3 pozas de oxidación anaeróbicas y 3 pozas de oxidación facultativas. (CONAGUA, 2005).

De acuerdo al Decreto Supremo N° 003-2010 – MINAM, los límites máximos permisibles (LMP) para los efluentes de una PTAR son los siguientes: Aceites y grasas (20 ppm), coliformes termo tolerantes (100000NMP), DBO (100 ppm), DQO (200 ppm), pH (6.5-8.5), temperatura ($< 35^{\circ}\text{C}$) y sólidos totales (150 ppm: máximo 45 ppm sólidos suspendidos y 105 ppm sólidos diluidos). La escasa práctica del manejo de aguas domésticas (negras, grises y con producto de limpieza), industriales y urbanas trae como consecuencia impactos negativos en las aguas residuales municipales, elevando los valores de los sólidos totales en suspensión. Quinde (2017) en su tesis: *“Evaluación del efecto depurador de guadua angustifolia kunth de aguas residuales de la ciudad de Jaén - Cajamarca”* señala que, los sólidos totales suspendidos de los efluentes de las estaciones 5, 6 y 7 de la PTAR de Jaén reportaron valores de 33, 36 y 154 mg/L respectivamente (p. 120). Sánchez (2019) en su tesis *“Optimización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales mediante el sistema de lodos activados de la provincia de Jaén – Cajamarca 2019”* manifiesta que los sólidos totales suspendidos del afluente de 168.1mg/L y 24. 13 mg/l del efluente (p.27). En ambas investigaciones se observa presencia de los sólidos suspendidos en el efluente. En el caso de la investigación de Sánchez el valor de sólidos suspendidos del afluente es superior a los límites máximos permisibles. Alaya y Barboza (2018) en su investigación *“Análisis de la eficiencia del proceso electroquímico para el tratamiento de las aguas residuales de la PTAR Jaén, Cajamarca, 2017”* manifiestan que, aplicando el método electroquímico al agua residual de la PTAR-Jaén lograron reducir los coliformes totales de valores mayores a 1600 hasta 1.8 unidades de NMP (número más probable), así mismo recomendó investigar este tipo de tratamiento, el cual podría remover otros parámetros como los sólidos suspendidos. (p.60)

Arango (2005) señala que, las partículas coloidales y/o aceites del agua residual domestica poseen carga y se movilizan en un campo eléctrico, estas partículas son sujetas a ionizarse, sufrir reacciones de electrólisis o formar radicales libres que alteraran las propiedades físicas y químicas del agua y de los contaminantes, resultando en un estado reactivo y excitado lo cual es causa de la liberación, destrucción o insolubilidad de los contaminantes precipitando. Rahmani (2008) en su investigación titulada: *“Removal of water turbidity by the electrocoagulation method”* utilizó procesos electroquímicos para depurar aguas con elevada turbidez, empleó tensiones de 10, 15, 20, 25, 30 V, electrodos de Al, Fe y Sn, tiempo de electrolisis 0 a 40 min., distancia de electrodos 2 cm y pH = 7,5. Entre sus resultados

mostró la eficiencia de remoción de sólidos a 20 voltios, encontró que en 20 minutos la eficiencia de remoción utilizando electrodos de aluminio (Al), fierro (Fe) y estaño (Sn) fue del 93, 91 y 51 por ciento, respectivamente. Barboza (2011) en su publicación científica titulada: *“Reducción de la carga de contaminantes de las aguas residuales de la Planta de Tratamiento de Totorá – Ayacucho, empleándola técnica de electrocoagulación”*, investigó la electrocoagulación como una alternativa eficaz para remover sólidos totales, sólidos suspendidos, turbidez, coliformes fecales y DBO₅, construyó celdas electroquímicas, trabajando a 25 minutos, 12,5 mA/cm² y 21 – 23 V, pH de 7,33 - 7,34, removi6 la turbidez en 94,65 %. Así mismo Westres (2013) en su investigación titulada: *“Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales procedentes de una planta productora de sulfatos mediante el proceso electroquímico de electrocoagulación”*, evaluó la tecnología de electrocoagulación, con un efluente procedente de una planta productora de sulfatos de zinc y magnesio, logró disminuir la concentración de metales pesados tales como boro, cromo, hierro, f6sforo, molibdeno, níquel, plomo, talio y zinc, sus variables 6ptimas fueron la densidad de corriente (5 A/dm²), pH de trabajo (6–9), caudal de entrada del efluente al reactor (14 mL/s).

La investigación consistió en aplicar proceso electroquímico a muestras de agua residual. El problema de investigación fue la presencia de sólidos suspendidos en el agua residual, los cuales superaron los límites máximos permisibles. Por lo cual se planteó el proceso electroquímico, como un tratamiento efectivo para removerlos. El propósito de la investigación fue dar a conocer los procesos electroquímicos, ya que estos son utilizados como una alternativa de tratamiento para remover aguas con elevada presencia de color, turbiedad y solidos suspendidos. El trabajo se justifica porque los procesos electroquímicos son tecnologías limpias, si bien es cierto requieren de fuentes de energí6, en estudios posteriores podrí6an plantearse el empleo de aquellas generadas por fuentes naturales o llamadas renovables como la solar. El objetivo fue determinar el porcentaje de remoci6n de los sólidos suspendidos de la planta de tratamiento del agua procedente (PTAR) - Jaén – 2020.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

-Remover los sólidos suspendidos de la planta de tratamiento del agua procedente del agua residual (PTAR) empleando proceso electroquímico Jaén – 2020.

2.2. Objetivos específicos

-Construir una celda electroquímica a escala de laboratorio para los experimentos.

-Caracterizar física y químicamente al agua procedente de la PTAR – Jaén, antes del tratamiento electroquímico.

-Determinar la concentración de los sólidos suspendidos del agua procedente de la PTAR Jaén, después del tratamiento electroquímico.

-Determinar el porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos del agua procedente de la PTAR – Jaén, después del tratamiento electroquímico.

.

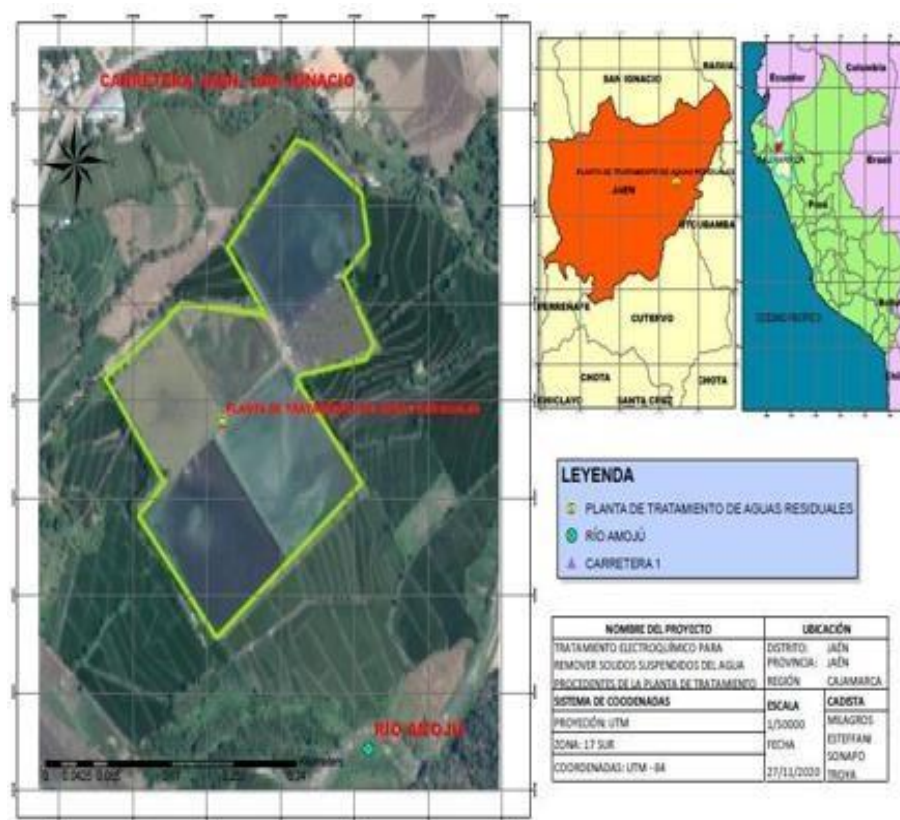
III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del área de estudio

La investigación se desarrolló en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del distrito de Jaén, en el laboratorio de química y el laboratorio de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén, que se encuentran ubicados en la provincia de Jaén, región Cajamarca.

Figura 1

Vista georreferenciada de la Planta de Tratamiento de aguas residuales del Distrito de Jaén



3.2. Población

La población fue el volumen del agua residual doméstica de la PTAR que fue ubicada en Linderos, del distrito y provincia de Jaén, región de Cajamarca.

3.3. Muestra

La muestra fue aproximadamente de 16 L, fue lo necesario para proceder con la investigación, pues se requirió de 13 ensayos en los cuales se utilizó 1 L por ensayo, llevando al laboratorio un exceso para evitar algún imprevisto.

3.4. Muestreo

El muestreo fue no probabilístico y por conveniencia. El método empleado para la recolección de la muestra fue extraído del “Protocolo de Monitoreo de los recursos Hídricos”, el cual considera la recolección de muestras en un afluente para el Perú Protocolo de monitoreo de los recursos hídricos (2011)

Se utilizaron recipientes de plástico, se tomó la muestra por debajo de los 25 cm de la superficie, las muestras se trasladaron al laboratorio de Química de la Escuela de Ingeniería Forestal y Ambiental de la UNJ.

Figura 2

Secuencia del muestreo del agua residual de la PTAR - JAÉN



3.5. Metodología

3.5.1. Construcción de la celda electroquímica a escala de laboratorio para los experimentos.

Las celdas se construyeron en el domicilio ubicado en la Calle Orellana N°1136, Pueblo Nuevo Jaén, la puesta en funcionamiento se llevó a cabo en el Laboratorio de Química de la Universidad Nacional de Jaén.

El diseño de la investigación fue llevado a cabo mediante la aplicación de una electrolisis al agua residual procedente de las pozas de oxidación de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) – Jaén.

Se consiguieron 13 botellas de plástico de 2.5 litros los cuales fueron cortados por la mitad, el resultado fue un envase de plástico con una capacidad de 1000 mL., que albergó el agua residual doméstica. El material plástico utilizado fue el tradicional polietileno de alta densidad (PEAD) que es una resina económica, resistente a los impactos y proporciona una buena barrera contra una gran variedad de productos que incluyen soluciones ácidas o cáusticas.

Las placas de aluminio se consiguieron de un centro de reciclaje de productos usados, los que fueron lijados superficialmente con lija metálica N° 30, lo suficientemente gruesa para el desbaste o sea, eliminar cualquier rastro de óxido de alúmina (Al_2O_3) sobre su superficie y así facilitar la conducción de la corriente eléctrica sobre toda su superficie metálica. La conducción eléctrica fue mediante una red hecha con cable de cobre N° 12, la misma que fue conectada a una batería de auto de 13 placas. De acuerdo a la fabricación de la batería su capacidad fue de 36 Ah, lo cual garantizó corriente eléctrica continua (voltaje estable de 12 voltios) por un buen tiempo dado el bajo consumo de energía de parte de la celda.

Figura 3

Construcción de las celdas electrolíticas



3.5.2 Caracterización físico química del agua procedente de la PTAR – Jaén, antes del tratamiento electroquímico.

Calibración y medición del pH de la muestra de agua de la PTAR

Se siguió la norma ASTM D1293-95 la cual menciona los siguientes pasos a seguir:

- El pH metro se calibró con las soluciones tampón, las cuales fueron de valor pH 7.0 y pH 4.0 en vasos de precipitados.
- Se procedió agitar los contenidos con una bagueta de vidrio.
- Se enjuagó la sonda con el electrodo con agua destilada, se introdujo el electrodo en cada vaso.
- Cuando el display marco el valor del pH del tampón el equipo quedó calibrado.
- El electrodo se secó con un paño especial y quedó listo para realizar las mediciones.
- Se realizaron cinco mediciones introduciendo el electrodo del pH y anotando las cinco lecturas, se obtuvo el promedio y este se registró en tablas.

Figura 4

Lectura del pH de las muestras de agua de la PTAR - JAÉN



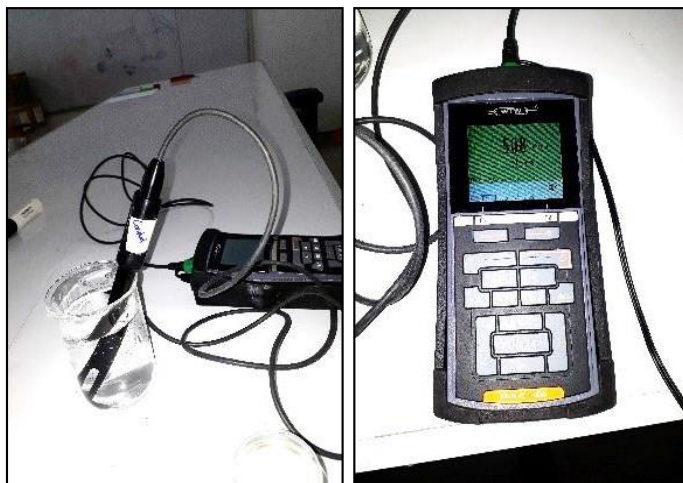
Medición de la conductividad eléctrica

Para la medición se referenció el método estándar ASTM 2510-B, el cual señala los siguientes pasos:

- La sonda del conductímetro se enjuagó con agua destilada. Se secó con un paño sin pelusa. Se colocó la sonda en un vaso de precipitación que contuvo 50 ml de agua residual doméstica.
- Se tuvo cuidado de no tocar con la sonda la superficie en ninguno de sus lados del vaso de precipitación.
- Se agitó la muestra del agua residual. Se presionó la tecla para la lectura de la conductividad eléctrica.

Figura 5

Lectura de la conductividad eléctrica



Cálculo de la concentración de sólidos suspendidos

Para calcular la concentración de sólidos suspendidos del agua residual doméstica de la PTAR-Jaén, se midió el volumen de 50 ml de agua residual en una probeta graduada y se siguió del método estándar ASTM 8158 y 8164, para el análisis de aguas residuales, la cual menciona los siguientes pasos:

- Se precalentó la estufa hasta los 103 – 105 ° C durante una hora.
- Con una pinza metálica se colocó a secar en las bandejas cuatro unidades de papel filtro estándar cuya porosidad está entre 5-11 μm . (micrómetros), de esta forma se pudo testear los sólidos suspendidos del agua residual de las 13 muestras.

Figura 6

Secado y pesado del papel filtro



- Se tomó lectura del peso de cada papel filtro seco en la balanza analítica.
- El peso al cual denominamos “A” fue expresado en miligramos. Se procedió a instalar la unidad de vacío del laboratorio; el cual consistió en un embudo Büchner, un matraz Kitasato de 500 mL y una bomba de vacío.
- Con la pinza metálica se colocó el papel filtro seco sobre el embudo Büchner. Se tomó una alícuota de 5 mL del volumen de agua residual doméstica para llevarlo a la unidad de vacío. Se procedió a encender el motor vacío, y se agregó la muestra sobre el papel filtro para su filtración a vacío.
- Después del filtrado, con una tenaza o pinza metálica se retiró el papel filtro del embudo Büchner hacia la estufa 103 – 105 ° C por una hora para eliminar la humedad.
- Terminado el secado, con la pinza se retiró el papel filtro hacia el interior de un desecador de vidrio, para que se enfríe sin adsorber humedad del medio ambiente.
- Se pesó nuevamente cada papel filtro seco en la balanza analítica y se registró expresándolo en miligramos a este peso nuevo se le denominó “B”. Para el cálculo de los sólidos suspendidos se aplicó la siguiente relación:

$$\text{Sólidos suspendidos (mg)} = \frac{B - A}{\text{Volumen de agua residual (L)}}$$

A: Peso del papel filtro seco antes de la filtración (en mg).

B: Peso del papel filtro después de la filtración (en mg).

Medición del oxígeno disuelto

La concentración del oxígeno disuelto fue medida en un multi parámetro digital, especialmente utilizada para el análisis del agua. Para su lectura se procedió de la siguiente manera:

- La sonda se lavó con una pizca de detergente industrial para retirar de su superficie contenidos de grasa adherida a la sonda.

- Con una pizeta se enjuagó con abundante agua destilada. Se secó la sonda con un paño exenta de pelusa.
- Se colocó el electrodo de la sonda en un vaso de precipitación que contuvo 50 ml de agua residual de la PTAR
- Se tuvo cuidado de no tocar la sonda con la superficie en ninguno de sus lados del vaso de precipitación.
- Se agitó la muestra del agua residual. Se presionó la tecla para la lectura final del oxígeno disuelto y se registraron las mediciones obtenidas.

Figura 7

Medición del oxígeno disuelto



3.5.3. Determinación de la concentración de sólidos suspendidos del agua procedente de la PTAR Jaén, después del tratamiento electroquímico.

Se ensayaron 13 muestras de agua residual doméstica de 1000 mL cada una y se vertieron sobre cada una de las cinco celdas electroquímicas, se tomó como base las tablas 1 y 2, se adicionó el peso de cloruro de sodio (NaCl) y se ajustó el pH (con gotas de bicarbonato de sodio (NaHCO_3)). En estas condiciones quedó lista para la electrolisis. Cada celda operó según las condiciones de la tabla mostrada.

Tabla 1*Ensayos de electrocoagulación realizados*

Nº Ensayo	Volumen (mL)	Peso NaCl (g)	pH ajustado (Unidades de pH)	Tiempo (minutos)
1	1000	6	4	20
2		30	4	20
3		6	9	20
4		30	9	20
5		6	6.5	10
6		30	6.5	10
7		6	6.5	30
8		30	6.5	30
9		18	4	10
10		18	9	10
11		18	4	30
12		18	9	30
13		18	6.5	20

3.5.4. Determinación el porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos del agua procedente de la PTAR – Jaén.

La remoción de sólidos suspendidos del agua procedente de la PTAR- Jaén, se determinó aplicando la siguiente relación matemática:

X: Peso de sólidos suspendidos al final de la electrolisis (mg).

Y: Peso de sólidos suspendidos antes de la electrolisis (mg). $Z = Y - X$

Z: Peso de sólidos suspendidos removidos por el tratamiento (mg).

$$\% \text{ Remoción de sólidos suspendidos} = \left[\frac{Z(\text{mg})}{Y(\text{mg})} \right] \times 100$$

Para identificar los parámetros adecuados y óptimos para reducir el porcentaje de remoción de los sólidos en suspensión del agua residual del PTAR, se empleó el análisis estadístico de superficie de respuesta se determinó las condiciones óptimas de operación que minimizan los costos de operación, considerando todos los efectos y las interacciones de las variables presentadas.

Tabla 2

Parámetros para el proceso electroquímico

<u>Valor Arbitrario</u>	<u>NaCl (g/L)</u>	<u>pH</u>	<u>Tiempo (min)</u>
Alto (+)	30	9	30
Medio (0)	18	6.5	20
<u>Bajo (-)</u>	<u>6</u>	<u>4</u>	<u>10</u>

Fuente: Adaptación de la investigación (GilPavas, et al. 2016).

Para optimizar el proceso se construyó una base de datos de acuerdo al modelo Box – Behnken, para las 13 muestras del modelo estadístico, adaptadas de la investigación: Gómez (2016). “Optimización de los costos de operación del proceso de electro-oxidación para una planta de tratamiento de aguas mediante análisis estadístico de superficie de respuesta”.

Tabla 3*Parámetros para el proceso electroquímico*

Nº Ensayo	NaCl	pH	Tiempo (min)
1	6	4	20
2	30	4	20
3	6	9	20
4	30	9	20
5	6	6.5	10
6	30	6.5	10
7	6	6.5	30
8	30	6.5	30
9	18	4	10
10	18	9	10
11	18	4	30
12	18	9	30
13	18	6.5	20

Fuente: Adaptación de la investigación (GilPavas, et al., 2016)

IV. RESULTADOS

4.1. Construcción de la celda electrolítica

Se utilizaron 13 botellas de material plástico polietileno de alta densidad de 2.5 litros, los cuales fueron cortados por la mitad, tratando de que contenga la capacidad de 1000 mL, que sirvió para que contenga el agua residual. Para la construcción se emplearon placas de aluminio, las cuales se consiguieron de un centro de reciclaje de productos usados, estas fueron lijadas para eliminar el óxido de alúmina (Al_2O_3) de su superficie y así facilitar la conducción de la corriente eléctrica sobre toda su superficie metálica. La conducción eléctrica fue hecha con cable de cobre N° 12, la misma que fue conectada a una batería de auto conteniendo 13 placas. La capacidad de la batería fue de 36 Ah, lo cual garantizó corriente eléctrica continua (voltaje estable de 12 voltios) por un buen tiempo dado el bajo consumo de energía de parte de la celda.

Figura 8

Celdas electrolíticas en paralelo



4.2. Caracterización física y químicamente del agua procedente de la PTAR – Jaén, antes del tratamiento electroquímico.

4.2.1. Determinación del pH

El pH fue el resultado del promedio de cinco lecturas

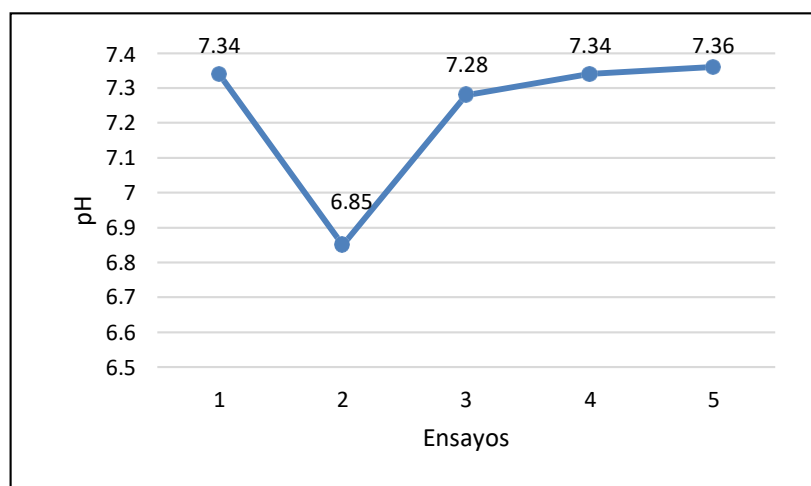
Tabla 4

Lectura del pH y promedio

Ensayo	Valor medido
1	7.34
2	6.85
3	7.28
4	7.34
5	7.36
Promedio	7.23

Figura 9

pH versus ensayos realizados



4.2.2. Determinación de la conductividad eléctrica

El valor de la conductividad eléctrica fue el resultado de promediar cinco lecturas.

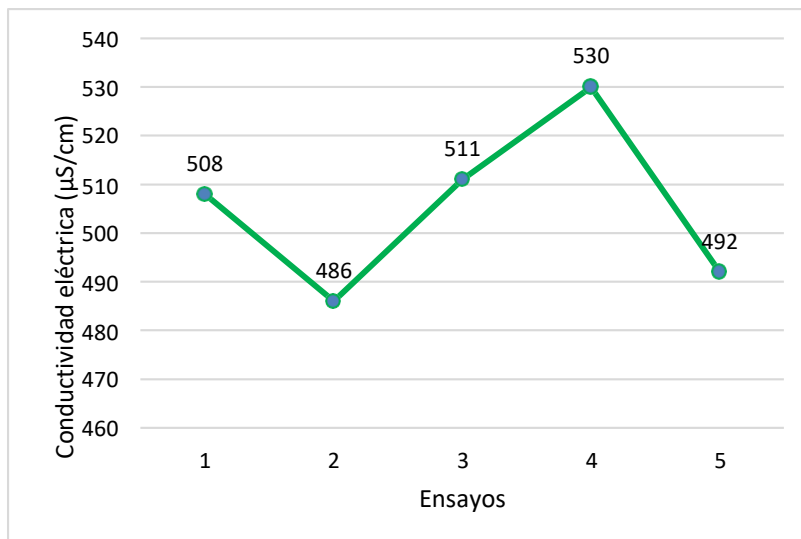
Tabla 5

Lecturas de la conductividad eléctrica

Ensayo	Valor medido ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
1	508
2	486
3	511
4	530
5	492
Promedio	505.2

Figura 10

Conductividad eléctrica versus ensayos realizados



4.2.3. Medición del oxígeno disuelto

El valor del oxígeno disuelto es un parámetro que indica la buena calidad de agua (valores superiores a los 4 ppm O₂) o la baja calidad del agua (valores por debajo de 4 ppm O₂).

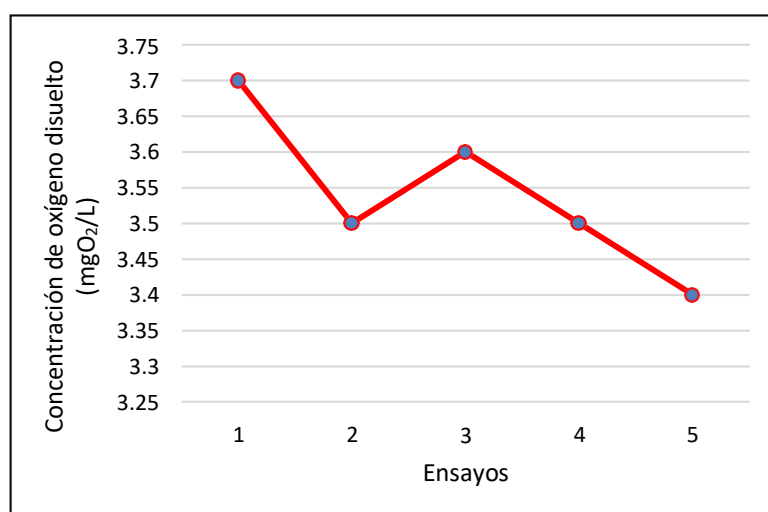
Tabla 6

Lecturas del oxígeno disuelto

Ensayo	Valor medido (ppm O ₂ /L)
1	3.7
2	3.5
3	3.6
4	3.5
5	3.4
Promedio	3.5

Figura 11

Concentración del oxígeno disuelto versus ensayos realizados



4.2.4. Cálculo de los sólidos suspendidos antes del tratamiento electroquímico

Se tomó una muestra de 50 ml de cada una de las 13 celdas electroquímicas.

Tabla 7

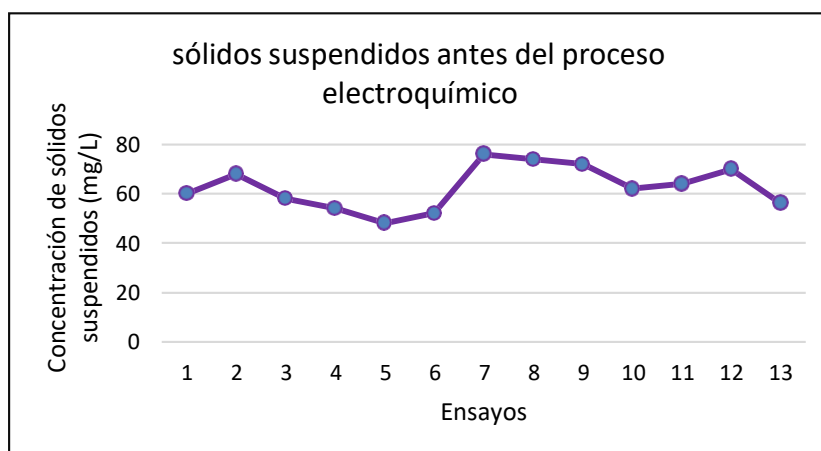
Solidos suspendidos (SS) antes de la electrolisis

Nº Ensayo	Volumen de muestra (mL)	Wpf (g)	Wpf (g)+ Wr (g)	Concentración Solidos suspendidos (ppm)
1	50	823.4	826.4	60
2		934.8	938.2	68
3		783.5	786.4	58
4		983.7	986.4	54
5		1112.4	1114.8	48
6		1011.6	1014.2	52
7		711.4	715.2	76
8		862.9	866.6	74
9		1014.2	1017.8	72
10		1350.7	1353.8	62
11		932.9	936.1	64
12		1171.8	1175.3	70
13		907.4	910.2	56
Promedio				62.61

Wpf : Peso del Papel de filtro, Wr: Peso del retenido

Figura 12

Concentración de los sólidos suspendidos antes del proceso electroquímico



4.3. Determinación de los sólidos suspendidos después del tratamiento electroquímico

Tabla 8

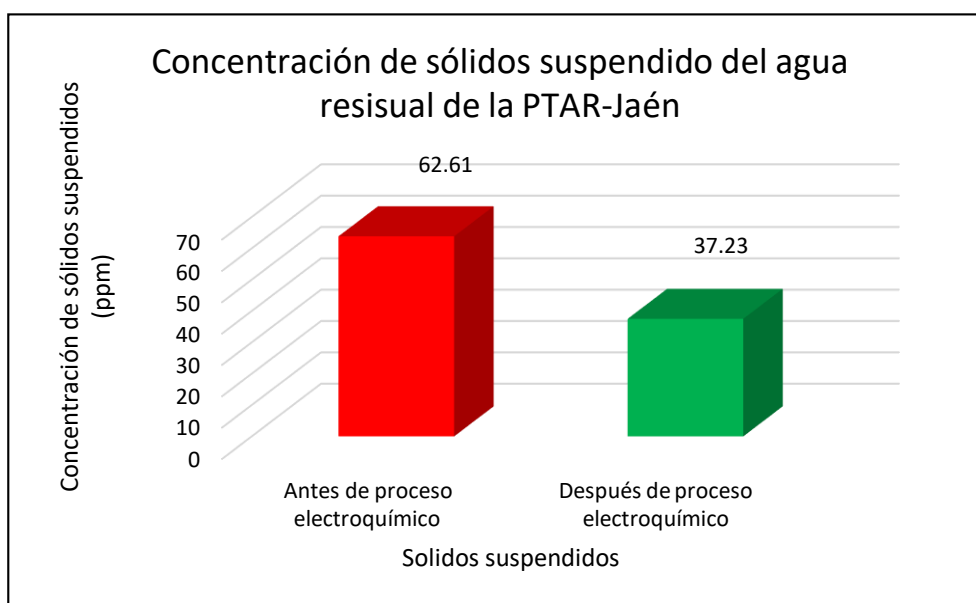
Sólidos suspendidos (SS) después de la electrolisis

N° Ensayo	Volumen de muestra (mL)	WPf (g)	Wpf (g)+ Wr (g)	Concentración Sólidos suspendidos (ppm)	Concentración Sólidos suspendidos removidos (ppm)
1	50	952.4	953.7	26	34
2		842.4	843.6	24	44
3		1126.9	1128.2	26	32
4		1001.1	1002.1	20	34
5		910.1	911.2	22	26
6		862.8	863.8	20	32
7		1212.7	1214.2	30	46
8		875.8	877.1	26	48
9		918.7	920.3	32	40
10		1232.2	1233.4	24	38
11		889.4	890.5	22	42
12		905.1	906.5	28	42
13		982.2	983.7	30	26
Promedio				37.23	

Wpf :: Peso del Papel de filtro, Wr: Peso del retenido

Figura 13

Concentración de sólidos en suspensión antes y después del proceso electroquímico



Contrastación de hipótesis

La hipótesis planteada fue: el tratamiento electroquímico remueve los sólidos suspendidos del agua residual de la PTAR- Jaén

Prueba de normalidad

Se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, para comprobar normalidad de datos de la diferencia de medias de la concentración de sólidos suspendidos, antes y después del proceso electroquímico.

Tabla 9

Prueba de normalidad de Shapiro Wilk

DIFERENCIA	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	,949	13	,584

Como la significancia p valor fue 0.584 mayor a 0.05 los datos presentaron normalidad. Por lo tanto, se empleó la t de student para la diferencia medias entre las concentraciones de sólidos suspendidos antes y después del proceso electroquímico.

Prueba t de student para la diferencia de las concentraciones de solidos suspendidos del agua residual de la PTAR- Jaén antes y después del proceso electroquímico

Tabla 10

Prueba "t" para la diferencia de concentraciones de solidos suspendidos antes y después del proceso electroquímico

DIFERENCIA SÓLIDOS	t	gl	Sig. (bilateral)
SUSPENDIDOS	23.693	12	,000

El p valor de significancia fue menor a 0.05 por lo tanto las varianzas no son iguales, el valor de la t experimental fue 23.693 mayor a la t tabulado 1.782, por lo tanto, existen diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones de sólidos suspendidos del agua residual de la PTAR- Jaén, antes y después del tratamiento electroquímico

4.4. Determinación del porcentaje de remoción de sólidos suspendidos del agua residual de la PTAR- Jaén, empleando el proceso electroquímico

Los resultados se observan en la tabla

Tabla 11

Resultados del porcentaje de remoción para emplear un modelo estadístico del diseño Box - Behnken

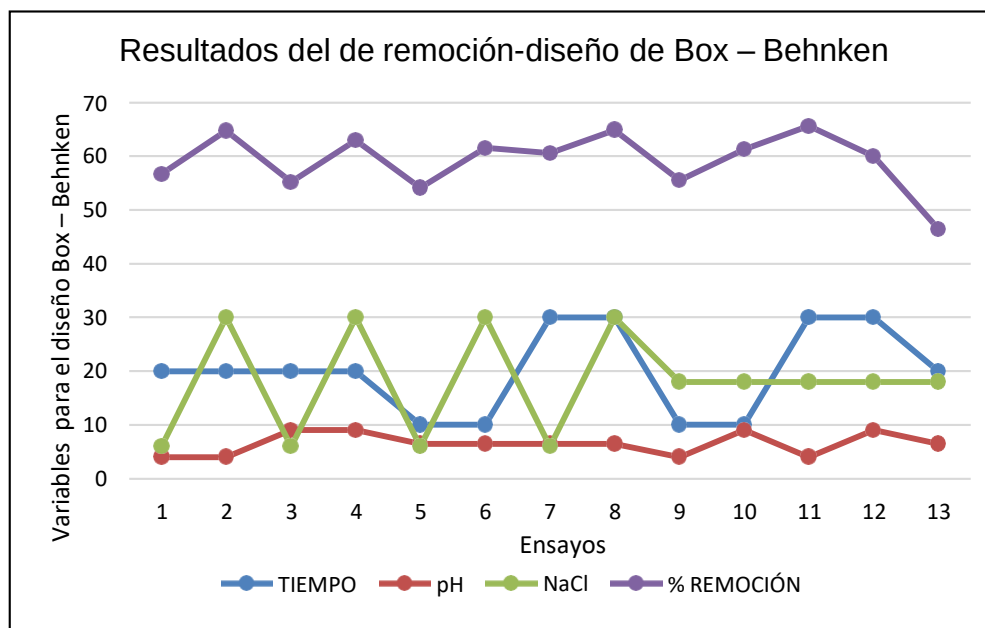
N° Ensayo	NaCl (g/L)	pH	Tiempo (min)	Sólidos suspendidos (ppm)	Peso Sólidos suspendidos removidos (ppm)	Remoción (%)
1	6	4.0	20	60	34	56.67
2	30	4.0	20	68	44	64.71
3	6	9.0	20	58	32	55.17
4	30	9.0	20	54	34	62.96
5	6	6.5	10	48	26	54.17
6	30	6.5	10	52	32	61.54
7	6	6.5	30	76	46	60.53
8	30	6.5	30	74	48	64.86
9	18	4.0	10	72	40	55.56
10	18	9.0	10	62	38	61.29
11	18	4.0	30	64	42	65.63
12	18	9.0	30	70	42	60.00
13	18	6.5	20	56	26	46.43
Promedio						59.40

Fuente: Adaptación de la investigación (GilPavas et al., 2016).

La eficiencia de remoción promedio de la remoción de sólidos suspendidos de la muestra de agua residual de la PTAR Jaén, aplicando el método electroquímico fue de 59.40%.

Figura 14

Porcentaje (%) de remoción, diseño Box - Behnken



Optimización de la eficiencia de remoción.

Para la optimización de la eficiencia de remoción se empleó los efectos estimados de la eficiencia de remoción, empleando el programa Statgraphics.

Tabla 12

Efectos estimados para la eficiencia de remoción

Efecto	Estimación	Error estándar	V.I.F
Promedio	46.43	0.492353	
A	6.8825	0.603007	1.00
B	-0.7875	0.603007	1.00
C	4.615	0.603007	1.00
AA	13.01025	0.887602	1.01
AB	-0.125	0.852781	1.01
AC	-1.52	0.852781	1.00
BB	13.7925	0.887602	1.01
BC	-5.68	0.852781	1.01
CC	14.5875	0.887602	1.01

A: NaCl, B: pH y C: Tiempo en minutos

Fuente: Statgraphics

Análisis: Errores estándar basados en el error total con 5 g/L. La tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de los efectos, el cual mide su error muestral.

Tabla 13

Coefficiente de regresión para el porcentaje de eficiencia de la remoción de los sólidos suspendidos del agua de la PTAR - JAÉN

Coefficiente constante	Estimado 110.919
A	-1.211
B	-12.192
C	-1.835
AA	0.045
AB	0.002
AC	0.006
BB	1.103
BC	-0.114
CC	0.073

Fuente: Statgraphics

Con los datos de las tablas 11, 12 y 13 ingresados al programa Statgraphics, se presentó la ecuación de regresión. El algoritmo del modelo para la optimización del porcentaje de eficiencia de remoción de los sólidos suspendidos del agua residual de la PTAR, en el proceso electroquímico fue el siguiente:

$$\begin{aligned}
 &110.919 - 1.21083xNaCl - 12.1922xpH - 1.8345xtiempo \\
 &\quad + 0.454948xNaCl^2 - \\
 &0.00208333xNaClxpH. 0.00633xNaClxtiempo + 1.1034xpH^2 \\
 &\quad - 0.1136xpHxtiempo + 0.0729375xtiempo^2
 \end{aligned}$$

Tabla 14*Valores óptimos del proceso electroquímico*

<u>Factor</u>	<u>Bajo</u>	<u>Alto</u>	<u>Optimo</u>
NaCl(g/L)	6	30	30
pH	4	9	4
Tiempo (minutos)	10	30	30

La tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, que maximiza la eficiencia de remoción sobre la región indicada.

Utilizando el programa Statgraphics, y reemplazando los valores óptimos NaCl (30 g/L), pH = 4 y tiempo (30), la eficiencia de remoción se maximizó al 75.40 % de remoción.

V. DISCUSIÓN

La investigación realizada describe un método alternativo para la depuración de aguas contaminadas, independientemente de la procedencia de los agentes contaminantes. Para el presente trabajo se tuvo contaminantes de naturaleza orgánica, propia del agua residual doméstica de la que se emite diariamente en la planta de tratamiento de Jaén. Al realizarse la caracterización del agua residual se encontró un pH de 7.23 de forma similar describe Rahmani, (2008) que determinó un pH de 7.5 y (Guerrero y Jibaja, 2019) que encontró un pH = 7.52 y (Westres, 2013) encontró un rango de pH entre 6 – 9, similarmente (Barboza, 2011) encontró pH regulado entre 7,33 - 7,34; ésta neutralidad del pH con ligeras trazas de alcalinidad se explica por qué el agua materia de estudio al haber sido agua potable arrastra contenidos de detergentes que por su composición afecta la alcalinidad de forma muy ligera. Respecto a la conductividad eléctrica en la investigación se determinó 505.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a diferencia de (GilPavas et al., 2016) que encontró 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ valor muy alto en sales disueltas que se explica por haberse tratado aguas contaminadas con el colorante amarillo 23, de otra parte (Guerrero y Jibaja, 2019) determinaron que la conductividad eléctrica es 382.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ valor similar al encontrado en la presente investigación. Además, al evaluar la concentración de oxígeno disuelto (OD) se encontró que (Guerrero y Jibaja, 2019) reportó OD = 3.33 mg/L y una demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5 = 140.00 mg/L) lo cual es característico del agua residual doméstica, valor cercano al encontrado en esta investigación OD = 3.5 ppm, lo cual indica la contaminación orgánica por el arrojado de desechos orgánicos que se vierten al desagüe doméstico. La baja calidad del agua se explica por qué supera el límite máximo permitido (100 ppm.) que exige la normativa del Decreto Supremo N° 003-2010 – MINAM.

Respecto a la presencia de sólidos suspendidos en esta investigación se encontró que antes del tratamiento el agua residual presentó un promedio de 62.61 ppm, lo cual está por encima del máximo permitido por la norma (150 ppm sólidos totales: máximo 45 ppm sólidos suspendidos y 105 ppm sólidos diluidos), después del tratamiento por electrocoagulación se redujo los SS hasta alcanzar en promedio los 25.38 ppm, lo que significó haber tenido una eficiencia promedio del 59.40 % al haberse eliminado 37.23 ppm SS. A diferencia de Rahmani (2008), que logró una eficiencia del 93 %, empleando al igual que esta investigación electrodos de aluminio (Al) con la diferencia de utilizar más tiempos (desde 0 a 40 minutos) y mayores voltajes (desde 10 hasta 30 voltios) con una distancia de dos centímetros de separación entre electrodos. La presente investigación utilizó tiempos desde 10 a 30 minutos y con voltaje único de 12 voltios y una capacidad de 74 Ah (amperios por hora) procedente de una batería de automóvil y una distancia promedio de cinco centímetros de separación entre electrodos.

A pesar de la importante remoción de sólidos suspendidos (59.40 %), aún se halla por debajo del 93 % hallado por Rahmani (2008). Una de las razones sería que en nuestra investigación se utilizaron cables cilíndricos de cobre N°12 para el armado y conducción de la corriente eléctrica, y es posible que si se hubiera utilizado barras o platinas de cobre se hubiere logrado mejor transporte de la corriente eléctrica y por ende mejor polaridad de los coágulos de materia orgánica. Paralelamente, (Barboza, 2011) reportó condiciones que le permitieron remover no solamente sólidos suspendidos, sino que además removió el 94.65 % de turbidez, el 65.1 % de coliformes fecales y el 64.8 % de DBO₅.

Otra de las variables que no se tomaron en cuenta por la falta de equipamiento (instrumentos eléctricos: voltímetro, amperímetro, multitester eléctrico, entre otros) fue la evaluación de la densidad de corriente al interior de la celda electroquímica. Así, (GilPavas et al., 2016) evaluó y utilizó una densidad de corriente de 20 mA/cm² (mili amperios por centímetro cuadrado) para una muestra de 9.076 mL/cm². A diferencia de (Westres, 2013) que utilizó una densidad de corriente 5 A/dm² (amperios por decímetro cuadrado). Sometido nuestros valores de remoción a un diseño de optimización Box-Behnken.

VI. CONCLUSIONES

- Se logró construir el equipo electroquímico, para remover los sólidos suspendidos del agua residual de la PTAR-Jaén, para lo cual se empleó materiales, que generalmente los encontramos como residuos sólidos.
- Los resultados de la caracterización físico química del agua residual de la PTAR antes del tratamiento electroquímico fueron: pH = 7.23, conductividad eléctrica CE = 505.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$, oxígeno disuelto OD = 3.5 y sólidos suspendidos SS = 62.61 ppm.
- la concentración de sólidos suspendidos, después del tratamiento electroquímico del agua residual de la PTAR-Jaén, fue 37.23 ppm.
- El porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos del agua procedente de la PTAR – Jaén fue del 59.40 %

RECOMENDACIONES

- Emplear electrodos de otros materiales como el cobre, zinc y hierro para evaluar la eficiencia de remoción de los sólidos suspendidos.
- Utilizar una fuente de poder, la cual permitirá evaluar la intensidad de corriente, ya que la batería de carro no favoreció el trabajo de investigación.
- Emplear papel Whatman N° 42 ya que esta retiene mayor cantidad de partículas suspendidas, sobre todo las de tamaño mayor a 2.5 micro metros, el papel de filtro no garantiza una mejor retención de partículas.
- Es mejor muestrear directamente de la bocatoma del afluente, como se mencionó, se ha reportado concentraciones que superan los límites máximos permisibles.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alaya, S. y Barboza, E. (2018) en su investigación “*Análisis de la eficiencia del proceso electroquímico para el tratamiento de las aguas residuales de la PTAR Jaén, Cajamarca, 2017*”. Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental de la Universidad de Lambayeque. Chiclayo-Lambayeque.

<https://repositorio.udl.edu.pe/xmlui/handle/UDL/170?locale-attribute=es>

Arango, A. (2005). La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*, Vol. 2, núm. 1, enero- junio, 2005, pp. 49-56. Corporación Universitaria Lasallista. Antioquia, Colombia.

<http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/handle/10567/324>

Arango, A. (2007). Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales.

https://www.academia.edu/36710182/Construcci%C3%B3n_de_una_celda_de_electrocoagulaci%C3%B3n_para_depuraci%C3%B3n_de_agua_Experiencias_superior

Barboza, G. (2011). Reducción de la carga de contaminantes de las aguas residuales de la Planta de Tratamiento de Totorá – Ayacucho, empleando latécnica de electrocoagulación. Tesis para optar el Grado Académico de Maestro en Ciencias con mención en Química. Facultad de Ciencias. Sección de Posgrado. Universidad

Nacional de Jaén. <https://1library.co/document/qo38j6jq-reduccion-contaminantes-residuales-tratamiento-ayacucho->

- empleando-tecnica- electrocoagulacion.html?utm_source= related_list
- CONAGUA (2015). Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento, Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pre tratamiento y tratamiento primario Tomo N° 26. México.
[https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA A%202015.%20Manual%20%20Pretratamiento%20y%20Tratamiento %20primario..pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%202015.%20Manual%20%20Pretratamiento%20y%20Tratamiento%20primario..pdf)
- Guerrero, J y Jibaja, F. K. (2019). Tratamiento del afluente de la laguna de oxidación mediante fitorremediación del *Eichhornia Crassipes* y *Lemna Minor*; en Jaén- Cajamarca. Tesis de pre grado para optar el título de Ingeniero Forestal y Ambiental. Universidad Nacional de Jaén.
[http://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/156/1/Guerrero_BJ_Jibaja_ BFK.pdf](http://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/156/1/Guerrero_BJ_Jibaja_BFK.pdf)
- Gilpavas, E., et al. (2016). Optimización de los costos de operación del proceso de electro-oxidación para una planta de tratamiento de aguas mediante análisis estadístico de superficie de respuesta. Información Tecnológica. Vol. 27(4), 73-82 (2016). INEI (2018). Instituto Nacional de Estadística e Información.
https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642016000400008&script=sci_abstract
- Rahmani, A. R. (2008) Removal of water turbidity by the electrocoagulation method.
 J. Res. Health Sci, Vol. 8, No. 1, pp. 18-24, 2008.
http://jrhs.umsha.ac.ir/index.php/JRHS/article/view/272/html_52
- Quinde, C. (2017) “Evaluación del efecto depurador de guadua *angustifolia kunth* de aguas residuales de la ciudad de Jaén - Cajamarca” Tesis para optar el título de ingeniera forestal Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca- Perú
https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/1708/T016_71068619_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Sarria, V., et al. (2005). Nuevos sistemas electroquímicos y fotoquímicos para el tratamiento de aguas residuales y de bebida. *Revista Colombiana de Química*. Vol. 34. N° 2. Bogotá dic. 2005.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28042005000200006
- Sánchez, A. (2019) “Optimización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales mediante el sistema de lodos activados de la provincia de Jaén – Cajamarca 2019”. Tesis para optar el título de ingeniero civil de la Universidad Cesar Vallejo. Lima Perú.
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/40729/S%c3%a1nchez_CAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Westres, S. (2013) Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales procedentes de una planta productora de sulfatos mediante el proceso electroquímico de electrocoagulación. Tesis para optar el título de Ingeniero Químico. Facultad de Ingeniería Química y Textil. Universidad Nacional de Ingeniería.
<http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/2318>.

DEDICATORIA

Dedico este logro al principal forjador de mi camino Dios que es el que me acompaña y me levanta de mis continuos tropiezos, por darme salud y sabiduría a lo largo de mi formación personal y académica.

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por el sacrificio que hicieron en darme educación y hacer en mí una mejor persona, las veces que me he querido dar por vencida ustedes siempre han estado ahí conmigo dándome ánimos de seguir adelante y cumplir las metas que me proponga, gracias por sus consejos que me han servido de mucho en esta vida tan difícil, gracias por su apoyo incondicional en todo momento.

AGRADECIMIENTO

A mi asesor de tesis el MsC Segundo Alipio Cruz Hoyos por guiarme durante todo el desarrollo de mi tesis.

Al Dr. Alexander Huamán Mera, jefe de laboratorio de la Escuela de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén, quien me proporcionó los permisos para ingresar a los laboratorios.

ANEXOS

Figura 15

Límites máximos permisibles

AMBIENTE		
Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales		
DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM		
ANEXO		
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PTAR		
PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: Diario El Peruano

Figura 16

Muestreo del agua de la PTAR –Jaén



Figura 17

Electrolisis del agua



Figura 18

Caracterización del agua residual en el laboratorio de Química



Figura 19

Construcción de las celdas electroquímicas a escala de laboratorio

