

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

**“ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES EN EL
PROCESO DE SINERGIA (ELECTROCOAGULACIÓN/UV) PARA LA
REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD EN AGUAS PROVENIENTES DE
LAVADORAS DOMÉSTICAS HUÁNUCO 2020”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA
AMBIENTAL**

AUTORA: Mattos Reyes, Jonnana Marili

ASESOR: Ramos Dueñas, Rudy Milner

HUÁNUCO – PERÚ

2022

U

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

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

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Contaminación Ambiental
AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería Tecnológica

Sub área: Ingeniería Ambiental

Disciplina: Ingeniería Ambiental y Geológica

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título Profesional de Ingeniera ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio ()
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 43864537

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 22503170

Grado/Título: Maestro en Administración de la Educación

Código ORCID: 0000-0003-4798-5575

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Cuba Tello, María Vanessa	Magister en gestión integrada en seguridad, salud ocupacional y medio ambiente	41273158	0000-0002-1799-3542
2	Cámara Llanos, Frank Erick	Maestro en ciencias de la salud con mención en: salud pública y docencia universitaria	44287920	0000-0001-9180-7405
3	Cabrera Montalvo, Abrahams Moises	Magister en Medio Ambiente y desarrollo sostenible	71034553	0000-0003-2052-0081

D

H



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 18:00 horas del día 06 del mes de mayo del año 2022, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron la sustentante y el **Jurado Calificador** mediante la plataforma Google Meet integrado por los docentes:

- Mg. María Vanessa Cuba Tello (Presidente)
- Mg. Frank Erick Cámara Llanos (Secretario)
- Mg. Abrahams Moisés Cabrera Montalvo (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N°801-2022-D-FI-UDH**, para evaluar la Tesis intitulada: **“ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES EN EL PROCESO DE SINERGIA (ELECTROCOAGULACIÓN/UV) PARA LA REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD EN AGUAS PROVENIENTES DE LAVADORAS DOMÉSTICAS HUÁNUCO 2020”**, presentado por el (la) Bach. **Jonnana Marili MATTOS REYES**, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándola **APROBADA** por **UNANIMIDAD** con el calificativo cuantitativo de **16** y cualitativo de **BUENO** (Art. 47)

Siendo las 19:13 horas del día 06 del mes de mayo del año 2022, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

Presidente

Secretario

Vocal

DEDICATORIA

A papá Dios, porque sin él nada es posible.

A mis padres Richar y Esperanza, por su amor, por su paciencia y sus consejos; pero en especial a mi madre Esperanza R.C, que a pesar de las circunstancias y dificultades siempre estuvo ahí para mí, por estar a mi lado en los buenos y malos momentos, apoyándome en cada decisión, por haberme brindado la oportunidad de continuar mis estudios, cumpliendo así una de muchas metas trazadas, gracias por confiar en mí una vez más.

Dedicado también a mis hijos Nicolle y Andrew, que son mi fuerza, mi motivo y mi inspiración a seguir adelante, gracias por permitirme haberles robado su tiempo para cumplir una de mis metas, gracias Nicolle por apoyarme con tu hermano, ha sido un camino difícil pero juntos lo logramos y que Dios, la vida nos permita gozar de los frutos y seguir fortaleciendo nuestros lazos y permanecer juntos, como la familia que somos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haber dado la vida, por permitirme estar en este mundo y disfrutar de ello, de nunca haber soltado mi mano en los momentos más difíciles, por sus bendiciones y protección.

A mi familia por su amor, su apoyo y estar en cada paso de mi vida, a sus consejos, sus palabras de aliento a que nunca me rinda.

Al Mg. Alcocer Meneses, por su colaboración y aportes para el desarrollo de mi proyecto.

A mi alma mater, la Universidad de Huánuco, Decano, docentes de la facultad de ingeniería quienes han compartido sus conocimientos en mi formación personal académica, así mismo agradecer a mi asesor de este trabajo de investigación y a mis jurados por sus acotaciones y sugerencias.

A mis amigos de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Ambiental por su compañerismo durante el tiempo de permanencia en la Universidad de Huánuco.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN	XI
ABSTRACT.....	XII
INTRODUCCIÓN	XIII
CAPÍTULO I.....	15
PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.2.1. Problema general.....	17
1.2.2. Problemas específicos	17
1.3. OBJETIVOS	17
1.3.1. Objetivo general.....	17
1.3.2. Objetivos específicos	17
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.4.1. Legal	18
1.4.2. Tecnológica.....	19
1.4.3. Social	19
1.4.4. Económico	19
1.5. LIMITACION DE LA INVESTIGACION.....	20
1.5.1. Teórico.....	20
1.5.2. Espacial	20
1.5.3. Otros	20
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
1.6.1. Desde el punto de vista técnico	21
1.6.2. Desde el punto de vista económico	21
CAPÍTULO II.....	22
MARCO TEORICO	22
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESSTIGACIÓN.....	22
2.1.1. Antecedentes interna locales.....	22
2.1.2. Antecedentes nacionales	24

2.2.	BASES TEÓRICAS	27
2.2.1.	Aguas residuales grises	27
2.2.2.	El consumo de agua sanitaria y la generación de aguas grises	28
2.2.3.	Caracterización fisicoquímica de las aguas residuales grises ...	30
2.2.4.	El proceso de lavado de ropas con lavadoras domésticas	33
2.2.5.	Efluentes generados en lavanderías.....	37
2.2.6.	Calidad de aguas recicladas para su reutilización	39
2.2.7.	Efectos tóxicos de los contaminantes generados en aguas residuales de lavadoras	40
2.2.8.	Tratamiento de aguas residuales de lavadora doméstica	41
2.2.9.	La electrocoagulación	44
2.2.10.	Algunos indicadores del proceso de electrocoagulación acoplado a UV	54
2.3.	DEFINICIONES CONCEPTUALES	55
2.4.	HIPÓTESIS	56
2.4.1.	Hipótesis general	56
2.4.2.	Hipótesis específicas	57
2.5.	VARIABLES.....	57
2.5.1.	Variables dependientes.....	57
2.5.2.	Variables independientes.....	57
2.6.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	58
CAPÍTULO III		59
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		59
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	59
3.1.1.	Enfoque.....	59
3.1.2.	Alcance o nivel.....	59
3.1.3.	Diseño.....	60
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	63
3.2.1.	Población	63
3.2.2.	Muestra	63
3.3.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	63
3.3.1.	Técnica	63
3.3.2.	Análisis e interpretación de datos	70

CAPÍTULO IV.....	71
RESULTADOS.....	71
4.1. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS 18 EXPERIMENTOS.....	71
4.1.1. Resultados obtenidos de turbiedad y otros variables de referencia	71
4.1.2. Resultados de los análisis estadísticos mediante el software Design-Expert 11 y Minitab.....	79
CAPÍTULO V.....	102
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	102
5.1. CONTRATACIÓN DE LA HIPÓTESIS SEGÚN LOS RESULTADOS OBTENIDOS	102
5.2. CONTRATACIÓN DE LOS RESULTADOS CON OTRAS INVESTIGACIONNES SIMILARES.....	102
CONCLUSIONES	107
RECOMENDACIONES.....	108
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA	109
ANEXOS.....	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Límites máximos permisibles	18
Tabla 2: Fuente de aguas grises y sus composiciones.....	27
Tabla 3: Uso de agua sanitaria en diferentes países	29
Tabla 4: Resumen de las características físicas de las aguas grises	30
Tabla 5: Características químicas de las aguas grises de diferentes fuentes	31
Tabla 6: Parámetros de influyen en la relación de biodegradabilidad de las aguas grises.....	31
Tabla 7: Concentración de tensoactivos en diferentes fuentes de aguas grises	32
Tabla 8: Contenido de metales en aguas grises.....	32
Tabla 9: Consumo de agua por diferentes lavadoras según su capacidad...36	
Tabla 10: Características del agua residual generada en lavadoras domésticas, lavadora industrial y lavadora hospitalaria	38
Tabla 11: Normas de reutilización y reciclaje de aguas para la protección de la salud humana y el medio ambiente.....	39
Tabla 12: Rango de concentración de metales en agua potable según (oms, adwg y epa)	40
Tabla 13: Efectos tóxicos de los componentes del lavado.....	41
Tabla 14: Reacciones principales en la celda electrocoagulación	50
Tabla 15: Ventajas y desventajas de la electrocoagulación.....	53
Tabla 16: Cuadro de operacionalización de variables.	58
Tabla 17: Factores de operación de la electrocoagulación/uv con sus respectivos niveles.....	62
Tabla 18: Número de experimentos en base a diseño central compuesto ...	62
Tabla 19: Coordenadas de la ubicación de la muestra según utm	63
Tabla 20: Métodos empleados en la caracterización del agua residual de lavadoras domésticas	65
Tabla 21: Materiales, reactivos y equipos utilizados en el desarrollo de la investigación	66

Tabla 22: Datos recogidos de (turbiedad, conductividad, tsd e intensidad) durante el desarrollo de la investigación a condiciones de ph = 4.41	71
Tabla 23: Datos recogidos de (turbiedad, conductividad, tsd e intensidad) a condiciones de ph = 5.59	72
Tabla 24: Datos recogidos de (turbiedad, conductividad, tsd e intensidad) a condiciones de ph = 6.78	72
Tabla 25: Datos recogidos de (turbiedad, conductividad, tsd e intensidad) a condiciones de ph = 7.97	74
Tabla 26: Datos recogidos de (turbiedad, conductividad, tsd e intensidad) a condiciones de ph = 9.16	74
Tabla 27: Resultados obtenidos de los 18 experimentos según el diseño central compuesto de la turbiedad, sst, energía consumida, ph, conductividad y std.	75
Tabla 28: Suma de cuadrados del modelo secuencial.....	79
Tabla 29: Análisis de varianza para la reducción del porcentaje de turbiedad.....	80
Tabla 30: Suma de cuadrados del modelo secuencial.....	86
Tabla 31: Análisis de varianza para el consumo de energía en la celda de electrocoagulación.....	86
Tabla 32: Suma de cuadrados del modelo secuencial.....	91
Tabla 33: Análisis de varianza para los sólidos suspendidos totales.....	91
Tabla 34: Niveles óptimos de los parámetros operacionales en electrocoagulación acoplado a uv.....	100
Tabla 35: Valores de los parámetros fisicoquímicos obtenidos del antes y después del tratamiento trabajadas a condiciones óptimas.....	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de las cargas de las aguas grises	28
Figura 2: Clasificación de lavadoras.	33
Figura 3: Lavadoras de ropas automáticas de uso doméstico	34
Figura 4: Consumo de agua por tipo de lavadora	35
Figura 5: Consumo específico de agua promedio por tipo y capacidad.....	35
Figura 6: Operaciones de lavado de ropas con lavadora doméstica.	37
Figura 7: Esquema de las fuerzas de interacción que actúan sobre una partícula en suspensión.	45
Figura 8: Mecanismos de coagulación de partículas coloidales.	46
Figura 9: Diagrama esquemático de una celda de electrocoagulación de dos electrodos a escala de blanco.....	48
Figura 10: Concentración de especies monoméricas de aluminio en equilibrio con hidróxido de amorfo, en condiciones de fuerza iónica cero, $t = 25^{\circ} \text{c}$ y ph variable.	49
Figura 11: Diseño de la investigación, en sus etapas de desarrollo.	60
Figura 12: Diagrama del desarrollo de la investigación.	61
Figura 13: Toma de muestras y sus acondicionamientos sobre aguas residuales provenientes de lavadoras domésticas.....	64
Figura 14: Equipo de electrocoagulación con muestra sintética y con agua potable.	67
Figura 15: Equipos y muestras	69
Figura 16: Figura del porcentaje de reducción de la turbiedad en función de los 18 experimentos realizados.....	76
Figura 17: Comparación de consumo de energía en la celda de electrocoagulación en cada experimento.....	77
Figura 18: Comparación de sólidos suspendidos totales extraídos en cada experimento	78
Figura 19: Diagrama de pareto para el porcentaje de reducción de la turbiedad	81

Figura 20: Una relación de la probabilidad normal de % y los residuos estandarizados externos para la reducción de la turbiedad.....	82
Figura 21: Figura de la comparación entre los datos actuales y los valores predichos con el modelo ajustado.....	83
Figura 22: Gráficas de superficies de respuestas sobre la reducción de la turbiedad:.....	84
Figura 23: Diagrama de pareto sobre el consumo de energía en la celda de electrocoagulación.....	87
Figura 24: Valor comparativo entre lo experimental y lo predicho en el consumo de energía en la celda de electrocoagulación.....	88
Figura 25: Gráficas de superficie de respuesta para efectos dobles sobre el consumo de energía en la celda electrolítica.....	89
Figura 26: Diagrama de pareto sobre sst.....	92
Figura 27: Valor comparativo entre lo experimental y lo predicho en los sst de la celda de electrocoagulación.....	93
Figura 28: Gráficas de superficie de respuesta para efectos dobles sobre sst.....	94
Figura 29: Gráficas de superficie de respuesta para efectos dobles sobre ph, conductividad y std.....	96
Figura 30: Modelado de la reducción de la turbiedad y el incremento del metal fe en la solución electrolítica diferentes densidades de corriente: j: 1.44 a m ⁻² y j: 7.20 a m ⁻²	103
Figura 31: Porcentaje de eliminación de la turbiedad en función al tiempo a diferentes voltajes sobre aguas grises.....	104
Figura 32: Eliminación de la turbiedad en cualquier valor de la turbiedad ..	106

RESUMEN

Se realizó el tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de las lavadoras domésticas, ya que estas aguas contienen sustancias con efecto adverso sobre la biodiversidad y los ecosistemas acuáticos, frente a ello quiero dar una solución técnica con responsabilidad social. Usando una diversidad de tecnologías como la electrocoagulación y UV que son parte de la solución se están implementando en el tratamiento de aguas residuales para reducir y eliminar los compuestos nocivos presentes en los efluentes.

El objetivo de esta investigación es determinar en qué medida la aplicación del proceso de sinergia (electrocoagulación/UV) influye en la remoción de la turbiedad en aguas residuales provenientes de lavadoras domésticas. Esta técnica se muestra como una alternativa más hacia las técnicas tradicionales como la coagulación química, para ello se construyó un equipo a escala laboratorio tipo reactor batch donde se ha evaluado los tres factores (Voltaje, pH y tiempo de tratamiento), para ello se ha utilizado la metodología experimental de Diseño Central Compuesto. El resultado que se logró alcanzar fue de una reducción de la turbiedad en 99.54%, llevándolo de 503 NTU hasta 2.3 NTU, de igual modo para aceites y grasas se llegó a (5 mg/L), fosfatos (0.05 mg PO₄), dureza total (240.1 CaCO₃ mg/L), DQO (187.0 mg/L), DBO₅ (95.9 mg/L) y sólidos totales (940 mg/L) todo ello a condiciones de operación de 9.25 V, 51 minutos y pH a 4.95.

Palabras claves: Aguas residuales domésticas, electrocoagulación, rayos ultravioletas, turbiedad, Diseño Central Compuesto.

ABSTRACT

The treatment of domestic wastewater from domestic washing machines was carried out, since these waters contain substances with an adverse effect on biodiversity and aquatic ecosystems, in response to this I want to provide a technical solution with social responsibility. Using a variety of technologies such as electrocoagulation and UV that are part of the solution are being implemented in wastewater treatment to reduce and remove harmful compounds present in effluents.

The objective of this research is to determine to what extent the application of the synergy process (electrocoagulation / UV) influences the removal of turbidity in wastewater from domestic washing machines. This technique is shown as one more alternative to traditional techniques such as chemical coagulation, for this purpose a batch reactor-type laboratory scale equipment was built where the three factors (Voltage, pH and treatment time) have been evaluated. used the experimental methodology of Composite Central Design. The result that was achieved was a reduction in turbidity of 99.54%, taking it from 503 NTU to 2.3 NTU, in the same way for oils and fats it was reached (5 mg / L), phosphates (0.05 mg PO₄), hardness total (240.1 CaCO₃ mg / L), COD (187.0 mg / L), BOD₅ (95.9 mg / L) and total solids (940 mg / L) all at operating conditions of 9.25 V, 51 minutes and pH at 4.95.

Keywords: Domestic wastewater, electrocoagulation, ultraviolet rays, turbidity, Central Composite Design.

INTRODUCCIÓN

Distintos estudios relacionados a la concentración de la turbiedad, surfactantes, tensoactivos, grasa y aceites en aguas residuales demostraron que tienen efectos negativos sobre los sistemas receptores, en especial para ser reutilizado en una actividad en especial. Estos efectos se basan en la generación de subproductos cancerígenos y tóxicos de parte de los surfactantes, de igual forma los detergentes son tóxicos para los peces alterando su membrana mucosa y branquial, las grasas o aceites reducen la estética y reducción del oxígeno y una alta concentración de la turbiedad reduce la calidad del agua. Según los estudios este tipo de componentes está presente en aguas residuales como las domésticas (grises), lavaderos de autos, etc. Por ello la presencia de estos componentes es inevitable y ocasiona un malestar al equilibrio ambiental al ser vertida sin ningún tratamiento.

Las últimas tecnologías en el tratamiento de aguas residuales como las electroquímicas se vienen utilizando en la reducción de diversos contaminantes, entre ellos la electrocoagulación, electroflotación, electrofloculación, etc, que son técnicas emergentes como alternativa hacia las tradicionales; sin embargo estas técnicas se caracterizan por utilizar la corriente eléctrica como componente principal de insumo del proceso. La electrocoagulación es un proceso insitu, donde se genera un coagulante en la misma celda, la generación se da gracias al voltaje aplicado a los electrodos, donde en el ánodo ocurre la oxidación y en el cátodo la reducción, por lo tanto al oxidarse los electrodos del ánodo empiezan a electrodisolverse (aluminio, hierro, etc.), para que después con la ayuda de los diferentes mecanismos que suceden en la celda empiezan a formarse las diferentes sustancias (monoméricas y poliméricas) conocidas como agente coagulante, de tal forma que al entrar en contacto con las partículas como los coloides empieza el proceso de aumento de velocidad de sedimentación de las partículas en la solución. En el proceso de electrocoagulación la reducción de la turbiedad se da por los tres mecanismos, la sedimentación, la flotación y floculación,

mecanismos que ocurren simultáneamente en la celda electrolítica. Los procesos acoplados con rayos ultravioleta aumentan en la reducción de los contaminantes como en la desinfección de los microorganismos, ya sea por reacciones directas e indirectas con la formación del radical OH^* .

Mediante esta investigación se propone la utilización de una tecnología limpia de electrocoagulación acoplada con UV para la reducción de la turbiedad, empleando electrodos de aluminio con una configuración de monopolar paralelo. Las corridas experimentales se realizaron a nivel laboratorio utilizando un equipo construido de un reactor electroquímico tipo batch con recirculación. La parte experimental en la reducción de la turbiedad se realizó en la ciudad de Huánuco, apoyado con laboratorios certificados para su análisis de las muestras.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

A nivel mundial el tratamiento de diversos efluentes líquidos está en una etapa de transformación con el uso de diversas tecnologías como medio para dar solución al problema de la contaminación, este cambio ya no se orienta en el uso de tecnologías tradicionales, si no en un enfoque integral de diversas tecnologías, orientadas en una serie de acoplamientos de forma que se establece nuevas estrategias para el tratamiento de aguas residuales.

Una de las condiciones para implementar estos tratamientos es que estas tecnologías sean eficientes y generen muchas ventajas frente a los tradicionales.

Por ejemplo, la electrocoagulación acoplada a los procesos de oxidación avanzada, los cuales por sus diferentes mecanismos se logra reducir la concentración de los diferentes parámetros fisicoquímicos; de esta forma generar un efluente amigable con el medio ambiente.

En este contexto de tratamiento de aguas residuales, los volúmenes de efluentes generados con diferentes grados de contaminación, debido al desarrollo industrial y al aumento de la población, frente a la escases del agua obligan a que se busquen medidas preventivas como la implementación de tecnologías que ayuden a obtener aguas con calidad requerida en la sociedad.

Según la Autoridad Nacional del Agua (ANA) 2016, en el Perú se produce cerca de 45 m³/s como agua residual doméstica, de los cuales la costa representa el 66%, bajo este contexto, en el Perú los sistemas de tratamientos de diversos efluentes en el ámbito del uso de tecnologías han sufrido transformaciones y avances importantes.

Las aguas grises representan entre el 50-80% del total de las aguas residuales generadas en domicilios, una parte de estos efluentes

proviene de una de las actividades más comunes que es la lavadora automática, su consumo significativo de agua potable genera un alto volumen de aguas residual que se descarga al alcantarillado sin ningún tratamiento; sin embargo estos efluentes contienen altas concentraciones de diferentes detergentes y restos de las prendas de lavado, algunos de ellos considerados sustancias no biodegradables como los surfactantes y frente a ello los tratamientos convencionales son insuficientes. Según el catálogo de equipos de lavadora industrial, el consumo promedio de agua por lavado se encuentra en el rango de 42 a 62 litros para una capacidad de 7 kilos de ropa.

En la ciudad de Huánuco, los domicilios que tienen lavadoras automáticas sus efluentes generados son vertidos directamente al alcantarillado sin ningún tratamiento, aumentando la contaminación del río Huallaga, convirtiéndola en agua compleja de contaminantes. Ante esta problemática existen tecnologías en desarrollo que podrían usarse para evitar el impacto ambiental.

Los procesos de sinergia de electrocoagulación y los procesos de oxidación avanzada, son considerados tecnologías emergentes que desplazan a los sistemas tradicionales, presentando muchas ventajas. La electrocoagulación como parte de la ingeniería electroquímica, involucra operaciones como flotación, sedimentación, coagulación y floculación. La reducción de los contaminantes se obtiene mediante la generación *in situ* de los coagulantes a partir de los diferentes mecanismos ocurridos en la celda, mientras la oxidación avanzada se fundamenta en la generación del radical OH° por diferentes agentes oxidantes con ayuda de catalizadores y fuente de energía que puede ser la electricidad o rayos ultravioleta.

La utilización de electrocoagulación acoplado a UV, para el tratamiento de aguas residuales provenientes de las lavadoras automáticas domésticas es una alternativa para reemplazar a la coagulación química y poder reducir la carga contaminante mientras la irradiación UV es una tecnología muy interesante y bien conocida para la desinfección de efluentes, por consiguiente obtener aguas aptas para

el siguiente proceso de tratamiento y reutilizarlo en diferentes actividades como para el riego de vegetales, actividades domésticas, etc. Bajo este contexto es muy importante analizar en qué medida la utilización de esta técnica acoplada incide en la reducción de contaminantes provenientes de lavadoras domésticas, y de esta forma dar solución a la problemática de la contaminación y escases del agua.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿En qué medida la aplicación del proceso de sinergia (electrocoagulación/UV) influye en la remoción de la turbiedad en aguas provenientes de lavadoras domésticas, Huánuco 2020?

1.2.2. Problemas específicos

- ✓ ¿Cuáles serán los parámetros fisicoquímicos del agua residual provenientes de las lavadoras domésticas?
- ✓ ¿Cuáles son los parámetros y niveles operacionales más influyentes del proceso acoplado de electrocoagulación/UV, en la reducción de la turbiedad en las aguas provenientes de lavadoras domésticas?
- ✓ ¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos afectados por el proceso de sinergia (electrocoagulación/UV) después del tratamiento?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Determinar en qué medida la aplicación del proceso de sinergia (electrocoagulación/UV) influye en la remoción de la turbiedad en aguas provenientes de lavadoras domésticas, Huánuco 2020.

1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Identificar los parámetros fisicoquímicos del agua residual provenientes de las lavadoras domésticas.
- ✓ Identificar los parámetros y niveles operacionales más influyentes del proceso acoplado de electrocoagulación/UV, en

la reducción de la turbiedad en las aguas provenientes de lavadoras domésticas.

- ✓ Identificar parámetros fisicoquímicos afectados por el proceso de sinergia (electrocoagulación/UV) después de los tratamientos.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Legal

En las aguas residuales generadas en lavadoras domésticas se encuentran diversas sustancias como: fosfatos, fosfonatos, tensoactivos aniónicos y otras sustancias provenientes de los detergentes, que en concentraciones superiores son tóxicas; sin embargo, para regular estas concentraciones expresadas mediante los parámetros fisicoquímicos, existen Marcos Normativos. Para esta investigación la base legal que respalda en relación al cumplimiento de los vertimientos del agua residual con alto contenido de carga orgánica es el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM se indican los valores de los Estándares de Calidad Ambiental de la descarga de las aguas residuales, los cuales se indican en la siguiente.

Tabla 1

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES

PARÁMETROS	UNIDADES	LMP EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUA
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	10000
Demanda bioquímica de oxígeno (DQO)	mg/L	100
Demanda química de oxígeno (DBO)	mg/L	200
PH	Unidad	6.5 - 8.5
Sólidos totales en suspensión (SST)	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

Nota: Decreto supremo N° 003 - 2010 – MINAN, ley que aprueba los límites máximos permisibles para efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) domésticas o municipales.

1.4.2. Tecnológica

El problema de los escasos recursos hídricos ha llevado a muchos países a buscar diferentes soluciones como fuente de aguas; sin embargo, los tratamientos y la reutilización de las aguas grises insitu está llamando la mayor atención. Mediante la aplicación de esta tecnología, se facilitará información acerca del uso de la técnica acoplada entre electrocoagulación y UV y sus influencias operacionales sobre la reducción de la turbiedad, y la optimización de los parámetros operacionales; sin embargo, como tecnología emergente marcará la diferencia en facilitar opciones para el tratamiento de diversos efluentes especialmente para aquellos que contienen sustancias recalcitrantes.

1.4.3. Social

Según la Organización de Alimentos y Agricultura de las Naciones Unidas, el problema de la escasez va a ser uno de los mayores desafíos del siglo XXI, afectando directamente a la salud humana, medio ambiente, economías locales, etc. Bajo esta premisa como sociedad estamos en la obligación de mantener un sistema en equilibrio sobre las descargas de diversos tipos de efluentes contaminados, más allá de que nos obligan mediante las normativas ambientales, debemos realizar una conciencia sobre la actitud que estamos tomando y emplear medidas en favor de lograr un mundo ecológico implementando una serie de acciones como tratamientos descentralizados para generar aguas sustentables.

1.4.4. Económico

El sistema de tratamiento sobre efluentes contaminados desde el punto de vista económico nos trae varios beneficios.

- En relación a la escasez del agua, si uno empieza a tomar medidas implementando tecnologías que ayuden a generar aguas limpias, se podrá reutilizar estas aguas en los diferentes procesos, con ello se estaría reduciendo en el consumo de agua nueva y por consiguiente el gasto económico en los domicilios o condominios sería minimizada; sin embargo este

mismo principio con fines de reducir el consumo de productos químicos que se encuentran en los efluentes se podría reutilizar para las operaciones requeridas en casos de lavadoras industriales, obteniendo ventajas económicas para la empresas.

- Al implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales se estaría obteniendo un efluente que cumple con los estándares de calidad ambiental, y mediante estas medidas tomadas los domicilios o condominios se evitarían de ser sancionado por multas impuestas por entidades encargadas.
- Al implementar un sistema de tratamiento y reutilizarlo para cualquier actividad reducen el suministro de carga de flujo hacia un sistema centralizado de tratamiento de aguas residuales, con lo cual se reduce el costo de tratamiento.

1.5. LIMITACION DE LA INVESTIGACION

1.5.1. Teórico

En este trabajo se usaron temas relacionados a los fundamentos de la electroquímica y conceptos basados a los procesos de oxidación avanzada, específicamente de rayos ultravioleta, relacionando los efectos de los parámetros operacionales sobre la optimización de un buen resultado, sobre un módulo de electrocoagulación y rayos ultravioleta, por lo tanto, los resultados obtenidos permitirán comprender y analizar los fundamentos que posteriormente servirán de base para expandir los conocimientos.

1.5.2. Espacial

Este trabajo de investigación se direccionó al estudio de los efluentes provenientes de las lavadoras domésticas, efluente proveniente del lavado de diferentes fibras en general, muestra recolectada en mi domicilio.

1.5.3. Otros

Con respecto en el desarrollo de la parte experimental se tuvo limitaciones en la medición de parámetros fisicoquímicos por no

contar con equipos por tal razón se tuvo que alquilar para determinar la turbidez, pH, temperatura, etc. Para otros parámetros se tuvieron que enviar a un laboratorio certificado.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. Desde el punto de vista técnico

Esta condición para el desarrollo de la investigación fue superada y asesorada por un especialista, mediante la construcción del módulo y acompañamiento de las corridas experimentales, otra condición favorable es con respecto a la caracterización de los parámetros fisicoquímicos que se adquirieron como alquiler y enviados a laboratorios certificados.

1.6.2. Desde el punto de vista económico

El desarrollo de la investigación permitió completarse por tener una viabilidad en la adquisición de los materiales, en la construcción del módulo experimental, en el costo de los análisis de los parámetros fisicoquímicos, todos ellos costeados por mis recursos propios.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTITIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes interna locales.

Dos Santos, et al (2017). **Universidad Federal de Río Grande del Norte – Brasil**. En su publicación “Electrochemical advanced oxidation processes as decentralized water treatment technologies to remediate domestic washing machine effluents”. Con el **objetivo** de hacer un tratamiento del efluente proveniente de lavadoras mediante el método de oxidación avanzada. La **tecnología** utilizada fue la oxidación electroquímica por electrofentón a escala laboratorio. La **metodología** utilizada fue la comparación de las diferentes técnicas electroquímicas utilizadas uno en efluente sin detergentes y otro con detergentes, en base a eso se observaron la oxidación de los colorantes y la materia orgánica. Como **resultado** con respecto a la decoloración total del color y la degradación de la materia orgánica se logró un mejor resultado utilizando la técnica de electrofentón solar después de 240 minutos, trabajadas a condiciones óptimas con una densidad de corriente 66.6 mA/cm^2 , **Concluyendo** que la tecnología electroquímica como una alternativa emergente se pueden considerar muy prometedores para los escasos de aguas y una sostenibilidad segura (Dos Santos et al., 2017).

Barzegar, et al (2018). Universidad de Ciencias Médicas Abadan – Irán. En su publicación “Enhanced treatment of greywater using electrocoagulation/ozonation: Investigation of process parameters”. Con el **objetivo** de estudiar los efectos de los parámetros operaciones sobre la reducción de demanda química de oxígeno y carbono orgánico total. Con la **técnica** utilizada de electrocoagulación acoplada a ozono tipo batch. La **metodología** consistió en utilizar los electrodos de hierro, sobre una muestra de agua gris, acopladas en diferentes agentes oxidante como el

ozono, UV y generador ultrasónico. Como **resultado** se obtuvieron que se redujo en 85% de DQO y 70% de TOC, a condiciones óptimas de tiempo 60 minutos, pH a 7.0, 47.4 mg/L de ozono y una densidad de corriente entre 15 mA/cm². Se observó que el efecto de ozono ayudo en aumentar la degradación de la materia orgánica por el factor de generación OH[°], catalizada por el Fe+2, en cambio con otros agentes oxidantes fue baja, en cambio para la configuración de EC/O3/UV, se redujeron a 95% en DQO y 87% en TOC, pero con costos superiores para EC/O3/UV en 4.03 dólares. **Concluyendo** que este tipo de sistemas es muy eficiente y ejecutable para el tratamiento de aguas grises (Barzegar et al., 2018).

Cotillas, et al (2014). Universidad de Castilla – la Mancha – España. En su publicación “Coupling UV irradiation and electrocoagulation for reclamation of urban wastewater”. Con el **objetivo** de eliminar la turbidez y E. coli en aguas residuales Municipales, utilizando la técnica de electrocoagulación acoplado a UV. La **técnica** utilizada fue una celda electroquímica tipo batch acoplada a oxidantes avanzados. La **metodología** consistió en utilizar como electrodos el material de hierro y acero inoxidable, las variables en estudio fueron la densidad de corriente, el UV, el tiempo de tratamiento, enfocados a la reducción de la turbiedad y E. coli. Como **resultados** se observaron que la técnica sólo de electrocoagulación es eficiente para la eliminación de la turbiedad y microorganismos por mecanismos de coagulación y agentes oxidantes formados en la celda electrolítica como el cloro, para el proceso acoplado la eliminación mejoró en la turbiedad y E. coli, se probaron para densidades pequeñas y grandes de 1.44 A/m² y 7.20 A/m² y generando un efecto antagónico para el UV. **Concluyendo** que la técnica acoplada es eficiente para tratamiento de efluentes provenientes de aguas residuales urbanas (Cotillas et al., 2014).

Kuntal, et al (2014). Instituto Indio de Tecnología Roorkee – India. En su publicación “Characterization of greywater in an Indian

middle-class household and investigation of physicochemical treatment using electrocoagulation”. Con el **objetivo** de desarrollar un método fisicoquímico confiable para tratar un efluente de aguas grises. La **técnica** utilizada es una celda de tipo batch utilizando electrodo de aluminio y grafito, la **metodología** utilizada es en relación al estudio de los parámetros de voltaje e intensidad de corriente sobre la reducción de la turbiedad, patógenos y demanda química de oxígeno. Se trabajaron en tres niveles sobre el voltaje. Como **resultados** utilizando como electrodo de aluminio se redujo en 70% de la demanda química de oxígeno a comparación de otros electrodos, para la eliminación de patógenos fue superior llegando a 99.9% todo ellos con un consumo de energía en 0.3 KWh/m³ y un desgaste de electrodo de aluminio en 15 mg/L. **Concluyendo** que la técnica de electrocoagulación es eficiente en el tratamiento de aguas grises a comparación de otras técnicas en términos económicos (Vakil et al., 2014).

2.1.2. Antecedentes nacionales

Cuba T. M. (2020). Universidad Nacional Mayor de San Marcos – Perú. En su trabajo de publicación “Tratamiento de agua residual procedente de lavadoras por el método de electrocoagulación para la reutilización en riego de vegetales – Ate Vitarte”. Con el **objetivo** de obtener un efluente apto para reutilizarse en riego de vegetales, aplicando la técnica de electrocoagulación. La **técnica** utilizada fue una celda electroquímica tipo batch, donde se utilizó como electrodos el aluminio y acero inoxidable. La **metodología** utilizada para el desarrollo de la investigación fue la utilización de Taguchi, una metodología sobre el efecto de los parámetros operacionales en busca de la reducción de los contaminantes, donde se trabajaron con 4 factores. Los **resultados** que se obtuvieron a las condiciones óptimas con 5 amperios, 15 minutos, 2 centímetros de distancia y pH de 7.5 se logró reducir en 99.02% de turbiedad, 90.83% en DQO, 95.83% en sólidos suspendidos totales, obteniendo un

efluente con una carga por debajo de la normativa para el uso para el riego de vegetales. **Concluyendo** que la técnica es eficiente para obtener agua que pueda usarse en riego de vegetales (Cuba-Tello, 2020).

Poma J. J. R. y Quispe S. P. A. (2016). Universidad Nacional del Centro del Perú – Perú. En su publicación “Remoción de contaminantes de aguas residuales urbanas por el método de electrocoagulación”. Con el **objetivo** de remover la carga contaminante de las aguas residuales provenientes de la Universidad del centro de Huancayo mediante la técnica de electrocoagulación. La **técnica** utilizada es una celda electroquímica tipo batch, con electrodos de aluminio. La **metodología** utilizada es con referente a obtener los efectos de las variables de operación como la densidad de corriente y el tiempo de tratamiento en función a la reducción de contaminantes utilizando el diseño factorial 2² con tres réplicas. Los **resultados** obtenidos con valores óptimos de densidad de corriente en 32.72 A/m², tiempo de 20 minutos y una distancia de 1 cm, se redujo en 85.9% en DBO, en 75.3% en DQO, 93.8% para el aceite y grasas, 79.6% para la turbiedad, 95.3% en sólidos totales, 100% en coliformes totales, etc. **Concluyendo** que estos resultados obtenidos están dentro de las normas para el riego y como una alternativa más en el tratamiento de efluentes (Poma-Javier & Quispe-Sanca, 2016).

Riccio Y. L. F. (2015). Universidad Nacional del Centro del Perú – Perú. En su publicación “Remoción de contaminantes de aguas residuales urbanas del colector agua de las Vírgenes por electrocoagulación, a nivel de laboratorio, utilizando como fuente energética un panel fotovoltaico”. El **objetivo** de la investigación es la remoción de contaminantes de las aguas residuales provenientes del poblado de Tambo, utilizando la técnica de electrocoagulación alimentado con una fuente voltaica. La **técnica** utilizada fue un reactor electrolítico tipo batch discontinuo con

electrodos de aluminio y hierro con diseño enfocado en la utilización de energía solar para la alimentación a la celda. La **metodología** utilizada es el uso de dos variables operacionales como tiempo de tratamiento y densidad de corriente sobre la reducción de contaminantes, un estudio del efecto individual y la interacción de las variables, para eso se usó el diseño factorial con dos niveles para cada variable. Los **resultados** obtenidos a condicione óptimas de tiempo en 20 minutos y densidad de corriente en 32.72 A/m^2 , se redujeron en 86.33% para DBO5, 78.89% para DQO, 92.94% en turbiedad, 96.32 % en aceites y grasas, etc. **Concluyendo** que la técnica de electrocoagulación utilizando como fuente de energía los paneles fotovoltaicos son beneficiosos para tratamiento de diversas aguas residuales urbanas (Riccio-Yauri, 2015).

Aguilar V. J. C. y Bazan M. J. A. (2018). Universidad Nacional de Trujillo – Perú. En su publicación “Efecto de la intensidad eléctrica y tiempo en la disminución de la materia orgánica y turbidez en la electrocoagulación de las aguas residuales de la ciudad universitaria UNT”. El **objetivo** de la investigación fue analizar el efecto generado de la manipulación de los factores como el tiempo y la intensidad de corriente sobre la reducción de la carga contaminante en aguas residuales provenientes de la ciudad universitaria. La **técnica** utiliza es un reactor batch a nivel laboratorio utilizando electrodos de aluminio. La **metodología** utilizada para estudiar los efectos de los parámetros operacionales (tiempo e intensidad de corriente) sobre el efecto en la reducción de contaminantes se utilizó un diseño factorial con tres niveles para cada factor, con un total de 27 experimentos. Los **resultados** obtenidos en función a la reducción de la turbidez fueron de 76% y en 81% para la carga orgánica a condiciones de 4 amperios y 60 minutos de tratamiento. **Concluyendo** que la técnica aplica es eficiente para remover la carga contaminante de aguas residuales urbanas (Agilar-Villanueva & Bazan-Moya, 2018).

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Aguas residuales grises

Según (Oron et al., 2014), las aguas residuales grises están conformados por restos de efluentes líquidos que vienen de lavanderías, lavadoras, baños, lavavajillas, cocinas, etc. Todo líquido que sale de domicilio menos de los inodoros. Estas aguas grises son consideradas menos contaminantes que los de aguas negras, las cantidades volumétricas varían en función de los números de personas habitables y del tiempo, incluido la composición que está en función del uso de productos químicos, etc. Según (Alsulaili & Hamoda, 2015), a las aguas grises se clasifican en dos tipos uno clara, de menor concentración y el otro oscuro de mayor concentración, la que generalmente está más contaminado.

En la tabla 2 se muestra las fuentes de las aguas grises y sus composiciones.

TABLA 2

FUENTE DE AGUAS GRISES Y SUS COMPOSICIONES

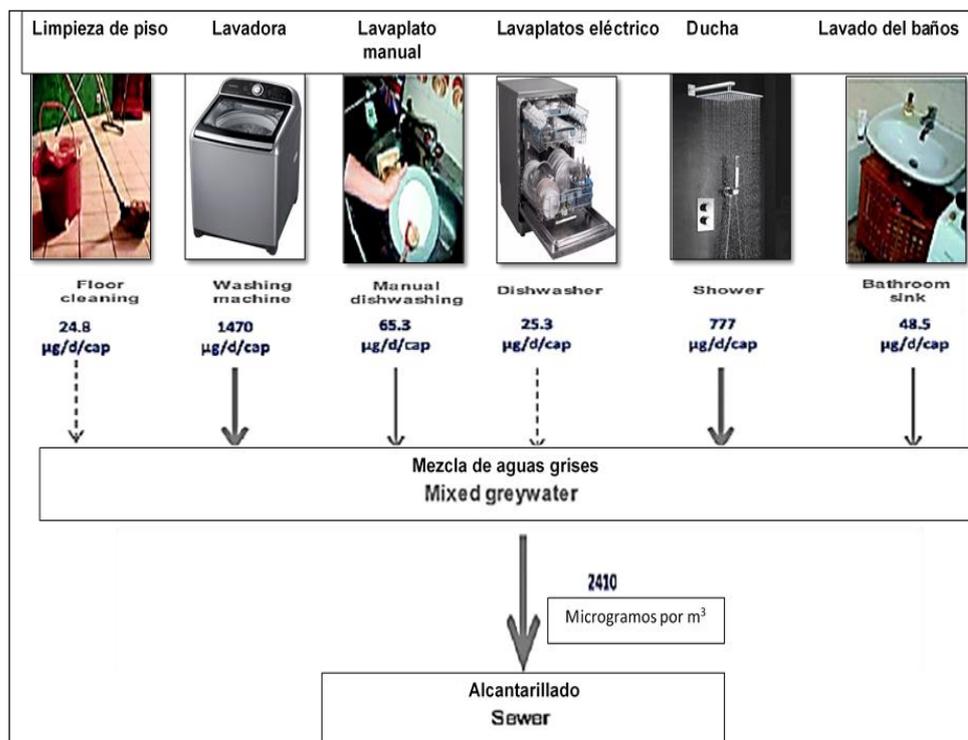
AGUAS GRISES FUENTES	CONSTITUYENTES
Baño	Champú, jabón, pelusa de pasta de dientes, restos de orina, productos de cuidado corporal, pelos, piel, aceite capilar, grasas corporales, agua caliente y partículas de arena/arcilla.
Lavado	Pasta de dientes, jabones, productos para el cuidado corporal, desechos del afeitado, pelos y células de pie.
Cocina	Detergentes para lavar platos, aceites y grasas, residuos de alimentos, agua caliente, lavado de carne cruda, cáscaras de fruta y verduras, té o café, trazas de conservantes de alimentos, arena y partículas de arcilla.
Lavandería	Productos químicos de detergentes, aceites, disolventes, blanqueadores, pinturas, agua, fibras no biodegradables de ropas.

Nota: (Babaei et al., 2019); (Spychala et al., 2019), en el artículo "eliminación de sólido volátiles de aguas grises usando filtro de arena" publicado en el Applied sciences, describen los constituyentes de aguas grises de diferentes fuentes.

En la figura 1 se muestra un esquema de la generación de las aguas residuales

FIGURA 1

DIAGRAMA DE LAS CARGAS DE LAS AGUAS GRISES



Nota: (Deshayes et al., 2017), es un artículo “Contaminación con alquifenoles y ftalatos de todas las fuentes de aguas grises de los hogares franceses” publicado en la revista multidisciplinaria Science of the total Environment, donde nos presenta mediante el diagrama las diferentes valores de carga que contiene cada fuente de aguas residuales domésticas.

2.2.2. El consumo de agua sanitaria y la generación de aguas grises

Según el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF, 2016), el consumo promedio de agua por persona tanto para países de ingreso bajo y alto está por encima del mínimo recomendado en 30L/día. La variación de consumo de agua se ve afectado por el ingreso de cada persona, la condición climática del país y así entre otros factores.

Según la Asociación Internacional del Agua (IWA, 2012), con ingresos inferiores a 12.746 dólares estadounidense son considerados países de ingresos bajos; bajo este contexto en países con ingresos altos el consumo de agua promedio está entre

78 a 343 L, mientras para países con ingresos bajos el consumo promedio está entre 35 a 234 L (Shaikh & Ahammed, 2020).

Según (Shaikh & Ahammed, 2020), la generación de aguas grises para países con ingresos altos es mucho mayor a comparación de los países de ingresos bajos, por ejemplo para países de ingresos altos la generación de aguas grises está entre 62 a 223 L/persona/día, mientras para países con ingresos bajos entre 14 a 140 L/persona/día. Otro de los factores determinantes para el consumo y generación influye el número de personas en familia, prácticas adoptadas, instalación de saneamiento, niveles de vida, zonas de vivencia y los estaciones del año.

A nivel mundial el consumo de agua sanitaria según (Boyjoo et al., 2013), entre el 41 y 91% se convierte en aguas grises; sin embargo bajo este contexto las actividades como el riego, jardinería, limpieza de pisos e inodoros no requieren de agua potable, por lo tanto las aguas potables transformadas en aguas grises tiene un fuerte potencial de reutilización entre el 9 y 46% para dichas actividades. En la tabla 3 se muestra el consumo de agua sanitaria para diferentes países.

TABLA 3

USO DE AGUA SANITARIA EN DIFERENTES PAÍSES

FUENTE	% DE UTILIZACIÓN							
	Dinamarca (2011)	Australia (1996)	Reino Unido (2007)	Australia (2008)	Omán (2005)	India (2011)	Irlanda (2010)	Holanda (2010)
Baño	36	26	28	18	47	39	38	38
Lavandería	14	15	12	14	7	20	10	20
Cocina	21	5	19	9	37	23	13	6
Inodoro	23	34	35	12	4	15	27	29
Otros (Jardín, etc.)	3	20	6	47	5	3	12	7

Nota: (Boyjoo et al., 2013), Presentó un artículo llamado “una revisión de las características de las aguas grises y los procesos de tratamiento” en el Water Science & Technology, que describe sobre la calidad de las aguas grises generadas en diferentes países sobre todo en países desarrollados, así mismo sus procesos de tratamiento.

2.2.3. Caracterización fisicoquímica de las aguas residuales grises

La calidad de las aguas grises generadas en los domicilios se ve afectado por diferentes factores, según (Dwumfour-Asare et al., 2018), los principales factores son: estilos de vida, fuentes de vida, ubicación geográfica, sistema de plomería, etc. Además otros factores como el lavado de platos, utilización de productos químicos en lavado, baño, limpieza, etc. Afectan la composición del agua generada. Todo estos factores son muy importante a tener en cuenta para implementar técnicas de tratamiento de aguas grises. Entre los parámetros físicos que caracterizan el agua residual doméstica son: temperatura, turbiedad y sólidos suspendidos totales. En la tabla 4: resumen de las características físicas de las aguas grises, se muestran los valores de los parámetros físicos presentes en aguas residuales domésticas.

TABLA 4

RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS AGUAS GRISAS

Fuentes	Temperatura °C	Turbidez (NTU)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)
Baño	25.8 - 29 (5)	19 - 375 (23)	19 - 793 (31)
Lavado	(-)	35 - 164 (5)	25 - 181 (9)
Cocina	24.4 - 30.9 (5)	210 - 357 (6)	11 - 3934 (10)
Lavandería	22.4 - 35.0 (5)	34 - 510 (12)	33 - 4564 (16)
Agua grises claras	13.4 - 29.0 (10)	13 - 375 (48)	7-793 (58)
Agua grises oscuras	22.4 - 35.0 (12)	34 - 510 (20)	11 - 4564 (23)

Nota: Los que están entre paréntesis indican el número de estudios considerados. (Shaikh & Ahammed, 2020), realizaron un estudio de caracterización de aguas grises en varias partes del mundo, donde se analiza la variabilidad de las fuentes.

Dentro de los parámetros químicos representativos son: pH, DQO, DBO₅, nitrógeno total y fósforo total. En la tabla 5: Características químicas de las aguas grises de diferentes fuentes, se muestran los valores de las características químicas.

TABLA 5**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS AGUAS GRISES DE DIFERENTES FUENTES**

Fuentes	pH	DBO (mg/L)	DQO5 (mg/L)	Nitrógeno total (mg/L)	Fósforo total (mg/L)
Baño	5.95 - 8.4 (35)	20 - 673 (35)	64 - 903 (38)	2.7 - 148 (14)	0.1 - 60 (17)
Lavado	6.72 - 9.85 (11)	33 - 305 (12)	47 - 587 (14)	2.5 - 10.4 (5)	0.3 - 2.6 (5)
Cocina	5.58 - 10.0 (14)	185-2460 (10)	411 - 8071 (9)	0.5 - 65 (5)	2.7 - 187 (5)
Lavandería	5.0 - 10.33 (20)	44 - 3330 (17)	58 - 4155 (17)	2.8 - 31 (11)	0.2 - 51.6 (13)
Agua grises claras	4.90 - 8.53 (63)	20 - 673 (64)	23 - 1489 (70)	1.3 - 148 (28)	0.1 - 60 (27)
Agua grises oscuras	5.0 - 10.33 (34)	44 - 3330 (29)	58 - 8071 (23)	0.5 - 65 (16)	0.2 - 187 (18)

Nota: Los que están entre paréntesis indican el número de estudios considerados, (Shaikh & Ahammed, 2020), realizaron un estudio de aguas grises en varias partes del mundo, donde se analiza la variabilidad de las fuentes.

Otra de las relaciones muy importantes que se deben tener en cuenta para tomar decisiones en la etapa de tratamiento biológico es conocer las relaciones existentes entre DQO₅/DBO, según (Li et al., 2009) en la tabla 6, se muestran la diferentes relaciones de biodegradabilidad del agua residual generada.

TABLA 6**PARÁMETROS DE INFLUYEN EN LA RELACIÓN DE BIODEGRADABILIDAD DE LAS AGUAS GRISES**

FUENTES	DQO/DBO5	DQO:N:P
Baño	1.257 - 3.135 (23)	100: 4.158: 0.699
Lavado	1.4 - 3.787 (10)	100: 2.437: 0.484
Cocina	1.226 - 2.055 (8)	100: 1.119: 0.859
Lavandería	1.2 - 3.06 (8)	100: 0.978: 1.101
Agua grises claras	1.275 - 4.35 (51)	100: 3.697: 0.648
Agua grises oscuras	1.287 - 2.543 (11)	100: 1.286: 0.973

Nota: Los que están entre paréntesis indican el número de estudios considerados. (shaikh & Ahammed 2020), realizaron un estudio de aguas grises en varias partes del mundo, donde se analiza la variabilidad de las fuentes.

TABLA 7

CONCENTRACIÓN DE TENSOACTIVOS EN DIFERENTES FUENTES DE AGUAS GRISES

FUENTES	MBAS (mg/L)	LAS (mg/L)
Baño	1.6–6.2 (4)	14.9–78.0 (3)
Lavado	3.7–28.0 (2)	9.0–42.0 (2)
Cocina	2.6–55.0 (2)	7.0–87.0 (2)
Lavandería	7.0–39.0 (6)	8.8–118.3 (2)
Agua grises claras	1.6–29.0 (7)	9.0–78.0 (6)
Agua grises oscuras	2.6–55.0 (8)	7.0–118.3 (5)

Nota: Los que están entre paréntesis indican el número de estudios considerados.

La presencia de metales en las aguas residuales en cuanto a la concentración va depender a la relación de su origen, por ejemplo la alta concentración del Na (Sodio) se debe al cloruro de sodio (sal de cocina) y los detergentes a base del metal, en cambio al potasio se debe a los tensoactivos o antiespumantes, y los de Cu y Zn se debe a las tuberías de la conexión y así otros metales como el plomo por la corrosión de las pintas, etc (Oteng-Peprah et al., 2018). En la tabla 8 se muestran los valores de las concentraciones de metales en las aguas grises

TABLA 8

CONTENIDO DE METALES EN AGUAS GRISES.

ELEMENTO (mg/L)	AUSTRALIA (1996)	HOLANDA (2007)
Ca	3.9 – 12	30 – 63.2
Mg	1.1-2.9	10 – 18.4
Na	49 – 480	123.1 – 144.0
K	1.1 – 1.7	12
B	(-)	0.53 – 0.65
Fe	0.29 – 1	0.7 – 0.74
Zn	0.09 – 0.32	0.05 – 0.13
Cu	<0.05 – 0.27	0.07 – 0.1
Al	<1-21	1.22 – 3.9
S	9.5 – 40	20 – 26.1
Si	3.8 – 49	16.7
Cl	(9 – 88)	65.4

Nota: (Boyjoo et al., 2013). Presentó un artículo llamado “una revisión de las características de las aguas grises y los proceso de tratamiento” en el Water Science & Technology, que describe sobre la calidad de las aguas grises genreadas en diferente países

2.2.4. El proceso de lavado de ropas con lavadoras domésticas

El proceso de lavado de ropas como una actividad de servicio, consiste en una secuencia de operaciones o ciclos de lavado, mediante la utilización de artefactos de tipo manuales, semiautomáticas y automáticas; por lo tanto la utilización y selección va depender de varios factores como el tipo de tejido, tipo de mancha, cantidad de suciedad, el producto químico utilizado, etc. Las lavadoras tienen mayor uso en hogares para mantener limpio las ropas, cuya función con la ayuda del agua, detergentes y la energía generada se pueda sacar la suciedad de las ropas (Patel et al., 2017).

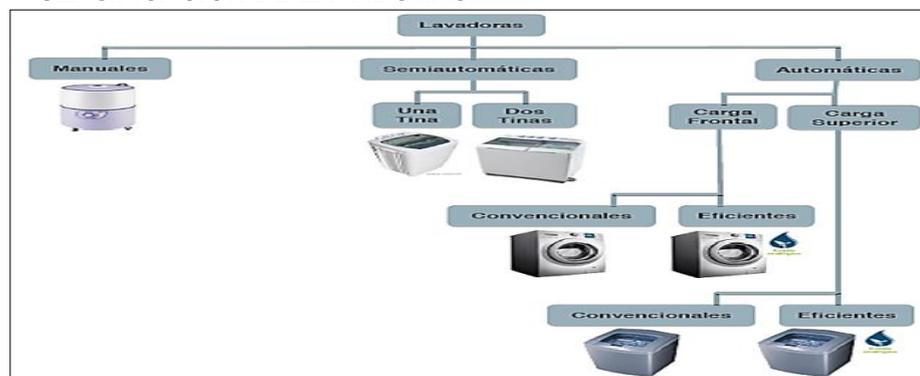
a) Clasificación de lavadoras

Las lavadoras según (Juárez, 2013) se pueden clasificarse de acuerdo a los conceptos en: lavadora de ropa, lavadora de ropa de tambor horizontal, lavadora de ropa de eje vertical, lavadora de ropa automática, lavadora de ropa semiautomática, lavadora de ropa manual y lavadora de grado ecológico.

Según el modo de operar las lavadoras se clasifican en tres grandes grupos: las semiautomáticas con características de una tina o dos tinas, la automática con características de carga frontal y superior y por último las manuales que son las más convencionales de las anteriores. En la figura 2 se puede apreciar la clasificación de las lavadoras según (Juárez, 2013).

FIGURA 2

CLASIFICACIÓN DE LAVADORAS.



Nota: (Juárez, 2013). Se clasificó las lavadoras de acuerdo a su estructura y funcionamiento.

El mercado de las lavadoras ofrece una serie de marcas con diferentes capacidades y ventajas/desventajas. En la figura 3 se muestra algunas marcas con sus características importantes.

FIGURA 3
LAVADORAS DE ROPAS AUTOMÁTICAS DE USO DOMÉSTICO



MODELOS	LG	Whirlpool	Koblenz	Mabe	SAMSUNG	Koblenz
PAÍS	COREA	MEXICO	CHINA	MEXICO	MEXICO	CHINA
CAPACIDAD-CARGA	22Kg	19 Kg	22 Kg	20 Kg	19 Kg	21 Kg
DURACIÓN LAVADO	26	43	42	46	50	35
CICLO ENJUAGUE	40	38	19	47	50	40
(minutos) CENTRIFUGADO	10	10	14	22	62	10



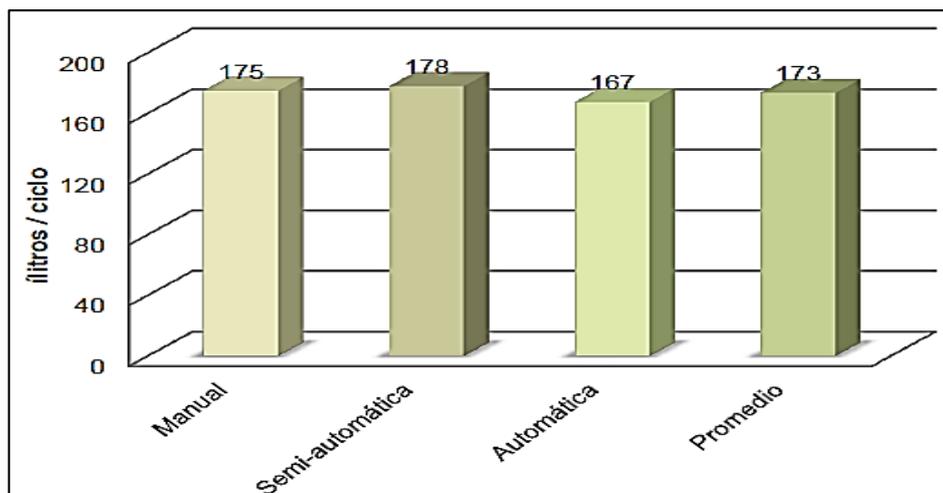
MODELOS	MAYTAG	SAMSUNG	Electrolux	LG	Mabe	Mabe	LG
PAÍS	EEUU	CHINA	BRASIL	VIETMAN	MEXICO	MEXICO	VIETMAN
CAPACIDAD-CARGA	20Kg	22 Kg	22 Kg	20 Kg	22 Kg	19 Kg	21 Kg
DURACIÓN LAVADO	29	32	66	30	72	63	42
CICLO ENJUAGUE	35	20	51	42	20	53	36
(minutos) CENTRIFUGADO	14	7	28	15	15	23	31

Nota: (Gil, 2018). Se publico en una revista, el analisis que realizaron a 13 modelos de lavadoras de 7 marcas principales.

Según (Juárez, 2013), las lavadoras semiautomáticas consumen más agua a comparación de las automáticas y manuales, en la siguiente figura 4 se muestra esquemáticamente los consumos de agua por ciclo.

FIGURA 4

CONSUMO DE AGUA POR TIPO DE LAVADORA.

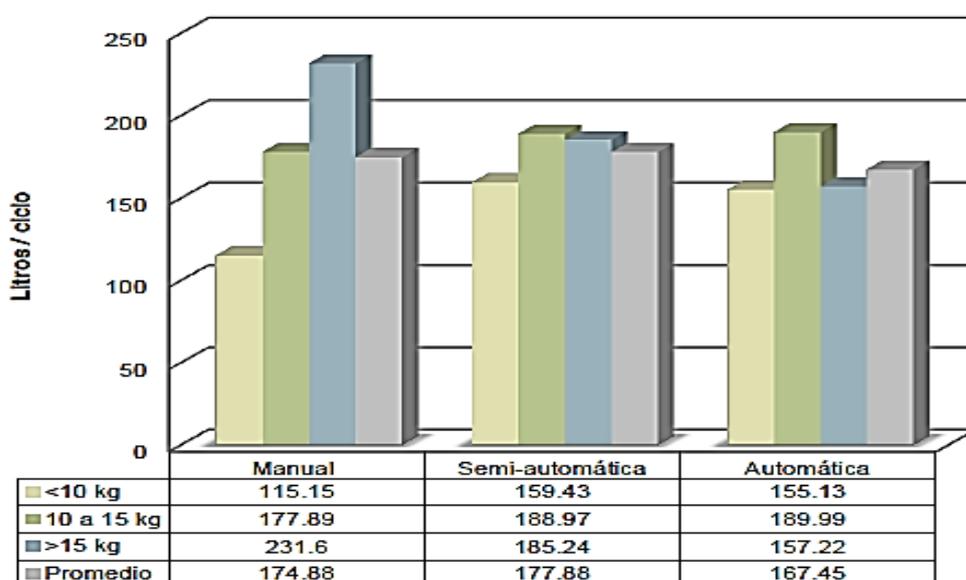


Nota: (Juárez, 2013), es el consumo de agua que se utiliza por cada tipo de lavadora.

En la figura 5 se muestra el consumo específico promedio de agua por capacidad y tipo de lavadoras, observándose que el consumo de agua de las lavadoras automáticas y semiautomáticas son independientes de la capacidad de lavadora, mientras el de manuales es directamente proporcional a la capacidad.

FIGURA 5

CONSUMO ESPECÍFICO DE AGUA PROMEDIO POR TIPO Y CAPACIDAD



Nota: (Juárez, 2013), mediante esta grafica podemos comparar el consumo específico por tipo y capacidad de lavadora.

En la tabla 9 se muestra los resultados obtenidos de la investigación según (Juárez, 2013), sobre la cantidad de consumo de agua por tipo de lavadoras y capacidades.

TABLA 9

CONSUMO DE AGUA POR DIFERENTES LAVADORAS SEGÚN SU CAPACIDAD

EQUIPO	MARCA	TIPO	CAPACIDAD (Kg)	CONSUMO DE AGUA	
				LITROS/LAVADO	LITROS/CICLO
1	LG	SEMIAUTOMATICA	6	97.47	194.94
2	DAEWO	SEMIAUTOMATICA	8	61.96	123.92
3	EASY	SEMIAUTOMATICA	12	90.86	181.72
4	LG	SEMIAUTOMATICA	13	104.86	209.72
5	EASY	SEMIAUTOMATICA	13	85.62	171.24
6	ACROS	SEMIAUTOMATICA	15	96.6	193.2
7	EASY	AUTOMATICA	16	92.62	185.24
8	EASY	AUTOMATICA	8	81.32	162.64
9	EASY	AUTOMATICA	9	85.46	170.92
10	EASY	AUTOMATICA	10	73.48	146.96
11	WHIRLPOOL	AUTOMATICA	10	70	140
12	SAMSUNG	AUTOMATICA	14	105.55	211.1
13	WHIRLPOOL	AUTOMATICA	15	84.44	168.88
14	WHIRLPOOL	AUTOMATICA	16	76.8	153.6
15	MABE	AUTOMATICA	18	80.42	160.84

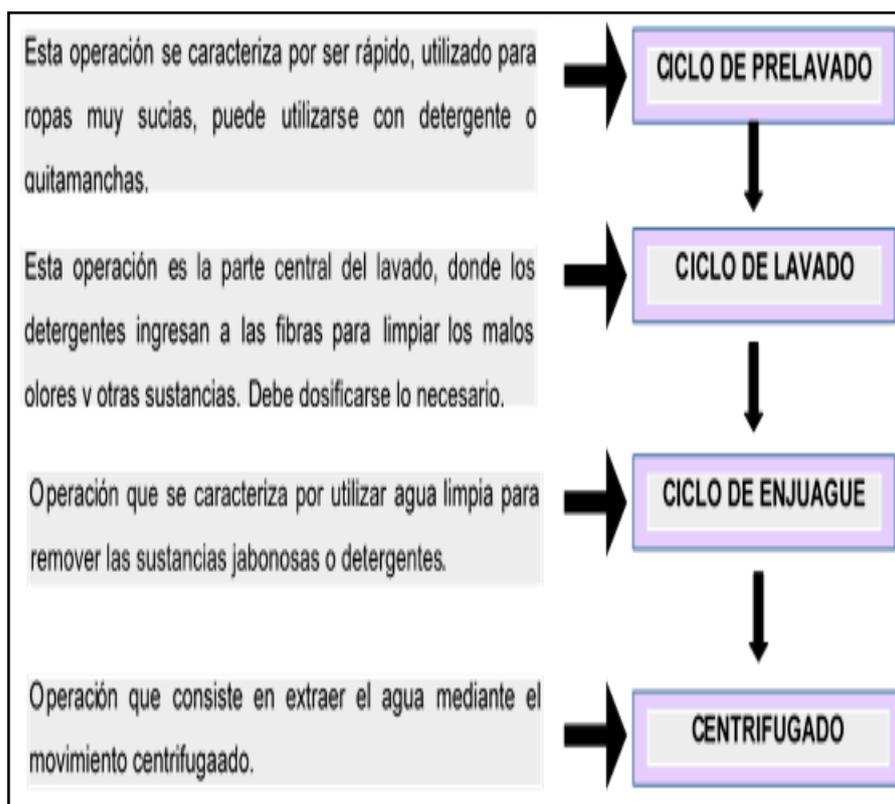
Nota: (Juárez, 2013). Este estudio se baso en la determinación del potencial de ahorro y uso eficiente de la energía y recursos hidráulicos por la sustitución de lavadoras domésticas; y en de sus estructuras del informe se clasifico las lavadoras

b) Diagrama del proceso de lavado con lavadoras domésticas

El proceso del lavado de las ropas siguen las siguientes secuencias indicadas por ciclos, mediante el cual uno puede optimizar el lavado.

FIGURA 6

OPERACIONES DE LAVADO DE ROPAS CON LAVADORA DOMÉSTICA.



Nota: Etapas del lavado de ropas, se tomo estas cuatro operaciones, por el motivo que la mayoría de marcas de lavadoras conocidas tienen esta función.

2.2.5. Efluentes generados en lavanderías

El proceso de lavado de ropas al margen de utilizar la tecnología de lavado y el tipo de lavadoras, en sus diferentes operaciones de ciclo se generan aguas residuales de diferentes grados de contaminación que contienen sustancias provenientes de uso de detergentes y jabones, la suciedad, de la propia ropa y de la propia lavadora.

Estas diferentes sustancias generadas se pueden clasificar en orgánicos (grasas, aceites, jabones, detergentes, disolventes clorados y sustancias biológicas), inorgánicos (metales

moleculares e ionizados, arena, tierra, etc). Generalmente el grado de contaminación se caracteriza mediante los parámetros fisicoquímicos como DQO, DBO₅, SST, etc. Según (Manouchehri & Kargari, 2017), en la tabla 10 se muestran las características de las aguas residuales generadas en lavadoras domésticas, lavadoras industriales y lavadoras del hospital, recopiladas de varios trabajos de investigación.

TABLA 10

CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL GENERADA EN LAVADORAS DOMÉSTICAS, LAVADORA INDUSTRIAL Y LAVADORA HOSPITALARIA

PARÁMETROS	L. DOMÉSTICA	L. INDUSTRIAL	L. HOSPITALARIA
pH	9.3- 10	(9 - 11)	11.4-11.6
EC (µS/cm)	190- 1400	640 - 3000	808 - 2000
TDS (mg/L)	400-6000	420	456 - 800
TSS (mg/L)	200-987	Abr-00	66 - 71
TH (mg/L)	(-)	44	53 - 68
TA (mg/L)	83- 200	128	302 - 375
TOG (mg/L)	8.0-35	71.5 - 11790	25 - 26
FOSFATO (mg/L)	4-27.6	3.43	10.8 - 167
DBO (mg/L)	48-1200	218 - 9810	44 - 50
DQO (mg/L)	375-4155	80 - 212000	477 - 876
TURBIEDAD (NTU)	14-400	40 - 150	87.9

Nota: (Manouchehri & Kargari, 2017), realizaron un estudio llamado recuperación de agua de las aguas residuales de lavandería por el proceso de microfiltración de flujo cruzado, donde se estudio el efecto de los parámetros operativos donde recopilamos la tabla mostrada.

2.2.6. Calidad de aguas recicladas para su reutilización

En varios países existen normas sobre estándares de calidad de agua para su reutilización para diferentes actividades, estas normas varían en función a su estricta utilización. Según (Manouchehri & Kargari, 2017), las aguas residuales para su reuso deben presentar parámetros fisicoquímicos de control de calidad, en la tabla 11 se muestran estos valores como referencias para reutilizarlas en lavaderos, riego de vegetales y baños reguladas en base a las normas internacionales e Iraés (IPEA).

TABLA 11

NORMAS DE REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE DE AGUAS PARA LA PROTECCIÓN DE LA SALUD HUMANA Y EL MEDIO AMBIENTE.

PARÁMETROS	LAVANDERÍA	SANITARIO	RIEGO PAISAJE	AGRICULTURA/RIEGO (IRÁN)
PH	(6 - 9)	(6 - 9)	(6 - 9)	(6 - 8.5)
TDS (mg/L)	2000	1000	NL	(-)
TSS (mg/L)	10	30	30	100
TH (mg/L)	90	NL	NL	(-)
DBO (mg/L)	10	30	30	100
DQO (mg/L)	(-)	(-)	(-)	200
TURBIEDAD (NTU)	2	NL	NL	50
COLIFORME FECAL (CFU/100 ml)	75% ND, 25 max.	200 ave, 800 max.	200 ave, 800 max.	400

Nota: ND = No detectado o por debajo del límite de detección

NL = Sin límite. (Manouchehri & Kargari, 2017). realizaron un estudio llamado recuperación de agua de las aguas residuales de lavandería por el proceso de microfiltración de flujo cruzado, donde se estudio el efecto de los parámetros operativos

Otro de los factores a tener en cuenta como parámetro de calidad para la reutilización del agua en lavadoras de ropas es la concentración de metales pesados.

El agua que contiene metales pesados como Fe, Zn, Pb, Cu, etc. En concentraciones altas pueden causar problemas de corrosiones o tener una acción agresiva sobre las prendas o telas; por lo tanto las telas al ser sometidas a tales condiciones se estarían influyendo sobre su parámetro de utilidad como a la resistencia de tracción y

desgarro, parámetros importantes que representa su durabilidad de las telas. Para una durabilidad justa de las telas, se recomienda que las aguas recicladas para uso en lavado de ropas deben tener concentración de metales propias de agua potable; por lo tanto según los organismos como OMS, ADWG Y EPA los metales deben estar en el rango de concentraciones tal como se aprecia en la tabla 12.

TABLA 12

RANGO DE CONCENTRACIÓN DE METALES EN AGUA POTABLE SEGÚN (OMS, ADWG Y EPA)

METALES PESADOS	OMS 2004 (salud/estética)(mg/L)	ADWG 2004 (salud/estética)(mg/L)	EPA 2011 (mg/L)
Fe	0.3	0.3	0.3
Zn	3	3	3
Pb	0.01	0.01	NA
Mn	0.05/0.4	0.5/1	NA
Cu	2	(2/1)	1.3

Nota: (Mainali et al., 2013)., en la tabla se puede visualizar los diferentes parametros limites establecidos para agua potable según cada institución.

2.2.7. Efectos tóxicos de los contaminantes generados en aguas residuales de lavadoras

Debido a la escasez, la mala calidad del agua y el desastre originado de estas relaciones, el recurso hídrico están siendo estudiados en sus diferentes campos, uno de ellos es sobre su reutilización en diferentes actividades, para ello el agua debe cumplir con una serie de requisitos en base a sus parámetros fisicoquímicos. El agua residual proveniente de lavadoras domésticas según (Ciabatti et al., 2009), perteneciente al agua gris, contienen altas concentraciones de detergentes y jabones, blanqueadores, sólidos suspendidos, grasas, etc. Presentando en DQO entre 1200 mg/L a 20000 mg/L, estas concentraciones en términos de su toxicidad son una amenaza para su reuso y el ecosistema.

En la tabla 13 se muestra la toxicidad de algunos de los componentes presentes en agua residual de lavadoras.

TABLA 13
EFFECTOS TÓXICOS DE LOS COMPONENTES DEL LAVADO

ESPECIES CONTAMINANTES	EFFECTOS
SURFACTANTE	Los tensoactivos tenían toxicidad alta o moderada y eran más tóxicos (mmol / L) componentes. Contribuyeron entre el 10,4% y 98,8% de toxicidad en detergentes con una contribución media del 40,7%.
	Los surfactantes crean un aumento de la población bacteriana, que se transmite a través de la cadena alimentaria a los protozoos, que son más sensibles a las toxinas del lavado de ropa.
	El alquilbencenosulfonato lineal (LAS) es el tensioactivo aniónico más extendido y su concentración puede variar de 17 a 1024 ppm. Se deriva del petróleo dos-productos, se degrada aeróbicamente con bastante rapidez, pero solo muy lentamente o nada en condiciones anaeróbicas. Genera subproductos cancerígenos y tóxicos.
DETERGENTES	Todos los detergentes destruyen hasta cierto punto las membranas mucosas y branquias de los peces. Las branquias pueden perder aceites naturales, interrumpiendo la transferencia de oxígeno. Membranas mucosas dañadas las branquias dejan a los peces susceptibles a bacterias y parásitos. Los detergentes son tóxicos para los peces cerca de 15 ppm, matando huevos de peces a 5 ppm y causan alteraciones endocrinas y efectos latrogénicos en peces.
ACEITES/GRASAS	El agua de lavado contiene de 8 a 35 mg / L de aceite / grasa. Afecta negativamente a la estética, transparencia del agua y contenido de oxígeno disuelto (OD) en el agua.

Nota: (Sumisha et al., 2015), su estudio se basó en el estudio de la filtración de aguas residuales de lavandería utilizando membranas de ultrafiltración de poliestersulfona, donde podemos apreciar los efectos de las especies contaminantes.

2.2.8. Tratamiento de aguas residuales de lavadora doméstica

Debido al problema expuesto (escases, calidad, etc.), tratar el agua residual por diferentes métodos es por lo tanto una de las opciones para llegar a reutilizar el agua. Entre los tratamientos convencionales conocidos como la flotación, coagulación,

adsorción, oxidación química y biológica y los emergentes como los procesos de oxidación avanzada, membranas, etc. Pueden utilizarse con la finalidad de llegar a valores admitidos.

Según (Jefferson et al., 2004), los tratamientos físicos para aguas residuales de lavadoras por si solos no son suficientes, a menos que tengan poca carga de contaminación, de igual manera la relación entre DQO/DBO₅ debe ser menor a 0.5 para su posterior tratamiento en sistemas biológicos; sin embargo estos sistemas biológicos son favorables para efluentes de volúmenes grandes, pero para domicilios sería difícil su aplicación. Para estos casos se recomienda tratamientos simples, eficientes, sobre todo robustos y manejables por los habitantes.

Según (Dixon et al., 2000), el agua residual de lavadora almacenada por 24 horas puede mejorarse en términos de sedimentabilidad, pero no de concentración de coliformes, lo que genera un aumento en la toxicidad para la reutilización, de igual forma reafirmando según (Al-Jayyousi, 2003), si se deja reposar por 48 horas los niveles de oxígeno disminuyen empeorando aún más la calidad del agua, esto se debe a que la concentración de coliformes totales y CF pueden aumentar de 10⁰ - 10⁵/100 ml a más de 10⁵/100 ml.

a) Tratamientos naturales

Estos sistemas comunmente se realizan en países de bajos recursos, según (Boyjoo et al., 2013), estos tratamientos se fundamentan en la utilización de medios filtrantes y medios biológicos, como ejemplo tenemos a filtro de arena de flujo horizontal y vertical, filtros anaeróbicos, etc. Siempre acompañados de una etapa de desinfección, que puede ir antes o después del tratamiento.

b) Tratamientos físicos

Estos sistemas se basan en operaciones de filtración y sedimentación, son considerados no muy eficientes y se utilizan para obtener aguas de baja calidad. Según (Zuma et al., 2009),

utilizando un sistema compuesto de mantillo, arena gruesa, grava fina y grava gruesa se eliminó sólo el 26% la DQO y 52% en SST, mientras los coliformes totales y FC permanecieron casi constantes.

Las aguas sometidas a estos tratamientos en varios lugares son empleados para reutilizarlas en riego de cultivo para vegetales y para los inodoros a pesar de contener una serie de patógenos (*E. coli* y *Salmonella sp.*, etc.).

c) Tratamientos químicos

Dentro de estos sistemas de tratamientos se encuentran la coagulación química, la electrocoagulación, la adsorción, intercambio iónico, procesos de oxidación avanzada, fotocatalisis, etc. Estos tratamientos se caracterizan por reducir los parámetros fisicoquímicos de manera eficiente, paralelo a ello reducir la toxicidad que va en función de la técnica aplicada, por ejemplo según (Chin et al., 2009), utilizando la técnica de oxidación avanzada se redujeron en 87% en DQO con tres horas de tratamiento, utilizando UVC y 10 Mm de H_2O_2 , el resultado final de la relación entre DQO/DBO₅ se llegó a 0.41, con lo cual el agua saliente de esta técnica es apto para los tratamientos biológicos.

d) Tratamientos biológicos

Según (Boyjoo et al., 2013), estos sistemas de tratamiento comunmente para su funcionamiento requieren de una serie de requisitos que deben cumplir el agua residual a tratar, por lo general como tratamiento previo al biológico se realizan filtraciones, operaciones de sedimentación ayudados con procesos químicos de coagulación y floculación, desinfección con agentes oxidantes como el UV, ozono, etc. Estos sistemas tienen diferentes configuraciones Y presentaciones, entre los más conocidos tenemos a filtro biológico aireado (BAF), biorreactor de membranas (MBR), manto de lodo anaeróbico de

flujo ascendente (UASB), contactor biológico rotatorio (RBC) y por último el reactor de lecho fluidizado (FBR).

Los valores fisicoquímicas que se recomiendan que tengan las aguas residuales para una buena reducción de contaminantes mediante el uso de sistemas biológicos para la relación de DQO:N:P según (Li et al., 2009) deben estar en 100:20:1, mientras para la relación de DBO_5/DQO según (Palmquist & Hanæus, 2005) debe estar en igual o mayor de 0.5, de igual modo para la concentración de metales como el Zn y Cu debe estar en un rango recomendado.

2.2.9. La electrocoagulación

a) Coagulación química

Según (Amirtharajah & Mills, 1982), el proceso de coagulación conlleva varios mecanismos, desde el momento en que el coagulante entra en contacto con el agua hasta la formación de diversos compuestos a base de aluminio y el hierro, los mecanismos iniciales son:

- Formación de especies catiónicas hidrolizadas al reaccionar el coagulante y el agua, que son muy dependientes del pH del agua y la concentración del coagulante.
- Interacción de estas especies formadas por los coloides de carga negativa.

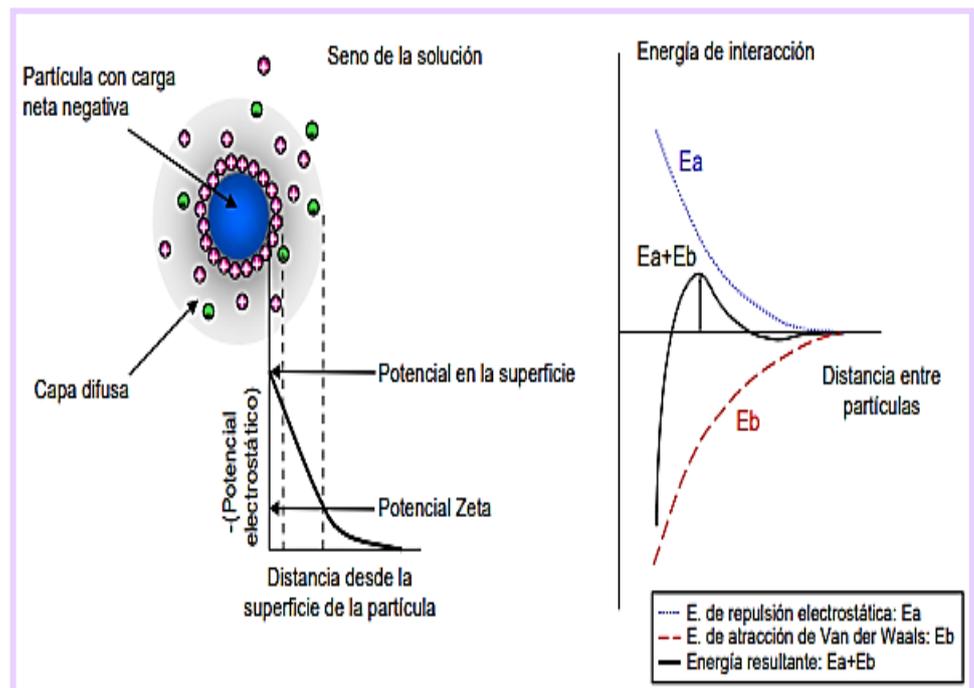
Estos mecanismos suceden en equipos donde tienen agitadores de modo que para la primera etapa se necesita una agitación rápida favoreciendo la desestabilización de los coloides y generando una buena mezcla y para la etapa final en la formación de flóculos una agitación lenta.

Según (Amirtharajah & Mills, 1982), el proceso de coagulación química involucra una complejidad de mecanismos, uno de ellos es al desestabilizar al coloide se inicia el proceso de compresión de la doble capa resultando una menor repulsión entre coloides

y generando el incremento de la fuerza de atracción tipo Van der Waals entre partículas, tal como se muestra en la figura 2, de igual modo otro de los mecanismos para su neutralización es el enredo de los coloides en el interior de los precipitados formados y la adsorción de los cationes formados sobre los coloides. Otro de los mecanismos que ocurre es cuando los grupos activos de los coagulantes son adheridos al coloide originando una atracción tipo puente entre partículas, este efecto se logra con mayor intensidad si se emplean floculantes de cadena larga, obteniendo flóculos fácilmente sedimentables, tal como se aprecia en la figura 7.

FIGURA 7

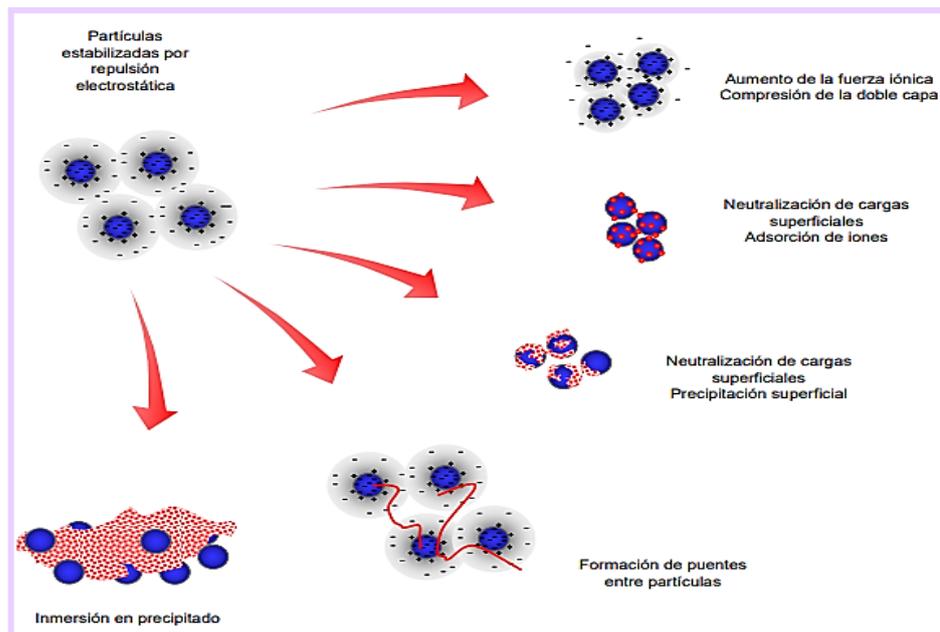
ESQUEMA DE LAS FUERZAS DE INTERACCIÓN QUE ACTÚAN SOBRE UNA PARTÍCULA EN SUSPENSIÓN.



Nota: (Martínez, 2007)., su estudio se basó en el tratamiento de aguas industriales, mediante electrocoagulación, en esta figura se muestra como las coagulantes se adhieren a la particular para generar un peso mayo y descender a la superficie.

FIGURA 8

MECANISMOS DE COAGULACIÓN DE PARTÍCULAS COLOIDALES.



Nota: (Martínez, 2007), en esta figura podemos observar las fuerzas de interacción que actúan sobre una partícula en suspensión

b) Fundamento de la electrocoagulación

El proceso de la electrocoagulación se fundamenta en las tres leyes de Faraday aplicables en una celda de electrólisis, donde la primera ley relaciona la masa del elemento liberado en la celda electrolítica es independiente de la composición del electrolito, siempre que su estado de oxidación sea el mismo, la segunda ley relaciona la masa liberada de una sustancia en un electrodo durante el proceso electrolítico es directamente proporcional a la cantidad de electricidad que circula a través de la celda expresada matemáticamente en la ecuación (1).

$$m = E * Q = \left(\frac{P_{eq.}}{F}\right) * It \dots\dots\dots (1)$$

Dónde: m es la masa liberada o depositada en gramos, E es el equivalente electroquímico, Q es la carga que resulta de multiplicar la intensidad y el tiempo, F es la constante de

Faraday (96500 C), I es la intensidad de corriente en amperios y t es el tiempo en segundos.

La tercera ley relaciona la masa depositada o liberada en una celda que es directamente proporcional al peso equivalente expresada en la siguiente ecuación (2).

$$m_{Ax} = \frac{Q \cdot P_{mAx}}{nF} \dots\dots\dots (2)$$

Donde m_{Ax} es la masa del compuesto liberado o depositado en gramos, Q es la carga eléctrica que pasa través de la celda electrolítica en Columbios, P_{mAx} peso molecular en g/mol, n es el número de electrones y F es la constante de Faraday (96500C)

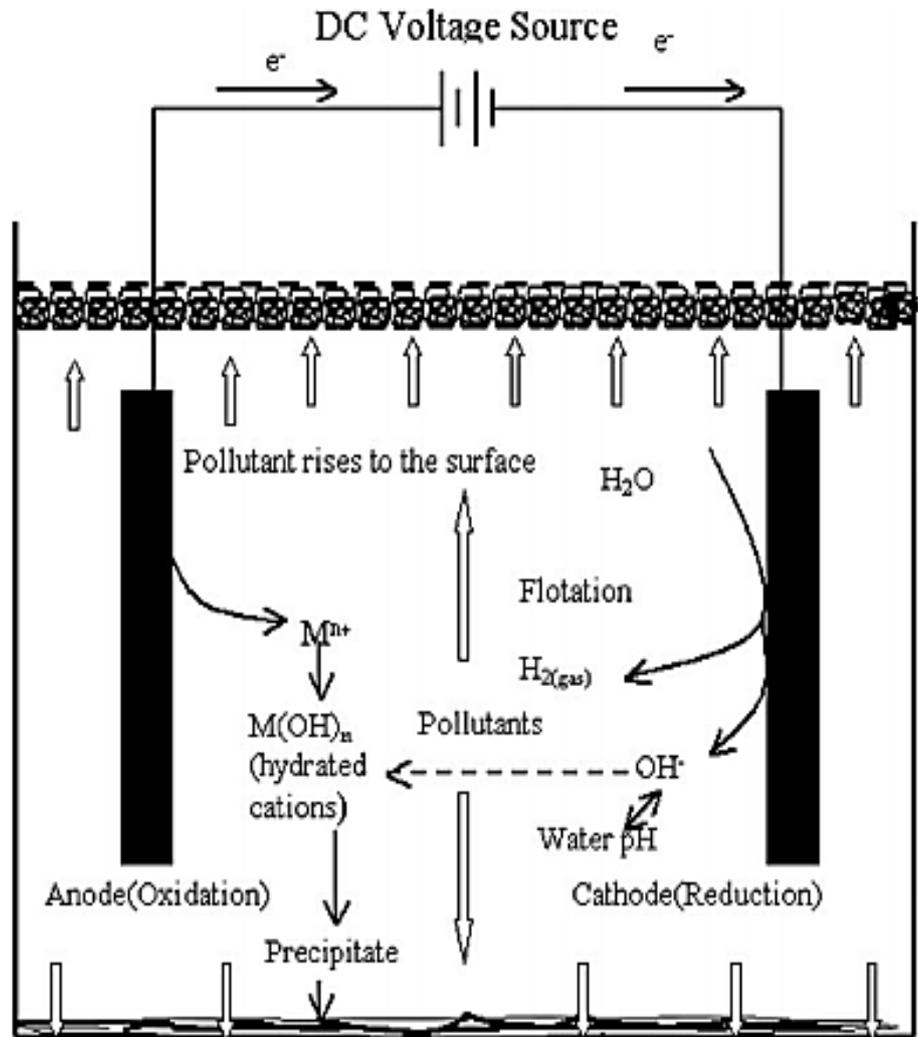
c) Funcionamiento de una celda de electrocoagulación

Según (Mollah et al., 2004), el proceso de electrocoagulación empieza cuando se le conecta una fuente externa de corriente eléctrica que pasa a través de los electrodos y el medio electrolítico, que en este caso se considera el medio electrolítico a los efluentes en estudio, los electrodos para estos procesos comúnmente son aluminio, hierro, cobre y otros materiales metálicos que puedan desestabilizar a los coloides mediante la formación insitu de coagulante. Al pasar la corriente en la superficie del electrodo (ánodo) ocurren reacciones de oxidación como la electrodisolución del metal en (ión metálico) y oxidación del agua, mientras en el cátodo reacciones de reducción del agua, esos mecanismos generan especies gaseosas y metales iónicos, los que generalmente actúan sobre la reducción de los contaminantes, estas reacciones ocurren simultáneamente.

Al formarse estas especies gaseosas y los compuestos a partir de iones metálicos reducen a los contaminantes por diferentes mecanismos, los más sobresalientes se observan en la figura 9.

FIGURA 9

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UNA CELDA DE ELECTROCOAGULACIÓN DE DOS ELECTRODOS A ESCALA DE BLANCO.



Nota: (Mollah et al., 2004), apreciamos que en la celda de electrodos desestabiliza los coloides mediante los coagulantes.

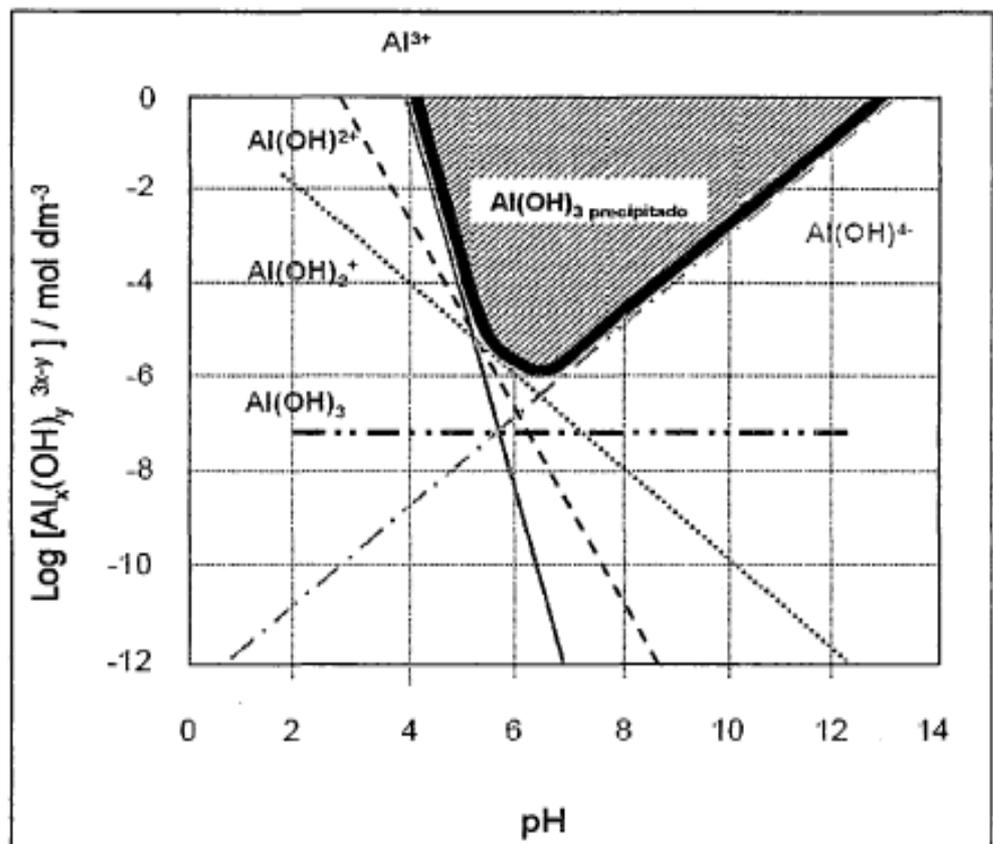
d) Reacciones en la solución electrolítica de electrocoagulación

Según (Amirtharajah & Mills, 1982), las reacciones que ocurren en el seno electrolítico son determinadas fundamentalmente por principales factores de concentración de iones del metal ionizado, pH de la solución, etc. Al hidrolizarse los iones metálicos alrededor de ello se forman una capa de moléculas del agua y de acuerdo al grado del pH de la solución se van formando diversos

productos que van desde especies monoméricas hasta poliméricas, y que tienen características importantes como solubles y los no solubles los que forman los precipitados. La química del aluminio es muy compleja, a medida que se aumenta la concentración se van formando especies desde monoméricas pasando por productos intermedios como dímeros, trímeros, etc. Hasta formar productos de peso molecular pesado (polímeros), en la figura 10 se muestra la formación y la estabilización de las diferentes especies formadas a diferentes pH de solución.

Figura 10

Concentración de especies monoméricas de aluminio en equilibrio con hidróxido de amorfo, en condiciones de fuerza iónica cero, $T = 25^\circ \text{C}$ y pH variable.



Nota: (Martínez, 2007), a mayor temperatura, se van formando diversos productos que van desde especies monoméricas hasta poliméricas, formando los precipitados

e) Principales reacciones en los electrodos en una celda de electrocoagulación

Según (Amirtharajah & Mills, 1982), los principales productos obtenidos mediante las reacciones electroquímicas en el electrodo de ánodo es (Al^{3+}) y en el cátodo es (OH^-) , y estos productos formados mediante reacciones químicas empiezan a formar especies desde manoméricas hasta poliméricas y por el proceso de precipitación se forma $(Al(OH)_{3(s)})$, el cual tiene propiedades como sustancia amorfa gelatinosa, una gran área superficial donde son adsorbidos o retenidos los contaminantes. En la tabla 14 se muestran las principales reacciones electroquímicas en una celda de electrocoagulación.

TABLA 14

REACCIONES PRINCIPALES EN LA CELDA ELECTROCOAGULACIÓN

REACCIONES	
	$Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^-$
	$Al^{3+} + H_2O \rightarrow Al(OH)_{3(s)} + 3H^+$
Ánodo	$nAl(OH)_3 \rightarrow Al_n(OH)_{3n}$
Cátodo	$3H_2O + 3e^- \rightarrow \frac{3}{2}H_2 + 3(OH)^-$
Producto final	$Al(OH)^{2+}, Al(OH)_2^+, Al_2(OH)_2^{4+}, Al(OH)_2^-$ $Al_6(OH)_{15}^{3+}, Al_7(OH)_{17}^{4+}, Al_8(OH)_{20}^{4+}, etc.$

Nota: (Koby et al., 2003), (Mollah et al., 2001)., se observa en esta tabla las reacciones electroquímicas que sucede en una celda de electrocoagulación

f) Principales factores que gobiernan el proceso de electrocoagulación

➤ **Densidad de corriente:**

La intensidad de corriente según (Mollah et al., 2004), es un factor importantísimo en la generación de masa de iones $(Al^{3+}$ y $Fe^{2+})$, en los electrodos, este parámetro al igual que otros factores tiene que trabajarse coordinadamente para buscar un mejor rendimiento de la celda, estos parámetros

están relacionados directamente o indirectamente entre ellos. La eficiencia de la densidad de corriente cuando se usa electrodo de aluminio es superior que cuando se utiliza electrodos de hierro, este fenómeno lo explica (Mollah et al., 2004), fundamentando en que el aluminio se corroe fácilmente en solución salina de cloruro en cambio el hierro no sucedía eso.

➤ **Efecto del pH:**

Es otro de los factores de mayor importancia en el proceso de electrocoagulación, según (Barrera-Díaz et al., 2011), el efecto se refleja sobre la eficiencia de la densidad y la solubilidad de las especies de hidróxidos metálicos. La eficiencia en la remoción de contaminantes está en el rango de pH (6-8), la variabilidad del rango de pH en la solución es en función a la generación de productos en el cátodo como en el ánodo.

➤ **Presencia de cloruro de sodio:**

Es otro de los factores importantes para mejorar la eficiencia de la celda, en este caso ayuda a mejorar la conductividad de la celda y también ayuda a contrarrestar los efectos negativos cuando se encuentran otros iones como HCO_3^- y SO_4^{2-} , de lo contrario empiezan a precipitar los iones de calcio y magnesio, el cual formaría una capa en los electrodos, aumentando mayor resistencia al paso de la corriente y resultando una disminución de la eficiencia de la celda. Existen otros factores a tener en cuenta para mejorar la eficiencia como el tipo de electrodo, distancia entre electrodos, tiempo de tratamiento, concentración del efluente, configuración de la celda, agitación de la celda, etc.

g) Aplicaciones de la electrocoagulación

El proceso de electrocoagulación como tecnología emergente desde varios años se viene investigando para su aplicación en diversos tipos de efluentes (industriales, domésticas, etc.), obteniendo resultados beneficiosos en función de la reducción de los parámetros fisicoquímicos (DQO, DBO₅, sólidos totales, metales, etc.).

Según (Yasri, Hu, GolamKibria, & Roberts, 2020), la electrocoagulación se emplea para:

- En la industria de alimentos
- Para la industria del petróleo
- En el efluente provenientes de domicilios
- Efluente provenientes de las minas.
- Efluentes textiles, curtiembre, etc.

Para el tratamiento de efluentes de lavadero de autos se han hecho numerosos estudios empleando la técnica de electrocoagulación, diferenciándose en el tipo de electrodo, diseño del equipo, en el objetivo del estudio, configuración de los electrodos, etc, obteniéndose diferentes eficiencias en función a los objetivos en estudio.

h) Ventajas y desventajas del proceso de electrocoagulación

Esta técnica tiene muchas ventajas frente a otras técnicas que se consideran como su contratipo (coagulación química), en la tabla 15 se enumeran las ventajas y desventajas de la electrocoagulación.

TABLA 15**VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ELECTROCOAGULACIÓN**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Los costos de operación son menores comparativamente con los de procesos convencionales usando polímeros.	Durante el proceso electrolítico el ánodo sufre desgaste por la liberación de los iones metálicos a la solución. Además, estos se engrasan y se corroen por lo cual es necesario realizar una correcta limpieza
La materia suspendida que se separa por electrocoagulación puede ser reprocesada y/o vendida como subproducto.	Es necesario reponer los electrodos de sacrificio.
El diseño de este sistema es más simple ya que no necesitan compresores ni bombas de alta presión, ni instrumentos para medición y control de sistemas presurizados.	Los lodos contienen altas concentraciones de hierro y aluminio, dependiendo del material del electrodo de sacrificio utilizado.
El lodo generado es menor que en el caso de otros métodos aplicados industrialmente.	Puede ser un tratamiento costoso en regiones en las cuales el costo de la energía eléctrica sea alto.
El costo de operación de la electrocoagulación es menor al del tratamiento químico convencional.	El óxido formado en el ánodo puede, en muchos casos, formar una capa que impide el paso de la corriente eléctrica, disminuyendo de esta forma la eficiencia del proceso.
Las plantas de tratamiento de efluentes requieren menor área.	
Alta efectividad en la remoción de un amplio rango de contaminantes.	
Puede generar aguas potables, incoloras e inodoras,	
Elimina requerimientos de almacenamiento y uso de productos químicos.	
Genera lodos más compactos y en menor cantidad, lo que involucra menor problemática de disposición de estos lodos.	
Produce flóculos más grandes que aquellos formados en la coagulación química y contienen menos agua ligada.	
Los contaminantes son arrastrados por las burbujas a la superficie del agua tratada, donde pueden ser removidos con mayor facilidad	
El paso de la corriente eléctrica favorece el movimiento de las partículas de contaminante más pequeñas, incrementando la coagulación.	

Nota: (Arango-Ruiz, 2005), su estudio se basó en la electrocoagulación, donde apreciamos que esta técnica tiene más ventajas que desventajas.

2.2.10. Algunos indicadores del proceso de electrocoagulación acoplado a UV

a) Porcentaje de reducción de la turbiedad

El porcentaje de reducción de la turbiedad indica el grado de eliminación de los sólidos suspendidos totales que afectan la claridad del agua residual y se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$\%R. Turbiedad = \left(\frac{T_{inicial} - T_{final}}{T_{inicial}} \right) \times 100 \dots \dots \dots (3)$$

Donde: $T_{inicial}$ es la turbiedad inicial (NTU), T_{final} turbiedad final (NTU).

b) Masa disuelta electrolíticamente

Cantidad de aluminio disuelto en la celda de electrocoagulación, se calcula mediante la ecuación (4).

el I es la intensidad (Amperios)

$$m_{Al} = \frac{M}{n \cdot F} \int_{t_{inicial}}^{t_{final}} I(t) * dt \dots \dots \dots (4)$$

Donde: M es la masa molar de aluminio (27 g/mol), n es el número de electrones liberados (3 e-),

F es la constante de Faraday (96500 C/mol), t es el tiempo (segundos)

c) Energía consumida en la celda de electrocoagulación

Es la energía utilizada para poner en funcionamiento el sistema de electrocoagulación, expresada en Wh/m³, se calcula mediante la ecuación (5).

$$W_c = \frac{1}{V_R} \int_0^t U(t) * I(t) * dt \dots \dots \dots (5)$$

Donde: V_R es el volumen a tratar en m³, t es el tiempo de electrocoagulación en segundos, U es el voltaje aplicado en voltios, I es la intensidad de corriente en Amperios y W_c en Wh/m³

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

a) Aguas grises domésticas

Las aguas residuales grises se consideran a los efluentes provenientes de las diferentes actividades del hogar como de las lavanderías, lavadoras, baños cocinas, lavavajillas y otros menos de los inodoros. Por lo tanto las aguas grises se contienen una menor contaminación a diferencia de los que proviene de los inodoros (Oron et al., 2014).

b) Surfactante

Los surfactantes son algunos de los productos más versátiles de la industria química, por su capacidad de absorberse en la interfase entre dos sustancias totalmente inmiscibles entre sí y por la estructura polar-apolar que poseen. Existe una amplia variedad de surfactantes (aniónicos, catiónicos, no-iónicos, gemelos, anfóteros) y la aplicación de cada uno dependerá de la necesidad que se requiera (Milton, 2004).

c) Efluentes de lavandería

Los efluentes de lavandería pertenecen a las aguas residuales grises que se podrían reciclar, reutilizar y refinarse. Estas aguas se caracterizan por contener grasas, aceites, detergentes, jabones, metales pesados, arena, polvos de suelo y otras sustancias recalcitrantes (Pakula & Stamminger, 2010).

d) Electrocoagulación

La electrocoagulación es un proceso emergente que tiene la características de usarse para eliminar eficazmente los compuestos orgánicos e inorgánicos, mediante la generación insitu del coagulante electrolíticamente que puede ser de aluminio, hierro u otros metales con la finalidad de actuar como aglomerante (Ghanbari et al., 2014a).

e) **Procesos de oxidación avanzada**

Los procesos de oxidación avanzada se fundamentan en la generación insitu de diversas sustancias oxidantes, entre ellos el radical OH° , radicales sulfato, cloro, etc. Con la finalidad para oxidar sustancias orgánicas desde lo más simple hasta recalcitrantes, para ello se utilizan una serie de oxidantes como el ozono, peróxido, etc. Ayudados por catalizadores como iones metálicos y como fuente de energía a la corriente eléctrica u otros (Bolton et al., 1996).

f) **Irradiación ultravioleta**

Las radiaciones de UV constan de lámparas de mercurio con espectros de emisión monocromáticas y policromáticas, que en los procesos de oxidación avanzada se les usa para generar los radicales hidroxilos, para ellos se trabajaron con una determinada longitud de onda para procesos de desinfección (Song et al., 2016).

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. Hipótesis general

- **Hi:** Al evaluar los parámetros operacionales de manera adecuada de un pro proceso de sinergia (electrocoagulación/UV) obtendremos la remoción de la turbiedad en aguas provenientes de lavadoras domésticas, con la cual se obtendrá un efluente que cumpla con las normas técnicas establecidas.
- **Ho:** Al evaluar los parámetros operacionales de manera adecuada de un proceso de sinergia (electrocoagulación/UV) no obtendremos la remoción de la turbiedad en aguas provenientes de lavadoras domésticas, con la cual se obtendrá un efluente que cumpla con las normas técnicas establecidas

2.4.2. Hipótesis específicas

- **Hi1:** Caracterizando los parámetros fisicoquímicos del agua residual proveniente de lavadoras domésticas se podrá conocer la composición y la calidad del agua residual.
- **Ho1:** Caracterizando los parámetros fisicoquímicos del agua residual proveniente de lavadoras domésticas no se podrá conocer la composición y la calidad del agua residual.
- **Hi2:** Los parámetros operacionales de (voltaje, pH, tiempo de tratamiento) influyen significativamente en el proceso híbrido de electrocoagulación con UV sobre la reducción de la turbiedad en aguas residuales procedentes de lavadoras domésticas.
- **Ho2:** Los parámetros operacionales de (voltaje, pH, tiempo y flujo) no influyen significativamente en el proceso híbrido de electrocoagulación con UV sobre la reducción de la turbiedad en aguas residuales procedentes de lavadoras domésticas.
- **Hi3:** Las aguas salientes del tratamiento por electrocoagulación asistida con UV han sido reducidas los valores de sus parámetros fisicoquímicos.
- **Ho3:** Las aguas salientes del tratamiento por electrocoagulación asistida con UV no han sido reducidas los valores de sus parámetros fisicoquímicos.

2.5. VARIABLES

2.5.1. Variables dependientes

La remoción de la turbiedad en aguas residuales provenientes de lavadoras domésticas.

2.5.2. Variables independientes

Estudio de los parámetros operaciones en el proceso de sinergia (electrocoagulación/UV).

- Voltaje X1
- pH X2
- Tiempo de tratamiento X3

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Título: “ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES EN EL PROCESO DE SINERGIA (ELECTROCOAGULACIÓN/UV) PARA LA REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD EN AGUAS PROVENIENTES DE LAVADORAS DOMÉSTICAS HUÁNUCO 2020”

TABLA 16
CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Unidades	Instrumento
Variable independiente Estudio de los parámetros operacionales en el proceso de sinergia (electrocoagulación/UV).	El proceso de electrocoagulación consiste en el uso de los electrodos comúnmente son de aluminio, hierro, cobre y otros materiales metálicos que forman coagulantes insitu en la celda electrolítica desestabilizando a los coloides acompañado de diversos mecanismos (Mollah et al., 2004).	El proceso de electrocoagulación como tecnología emergente desde varios años se viene investigando para su aplicación en diversos tipos de efluentes (industriales, domésticas, etc.), obteniendo resultados beneficiosos en función de la reducción de los parámetros fisicoquímicos (DQO, DBO ₅ , sólidos totales, metales, etc.).	Parámetros de operación de la electrocoagulación acoplado a UV.	Voltaje X1. pH X2. Tiempo X3.	- Voltios (V) - 0-14 -Minutos (Min.)	-Multímetro -pH metro -Cronómetro
Variable dependiente La remoción de la turbiedad en aguas provenientes de lavadoras domésticas	La turbidez como propiedad óptica, refleja el contenido de sustancias coloidales, minerales u orgánicas en el agua, por lo que puede ser indicio de contaminación, por lo tanto te da una idea de que tan limpio se encuentra el efluente (Miljojkovic, Trepsic, & Milovancevic, 2019)	Por lo que se sugiere el uso de este parámetro como indicador indirecto de contaminación microbiológica en aguas captadas de fuentes superficiales, Es así, como la turbidez se ha posicionado como un parámetro fisicoquímico importante para medir la calidad de agua en las fuentes de abastecimiento y en el agua suministrada a los usuarios (Stevenson & Bravo, 2019).	Parámetros fisicoquímicos	Turbiedad Y1 - Porcentaje de remoción de la turbiedad Y2	-NTU -%	- Turbidímetro -Ecuaciones

Nota: Los parámetros de operacionalización del proceso de investigación, trabajos con tres variables dependientes para hallar el porcentaje de disminución de turbiedad.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Por su finalidad esta investigación sobre la utilización de la técnica de electrocoagulación acoplado a UV puede ser aplicado como modelo para tratar otros efluentes con contaminantes orgánicos e inorgánicos.

Por su diseño interpretativo es considerado experimental con intervención porque en la investigación se va a manipular los factores involucrados en el proceso acoplado para encontrar los niveles óptimos de los factores en base a los objetivos planteados.

En base al nivel de estudio es considerado explicativo, porque como técnica se trata de encontrar una solución al tratamiento de las aguas residuales provenientes de una lavadora, usando técnicas que sean eficientes, seguras y robustas.

3.1.1. Enfoque

La investigación se correlaciona en un enfoque mixto, por ser parte de una investigación cuantitativa y cualitativa; por lo tanto, la aplicabilidad de teorías, a base de datos, técnicas y métodos, etc., todas estas características propias hace que la investigación científica sea considerado mixto.

Con referente al enfoque cuantitativo, en esta investigación se determinó la cantidad de turbiedad reducida aplicado por la técnica acoplada de electrocoagulación/UV, medida con el equipo de turbidímetro.

En el aspecto cualitativo esta investigación pertenece a esta línea porque en ello se caracterizó los parámetros fisicoquímicos del agua residual provenientes de lavadora doméstica.

3.1.2. Alcance o nivel

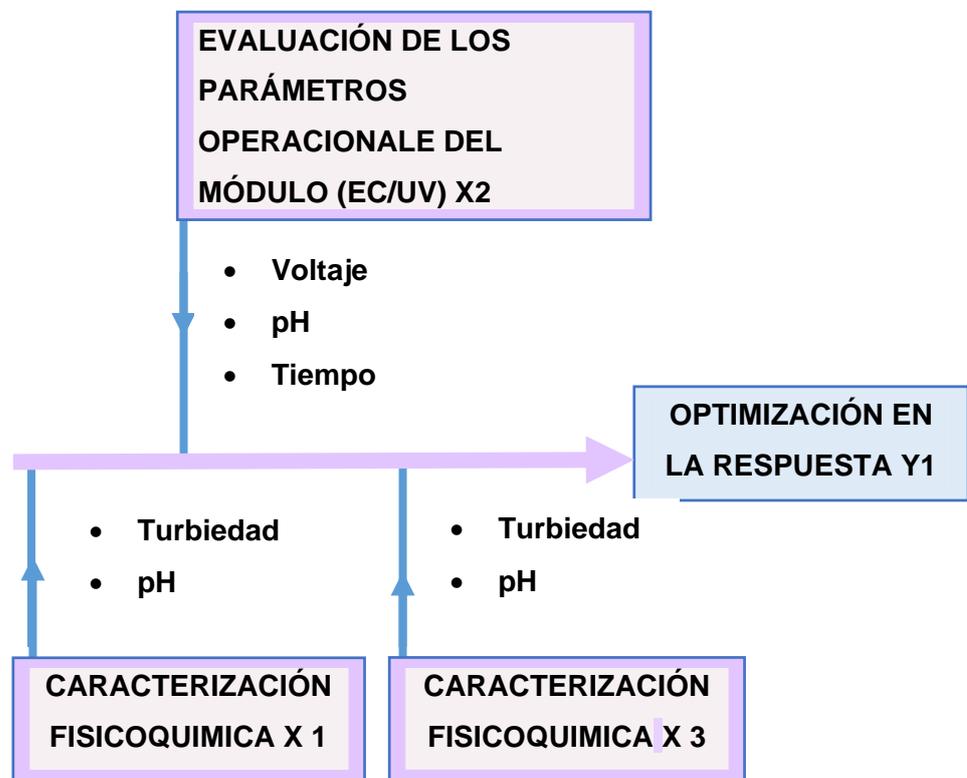
Esta investigación se enmarca en lo explicativo sobre un alcance sobre el estudio de la reducción de la turbiedad a diferentes condiciones sometidas en un proceso de tratamiento por

electrocoagulación acoplado a UV expresada en NTU sobre efluentes provenientes de lavadoras domésticas.

3.1.3. Diseño

Para esta investigación se plantearon 4 pasos fundamentados para el desarrollo del objetivo, inicialmente conformada por tres pasos que son influyentes para llegar a la última etapa que va representar el objetivo principal de la tesis, en la figura 11 se muestra un esquema general del desarrollo de la investigación.

FIGURA 11
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN, EN SUS ETAPAS DE DESARROLLO.



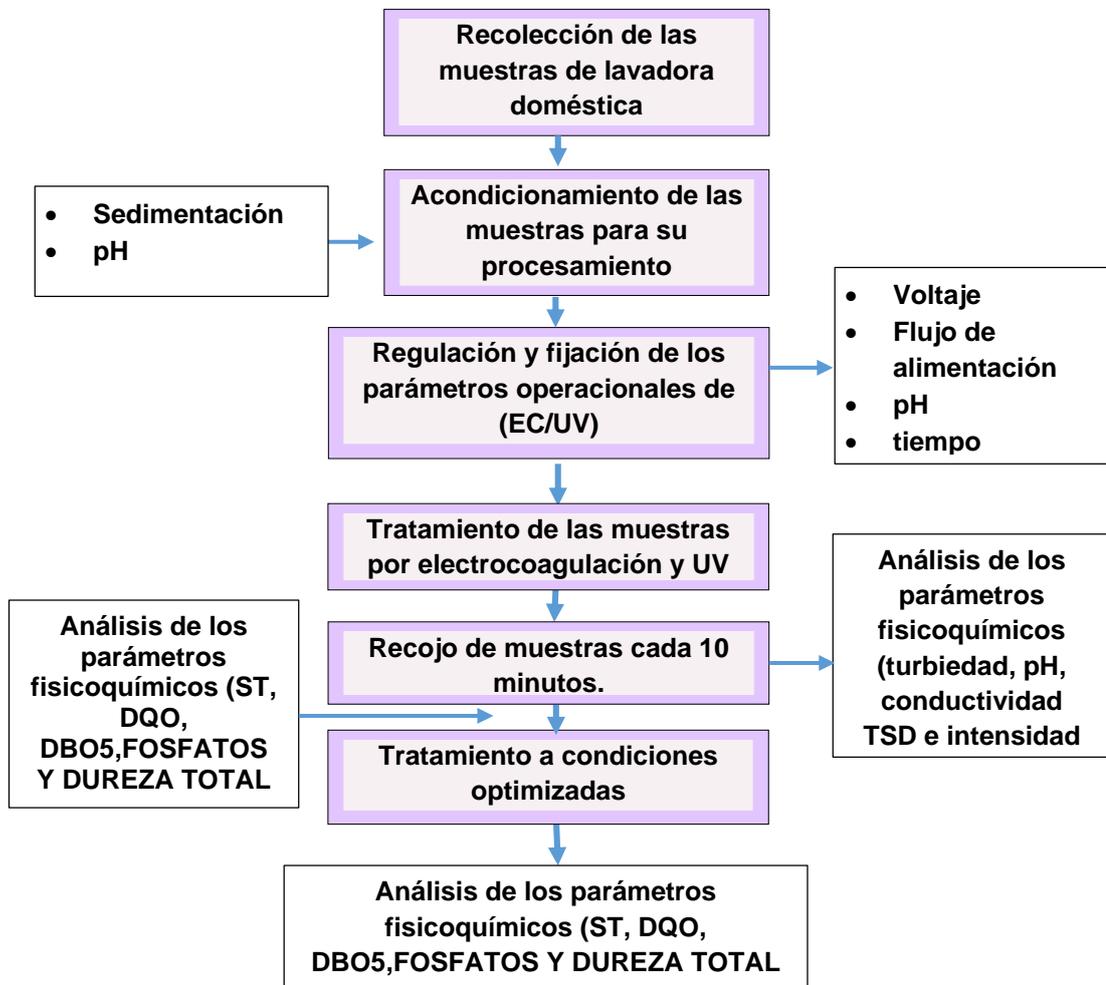
Nota: El diseño de la investigación, donde mostramos las variables dependientes y la variable independiente.

Dónde: X1 representa los parámetros fisicoquímicos que se encuentra en las aguas residuales antes de su tratamiento, X2 los parámetros operacionales del módulo y sus influencias, X3 parámetros fisicoquímicos salientes del proceso de electrocoagulación y UV y Y1 optimización en la reducción de la turbiedad sobre niveles adecuados.

En la figura 12 se muestra un diagrama de la secuencia del desarrollo de la investigación.

FIGURA 12

DIAGRAMA DEL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.



Nota: Diagrama del proceso de análisis, mostramos los procedimientos que realizamos en nuestro trabajo de investigación

a) Diseño central compuesto de la experimentación

Para buscar la respuesta adecuada sobre la reducción de la turbiedad se realizaron una serie de experimentos, para ello se utilizó el diseño central compuesto, mediante ello se obtuvo una determinada cantidad de experimentos y las posibles combinaciones de los tres factores en estudio, este diseño central ha sido generado mediante el uso del software Design Expert 11.

En la tabla 17 se muestran los factores de operación con sus respectivos niveles de trabajo.

TABLA 17

FACTORES DE OPERACIÓN DE LA ELECTROCOAGULACIÓN/UV CON SUS RESPECTIVOS NIVELES

FACTORES	Unidades	NIVELES	
		MIN.	MAX.
Voltaje	Voltios	3	11
pH	0-14	4.41	9.16
Tiempo de tratamiento	Minutos	20	60

Nota: Factores de operación para los procesos de electrocoagulación

Mediante estos factores con sus respectivos niveles, el software de Design Expert 11, facilita los 18 experimentos modelados mediante el diseño central compuesto. En la siguiente tabla 18 se muestra los 18 experimentos que se realizaron.

TABLA 18

NÚMERO DE EXPERIMENTOS EN BASE A DISEÑO CENTRAL COMPUESTO

N°	VOLTAJE	pH	TIEMPO DE TRATAMIENTO	RESPUESTA
	(V)	(0-14)	(Minutos)	
1	3	4.41	20	Y1
2	11	4.41	20	Y2
3	3	9.16	20	Y3
4	11	9.16	20	Y4
5	3	4.41	60	Y5
6	11	4.41	60	Y6
7	3	9.16	60	Y7
8	11	9.16	60	Y8
9	5	6.785	40	Y9
10	9	6.785	40	Y10
11	7	5.5975	40	Y11
12	7	7.9725	40	Y12
13	7	6.785	30	Y13
14	7	6.785	50	Y14
15	7	6.785	40	Y15
16	7	6.785	40	Y16
17	7	6.785	40	Y17
18	7	6.785	40	Y18

Nota: Números de experimentos, donde se trabajó con tres variables con valores diferentes para hallar una respuesta.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

El agua residual provenientes de lavadora doméstica se obtuvieron de un ciclo completo de lavado de una capacidad de 11 kilos, el lugar donde se extrajo la muestra se localiza en la capital de Huánuco, distrito Amarilis, la localización según el UTM se observa en la tabla 19.

TABLA 19

COORDENADAS DE LA UBICACIÓN DE LA MUESTRA SEGÚN UTM

Latitud sur	12° 1' 57 54"
Longitud oeste	76° 52' 38 21"
Altitud	355 msnm

Nota: Datos sobre GPS, ubicación donde se realizó la investigación.

3.2.1. Población

La población está representada por las aguas residuales salientes de un proceso de lavado completo, que se recolectó un volumen total de 180 litros, este volumen proviene de 11 kilos de ropa sucia con 210 gramos de detergente comercial, la población está ubicado en la ciudad de Huánuco, Distrito de Amarilis.

3.2.2. Muestra

La muestra utilizada para la parte experimental fue obtenida del volumen total de la población recogida, en este caso del ciclo completo de lavado. Se sacaron 95 litros para la muestra total, de los cuales se tomó 5 litros para cada experimento según el volumen de la celda electroquímica (electrocoagulación/UV). La parte experimental se realizó en mi domicilio.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. Técnica

a) Recolección de agua residual provenientes de lavadora doméstica

Las muestras se recolectaron de acuerdo al protocolo de monitoreo de aguas superficiales (R.J. 010-2016-ANA). Las

muestras fueron recolectadas en un bidón de capacidad 200 litros, de los cuales se dejaron sedimentar por dos horas para reducir la materia pesada. Una vez sedimentadas se prepararon las muestras para las cinco condiciones de pH (4.41, 5.59, 6.79, 7.97 y 9.16). Para lo cual se emplearon insumos químicos como soda cáustica y ácido sulfúrico.

FIGURA 13

TOMA DE MUESTRAS Y SUS ACONDICIONAMIENTOS SOBRE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LAVADORAS DOMÉSTICAS.



Nota: Se está llenando el tacho con el agua residual proveniente de la lavadora

b) Determinación de la característica fisicoquímica del agua residual de lavadoras

Los métodos empleados para determinar los parámetros fisicoquímicos necesarios para empezar y terminar el trabajo de investigación empleando la técnica acoplada de electrocoagulación y UV sobre las aguas residuales de lavadoras domésticas se mencionan en la tabla 20.

TABLA 20**MÉTODOS EMPLEADOS EN LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LAVADORAS DOMÉSTICAS**

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO	MÉTODOS
Determinación de Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23rd Ed. 2017. Turbidity. Nephelometric Method
Determinación de solidos suspendidos totales.	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Ed. 2017 Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
Determinación de aceites y grasas.	EPA Method 1664, Revision B, 2012. n-hexane Extractable material (Hem, oil and grease) and silice gel treated n-hexane extractable material (SGT-HEM, Non-polar material) by extracción.
Determinación de la demanda química de oxígeno.	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Determinación de la demanda biológica de oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Determinación de sólidos totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Solids Dried at 103°C - 105°C
Determinación de dureza total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340 C, 23rd Ed. 2017. Hardness. EDTA Titrimetric Method
Determinación de fosfatos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part. 4500-P E. 22nd Ed. 2012 phophons. Ascortic Acid méthod
Determinación de pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed. 2017. pH Value. Electrometric Method.
Determinación de TSD	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 C, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Dissolved Solids Dried at 180°C
Determinación de conductividad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 23rd Ed. 2017. Conductivity. Laboratory Method

Nota: Lista de los parámetros con sus respectivos métodos de análisis

c) Materiales y reactivos

Entre los materiales, reactivos y equipos utilizados en el desarrollo de la investigación tenemos:

TABLA 21

MATERIALES, REACTIVOS Y EQUIPOS UTILIZADOS EN EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Reactivos	Hidróxido de sodio
	Ácido sulfúrico
	Agua destilada
	Soluciones estándares para calibrar los equipos
Equipos	Turbidímetro (Ezodo) modelo TUB - 430
	Flujómetro de capacidad 18 LPM
	Equipo de UV
	Bomba de lavadora
	Rectificador de corriente marca MT-305D
	Balanza analítica
	Cronómetro
	Multímetro digital de gancho
	Equipo multiparámetro de marca Hanna
Materiales	Estructura metálica para el módulo
	Materiales de acrílico para el reactor y el depósito
	Acero inoxidable
	Papel filtro AP40 Millipore equivalente a 934 ha Whatman
	Material de aluminio para electrodos
	Lija fina
	Vasos de vidrio 500 ml
	Vasos descartables
	Embudo
	Bureta 250 ml
Accesorios de conexión para la conexión (tubos, etc.)	

Nota: lista de los materiales reactivos y materiales para el desarrollo de la investigación

d) Operaciones previas al tratamiento principal con el módulo de electrocoagulación/UV

Antes de empezar a realizar los 18 experimentos, se inspeccionó su buen funcionamiento del módulo, primero la parte eléctrica, segundo la parte hidráulica y por último una vez reparado las pequeñas fallas se puso a comprobar su funcionamiento del módulo completo mediante una muestra sintética preparada.

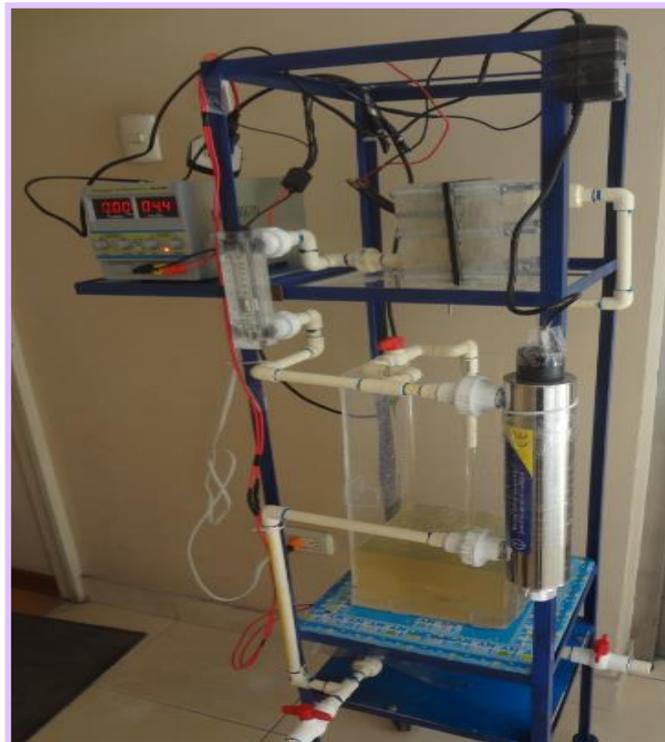
FIGURA 14

EQUIPO DE ELECTROCOAGULACIÓN CON MUESTRA SINTÉTICA Y CON AGUA POTABLE.

(a) Corroborando su funcionamiento del módulo construido utilizando agua potable.



(b) Tratamiento con una muestra sintética preparada



e) Tratamiento por electrocoagulación/UV

Una vez hecho las corridas previas, se realizaron los 18 experimentos más una corrida para la parte optimizada.

Los primeros 18 experimentos se dividieron en cinco grupos en función a los niveles de pH que te facilita el diseño central compuesto, para eso primero se empezó a trabajar con el nivel bajo (pH = 4.41), seguido del siguiente nivel de pH y así sucesivamente hasta culminar los 18 experimentos, una vez terminado, se procede a realizar el último experimento que va en función de los datos tomados de los anteriores experimentos.

Cada experimento se inicia primero fijando las condiciones de trabajo (voltaje, pH y tiempo de tratamiento) y el volumen de trabajo que en este caso se consideró 5 litros de muestra.

El funcionamiento empieza cuando se carga la muestra al depósito que se encuentra en la parte inferior del módulo, seguido de la regulación de los parámetros operacionales en función al número de experimento, una vez encendido la bomba succiona al efluente y hace recorrer primero por el reactor de UV, seguido ingresa al reactor de la celda de electrocoagulación que tiene una configuración de mono polar tipo paralelo, el saliente de la celda regresa nuevamente al depósito ubicado en la parte inferior, y este mecanismo sucede para todas las 19 corridas indicadas.

FIGURA 15
EQUIPOS Y MUESTRAS

a) Módulo híbrido de electrocoagulación/UV con la muestra en tratamiento



b) comparación de la muestra antes y después de su tratamiento



c) muestras listas para ser enviadas al laboratorio especializado.



Nota: La figura a) se muestra el funcionamiento del equipo de electrocoagulación, b) El análisis de muestra y la c) La toma de muestra.

3.3.2. Análisis e interpretación de datos

Después de realizar los 18 experimentos y hacer los análisis y recabar datos tanto en el lugar de la investigación y el laboratorio especializado, estos serán procesados y analizados utilizando el software Minitab y Design Expert 11; Por lo tanto mediante estas herramientas se identificó a los factores de mayor influencia en la reducción de la turbiedad así un estudio detallado de la ANOVA para determinar la significancia de las variables en estudio y verificar las hipótesis planteadas, del mismo modo optimizar los parámetros operacionales del módulo de electrocoagulación acoplado a UV para lograr una reducción máxima de la turbiedad modelada por una ecuación matemática. Por otro lado, se utilizó herramientas de Excel para hacer gráficas y tablas para un mejor entendimiento de los datos experimentales.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS 18 EXPERIMENTOS

4.1.1. Resultados obtenidos de turbiedad y otros variables de referencia

Para una mejor comprensión de los resultados en el tratamiento de aguas residuales de lavadora de ropas se dividieron en 6 grupos en relación al pH.

a) A pH = 4.41: Estos datos representan a los experimentos de 1, 2, 5 y 6.

TABLA 22

DATOS RECOGIDOS DE (TURBIEDAD, CONDUCTIVIDAD, TSD E INTENSIDAD) DURANTE EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN A CONDICIONES DE PH = 4.41

N° EXP.	Tiempo (Min)	Turbiedad (NTU)	STD (ppm)	Conductividad (μS/cm)	pH 0-14	Corriente (Amp.)	Voltaje (V)
1	0	503	811	1623	4.41	0.54	3
	10	456	794	1563	5.04	0.59	3
	20	358.79	781	1560	5.75	6	3
N° EXP.	Tiempo (Min)	Turbiedad (NTU)	STD (ppm)	Conductividad (μS/cm)	pH 0-14	Corriente (Amp)	Voltaje (V)
2	0	503	811	1623	4.41	3.34	11
	10	489	755	1520	6.24	3.46	11
	20	339.22	753	1505	7.07	3.34	11
N° EXP.	Tiempo (Min)	Turbiedad (NTU)	STD (ppm)	Conductividad (μS/cm)	pH 0-14	Corriente (Amp)	Voltaje (V)
5	0	503	811	1623	4.41	0.54	3
	10	487.7	802	1615	5.02	0.59	3
	20	452.8	795	1581	5.12	0.6	3
	30	403.2	778	1572	5.42	0.55	3
	40	386.3	762	1546	5.64	0.49	3
	50	360	754	1534	5.87	0.47	3

N° EXP.	Tiempo (Min)	Turbiedad (NTU)	STD (ppm)	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	pH 0-14	Corriente (Amp)	Voltaje (V)
	60	302.6	743	1521	6.07	0.45	3
6	0	503	811	1623	4.41	3.34	11
	10	279	755	1520	6.87	3.46	11
	20	33.6	753	1505	7.07	3.34	11
	30	15.74	745	1489	7.44	3.38	11
	40	9.16	738	1472	7.91	3.29	11
	50	6.83	723	1444	8.21	3.28	11
	60	5.18	717	1434	8.39	3.26	11

Nota: Los resultados de la turbiedad, conductividad, TSD e intensidad

b) A pH = 5.59: Estos datos representan al experimento 11.

TABLA 23

DATOS RECOGIDOS DE (TURBIEDAD, CONDUCTIVIDAD, TSD E INTENSIDAD) A CONDICIONES DE PH = 5.59

N° EXP.	Tiempo (Min)	Turbiedad (NTU)	STD (ppm)	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	pH 0-14	Corriente (Amp)	Voltaje (V)
11	0	503	814	1621	5.59	1.8	7
	10	475	784	1587	5.74	1.79	7
	20	150	766	1531	5.89	1.81	7
	30	84.5	739	1502	6.29	1.79	7
	40	22.74	719	1442	6.21	1.78	7

Nota: Los datos de turbiedad, conductividad, TSD e intensidad

c) A pH = 6.78: Estos datos son recabados de los experimentos 9, 10, 13, 14 15 16 17 y 18.

TABLA 24

DATOS RECOGIDOS DE (TURBIEDAD, CONDUCTIVIDAD, TSD E INTENSIDAD) A CONDICIONES DE PH = 6.78

N° EXP.	Tiempo (Min)	Turbiedad (NTU)	STD (ppm)	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	pH 0-14	Corriente (Amp)	Voltaje (V)
9	0	503	821	1634	6.78	1.14	5
	10	365.7	789	1578	6.82	1.17	5
	20	150.4	765	1532	7.05	1.18	5
	30	50.9	728	1485	7.15	1.16	5

	40	28.57	709	1431	7.31	1.15	5
N° EXP.	Tiempo (Min)	Turbiedad (NTU)	STD (ppm)	Conductividad (µS/cm)	pH 0-14	Corriente (Amp)	Voltaje (V)
10	0	503	821	1634	6.78	2.63	9
	10	142.7	787	1579	7.05	2.69	9
	20	25.4	735	1524	7.13	2.7	9
	30	14.6	705	1421	7.31	2.68	9
	40	10.36	699	1415	7.49	2.56	9
N° EXP.	Tiempo (Min)	Turbiedad (NTU)	STD (ppm)	Conductividad (µS/cm)	pH 0-14	Corriente (Amp)	Voltaje (V)
13	0	503	821	1634	6.78	1.73	7
	10	189.5	787	1524	6.81	1.8	7
	20	98.6	768	1478	6.87	1.82	7
	30	21.43	725	1445	6.96	1.79	7
N° EXP.	Tiempo (Min)	Turbiedad (NTU)	STD (ppm)	Conductividad (µS/cm)	pH 0-14	Corriente (Amp)	Voltaje (V)
14	0	503	821	1634	6.78	1.73	7
	10	236.1	786	1578	6.87	1.8	7
	20	102.5	768	1542	7.05	1.82	7
	30	84.9	736	1489	7.15	1.79	7
	40	22.6	724	1465	7.24	1.75	7
	50	14.89	701	1403	7.32	1.76	7
N° EXP.	Tiempo (Min)	Turbiedad (NTU)	STD (ppm)	Conductividad (µS/cm)	pH 0-14	Corriente (Amp)	Voltaje (V)
15	0	503	821	1634	6.78	1.73	7
	10	187.9	789	1574	6.85	1.8	7
	20	87.1	775	1523	6.96	1.82	7
	30	56.4	726	1486	7.03	1.79	7
	40	19.52	713	1421	7.15	1.75	7
N° EXP.	Tiempo (Min)	Turbiedad (NTU)	STD (ppm)	Conductividad (µS/cm)	pH 0-14	Corriente (Amp)	Voltaje (V)
16	0	503	821	1634	6.78	1.72	7
	10	179.2	785	1579	6.82	1.79	7
	20	81.4	778	1532	6.97	1.81	7
	30	51.3	729	1484	7.04	1.78	7
	40	18.96	711	1425	7.16	1.74	7
N° EXP.	Tiempo (Min)	Turbiedad (NTU)	STD (ppm)	Conductividad (µS/cm)	pH 0-14	Corriente (Amp)	Voltaje (V)
17	0	503	821	1634	6.78	1.74	7
	10	189.5	799	1589	6.83	1.8	7
	20	79.6	769	1541	6.96	1.81	7
	30	48.3	727	1481	7.07	1.8	7
	40	18.91	705	1427	7.15	1.73	7
N° EXP.	Tiempo (Min)	Turbiedad (NTU)	STD (ppm)	Conductividad (µS/cm)	pH 0-14	Corriente (Amp)	Voltaje (V)
18	0	503	821	1634	6.78	1.74	7
	10	179.9	786	1602	6.8	1.75	7
	20	89.6	785	1578	6.97	1.82	7
	30	51.6	732	1495	7.04	1.81	7
	40	19.16	708	1422	7.14	1.76	7

Nota: Turbiedad, conductividad, TSD e intensidad

d) A pH = 7.97: Estos datos representan al experimento 12.

TABLA 25

DATOS RECOGIDOS DE (TURBIEDAD, CONDUCTIVIDAD, TSD E INTENSIDAD) A CONDICIONES DE PH = 7.97

N° EXP.	Tiempo (Min)	Turbiedad (NTU)	STD (ppm)	Conductividad (µS/cm)	pH 0-14	Corriente (Amp)	Voltaje (V)
12	0	503	832	1655	7.97	1.82	7
	10	123.32	810	1587	7.99	1.83	7
	20	84.6	789	1512	8.04	1.82	7
	30	28.61	775	1478	8.1	1.81	7
	40	15.64	759	1461	8.12	1.8	7

Nota: turbiedad, conductividad, TSD e intensidad a pH=7.97

e) A pH = 9.16: Datos del experimento 3, 4, 7 y 8

TABLA 26

DATOS RECOGIDOS DE (TURBIEDAD, CONDUCTIVIDAD, TSD E INTENSIDAD) A CONDICIONES DE PH = 9.16

N° EXP.	Tiempo (Min)	Turbiedad (NTU)	STD (ppm)	Conductividad (µS/cm)	pH 0-14	Corriente (Amp)	Voltaje (V)
3	0	503	967	1836	9.16	0.57	3
	10	412	955	1829	9.15	0.61	3
	20	369	948	1823	9.14	0.62	3
4	0	503	967	1836	9.16	3.52	11
	10	423	912	1787	8.89	3.41	11
	20	354.41	883	1765	8.78	3.37	11
7	0	503	967	1836	9.16	0.57	3
	10	486	946	1821	9.8	0.73	3
	20	477	932	1812	9.41	0.74	3
	30	456	910	1802	9.03	0.74	3
	40	378	896	1789	8.98	0.73	3
	50	355	885	1769	8.93	0.73	3
	60	318	874	1748	8.9	0.72	3
8	0	503	967	1836	9.16	3.52	11
	10	365.2	942	1816	9.08	3.41	11
	20	150.4	892	1779	8.84	3.37	11
	30	60.5	876	1746	8.79	3.27	11
	40	21.4	853	1703	8.65	3.08	11
	50	15.3	845	1687	8.52	2.98	11
	60	9.96	831	1679	8.43	2.97	11

Nota: datos de turbiedad, conductividad, TSD e intensidad a 9:16

TABLA 27

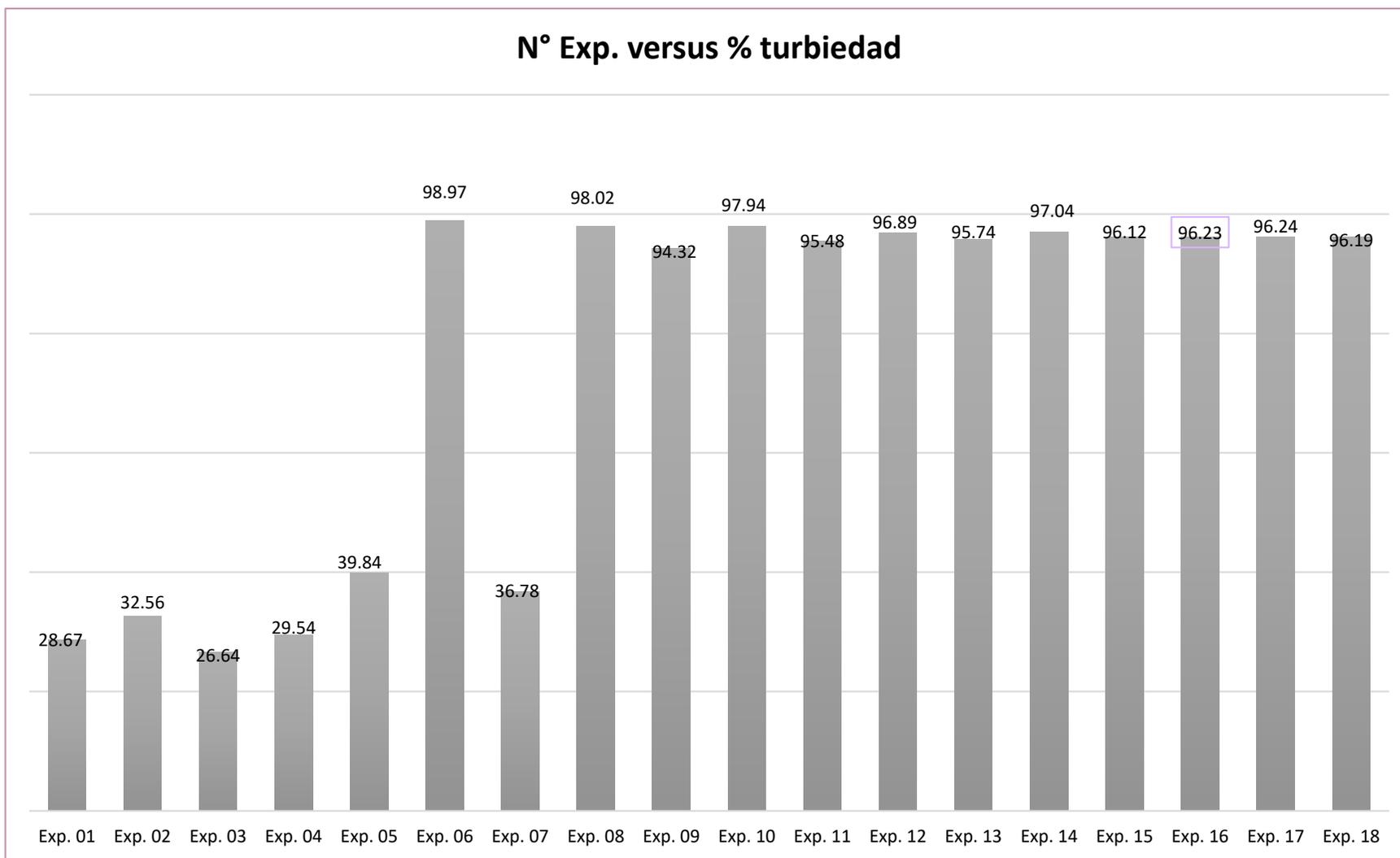
RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS 18 EXPERIMENTOS SEGÚN EL DISEÑO CENTRAL COMPUESTO DE LA TURBIEDAD, SST, ENERGÍA CONSUMIDA, PH, CONDUCTIVIDAD Y STD.

N° EXP.	VOLTAJE	pH	TIEMPO (Min)	Turbiedad NTU	% Turbiedad %	Energía	SST ppm	pH	Conductividad	STD
	(V)					C.C.E. kwh/m ³			μS/cm	ppm
1	3	4.41	20	358.79	28.67	0.06667	92000	5.75	1560	781
2	11	4.41	20	339.22	32.56	2.508	93200	7.07	1505	753
3	3	9.16	20	369	26.64	0.121	91500	9.14	1823	948
4	11	9.16	20	354.41	29.54	2.50922	92900	8.78	1765	883
5	3	4.41	60	302.6	39.84	0.3203	102500	6.07	1521	743
6	11	4.41	60	5.18	98.97	7.538	160000	8.39	1434	717
7	3	9.16	60	318	36.78	0.4339	100000	8.9	1748	874
8	11	9.16	60	9.96	98.02	7.0873	158500	8.43	1679	831
9	5	6.785	40	28.57	94.32	0.7768	104000	7.31	1431	709
10	9	6.785	40	10.36	97.94	3.2077	124900	7.49	1415	699
11	7	5.5975	40	22.74	95.48	1.6761	112900	6.21	1442	719
12	7	7.9725	40	15.64	96.89	1.697	117900	8.12	1461	759
13	7	6.785	30	21.43	95.74	1.2583	110200	6.96	1445	725
14	7	6.785	50	14.89	97.04	2.0784	118000	7.32	1403	701
15	7	6.785	40	19.52	96.12	1.6712	114400	7.15	1421	713
16	7	6.785	40	18.96	96.23	1.6621	113200	7.16	1425	711
17	7	6.785	40	18.91	96.24	1.67	114000	7.15	1427	705
18	7	6.785	40	19.16	96.19	1.6665	113600	7.14	1422	708

Nota: Resultado de los 18 experimentos

FIGURA 16

FIGURA DEL PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE LA TURBIEDAD EN FUNCIÓN DE LOS 18 EXPERIMENTOS REALIZADOS.

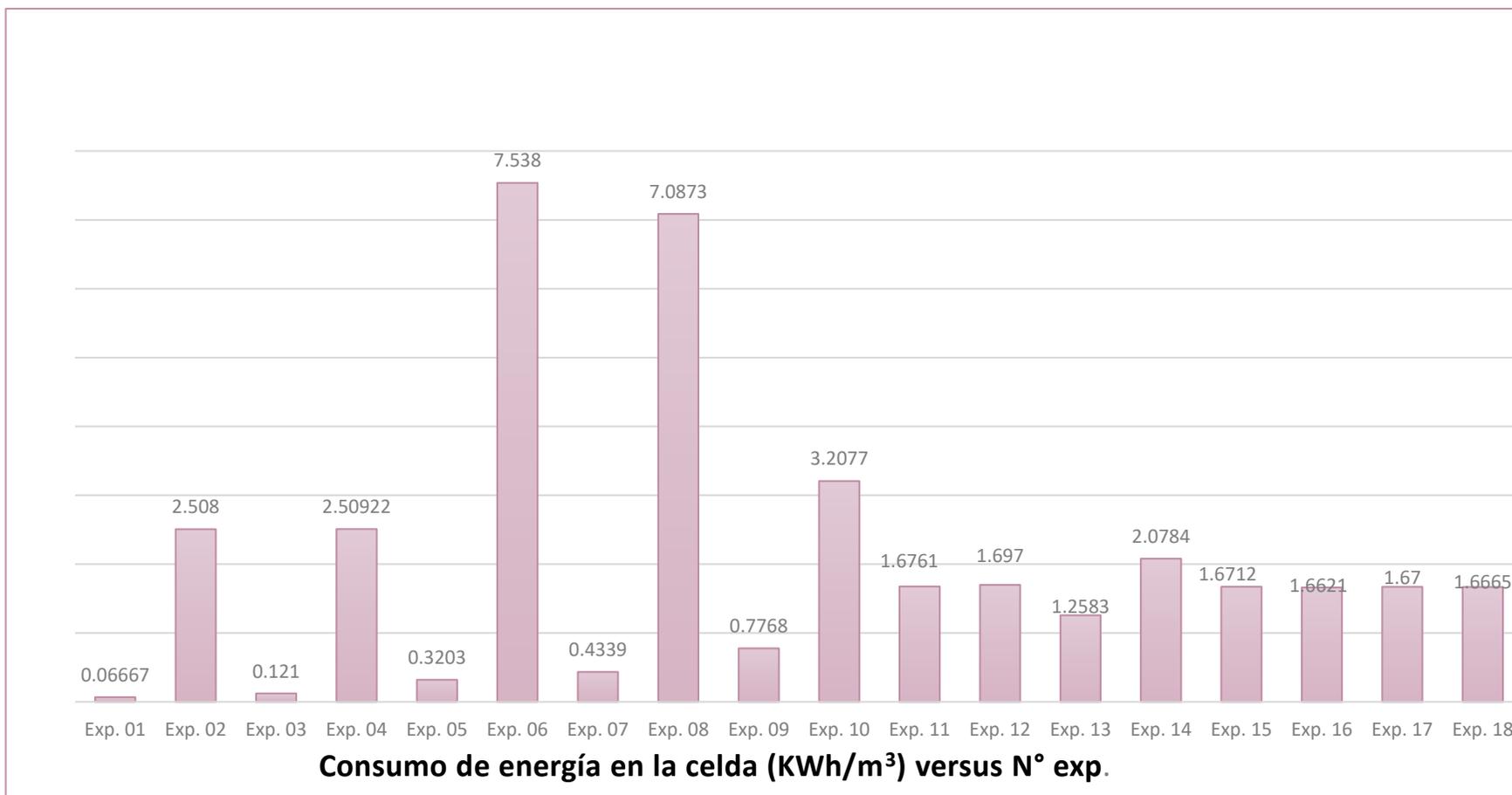


Nota: El porcentaje de reducción de la turbiedad

En la figura 17 se puede ver el consumo de energía (KWh/m³) en la celda de electrocoagulación en los 18 experimentos.

FIGURA 17

COMPARACIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA EN LA CELDA DE ELECTROCOAGULACIÓN EN CADA EXPERIMENTO.

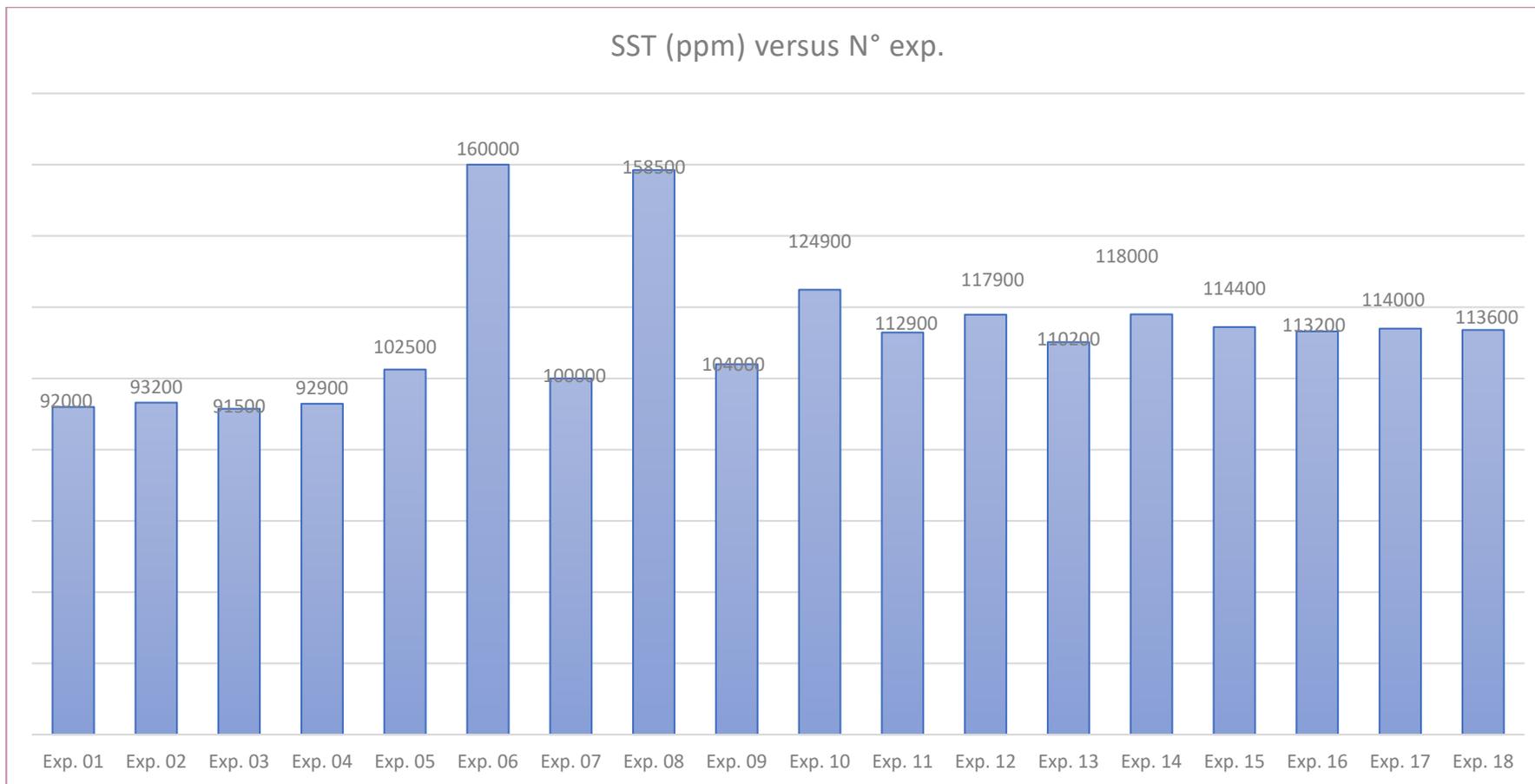


Nota: El consumo de energía de la celda

En la siguiente figura 18 se muestra los sólidos suspendidos extraídos en cada experimento.

FIGURA 18

COMPARACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EXTRAÍDOS EN CADA EXPERIMENTO



Nota: Comparación de los sólidos suspendidos totales con lo extraído

4.1.2. Resultados de los análisis estadísticos mediante el software Design-Expert 11 y Minitab

a) Análisis del porcentaje de reducción de la turbiedad

En la tabla 28 se da un resumen de suma de cuadrados de los modelos secuenciales sobre la reducción de la turbiedad, en el cual el software Design Expert 11 te da la sugerencia para trabajar con ello y después ajustar aquellos parámetros que tienen valores de p mayores a 0.1 que no son significativos.

TABLA 28

SUMA DE CUADRADOS DEL MODELO SECUENCIAL

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F- Value	p-value	
Mean vs Total	101732.072	1	101732.0725			
Linear vs Mean	4859.41052	3	1619.803507	1.92092907	0.172611841	
2FI vs Linear	1612.84405	3	537.6146833	0.58020656	0.640096352	
Quadratic vs 2FI	9919.0305	3	3306.3435	96.719067	(<0.0001)	Suggested
Cubic vs Quadratic	231.455629	4	57.86390735	5.50762889	0.063582459	Aliased
Residual	42.0245507	4	10.50613767			
Total	118396.838	18	6577.602094			

Nota: Obtenido mediante el software Design Expert 11

Con los ajustes necesarios se obtiene una tabla de ANOVA y su valor de r-cuadrado ajustado y predicho con una diferencia menor a 0.2.

TABLA 29*ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REDUCCIÓN DEL PORCENTAJE DE TURBIEDAD*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F- Value	p-value	
Model	16343.7066	6	2723.951096	93.327059	<0.0001	significant
A-Voltaje	1956.85422	1	1956.854224	67.0450545	<0.0001	
B-Ph	8.21247353	1	8.212473529	0.28137289	0.60634532	
C-Tiempo-tratamiento	2894.34382	1	2894.343824	99.164995	<0.0001	
AC	1612.55205	1	1612.55205	55.2486939	<0.0001	
A ²	151.417405	1	151.4174054	5.18781014	0.043714233	
B ²	148.742839	1	148.7428391	5.09617509	0.045292578	
Residual	321.058677	11	29.18715242			
Lack of Fit	321.049777	8	40.13122208	13527.3782	<0.0001	significant
Pure Error	0.0089	3	0.002966667			
Cor Total	16664.7653	17				

Std. Dev.	5.40251353	R ²	0.98073428
Mean	75.1783333	Adjusted R ²	0.97022571
C.V. %	7.18626403	Predicted R ²	0.96076522
		Adeq Precision	23.4537205

Nota: Recopilado de Design Expert 11

Según la tabla 29 se observa que los factores de mayor influencia en la reducción de la turbiedad son los términos con valores de p menores a 0.05 (voltaje, tiempo, voltaje*tiempo, voltaje² y tiempo²), y otros términos mayores a 0.1 no tienen influencia o no son significativos para un modelado.

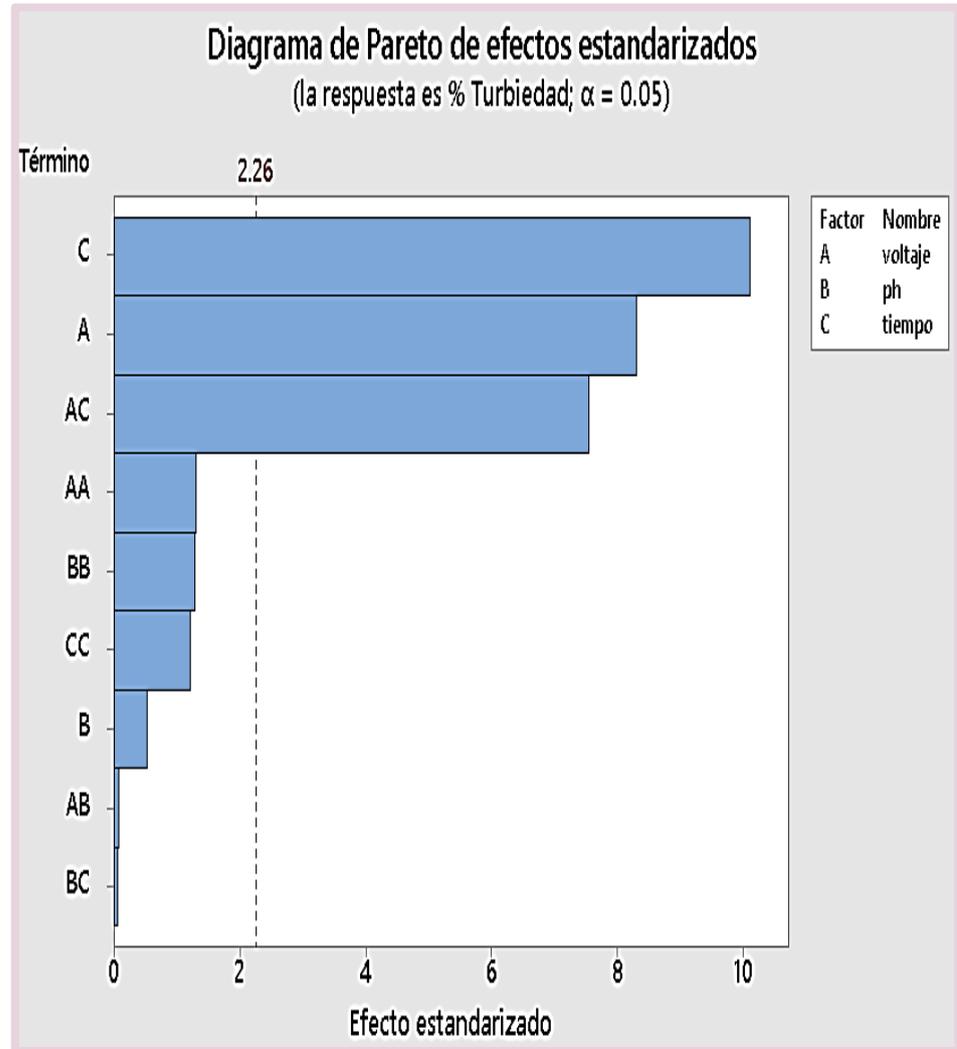
La siguiente ecuación ajustada modela el comportamiento de la reducción de la turbiedad en aguas residuales de lavadora de ropas, siendo los términos con una influencia significativa en la reducción de la turbiedad, con un ajuste de correlación del 96.07%.

$$\begin{aligned} \% \text{ Turbiedad} &= 189.019094 + 18.3941251 * \text{Voltaje} + 58.718764 * \text{pH} - \\ & 0.31963417 * (\text{Tiempo-tratamiento}) + 0.17746875 * \text{Voltaje} * (\text{Tiempo-} \\ & \text{tratamiento}) - 1.54997427 * \text{Voltaje}^2 - 4.35760015 * \text{pH}^2 \end{aligned}$$

Para conocer mejor el efecto de los principales factores se presenta el diagrama de Pareto.

FIGURA 19

DIAGRAMA DE PARETO PARA EL PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE LA TURBIEDAD

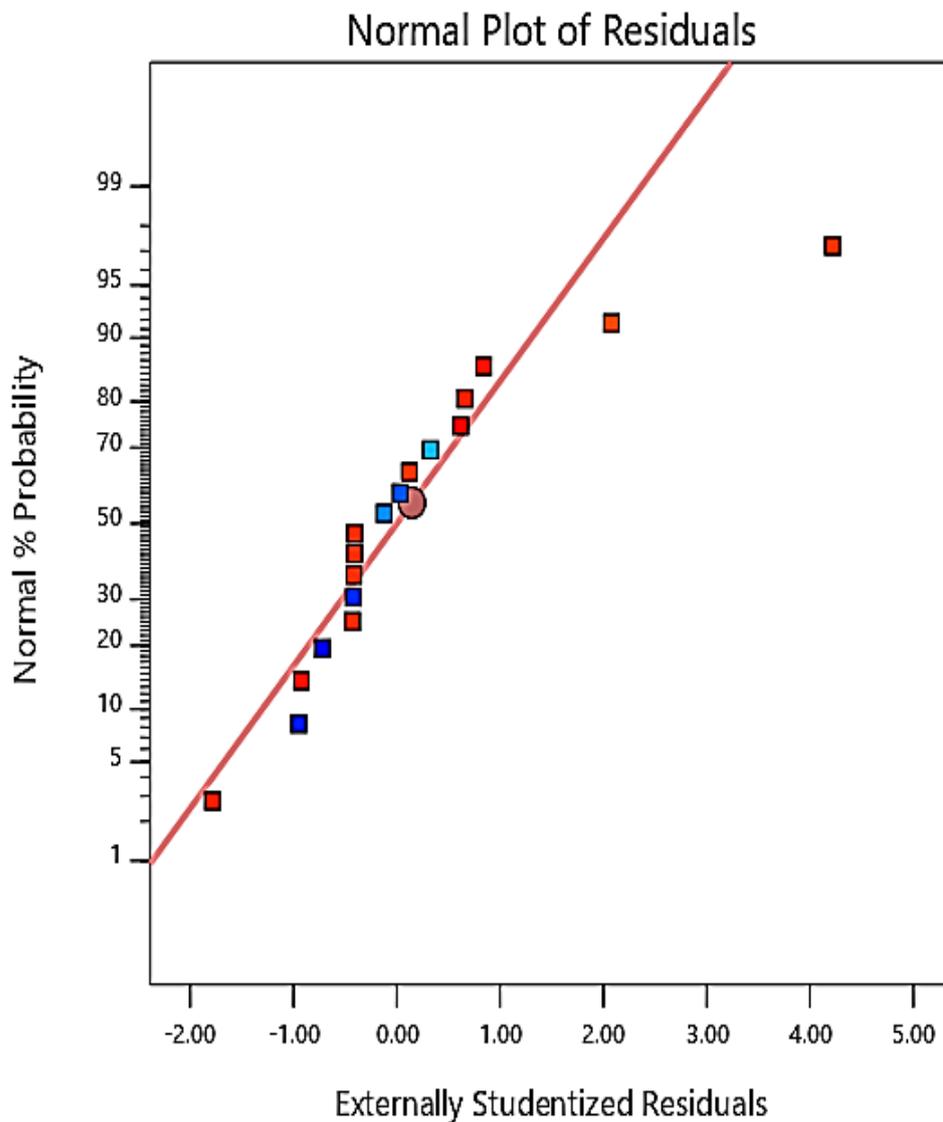


Nota: Recogido del software Minitab

En la figura 19, se observa que los términos que pasan la línea roja son el Tiempo, voltaje y tiempo*voltaje, lo que significa que tienen una influencia significativa en la reducción de la turbiedad, con un nivel de significancia ($\alpha=0.05$), del mismo modo el factor de mayor influencia es el tiempo, en cambio el factor de pH y otros no tiene mucha influencia.

FIGURA 20

UNA RELACIÓN DE LA PROBABILIDAD NORMAL DE % Y LOS RESIDUOS ESTANDARIZADOS EXTERNOS PARA LA REDUCCIÓN DE LA TURBIEDAD.

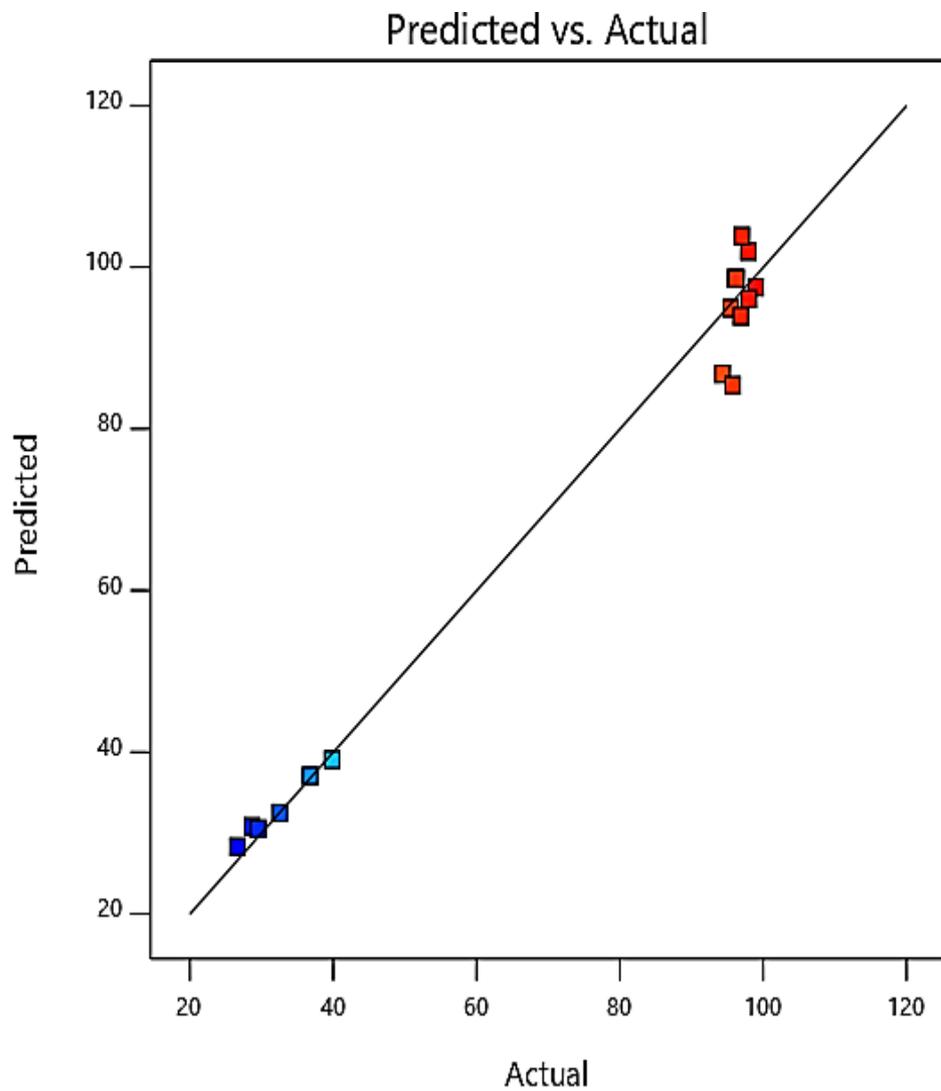


Nota: Obtenidos de Design Expert 11

Según la figura 20, la mayoría de los efectos forman parte de la línea de la normalidad, lo que significa un efecto pequeño, en cambio hay tres factores resaltantes (tiempo, voltaje y voltaje*tiempo) los que están provocando un cambio significativo en la eficiencia de la reducción de la turbiedad, entre los factores de mayor influencia es el tiempo, seguido de voltaje, etc.

FIGURA 21

FIGURA DE LA COMPARACIÓN ENTRE LOS DATOS ACTUALES Y LOS VALORES PREDICHOS CON EL MODELO AJUSTADO.

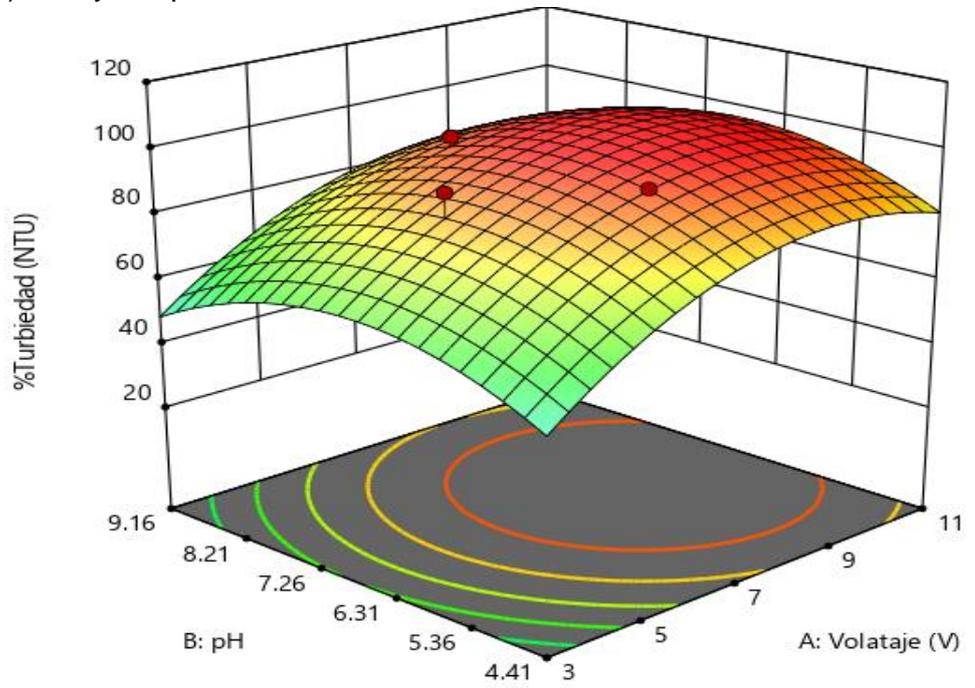


Nota: Obtenidos de Design Expert 11

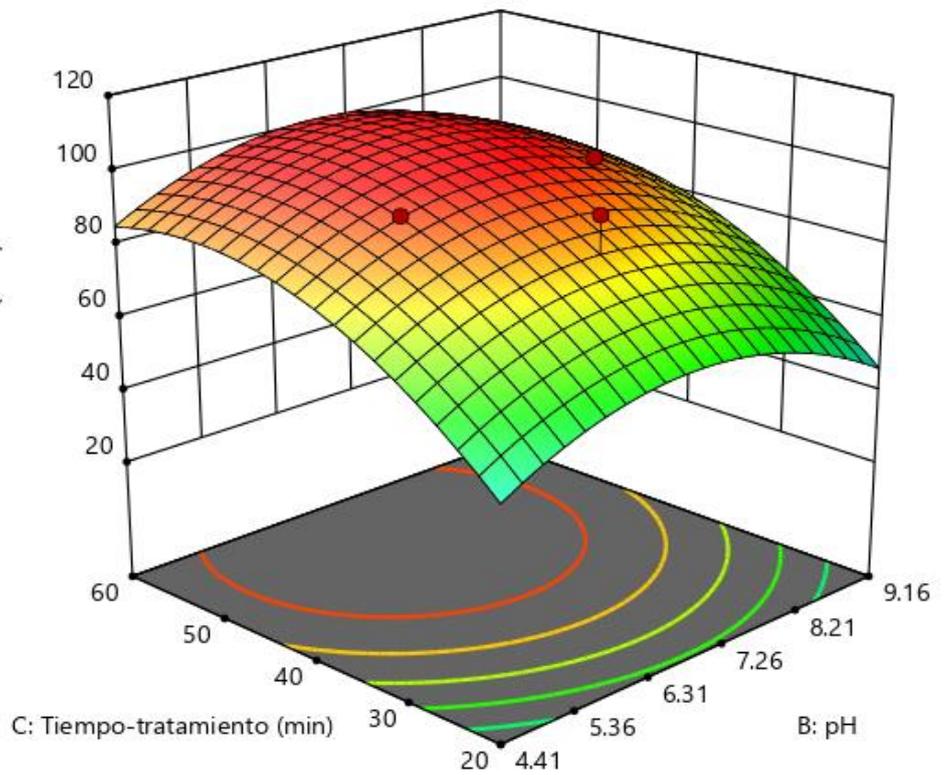
En la figura 21 se observa que los datos obtenidos mediante el modelo ajustado se localizan cerca de la línea recta diagonal, eso quiere decir que tiene una buena aceptación para modelar en base a los datos reales obtenidos experimentalmente con el equipo de electrocoagulación acoplado a UV.

FIGURA 22
GRÁFICAS DE SUPERFICIES DE RESPUESTAS SOBRE LA REDUCCIÓN DE LA TURBIEDAD:

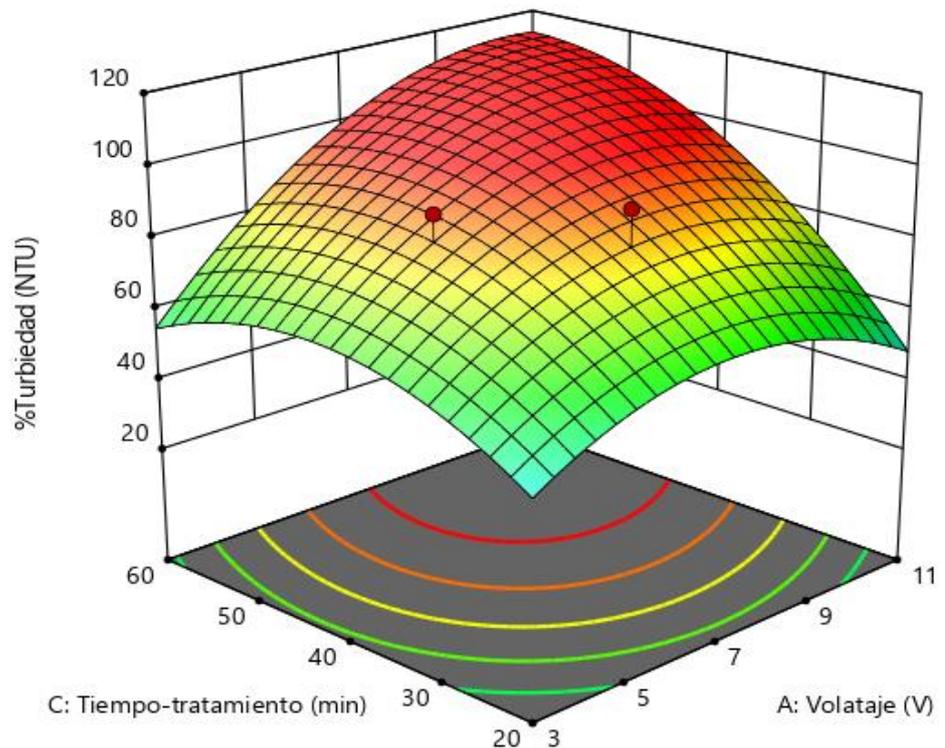
a) voltaje vs pH



b) pH vs tiempo-tratamiento



c) voltaje vs tiempo-tratamiento sobre la reducción de la turbiedad



Nota: Obtenido de Design Expert 11

En la figura 22 a) se muestra que hay una mayor reducción de la turbiedad cuando se trabaja a pH entre 6 a 8, mientras para el factor de voltaje se da a 9 voltios, pasado ello se ve una disminución, mientras una menor reducción de la turbiedad se observa a inicios de pH alcalino y ácidas, mientras para el factor voltaje se logra una menor reducción de turbiedad a voltaje de 3.

Para la figura 22 b), se observa una reducción máxima de la turbiedad a condiciones de pH entre 6 a 8, mientras para el factor tiempo a medida que sube el tiempo hay un incremento de la turbiedad, pero a 50 minutos se observa una máxima remoción de la turbiedad, en cambio existe una menor remoción de la turbiedad a pH de 9.16 y 4.41 y tiempo de 20 minutos.

Según la figura 22 c), una mayor reducción de la turbiedad se da a medida que se aumenta el tiempo de tratamiento y un voltaje mayor a 5, mientras una menor reducción de turbiedad se logra a tiempo menor de 20 minutos y voltaje menor a 3 voltios.

b) Análisis de consumo de energía en la celda de electrocoagulación

TABLA 30

SUMA DE CUADRADOS DEL MODELO SECUENCIAL

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F- Value	p-value	
Mean vs Total	80.004883	1	80.00488296			
Linear vs Mean	59.8540661	3	19.95135536	20.3955951	2.2309E-05	
2FI vs Linear	10.2856244	3	3.428541481	11.0616301	0.00119609	
Quadratic vs 2FI	3.27099436	3	1.090331454	63.0044865	(<0.0001)	Suggested
Cubic vs Quadratic	0.13426982	4	0.033567454	32.1595617	0.00267352	Aliased
Residual	0.00417511	4	0.001043778			
Total	153.554013	18	8.530778488			

Nota: Obtenido de Design Expert 11

TABLA 31

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL CONSUMO DE ENERGÍA EN LA CELDA DE ELECTROCOAGULACIÓN

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F- Value	p-value	
Model	73.3232149	4	18.33080373	1054.82405	<0.0001	significant
A-Voltaje	46.6648281	1	46.66482814	2685.2714	<0.0001	
C-Tiempo-tratamiento	13.1805914	1	13.18059145	758.46128	<0.0001	
AC	10.2187033	1	10.2187033	588.022989	<0.0001	
A ²	3.25909205	1	3.259092046	187.540531	<0.0001	
Residual	0.22591488	13	0.017378068			
Lack of Fit	0.22586479	10	0.022586479	1352.75378	<0.0001	significant
Pure Error	5.009E-05	3	1.66967E-05			
Cor Total	73.5491298	17				

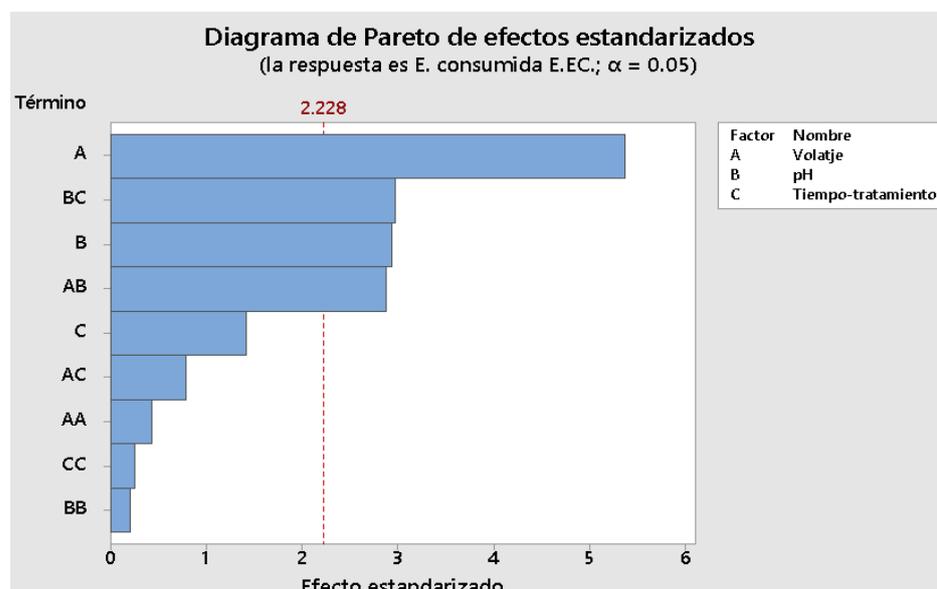
Nota: Recopilado de Design Expert 11

Al ajustarse los datos estadísticamente se obtuvo el coeficiente de determinación $R^2 = 0.99.21$, lo que indica un buen ajuste para lograr obtener un modelo que simula el consumo de energía en la celda de electrocoagulación mediante la manipulación de los factores que son significantes con valores de $p < 0.05$.

Energía consumida en la celda electrocoagulación (KWh/m ³) =	1.7793418	-	0.75839973*Voltaje	-
	0.03662925*(Tiempo-tratamiento)			+
	0.01412742*Voltaje*(Tiempo-tratamiento)			+
	0.05564789*Voltaje ²			

FIGURA 23

DIAGRAMA DE PARETO SOBRE EL CONSUMO DE ENERGÍA EN LA CELDA DE ELECTROCOAGULACIÓN.

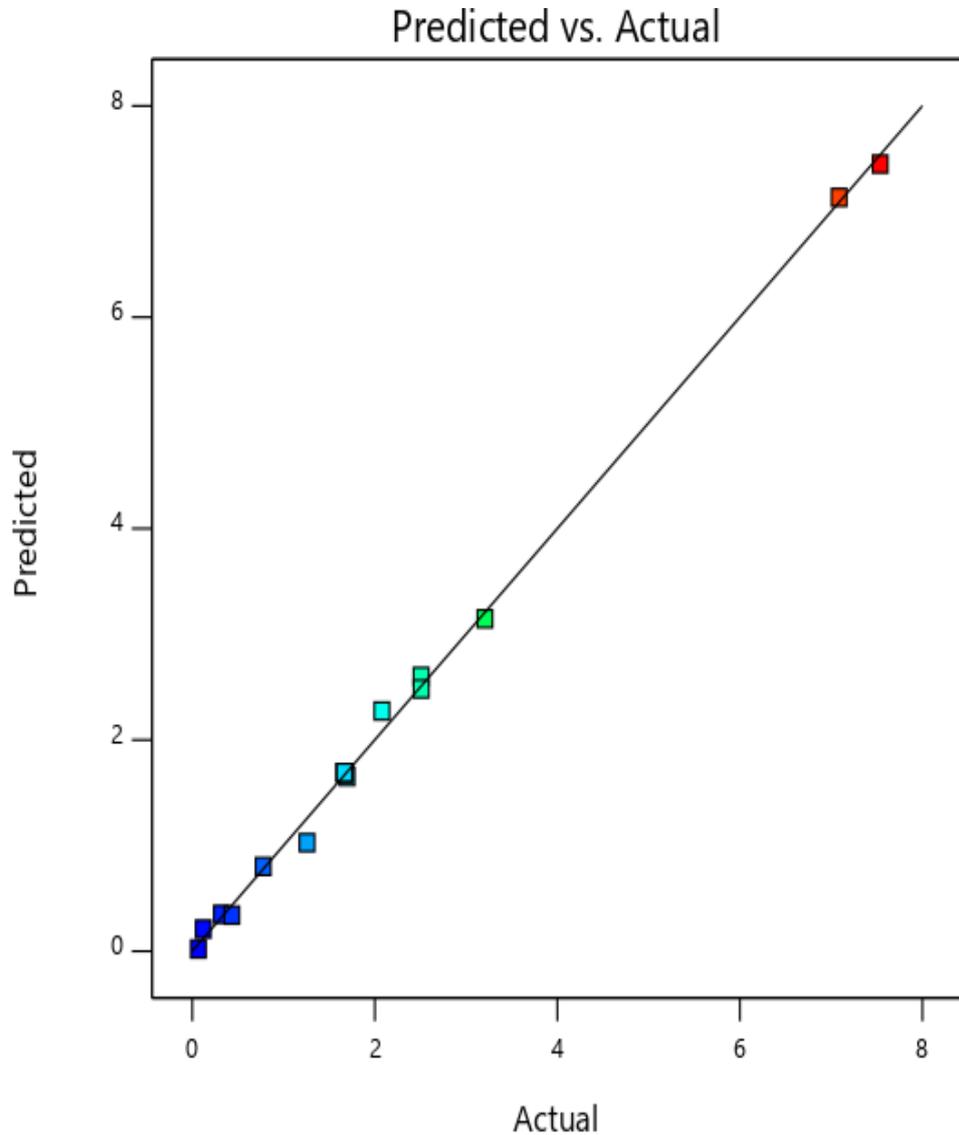


Nota: Obtenido del software Minitab

En la figura 23 se observa al voltaje como uno de los factores más influyentes sobre el consumo de energía, seguido del tiempo de tratamiento y el efecto combinado de los demás factores, y porque están por encima de la línea de referencia, y se consideran estadísticamente significantes, mientras el factor pH no tiene mucha influencia.

FIGURA 24

VALOR COMPARATIVO ENTRE LO EXPERIMENTAL Y LO PREDICHO EN EL CONSUMO DE ENERGÍA EN LA CELDA DE ELECTROCOAGULACIÓN.



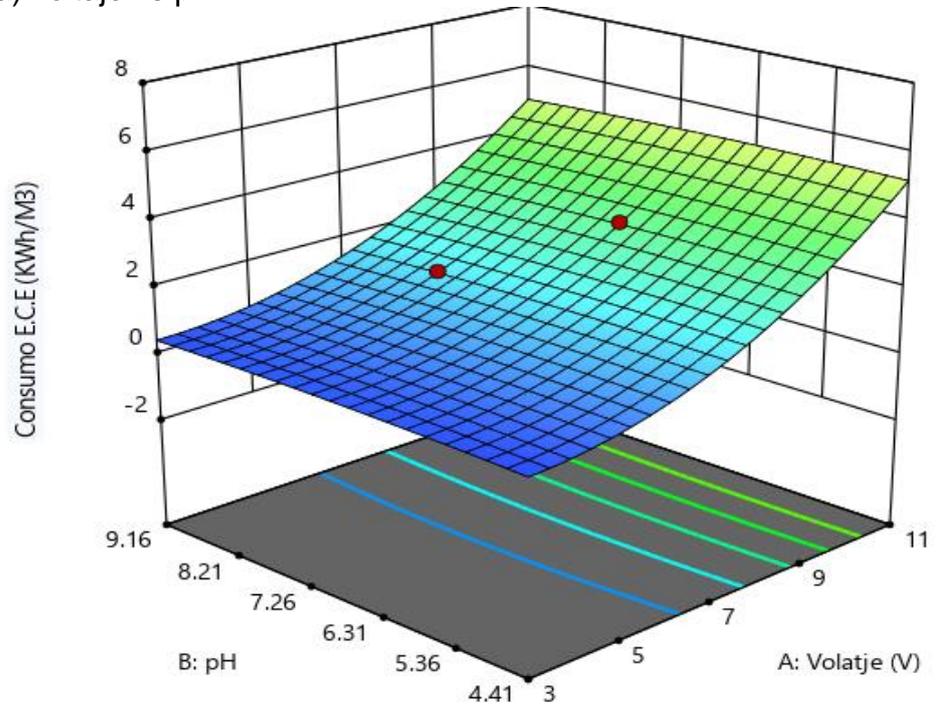
Nota: Obtenido por Design Expert 11

En la figura 24 se muestran como los datos obtenidos mediante el modelo ajustado se localizan cerca de la línea recta diagonal, eso quiere decir que tiene una buena aceptación para modelar en base a los datos reales obtenidos experimentalmente con el equipo de electrocoagulación acoplado a UV.

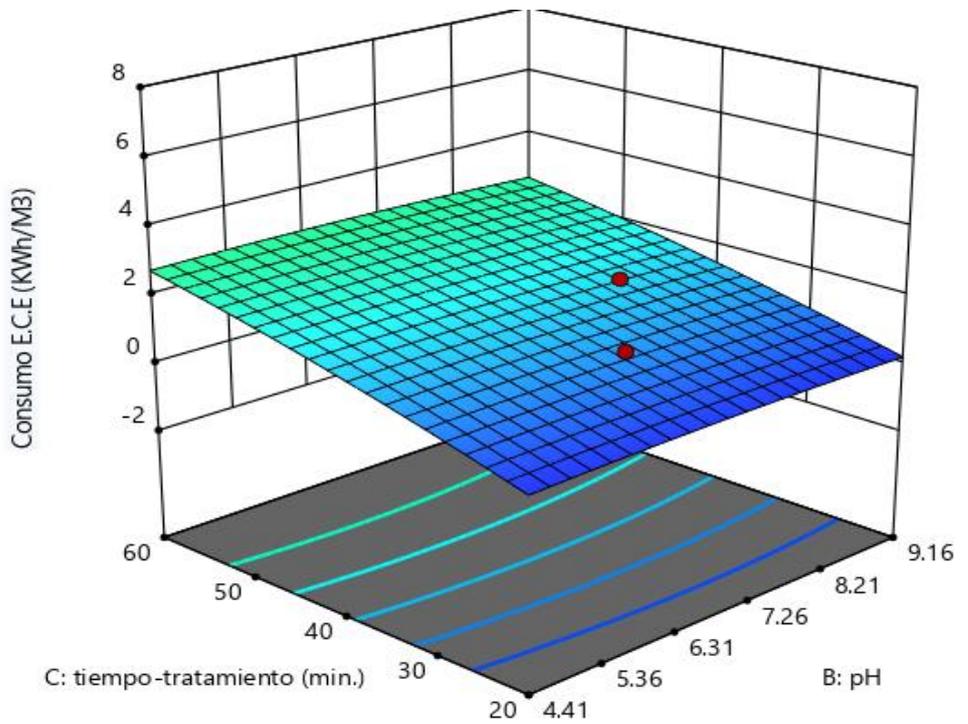
FIGURA 25

GRÁFICAS DE SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA EFECTOS DOBLES SOBRE EL CONSUMO DE ENERGÍA EN LA CELDA ELECTROLÍTICA.

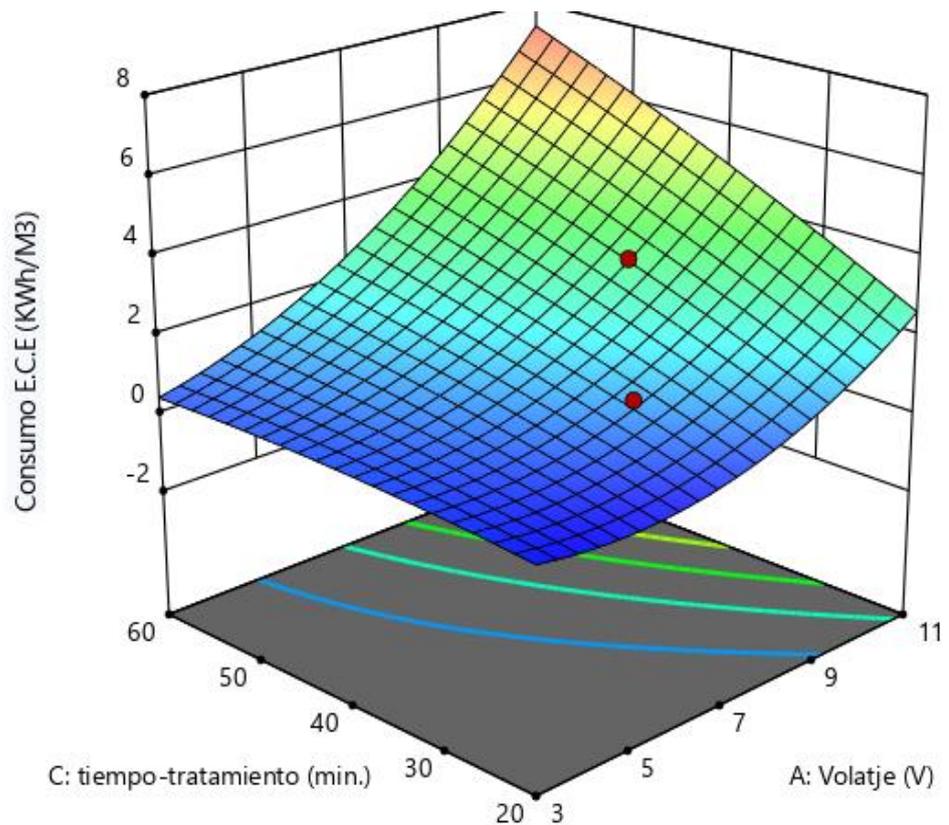
a) voltaje vs pH



b) pH vs tiempo - tratamiento



c) tiempo-tratamiento vs voltaje



Nota: Obtenido de Design Expert 11

En la figura 25 a), se muestra un mayor consumo de energía a medida que se aumenta el voltaje y un aumento ligero a condiciones ácidas, mientras un consumo mínimo a medida que se baja el voltaje y a cualquier pH.

En la figura 25 b), se observa un ligero incremento de consumo de energía a condiciones de pH ácidas y a medida que se incremente el tiempo, mientras existe un mínimo consumo de energía cuando el tiempo es a 20 minutos y a cualquier pH.

En la figura 25 c), se observa un mayor consumo de energía cuando el voltaje está en 11 voltios y tiempo de tratamiento en 60 minutos, mientras se ve un mínimo consumo de energía en voltaje 3 voltios y tiempo de 20 minutos.

c) Análisis para Sólidos Suspendidos Totales

TABLA 32

SUMA DE CUADRADOS DEL MODELO SECUENCIAL

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F- Value	p-value	
Mean vs Total	2.2977E+11	1	2.2977E+11			
Linear vs Mean	4797327353	3	1599109118	12.8420569	0.00026287	
2FI vs Linear	1608905000	3	536301667	43.8961391	<0.0001	Suggested
Quadratic vs 2FI	40190413.8	3	13396804.6	1.1377059	0.39065069	
Cubic vs Quadratic	90447647.1	4	22611911.8	24.0899109	0.00463903	Aliased
Residual	3754586.21	4	938646.552			
Total	2.3631E+11	18	1.3129E+10			

Nota: Obtenido de Design Expert 11

TABLA 33

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F- Value	p-value	
Model	6406232353	6	1067705392	87.3913832	<0.0001	significant
A-Volatje	1959282647	1	1959282647	160.366728	<0.0001	
B-pH	622352.941	1	622352.9412	0.05093941	0.8255752	
C-tiempo-tratamiento	2837422353	1	2837422353	232.242214	<0.0001	
AB	180000	1	180000	0.01473295	0.90557948	
AC	1607445000	1	1607445000	131.568917	<0.0001	
BC	1280000	1	1280000	0.10476764	0.75225216	
Residual	134392647	11	12217513.37			
Lack of Fit	133592647	8	16699080.88	62.6215533	0.00298183	significant
Pure Error	800000	3	266666.6667			
Cor Total	6540625000	17				

Std. Dev.	3122.21304	R ²	0.97913426
Mean	112983.333	Adjusted R ²	0.97466303
C.V. %	2.76342798	Predicted R ²	0.96719479
		Adeq Precisión	45.4577594

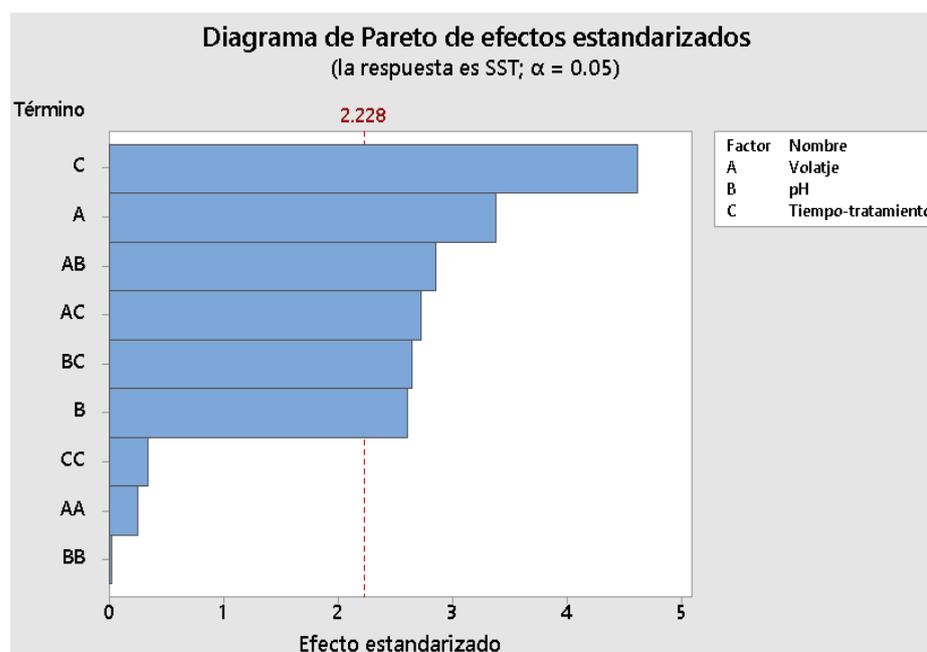
Nota: Recopilado de Design Expert 11

Al ajustarse los datos estadísticamente se obtuvo el coeficiente de determinación $R^2 = 0.9671$, lo que indica un buen ajuste para lograr obtener un modelo que simula los sólidos suspendidos totales de la celda de electrocoagulación mediante la manipulación de los factores que son significantes con valores de $p < 0.05$.

$$\text{SST} = 98723.01445 - 3399.043344 \cdot \text{Voltaje} + 112.3839009 \cdot \text{pH} - 269.6462461 \cdot \text{Tiempo-tratamiento} + 15.78947368 \cdot \text{Voltaje} \cdot \text{pH} + 177.1875 \cdot \text{Voltaje} \cdot \text{Tiempo-tratamiento} - 8.421052632 \cdot \text{pH} \cdot \text{tiempo-tratamiento}$$

FIGURA 26

DIAGRAMA DE PARETO SOBRE SST.

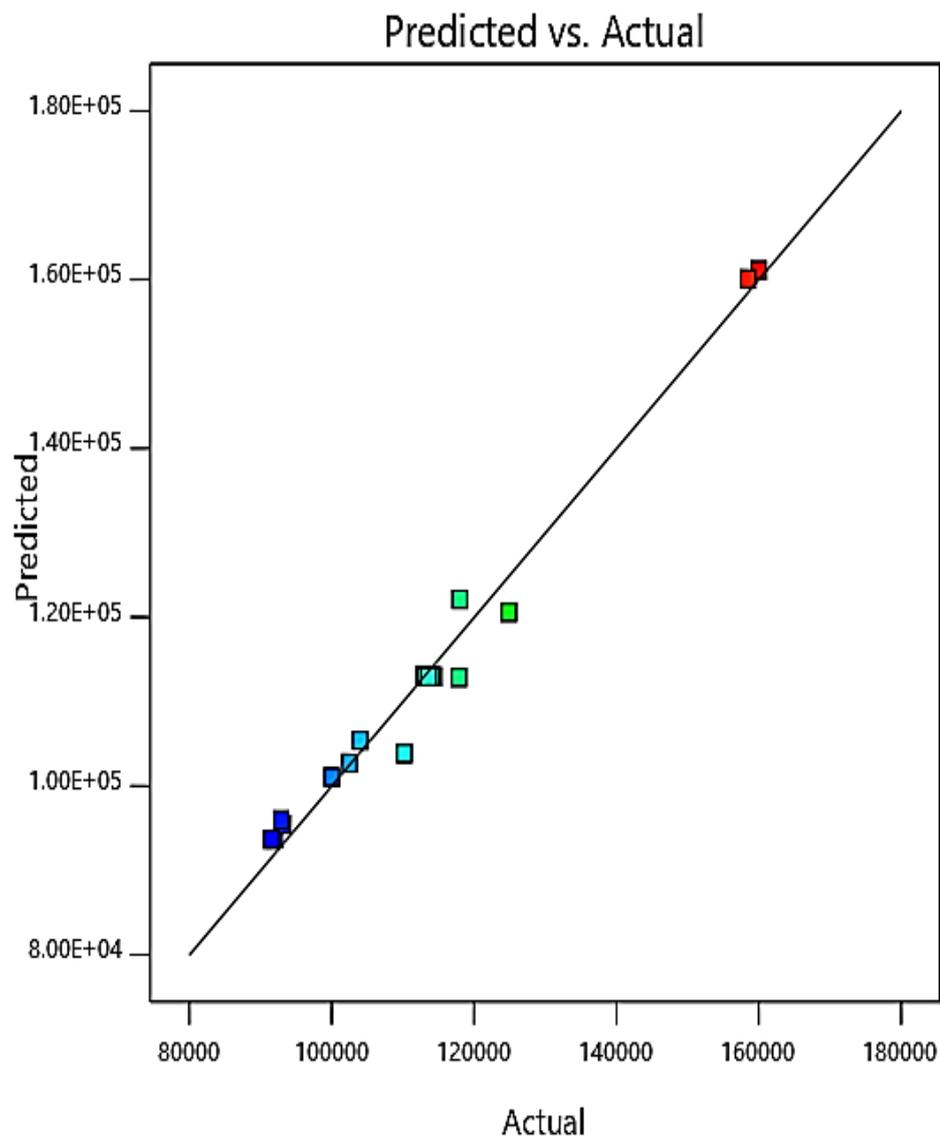


Nota: Obtenido de Minitab

En la figura 26 se observa al tiempo-tratamiento como uno de los factores más influyentes sobre los SST, seguido del voltaje, el efecto combinado de los demás factores y por último el pH, y según la gráfica están por encima de la línea de referencia, y se consideran estadísticamente significativos.

FIGURA 27

VALOR COMPARATIVO ENTRE LO EXPERIMENTAL Y LO PREDICHO EN LOS SST DE LA CELDA DE ELECTROCOAGULACIÓN.



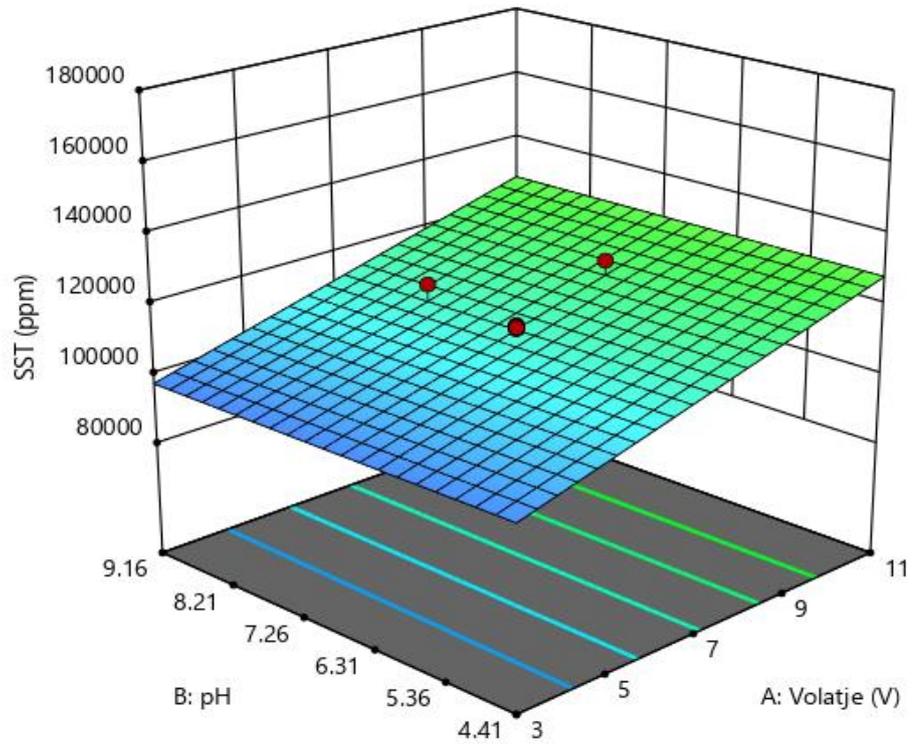
Nota: Obtenido por Design Expert 11

En la figura 27 se muestran como los datos obtenidos mediante el modelo ajustado se localizan cerca de la línea recta diagonal, eso quiere decir que tiene una buena aceptación para modelar en base a los datos reales obtenidos experimentalmente con el equipo de electrocoagulación acoplado a UV.

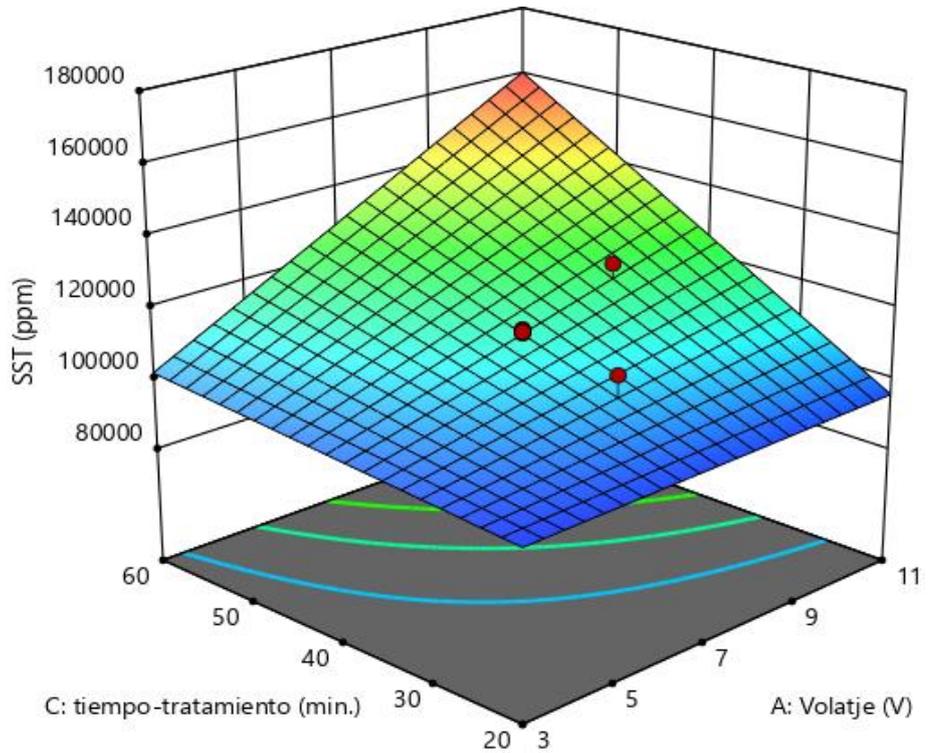
FIGURA 28

*GRÁFICAS DE SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA EFECTOS DOBLES
SOBRE SST*

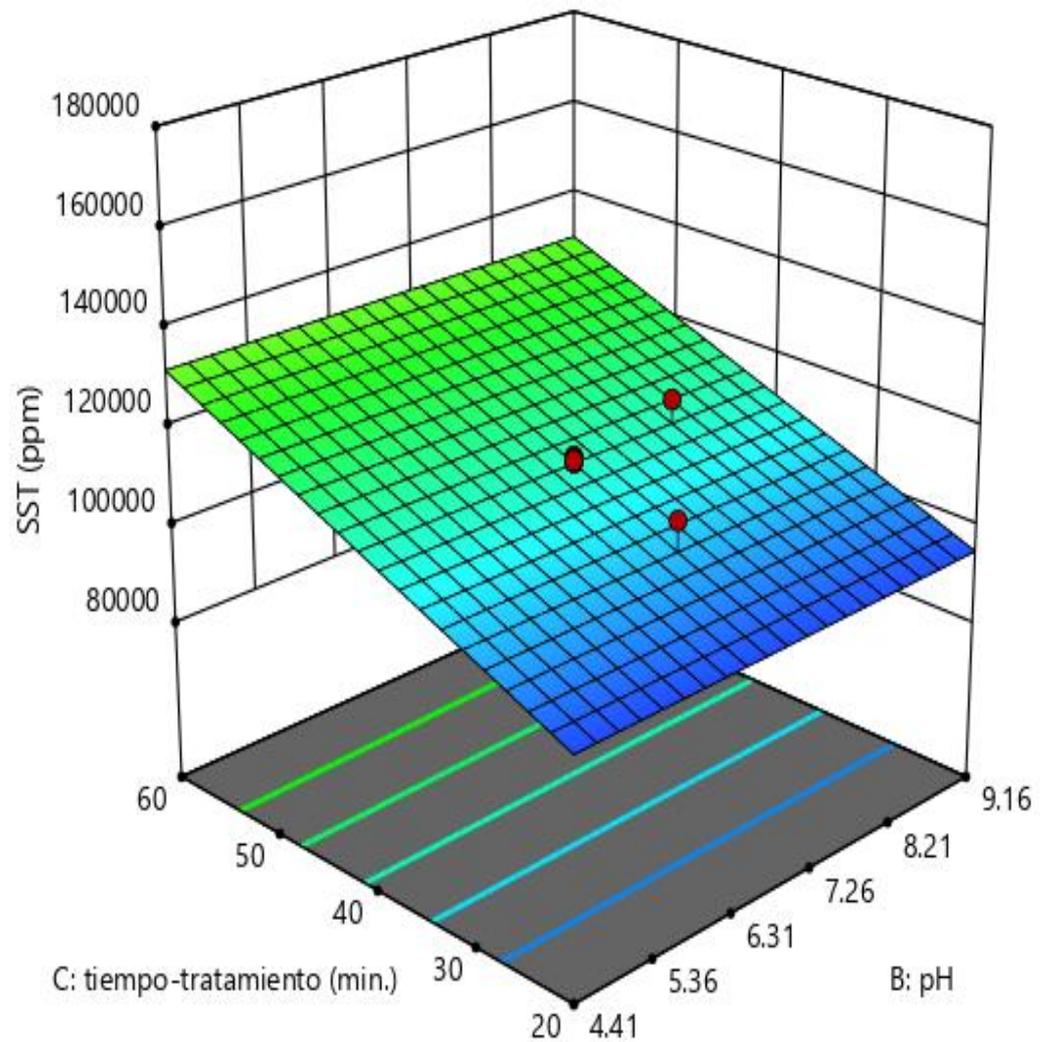
a) voltaje vs pH



b) tiempo-tratamiento vs voltaje



c) tiempo-tratamiento vs pH



Nota: Obtenido de Design Expert 11.

En la figura 28 a), se observa un incremento de SST a medida que se sube el voltaje y un ligero incremento a condiciones ácidas, en cambio una concentración baja de SST se da a condiciones alcalinas y bajo voltaje; sin embargo, el factor de pH a comparación del voltaje tiene poca influencia en la generación de SST.

En la figura 28 b), se aprecia un mayor incremento de SST a voltaje de 11 y a tiempo de 60 minutos, mientras a voltaje 3 por más que se llegue a 60 minutos hay un incremento mínimo, del mismo modo para obtener una concentración mínima de SST se plasma a condiciones de 3 voltaje y 20 minutos.

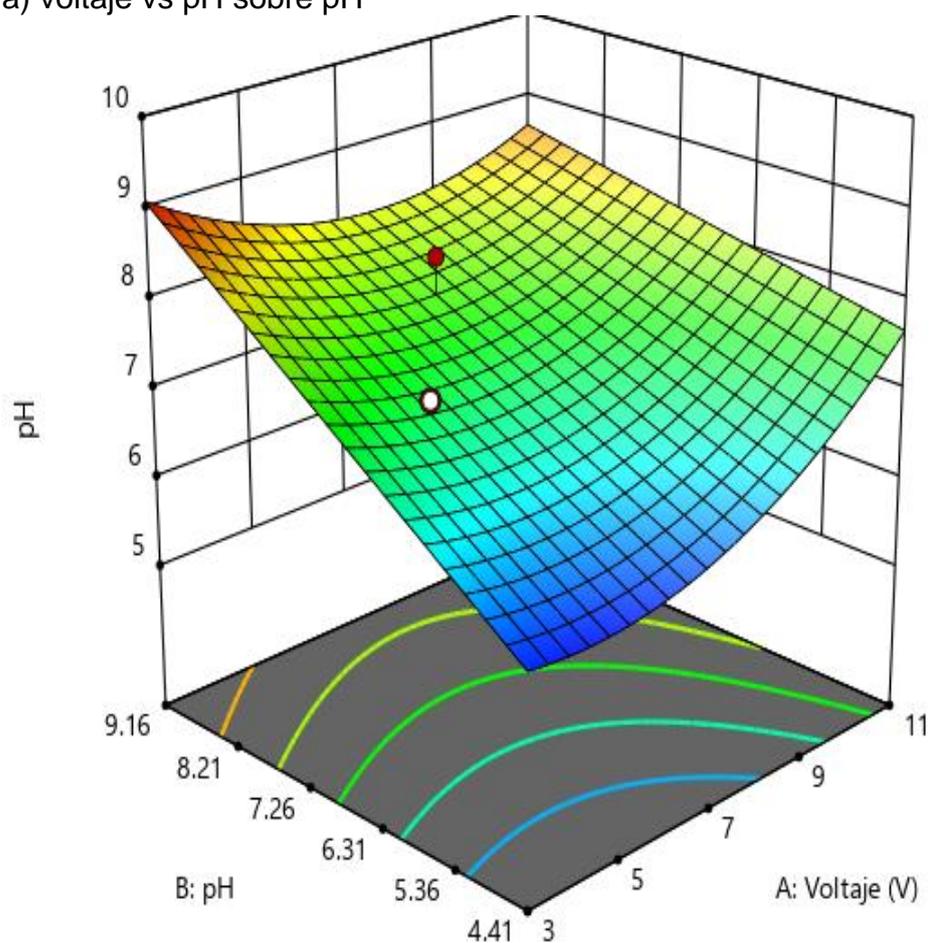
En la figura 28 c), se observa el comportamiento del aumento de SST para condiciones de tiempo a 60 minutos y pH ácido, pero igualmente el efecto del pH es mínimo a comparación del tiempo de tratamiento, por lo tanto, para obtener una mínima concentración de SST se debe trabajar a tiempo de menor a 20 minutos y a cualquier nivel de pH.

En las siguientes gráficas de superficie de respuesta, se muestran el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos (conductividad, STD y pH) frente a la variación de los tres factores en el proceso de electrocoagulación acoplado a UV.

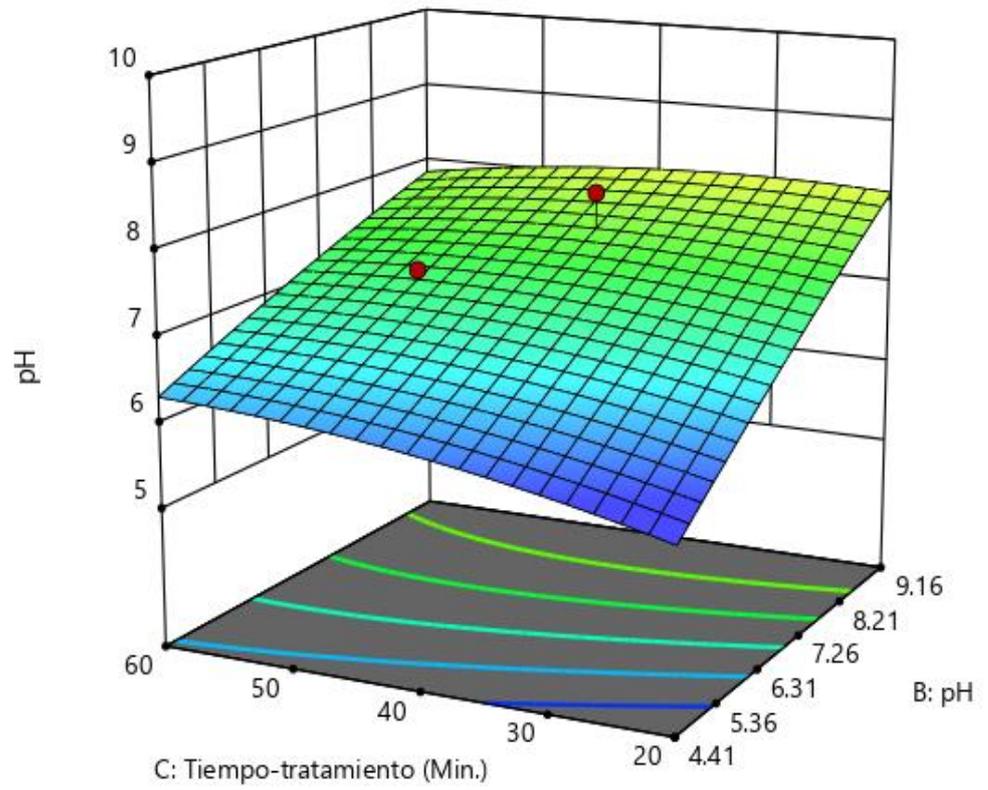
FIGURA 29

GRÁFICAS DE SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA EFECTOS DOBLES SOBRE PH, CONDUCTIVIDAD Y STD

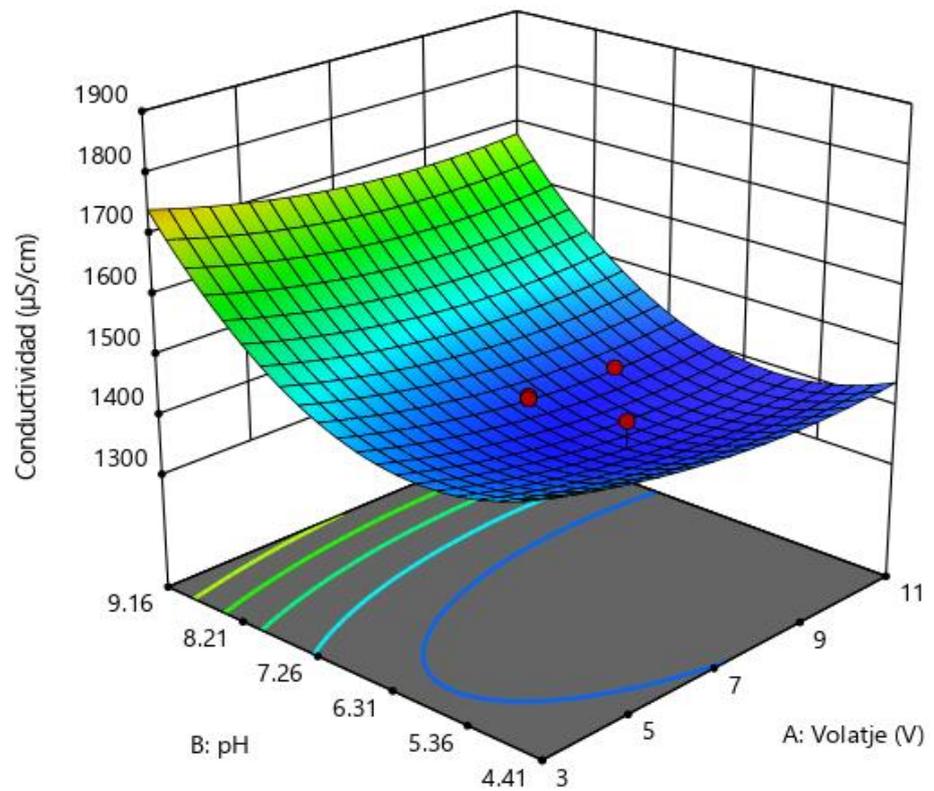
a) voltaje vs pH sobre pH



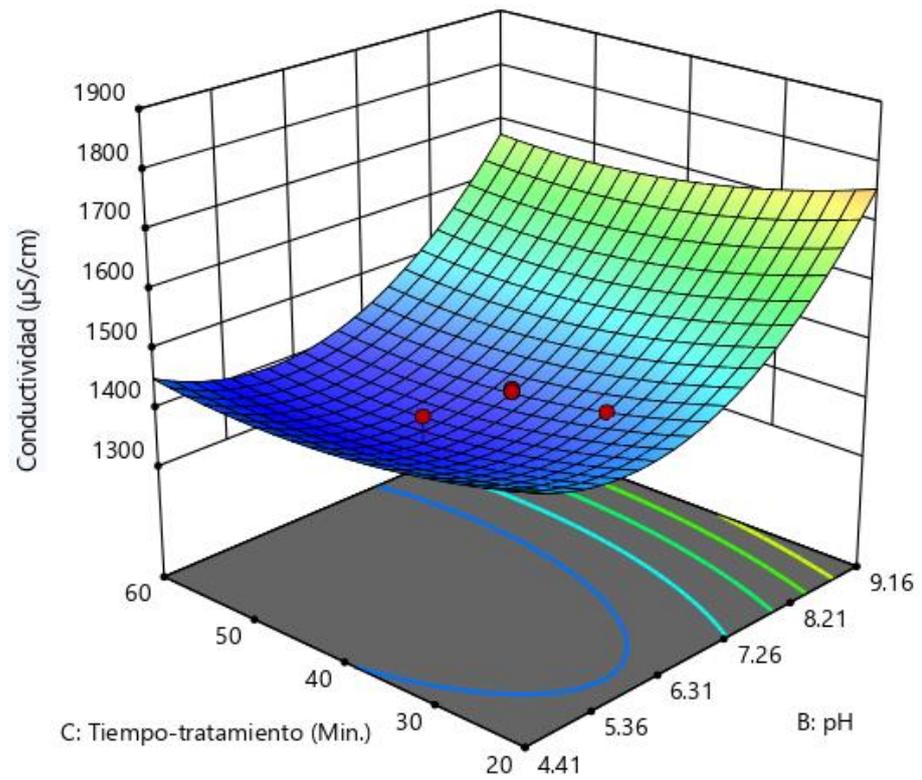
b) tiempo-tratamiento vs pH sobre pH



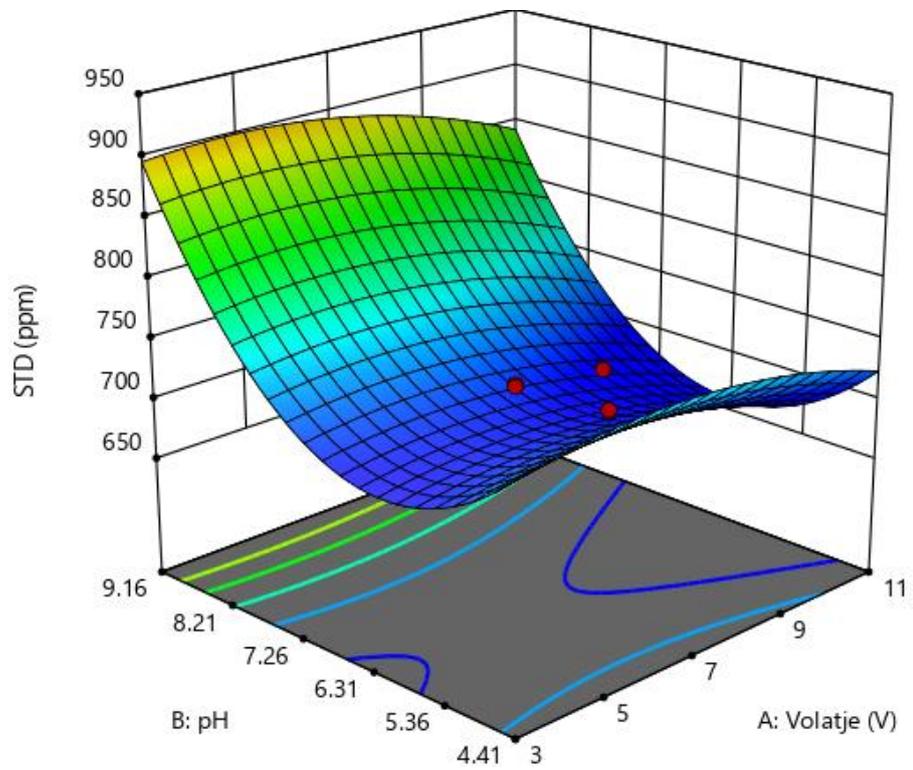
c) pH vs voltaje, sobre conductividad.



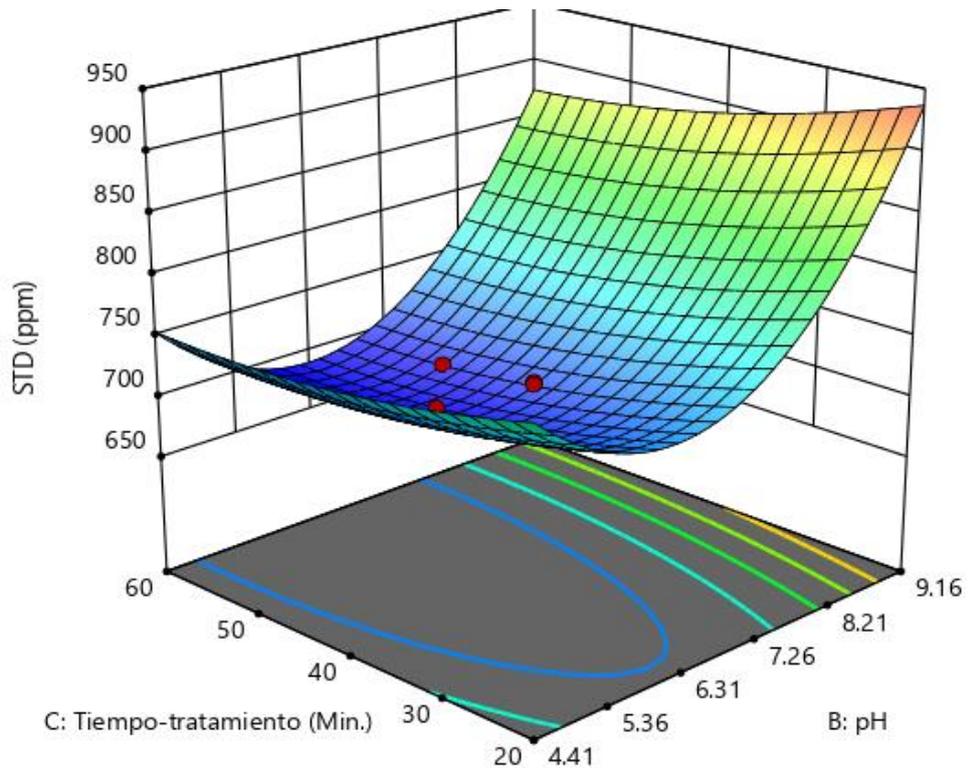
d) tiempo-tratamiento vs pH sobre conductividad



e) voltaje vs pH sobre STD



f) tiempo – tratamiento vs pH sobre STD



Nota: Obtenido de Design Expert 11.

En la figura 29 a) y b) se observa la variación del pH inicial de la muestra en función del tiempo y el voltaje, por ejemplo cuando se empieza a trabajar a condiciones iniciales alcalinas de pH = 9.16 para cualquier valor de voltaje el valor final de pH empieza a bajar, en cambio cuando se empieza a trabajar a condiciones iniciales de pH ácidas el valor final empieza a subir, este fenómeno se explica por las reacciones que suceden en la superficie de los electrodos (oxidación de agua y reducción del agua), generando un desequilibrio del pH de la solución trabajo.

En la figura 29 c) y d) se muestra el comportamiento de la conductividad frente a la variación de los tres factores, por ejemplo cuando se empieza a trabajar con una determinada conductividad, a medida que transcurre el tiempo la conductividad empieza a bajar para cualquier valor de voltaje, del mismo modo la conductividad es bajo a condiciones de pH entre 6 a 8, estos cambios se explican porque a medida que se van formando especies de carácter

monoméricas y poliméricas, las especies iónicas disminuyen por fenómenos que ocurren en la celda (adsorción, electrodeposición, etc.).

En la figura 29 e) y f) se muestra la variación de STD en función de las variables de tiempo, voltaje y pH, por ejemplo cuando se trabaja a un valor determinado de pH y se va incrementando el voltaje, se muestra una disminución de STD, de igual forma cuando se trabaja a un valor constante de voltaje y se varía el pH existe una variación de STD en forma polinomial, obteniéndose una menor concentración de STD a valor de pH entre 6 a 8, esto se explica porque a condiciones de pH entre 6 a 8 se forman más especies polinómicas lo cual origina el efecto de coagulación por barrido originando una disminución de STD.

d) Resultados y análisis a condiciones óptimas

Una vez realizado la parte experimental y analizado los datos sobre el % de la reducción de la turbiedad, mediante el software Design Expert 11 se analizaron los datos para encontrar los parámetros óptimos con sus respectivos niveles para reducir la turbiedad cercanos al 100%, en la tabla 34 se muestran los valores óptimos encontrados para la realización de la experimentación.

TABLA 34
NIVELES ÓPTIMOS DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES EN ELECTROCOAGULACIÓN ACOPLADO A UV

PARÁMETROS ÓPTIMOS	
NIVELES	VALOR
VOLTAJE	9.25 V
pH	4.95
TIEMPO-TRATAMIENTO	51 min.

Nota: Obtenidos del Software Design Expert 11

En la siguiente tabla 35 se muestran los resultados obtenidos una vez realizado el experimento óptimo de los valores de los parámetros fisicoquímicos del antes y después del tratamiento y los valores permitidos sobre los Estándares de Calidad Ambiental de la descarga de las aguas residuales.

TABLA 35

VALORES DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS OBTENIDOS DEL ANTES Y DESPUÉS DEL TRATAMIENTO TRABAJADAS A CONDICIONES ÓPTIMAS

PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	UNIDAD	ANTES	DESPUES	DECRETO	NORMAS (a)
		(EC.)	(EC.)	SUPREMO	
		A	B	Nº 003-2010-MINAM	INTERNACIONALES
ACEITES Y GRASAS	mg/L	115.33	5	20	FALTA
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅)	mg/L	633	95.9	100	100
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	mg/L	1277	187.0	200	200
DUREZA TOTAL	CaCO ₃ mg/L	294.8	240.1	FALTA	FALTA
SÓLIDOS TOTALES	mg/L	1484.0	940.0	FALTA	FALTA
FOSFATOS	mg PO ₄	83.6	0.05	FALTA	FALTA
pH		4.95	7.13	6.5 – 8.5	(6 – 8.5)
TURBIEDAD	NTU	503	2.3	(-)	50

Nota: Resultados de INFORME DE ENSAYO FQ Nº 200923-007 y propios.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. CONTRATACIÓN DE LA HIPÓTESIS SEGÚN LOS RESULTADOS OBTENIDOS

La evaluación de los parámetros operacionales de manera adecuada de un proceso de sinergia (electrocoagulación/UV) en la remoción de la turbiedad en aguas residuales provenientes de lavadoras domésticas permitió obtener un efluente con una mayor reducción llegando a 2.5 NTU expresado en 99.54%, con el cual se estaría cumpliendo con la Normativa Internacional para su uso en riego, pero en la Normativa Peruana no indica un valor referencial, tal como se muestra en la tabla 35.

Según los datos obtenidos en la tabla 35, se concluye que al evaluar de manera adecuada los parámetros operacionales y llevarlos a los niveles más óptimos del proceso de electrocoagulación acoplado a UV se puede obtener agua residual de lavadoras de aspecto transparente con una alta reducción de la turbiedad.

Al evaluarse los parámetros operaciones del proceso híbrido de electrocoagulación/UV en la remoción de la turbiedad en las aguas residuales de lavadoras domésticas se encontraron una mayor remoción de la turbiedad a niveles óptimos de voltaje en 9.25 V, pH igual a 4.95 y tiempo de tratamiento en 51 minutos, logrando una reducción óptima de 99.54%, con lo cual se logra cumplir la norma establecida a nivel internacional sobre la concentración de la turbiedad.

5.2. CONTRATACIÓN DE LOS RESULTADOS CON OTRAS INVESTIGACIONES SIMILARES

Según Dos Santos, et al (2017). Universidad Federal de Río Grande del Norte – Brasil. En su publicación “Electrochemical advanced oxidation processes as decentralized water treatment technologies to remediate domestic washing machine effluents”, donde estudiaron la oxidación de los colorantes y materia orgánica, usando la tecnología electroquímica por electrofentón, logrando la degradación de materia

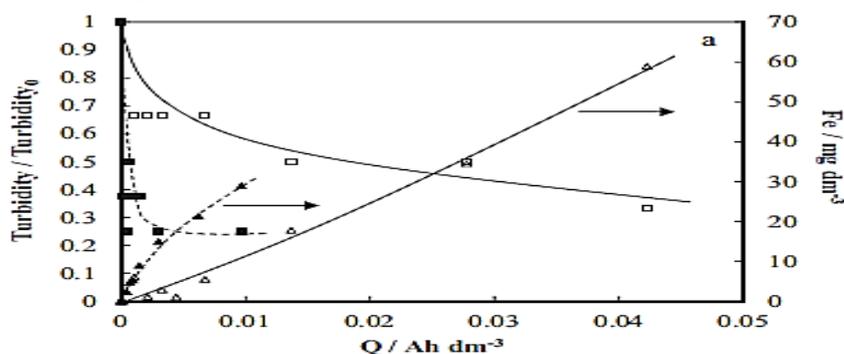
orgánica y decoloración total del color en un tiempo de 240, nuestro proyecto lo realiza un en menor tiempo obteniendo un porcentaje más alto que el estudio de Dos Santos.

Barzegar, et al (2018). Universidad de Ciencias Médicas Abadan – Irán. En su publicación “Enhanced treatment of greywater using electrocoagulation/ozonation: Investigation of process parameters”, su estudio se basa en la reducción de demanda química de oxígeno y carbono orgánico total, con la técnica de electrocoagulación acoplada a ozono tipo batch, reduciendo en 85% de DQO y 70% de TOC, estando muy de acuerdo con que este tipo de sistemas muy eficiente y ejecutable para el tratamiento de aguas grises, así mismo resulta eficaz para parámetros como DBO₅, fosfatos, aceites grasas, dureza total, turbiedad.

En la investigación de (Cotillas et al., 2014),” Coupling UV irradiation and electrocoagulation for reclamation of urban wastewater “ se trabajó con aguas residuales urbanas, empleando la técnica de electrocoagulación acoplado a UV, utilizando como electrodo de hierro en el ánodo, logrando reducir la turbiedad a diferentes niveles de densidad de corriente; Sin embargo trabajando a densidad de corriente 7.2 A/m² llegaron a reducir en 75%, si estos resultados los comparamos con nuestra investigación donde se redujo en 99.54%, existe una superioridad amplia. La siguiente figura 31 muestra el avance de la turbiedad en función a la densidad de corriente.

FIGURA 30

MODELADO DE LA REDUCCIÓN DE LA TURBIEDAD Y EL INCREMENTO DEL METAL FE EN LA SOLUCIÓN ELECTROLÍTICA DIFERENTES DENSIDADES DE CORRIENTE: j: 1.44 A m⁻² y j: 7.20 A m⁻².

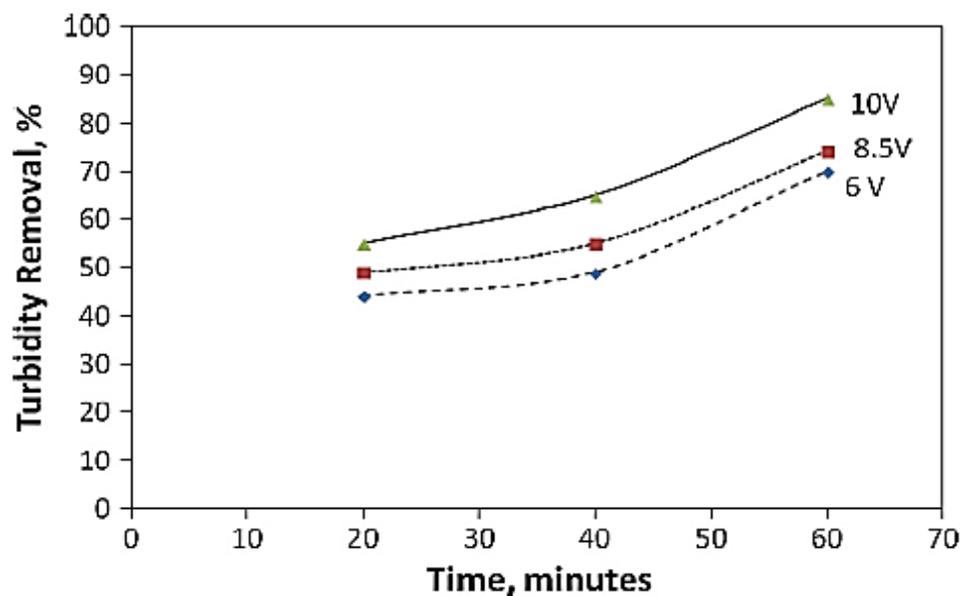


Nota: (Cotillas et al., 2014), podemos apreciar cuanto se redujo la turbiedad utilizando electrodo de hierro.

Según (Kuntal et al., 2014), en su trabajo de investigación sobre “Characterization of greywater in an Indian middle-class household and investigation of physicochemical treatment using electrocoagulation”, donde estudiaron la reducción de la turbiedad y otros parámetros en una celda de electrocoagulación con una configuración en monopolar en paralelo, llegando a obtener resultados de una reducción de la turbiedad en 85% en una hora de trabajo, esta reducción incrementa a medida que se aumenta el voltaje; sin embargo si comparamos con la investigación que realizamos logramos obtener a condiciones óptimas y adecuadas una reducción del 99.54% demostrando la buena eficiencia del módulo construido. En la figura 30 se muestran los resultados obtenidos de la reducción de la turbiedad según (Kuntal et al., 2014).

FIGURA 31

PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE LA TURBIEDAD EN FUNCIÓN AL TIEMPO A DIFERENTES VOLTAJES SOBRE AGUAS GRISES.



Nota: (Vakil et al., 2014).

Cuba T. M. (2020). Realizo su trabajo de investigación en “Tratamiento de agua residual procedente de lavadoras por el método de electrocoagulación para la reutilización en riego de vegetales, mediante este método se logró reducir en 99.02% de turbiedad, estando muy de acuerdo con la aplicación de esa tecnología, nosotros también

la aplicamos agregando la tecnología de UV, logrando reducir la turbiedad en un 99.54%.

Poma J. J. R. y Quispe S. P. A. (2016). Utilizaron el método de electrocoagulación para remoción de contaminante es aguas residuales urbanas, teniendo un porcentaje 95.3% en remoción de turbiedad, nosotros a esta tecnología de la electrocoagulación le agregamos la tecnología del UV para el tratamiento de aguas residuales provenientes de lavadoras, obteniendo un porcentaje de 99.54% en la remoción de turbiedad, demostrando que nuestra tecnología es eficaz, y que el resultado de los parámetros cumple con las normas establecidas.

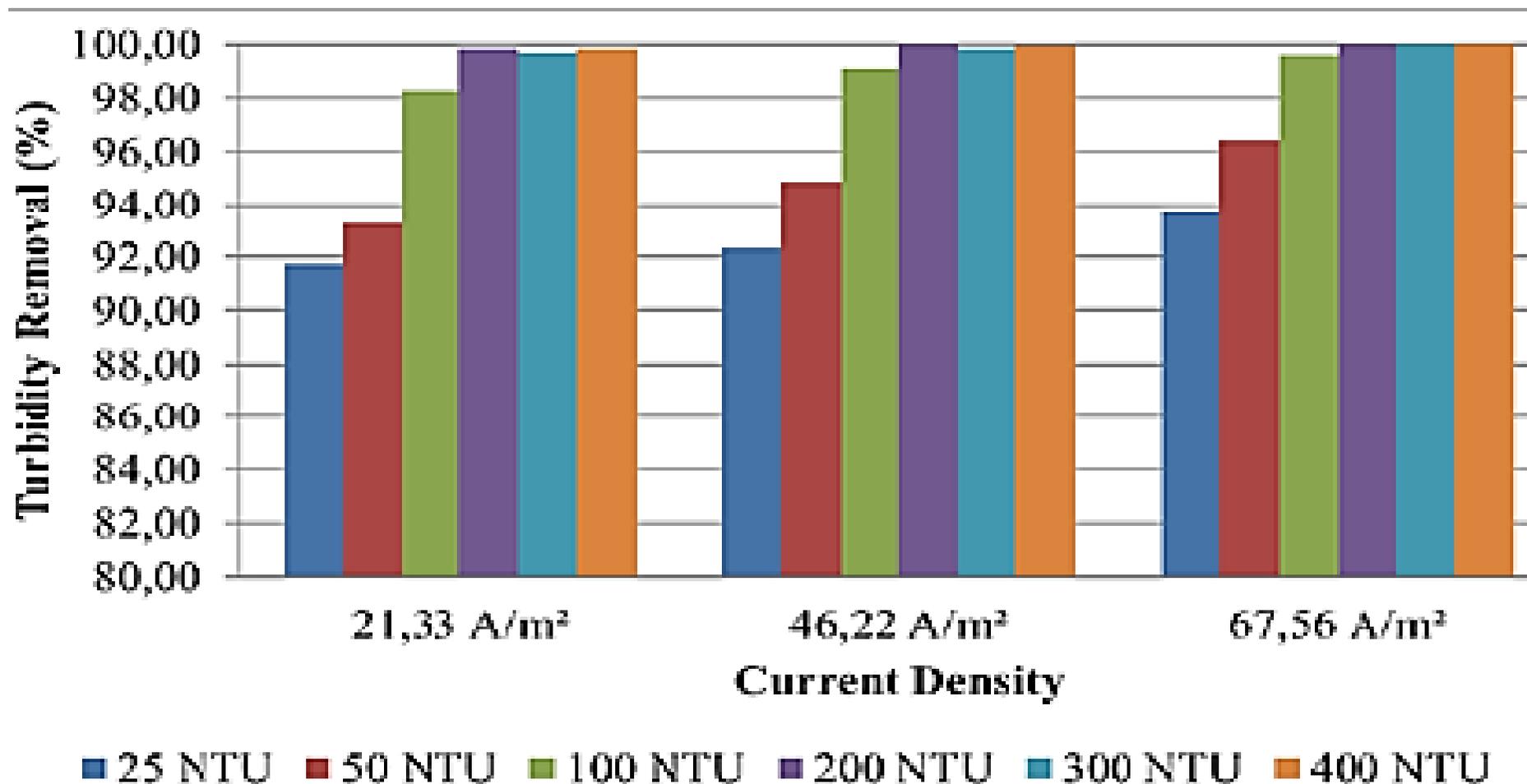
Riccio Y. L. F. (2015). Realizo si investigación “Remoción de contaminantes de aguas residuales urbanas del colector agua de las Vírgenes por electrocoagulación, a nivel de laboratorio, utilizando como fuente energética un panel fotovoltaico”, esta investigación tuvo un porcentaje de 92.94% en la remoción de contaminantes de las aguas residuales, el usar tecnologías limpias como es el panel fotovoltaico, para la instalación de estos paneles genera mayor tiempo, trabajo e inversión. Nuestra investigación por lo contrario es su instalación es más sencilla, menos trabajosa y lo importante es que se obtuvo un porcentaje alto de 99.54% mayor al de ellos en la remoción de la turbiedad.

Aguilar V. J. C. y Bazan M. J. A. (2018). Su estudio se basó en la intensidad eléctrica y tiempo en la disminución de la materia orgánica y turbidez en la electrocoagulación de las aguas residuales, siendo esta técnica eficaz, siendo evidencia el porcentaje obtenido de 76% en remoción de turbiedad; estamos de acuerdo con Aguilar V. J. C. y Bazan M. J. A que a mayor intensidad eléctrica la remoción de turbiedad será mayor. Nuestro trabajo de investigación demostramos que usando los parámetros operacionales de electrocoagulación/UV nuestro porcentaje es de 99.54%. en la remoción de turbiedad. Demostrando que la tecnología que aplicamos es eficiente para la remoción de contaminantes de aguas residuales provenientes de aguas residuales de lavadoras domésticas.

En la figura 32 se muestra la variación de la turbiedad en función a las diferentes densidades aplicadas.

FIGURA 32

ELIMINACIÓN DE LA TURBIEDAD EN CUALQUIER VALOR DE LA TURBIEDAD



Nota: (Afiatun et al., 2019).

CONCLUSIONES

- ✓ Al caracterizarse los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales de lavadora doméstica antes de su tratamiento, se obtuvieron valores de: Turbiedad (503 NTU), aceites y grasas (115.33 mg/L), fosfatos (83.6 mg PO₄), dureza total (294.8 CaCO₃ mg/L), DQO (1277 mg/L), DBO₅ (633 mg//L) y sólidos totales (1484.0 mg/L).
- ✓ Al analizar los datos de la tabla 25, se determinó que los factores de tiempo y voltaje tienen una influencia marcada sobre la reducción de la turbiedad, aumentando la eficiencia del proceso, en cambio el pH tiene poca influencia a comparación de los anteriores.
- ✓ Los valores obtenidos de los parámetros fisicoquímicos después de su tratamiento con la técnica híbrida de electrocoagulación/UV, en condiciones óptimas se obtuvieron: Turbiedad (2.3 NTU), aceites y grasas (5 mg/L), fosfatos (0.05 mg PO₄), dureza total (240.1 CaCO₃ mg/L), DQO (187.0 mg/L), DBO₅ (95.9 mg//L) y sólidos totales (940 mg/L).

RECOMENDACIONES

- ✓ Por cada experimento realizado hacer una buena limpieza del equipo para que no interfiera en el resultado de los parámetros fisicoquímicos.
- ✓ Al momento de determinar la turbiedad de la muestra en cada intervalo de tiempo, se recomienda que se diseñe o se trabaje con un material que ayude a separar las dos fases que se forman en un proceso de electrocoagulación, para no influir en la lectura real del equipo, así mismo se recomienda trabajar a niveles de voltaje entre el rango de (3 a 7 voltios) para ver el desarrollo del avance en la reducción de la turbiedad y tener una lectura más significativa.
- ✓ Se recomienda que para otros trabajos de investigación se investigue el comportamiento de la DQO, por estar acoplado a otros agentes oxidantes (ozono, H_2O_2 , sulfatos, etc.), por ser muy influyente en la oxidación de la materia orgánica e inorgánica; también se recomienda para trabajos posteriores para obtener una respuesta marcada sobre la reducción y el efecto del pH, trabajar a niveles alejadas, de lo contrario no se podrá ver la influencia buscada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Afiatun, E., Pradiko, H., & Fabian, E. (2019). Turbidity Reduction For The Development Of Pilot Scale Electrocoagulation Devices. *International Journal of GEOMATE* Vol.16, Issue 56, 123 - 128.
- Agilar-Villanueva, J. C., & Bazan-Moya, J. A. (2018). Efecto de la intensidad de corriente y el tiempo en la disminución de la materia orgánica y turbidez en la electrocoagulación de las aguas residuales de la ciudad universitaria UNT. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.
- Al-Jayyousi, O. R. (2003). Greywater reuse: towards sustainable water management. *Desalination* 156 (1–3), 181–192.
- Alsulaili, A. D., & Hamoda, M. F. (2015). Quantification and characterization of greywater from schools. *Water Science & Technology* | 72.11, 1973-1980.
- Amirtharajah, A., & Mills, K. M. (1982). Rapid-mix design for mechanisms of alum coagulation. *Journal of the American Water Works Association*, vol. 74, 210-216.
- Arango-Ruiz, A. (2005). La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*, vol. 2, núm. 1, 49-56.
- Babaei, F., Ehrampoush, M. H., Eslami, H., Ghaneian, M. T., Fallahzadeh, H., Talebi, P., Ebrahimi, A. A. (2019). Removal of linear alkylbenzene sulfonate and turbidity from greywater by a hybrid multi-layer slow sand filter microfiltration ultrafiltration system. *Journal of Cleaner Production* 211, 922-931.
- Barrera-Díaz, C., Bilyeu, B., Roa, G., & Bernal-Martinez, L. (2011). Physicochemical Aspects of Electrocoagulation. *Separation & Purification Reviews*, 40, 1-24.

- Barzegar, G., Wu, J., & Ghanbari, F. (2018). Enhanced treatment of greywater using electrocoagulation/ozonation: Investigation of process parameters. *Process Safety and Environment Protection*, 1-30.
- Bolton, J. R., Bircher, K. G., Tumas, W., & Tolman, C. A. (1996). Figures-of-merit for the technical development and application of advanced oxidation processes. *J. Adv. Oxid. Technol.* 1, 13-17.
- Boyjoo, Y., Pareek, V. K., & Ang, M. (2013). A review of greywater characteristics and treatment processes. *Water Science & Technology* 67.7, 1403-1424.
- Chin, W. H., Roddick, F. A., & Harris, J. L. (2009). Greywater treatment by UVC/H₂O₂. *Water Research* 43 (16), 3940–3947.
- Ciabatti, I., Cesaro, F., Faralli, L., Fatarella, E., & Tognotti, F. (2009). Demonstration of a treatment system for purification and reuse of laundry wastewater. *Desalination* 245, 451–459.
- Cotillas, S., Llanos, J., Miranda, O. G., Díaz-Trujillo, G. C., Cañizares, P., & Rodrigo, M. A. (2014). Coupling UV irradiation and electrocoagulation for reclamation of urban wastewater. *Electrochimica Acta*, 1-8.
- Cuba-Tello, M. V. (2020). "Tratamiento de agua residual procedente de lavadoras por el método de electrocoagulación para la reutilización en riego de vegetales - Ate Vitarte. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Deshayes, S., Eudes, V., Bigourie, M., Droguet, C., & Moilleron, R. (2017). Alkylphenol and phthalate contamination of all sources of greywater. *Science of the Total Environment* 599-600, 883-890.
- Dixon, A., Butler, D., Fewkes, A., & Robinson, M. (2000). Measurement and modelling of quality changes in stored untreated grey water. *Urban Water* 1 (4), 293–306.
- Dos Santos, A. J., Araújo Costa, E. C., Da Silva, D. R., Garcia-Segura, S., & Martínez-Huitle, C. A. (2017). Electrochemical advanced oxidation

processes as decentralized water treatment technologies to remediate domestic washing machine effluents. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-10.

Dwumfour-Asare, B., Nyarko, K. B., Essandoh, H. M., Awuah, E., Anim, K. K., & Quaye, A. (2018). Greywater in the drains of a sewered community in Ghana. *Water Practice & Technology Vol 13 No 4*, 965-979.

Ghanbari, F., Moradi, M., Eslami, A., & Emamjomeh, M. M. (2014a). Electrocoagulation/Flotation of Textile Wastewater with Simultaneous Application of Aluminum and Iron as Anode. *Environ Proc.*1, 447-457.

Gil, J. (24 de diciembre de 2018). *Revista del consumidor - Lavadoras automáticas*. Obtenido de *Lavadoras automáticas*: <https://docplayer.es/123974509-La-lavadora-es-una-herramienta.html>

Juárez, B.(agosto de 2013).Programa Energía Sustentable en México.Obtenido de https://energypedia.info/images/c/c7/Sustituci%C3%B3n_lavadoras_2013.pdf

Jefferson, B., Palmer, A., Jeffrey, P., Stuetz, R., & Judd, S. (2004). Grey water characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse. *Water Science and Technology Vol 50 No 2*, 157–164 .

Koby, M., Can, O. T., & Bayramoglu, M. (2003). Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. *Journal of Hazardous Materials B100* , 163–178.

Li, F., Wichmann, K., & Otterpohl, R. (2009). Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of the Total Environment* 407, 3439–3449.

Li, F., Wichmann, K., & Otterpohl, R. (2009). Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of the Total Environment* 407 (11), 3439–3449.

- Manouchehri, M., & Kargari, A. (2017). Water recovery from laundry wastewater by the cross flow microfiltration process: A strategy for water recycling in residential buildings. *Journal of Cleaner Production* 168, 227-238.
- Mollah, M. Y., Schennach, R., Parga, J. R., & Cocke, D. L. (2001). Electrocoagulation (EC) - science and applications. *Journal of Hazardous Materials B84*, 29–41.
- Mainali, B., Pham, T. T., Ngo, H., & Guo, W. (2013). Maximum allowable values of the heavy metals in recycled water for household laundry. *Science of the Total Environment* 452–453, 427–432.
- Martínez, F. (2007). Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación química. Cuenca: Universidad de Castilla - la Mancha.
- Miljojkovic, D., Trepšić, I., & Milovancević, M. (2019). Assessment of physical and chemical indicators on water turbidity. *Physica A* 527, 121171.
- Milton, J. R. (2004). *Surfactants and Interfacial Phenomena*. Wiley: third edition.
- Mollah, M., Morkovsky, P., Gomes, J., Praga, J., & Cocke, D. (2004). Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 114, 199-210.
- Oron, G., Adel, M., Agmon, V., Friedler, E., Halperin, R., Leshem, E., & Weinberg, D. (2014). Greywater use in Israel and worldwide: Standards and prospects. *Water Research* 58, 91-101.
- Oteng-Peprah, M., Vries, N. K., & Acheampong, M. A. (2018). Greywater characterization and generation rates in a peri urban municipality of a developing country. *Journal of Environmental Management* 206, 498-506.

- Pakula, C., & Stamminger, R. (2010). Electricity and water consumption for laundry washing by washing machine worldwide. *Energ. Effic.* 3, 365–382.
- Palmquist, H., & Hanæus, J. (2005). Hazardous substances in separately collected grey- and blackwater from ordinary Swedish households. *Science of the Total Environment* 348 (1-3), 151–163.
- Patel, M., Sheth, K. N., & Desai, M. (2017). A Study on Characterization & Treatment of Laundry Effluent. *IJIRST –International Journal for Innovative Research in Science & Technology|* Volume 4, 50-55.
- Poma-Javier, J. R., & Quispe-Sanca, P. A. (2016). Remoción de contaminantes de aguas residuales urbanas por el método de electrocoagulación. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Riccio-Yauri, L. F. (2015). Remoción de contaminantes de aguas residuales urbanas del colector agua de las vírgenes por electrocoagulación, a nivel de laboratorio, utilizando como fuente energética un panel fotovoltaico. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Spychała, M., Niec, J., Zawadzki, P., Matz, R., & Nguyen, T. H. (2019). Removal of Volatile Solids from Greywater Using Sand Filters. *Appl. Sc* 9, 9040770.
- Shaikh, I. N., & Ahammed, M. (2020). Quantity and quality characteristics of greywater: A review. *Journal of Environmental Management* 261, 110266.
- Song, K., Mohseni, M., & Taghipour, F. (2016). Application of ultraviolet light-emitting diodes (UV-LEDs) for water disinfection: a review. *Water Res.* 94, 341 - 349.
- Stevenson, M., & Bravo, C. (2019). Advanced turbidity prediction for operational water supply planning. *Decision Support Systems* 119, 72-84.
- Sumisha, A., Arthanareeswaran, G., Thuyavan, Y. L., Ismail, A. F., & Chakraborty, S. (2015). Treatment of laundry wastewater using polyethersulfone/polyvin

ylpyrollidoneultrafiltrationmembranes.EcototoxicologyandEnvironmental Safety,1-6.

- Vakil, K. A., Sharma, M. K., Bhatia, A., Kazmi, A. A., & Sarkar, S. (2014). Characterization of greywater in an Indian middle-class household and investigation of physicochemical treatment using electrocoagulation. *Separation and Purification Technology* 130, 160-166.
- Yasri, N., Hu, J., GolamKibria, M., & Roberts, E. P. (2020). *Electrocoagulation Separation Processes*. American Chemical Society.
- Zuma, B. M., Tandlich, R., Whittington-Jones, K. J., & Burgess, J. E. (2009). Mulch tower treatment system. Part I: Overall performance in greywater treatment. *Desalination* 242 (1–3), 38–56.

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia

TÍTULO: “ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES EN EL PROCESO DE SINERGIA (ELECTROCOAGULACIÓN/UV) PARA LA REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD EN AGUAS PROVENIENTES DE LAVADORAS DOMÉSTICAS HUÁNUCO 2020”

TESISTA: Bach. MATTOS REYES, Jonnana Marili

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
GENERAL	GENERAL	GENERAL	DEPENDIENTE			
¿En qué medida la aplicación del proceso de sinergia (electrocoagulación/UV) influye en la remoción de la turbiedad en aguas provenientes de lavadoras domésticas, Huánuco 2020?	Determinar en qué medida la aplicación del proceso de sinergia (electrocoagulación/UV) influye en la remoción de la turbiedad en aguas provenientes de lavadoras domésticas, Huánuco 2020	Al evaluar los parámetros operacionales de manera adecuada de un proceso de sinergia (electrocoagulación/UV) obtendremos la remoción de la turbiedad en aguas provenientes de lavadoras domésticas, con la cual se obtendrá un efluente que cumpla con las normas técnicas establecidas. -Caracterizando los parámetros fisicoquímicos del agua residual proveniente de lavadoras domésticas se podrá conocer la composición y la calidad del agua residual.	Y = La remoción de la turbiedad en aguas provenientes de lavadoras domésticas.	% de la reducción de la turbiedad	Porcentaje de reducción de partículas presentes en el agua residual	Ecuación
¿Cuáles serán los parámetros fisicoquímicos del agua residual provenientes de las lavadoras domésticas?	Identificar los parámetros fisicoquímicos del agua residual provenientes de las lavadoras domésticas		X1 = Voltaje	Tensión aplicada a la celda electroquímica	Voltaje (V)	Multiparámetro de (multímetro)

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
GENERAL	GENERAL	GENERAL	DEPENDIENTE			
¿Cuáles son los parámetros y niveles operacionales más influyentes del proceso acoplado de electrocoagulación/UV, en la reducción de la turbiedad en las aguas provenientes de lavadoras domésticas?	Identificar los parámetros y niveles operacionales más influyentes del proceso acoplado de electrocoagulación/UV, en la reducción de la turbiedad en las aguas s provenientes de lavadoras domésticas.	-Los parámetros operacionales de (voltaje, pH, tiempo de tratamiento) influyen significativamente en el proceso híbrido de electrocoagulación con UV sobre la reducción de la turbiedad en aguas procedentes de lavadoras domésticas.	X2 = pH	Rango de valor de 0-14	Cambio de color	Potenciómetro
¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos afectados por el proceso de sinergia (electrocoagulación/UV) después del tratamiento?	Identificar parámetros fisicoquímicos afectados por el proceso de sinergia (electrocoagulación/UV) después del tratamiento	-Las aguas salientes del tratamiento por electrocoagulación asistida con UV han sido reducidas los valores de sus parámetros fisicoquímicos.	X3 = Tiempo de tratamiento	Tiempo	Minutos	Cronómetro

Anexo 02: Partes del reactor electroquímico (electrocoagulación)

a) Electrodo de aluminio



b) La celda electroquímica abierta



c) La celda con sus respectivos electrodos



d) El reactor electroquímico



e) Los pernos con sus respectivas tuercas para la celda electroquímica



Anexo 03: Partes del equipo experimental acoplado

a) Equipo de rayos ultravioleta



b) Bomba hidráulica para la recirculación de la muestra



c) Depósito de material acrílico para la muestra en estudio



d) Fuente de corriente continua para la celda electroquímica



Anexo 04: Caracterización de la celda electroquímica

CARACTERIZACIÓN	LONGITUD
Longitud exterior	15 cm
Profundidad exterior	11.5 cm
Altura exterior	15 cm
Longitud interior	10 cm
Profundidad interior	8 cm
Altura interior	10 cm
Volumen del reactor	800 cm ³
N° de electrodos	4 Unid.
Área de electrodo/Unid.	140.055 cm ²
Espesor del electrodo	3 mm
Material electrodo	Aluminio
Configuración del electrodo	Monopolar paralelo
Altura del electrodo	8.5 cm
Ancho del electrodo	8.5 cm
Altura del depósito	46 cm
Profundidad del depósito	18 cm
Longitud del depósito	20 cm
Volumen del depósito	16560 cm ³

Anexo 05: Resolución de aprobación del estudio de investigación

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
Facultad de Ingeniería
RESOLUCIÓN N° 1316-2019-CF-FI-UDH
Huánuco, 06 de Diciembre de 2019

Visto, el Oficio N° 919-2019-C-EAPIA-FI-UDH, del Coordinador Académico de Ingeniería Ambiental, referente a **Jonnana Marili, MATTOS REYES**, del Programa Académico Ingeniería Ambiental Facultad de Ingeniería, quien solicita Aprobación del Proyecto de Investigación;

CONSIDERANDO:

Que, según Resolución N° 529-99-CO-UH, de fecha 06.09.99, se aprueba el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería, vigente;

Que, según el Expediente 3747-19, del Programa Académico de Ingeniería Ambiental, Informa que el Proyecto de Investigación Presentado por **Jonnana Marili, MATTOS REYES**, ha sido aprobado, y

Que, según Oficio N° 919-2019-C-EAPIA-FI-UDH, del Presidente de la Comisión de Grados y Títulos del Programa Académico de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Informa que el recurrente ha cumplido con levantar las observaciones hechas por la Comisión de Grados y Títulos, respecto al Proyecto de Investigación; y

Estando a lo acordado por el Consejo de Facultad de fecha 06 de diciembre de 2019 y normado en el Estatuto de la Universidad, Art. N° 44 inc.r);

SE RESUELVE:

Artículo Único. - APROBAR, el Proyecto de Investigación y su ejecución Intitulado: "ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES EN EL PROCESO DE SINERGIA (ELECTROCOAGULACIÓN/UV) PARA LA REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD EN AGUAS PROVENIENTES DE LAVADORAS DOMÉSTICAS HUÁNUCO 2020" presentado por **Jonnana Marili, MATTOS REYES** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental del Programa Académico de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Huánuco.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE, ARCHÍVESE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Mg. Johnny A. Tacha Rojas
SECRETARIO DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
Mg. Bertha Campos Ruiz
DECANA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Distribución:
Fac. de Ingeniería - EAPIA - Asesor - Exp. Graduando - ~~Intervenido~~ - Archivo.

Anexo 06: Resolución de asignación de asesor de tesis.

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 889-2020-D-FI-UDH

Huánuco, 16 de diciembre de 2020

Visto, el Oficio N° 436-2020-C-PAIA-FI-UDH presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Ambiental y el Expediente N° 2309, de la Bach. **Jonnana Marili, MATTOS REYES**, quién solicita cambio de Asesor de Tesis.

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo a la Nueva Ley Universitaria 30220, Capítulo V, Art 45º inc. 45.2, es procedente su atención, y;

Que, según el Expediente N° 2309, presentado por el (la) Bach. **Jonnana Marili, MATTOS REYES**, quién solicita cambio de Asesor de Tesis, para desarrollar su trabajo de investigación, y;

Que, con Resolución N° 1209-2018-D-FI-UDH, de fecha 18 de diciembre de 2018, en la cual se designa como Asesor de Tesis de la Bach. **Jonnana Marili, MATTOS REYES** a la Ing. Maria Vanessa Cuba Tello, la misma que no cuenta con el grado de maestro y que para el Registro Nacional de Trabajos de Investigación – RENATI, es requisito que el asesor cuente con dicho grado, y;

Que, según lo dispuesto en el Capítulo II, Art. 31 del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco vigente, es procedente atender lo solicitado, y;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - **DEJAR SIN EFECTO**, la Resolución N° 1209-2018-D-FI-UDH, de fecha 18 de diciembre de 2018.

Artículo Segundo.-. **DESIGNAR**, como nuevo Asesor de Tesis de la Bach. **Jonnana Marili, MATTOS REYES** al Mg. Rudy Milner Ramos Dueñas, Docente del Programa Académico de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería.

Regístrese, comuníquese, archívese



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
[Signature]
Mg. Johnny E. Tacha Rojas
SECRETARIO DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
[Signature]
Mg. Bertha Campos Ríos
DECANA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Distribución
Fac. de Ingeniería – PAIA- Asesor- Mat y Reg.Acad. – Interesado – Archivo.
BCR/IPR/emo

Anexo 07: Informe de resultados



INFORME DE ENSAYO FQ N° 200923-007

Nombre del Cliente : MATTOS REYES JONNANA MARILI
 Dirección de la Empresa : JR. SAN CRISTOBAL N° 190
 Solicitado por : MATTOS REYES JONNANA MARILI

DATOS DE LA MUESTRA

Procedencia : EDIFICIO I, DEPARTAMENTO 404 CONJUNTO RESIDENCIAL JARDINES DE SANTA CLARA-ATE
 Muestreo : Realizado por el cliente.
 Referencia : NS20014438
 Orden de Trabajo : 56156 . 0920
 Cantidad de Muestras : 2
 Presentación : Frasco de vidrio estéril con tapa rosca y botella plástica de primer uso
 Fecha de Muestreo : 16 de Septiembre de 2020 (Dato proporcionado por el cliente)
 Fecha de Recepción : 16 de Septiembre de 2020
 Fecha de Inicio de Ensayos : 16 de Septiembre de 2020
 Fecha de término de Ensayos : 23 de Septiembre de 2020
 Condiciones de Recepción : En aparente buen estado a temperatura de refrigeración

Puntos de Muestreo	Hora de Muestreo		Coordenadas		Altitud
	Inicio	Termino	Norte	Este	
"A"	10:00A.M.	-	-	-	
"B"	11:30A.M.	-	-	-	

MÉTODOS DE ENSAYO

DETERMINACIÓN	NORMA
Fosfatos(*)	SHENWAPHA-AWNA-WEP Part 4500-P E, 22nd Ed. 2012. Phosphorus. Ascorbic Acid Method.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por INACAL-DA

Observaciones:

- Este Informe de Ensayo tiene validez solo para la muestra descrita, por un periodo de 180 días a partir de la fecha de emisión del documento y es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo a las leyes vigentes tanto en materia civil como penal.
- (**) AGUA RESIDUAL: NTP-ISO5667-10:2012 CALIDAD DE AGUA. MUESTREO. PARTE 10: GUÍA PARA EL MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES.



Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad de CERTIFICAL S.A.C. Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) del lote y no del lote ensayado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de procedimiento o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
PROHIBIDA LA MODIFICACIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME.

PR-031A-02
 Página 1 de 2

INFORME DE ENSAYO FQ N° 200923-007

Código del Cliente	"A"		"B"	
Descripción del Punto	-		-	
Código de Laboratorio	200-14438(1)		200-14438(2)	
Tipo de Producto	AGUA RESIDUAL (DOMÉSTICA)		AGUA RESIDUAL (DOMÉSTICA)	
Fecha de muestreo	15/09/2020		16/09/2020	
Hora de muestreo	10:00A.M.		11:30A.M.	
ENSAYOS	UNIDAD	L.D.	L.C.	RESULTADOS
Fosfatos(*)	mg PO ₄	0.020	0.050	83.600 0.050

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por INACAL-DA

Emitido en Lima, el 23 de Septiembre de 2020



CERTIFICACIONES Y CALIDAD SAC
Ing. Edil M. Estrada Domínguez
Jefe Lab. Físico Químico - Ambiental

Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad de CERTIFICAL S.A.C. Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) del lote o del lote ensayado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado de la sistema de calidad de la entidad que lo produce.

PROHIBIDA LA MODIFICACIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME

FR-01/14-02
Página 2 de 2

INFORME DE ENSAYO FQ N° 200923-006

				"A"	"B"
Código del Cliente					
Descripción del Punto				-	-
Código de Laboratorio				20014438(1)	20014438(2)
Tipo de Producto				AGUA RESIDUAL (DOMÉSTICA)	AGUA RESIDUAL (DOMÉSTICA)
Fecha de muestreo				15/09/2020	16/09/2020
Hora de muestreo				10:00 A.M.	11:30 A.M.
ENSAYOS	UNIDAD	L.D.	L.C.	RESULTADOS	
Acetres y Grasas	mg/L	-	160	115.33	5.00
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	-	-	633.0	95.9
Dureza total	CaCO ₃ mg/L	-	1.81	294.80	240.10
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	-	10.0	1277.0	187.0
Sólidos totales	mg/L	-	4.00	1484.00	940.00

Emitido en Lima, el 23 de Septiembre de 2020


 CERTIFICACIONES Y CALIDAD S.A.C.
 Ingrid Patricia Domínguez
 Ing. Esl. M. Estrada Domínguez
 Jefe Lab. Físico Químico - Ambiental

Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad de CERTIFICAL S.A.C. Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) del lote(s) o del lote ensayado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado de un sistema de calidad de la entidad que lo produce.

PROHIBIDA LA MODIFICACIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME

 PR-011A-02
 Página 2 de 2

INFORME DE ENSAYO FQ N° 200923-006

Nombre del Cliente : MATTOS REYES JONNANA MARILI
 Dirección de la Empresa : JR. SAN CRISTOBAL N° 190
 Solicitado por : MATTOS REYES JONNANA MARILI

DATOS DE LA MUESTRA

Procedencia : Edificio I, Departamento 404 Conjunto Residencial Jardines De Santa Clara -Ato
 Muestreo : Realizado por el cliente.
 Referencia : NS20014438
 Orden de Trabajo : 06581 - 0920
 Cantidad de Muestras : 2
 Presentación : Frasco de vidrio estéril con tapa rosca y botella plástica de primer uso
 Fecha de Muestreo : 16 de Septiembre de 2020 (Dato proporcionado por el solicitante)
 Fecha de Recepción : 16 de Septiembre de 2020
 Fecha de Inicio de Ensayos : 16 de Septiembre de 2020
 Fecha de Término de Ensayos : 23 de Septiembre de 2020
 Condiciones de Recepción : En aparente buen estado a temperatura de refrigeración

Puntos de Muestreo	Hora de Muestreo		Coordenadas		Altitud
	Inicio	Termino	Norte	Este	
"A"	10:00 A.M.	-	-	-	-
"B"	11:30 A.M.	-	-	-	-

MÉTODOS DE ENSAYO

DETERMINACIÓN	NORMA
Acetres y Grasas	EPA Method 864, Revision B, 2012, n-Hexane Extractable Material (HEM, Oil and Grease) and Silica Gel Treated n-Hexane Extractable Material (SGT-HEM, Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017, Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test.
Demanda Química de oxígeno (DQO)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017, Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colometric Method
Dureza total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340 C, 23rd Ed. 2017, Hardness, EDTA Titrimetric Method
Sólidos totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B, 23rd Ed. 2017, Solids, Total Solids Dried at 103-105 °C

Observaciones:

- Este Informe de Ensayo tiene validez solo para la muestra descrita, por un periodo de 180 días a partir de la fecha de emisión del documento y es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo a las leyes vigentes tanto en materia civil como penal.
- (*) AGUA RESIDUAL: NTP-ISO 5667-10:2012 CALIDAD DE AGUA, MUESTREO, PARTE 10: GUÍA PARA EL MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES.



Los ensayos han sido realizados bajo responsabilidad de CERTIFICAL S.A.C. Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) del protocolo de ensayo(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados obtenidos en el laboratorio como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado de la sistema de calidad de la entidad que lo produce.

PROHIBIDA LA MODIFICACIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME

PR 051/A-02
 Página 1 de 2

INFORME DE ENSAYO FQ N° 200923-006

Código del Cliente				"A"	"B"
Descripción del Punto				-	-
Código de Laboratorio				20014438(1)	20014438(2)
Tipo de Producto				AGUA RESIDUAL(DOMÉSTICA)	AGUA RESIDUAL(DOMÉSTICA)
Fecha de muestreo				15/09/2020	16/09/2020
Hora de muestreo				10:00A.M.	11:30A.M.
ENSAYOS	UNIDAD	L.D.	L.C.	RESULTADOS	
Acetes y Grasas	mg/L	-	1.60	115.33	5.00
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	-	-	633.0	95.9
Dureza total	CaCO ₃ mg/L	-	1.81	294.80	240.10
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	-	10.0	1277.0	187.0
Sólidos totales	mg/L	-	4.06	1484.00	940.00

Emitido en Lima, el 23 de Septiembre de 2020


 CERTIFICACIONES Y CALIDAD SAC
 Ing. Estelita M. Estrada Domínguez
 Jefe Lab. Físico Químico - Ambiental

Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad de CERTIFICAL S.A.C. Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) del punto o de los lotes ensayado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de procedimiento o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

PROHIBIDA LA MODIFICACIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME

 FR-001/14-02
 Página 2 de 2