

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

**“OPTIMIZACIÓN EN LA ELIMINACIÓN DE LA TURBIEDAD
UTILIZANDO EL MÉTODO TAGUCHI EN AGUAS RESIDUALES DE
LAVADO DE AUTOS “MI KAHOMY”, MEDIANTE EL MÓDULO DE
ELECTROCOAGULACIÓN ASISTIDA CON POAs, DISTRITO
AMARILIS - PROVINCIA HUANUCO - 2020”**

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

AUTORA: VILLANUEVA SALAZAR, CAROLAY BRENDA

ASESOR: VASQUEZ BACA YASSER

HUÁNUCO – PERÚ

2020

U

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

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

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Modelación, Análisis y control de la Contaminación Ambiental.

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, tecnología

Sub área: Ingeniería química

Disciplina: Ingeniería química

D

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniera ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

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

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 71974662

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 42108318

Grado/Título: Título Oficial De Máster Universitario En Planificación Territorial Y Gestión Ambiental.

Código ORCID: 0000-0002-7136-697X

H

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Riveros Agüero Elmer	Maestro en Administración y Gestión en Salud	28298517	0000-0003-3729-5423
2	Calixto Vargas Simeón Edmundo	Maestro En Administración De La Educación	22471306	0000-0002-5114-4114
3	Duran Nieva Alejandro Rolando	Biologo-Microbiologo	21257549	0000-0001-5596-0445

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

En la ciudad de Huánuco, siendo las 18:30 horas del día 07 del mes de mayo del año 2021, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** mediante la plataforma Google Meet integrado por los docentes:

- Mg. Elmer Riveros Agüero (Presidente)
- Mg. Simeon Edmundo Calixto Vargas (Secretario)
- Blgo. Alejandro Rolando Duran Nieva (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N°468-2021-D-FI-UDH**, para evaluar la **Tesis** intitulada: **“OPTIMIZACIÓN EN LA ELIMINACIÓN DE LA TURBIEDAD UTILIZANDO EL MÉTODO TAGUCHI EN AGUAS RESIDUALES DE LAVADO DE AUTOS “MI KAHOMY”, MEDIANTE EL MÓDULO DE ELECTROCOAGULACIÓN ASISTIDA CON POAs, DISTRITO AMARILIS - PROVINCIA HUÁNUCO - 2020”**, presentado por el (la) **Bach. CAROLAY BRENDA VILLANUEVA SALAZAR**, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

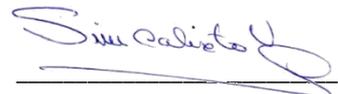
Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

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, declarándolo(a) **APROBADO** por UNANIMIDAD con el calificativo cuantitativo de 14 y cualitativo de **SUFICIENTE** (Art. 47)

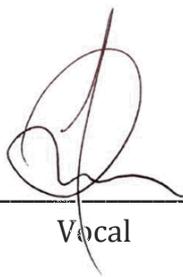
Siendo las 19:33 horas del día 07 del mes de mayo del año 2021, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.



Presidente



Secretario



Vocal

DEDICATORIA

A mi alma mater, la Universidad de Huánuco, que guió mis pasos y el de muchos profesionales para aportar con nuestros conocimientos a la sociedad.

AGRADECIMIENTO

A Dios por la vida, la naturaleza, felicidad y amor.

A mis padres Homero y Ana María, mi principal ejemplo de vida, mi motor, amor y fuerza.

A mi hermano Gonzalo, por su amor y cuidado, por su creatividad, por su entrega a nuestra familia y apoyo constante.

A mi asesor, el Mg. VASQUEZ BACA YASSER, por su motivación, por estar pendiente en responder mis preguntas y darme una mano cuando lo he necesitado.

A todos los profesores que compartieron su conocimiento en el desarrollo de mi línea profesional.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE.....	IV
LISTA DE TABLAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
RESUMEN	XI
ABSTRACT.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XIV
CAPÍTULO I.....	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	16
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.2.1 Problema general	17
1.2.2 Problemas específicos	17
1.3 OBJETIVO	18
1.3.1 Objetivo general	18
1.3.2 Objetivos específicos.....	18
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.4.1 Legal.....	18
1.4.2 Tecnológica	20
1.4.3 Social.....	21
1.4.4 Económico.....	21
1.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.5.1 Espacial.....	21
1.5.2 Teóricas.....	21
1.6 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	22
CAPÍTULO II.....	23
2. MARCO TEÓRICO	23
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	23
2.1.1 Antecedente internacional	23
2.1.2 Antecedentes nacionales	25

2.2 BASES TEÓRICAS	26
2.2.1 Lavadero de vehículos	26
2.2.2 Etapas del proceso de lavado de vehículos	26
2.2.3 Consumo de agua en lavadero de vehículos.....	29
2.2.4 Efluentes generados en lavadero de vehículos.....	30
2.2.5 Impactos ambientales de los efluentes generados en lavado de vehículos	33
2.2.6 Tratamiento de efluentes de lavadero de vehículos	34
2.2.7 Procesos de oxidación avanzada	36
2.2.8 Desinfección de contaminantes por radiación ultravioleta (UV).	38
2.2.9 Desinfección de contaminantes por ozono.....	38
2.2.10 La electrocoagulación	39
2.2.11 Procesos de oxidación avanzada acopladas a electrocoagulación.....	48
2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	48
2.4 HIPÓTESIS.....	49
2.4.1 Hipótesis general	49
2.4.2 Hipótesis específico.....	50
2.5 VARIABLES	50
2.5.1 Variable independiente (X).....	51
2.5.2 Variable dependiente (Y)	51
2.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	52
CAPÍTULO III	54
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	54
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	54
3.1.1 Enfoque	54
3.1.2 Alcance o nivel	54
3.1.3 Diseño de la investigación.....	54
3.1.4 Fases de la investigación	55
3.1.5 Diseño de metodología experimental Taguchi.....	56
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	57
3.2.1 Población	57
3.2.2 Muestra	58
3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS....	58

3.3.1 Técnicas.....	58
3.4 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	62
3.4.1 Procesamiento de la información	63
3.4.2 Técnica para presentar los datos recogidos	63
3.4.3 Explicación de datos y resultados	63
3.4.4 Instrumentos.....	63
CAPÍTULO IV.....	65
4. RESULTADOS.....	65
4.1 RESULTADOS DE LOS 16 EXPERIMENTOS	65
4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICA PARA LA ROBUSTEZ Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PARTE EXPERIMENTAL.....	70
4.3 RESULTADOS EN BASE A LA OPTIMIZACIÓN SEGÚN TAGUCHI.	78
CAPÍTULO V.....	79
5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	79
5.1 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS CON LOS RESULTADOS CONSEGUIDOS.....	79
5.2 CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS CON OTROS TRABAJOS SEMEJANTES	79
CONCLUSIONES	84
RECOMENDACIONES.....	85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
ANEXOS	90
ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA	91
ANEXO 2: MATRIZ OPERACIONAL.....	93
ANEXO 3: HOJA DE CAMPO.....	95
ANEXO 4: CARACTERÍSTICA DEL MÓDULO ACOPLADO DE ELECTROCOAGULACIÓN.....	98
ANEXO 5: RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DEL ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN.....	99
ANEXO 6: GALERÍA DE FOTOS CAPTADAS EN EL EXPERIMENTO.....	100
ANEXO 7: FICHA DE RECOLECCIÓN Y MONITOREO DE DATOS EN CAMPO.....	104

ANEXO 8: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS ENVIADOS AL LABORATORIO ESPECIALIZADO	108
ANEXO 09: PLANO DE UBICACIÓN DEL PROYECTO	113

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros y valores consolidados Ecas 3	19
Tabla 2. Diferentes tipos de lavado de autos	29
Tabla 3. Consumo medio de agua por tipo de lavado de coches	30
Tabla 4. Calidad de efluente generada en lavaderos de vehículos reportados en diferentes literaturas	32
Tabla 5. Puntos claves para utilizar diferentes procesos de tratamiento de efluentes de lavadero de vehículo	35
Tabla 6. Ventajas y desventajas en la aplicación del ozono en el tratamiento de aguas residuales	39
Tabla 7. Reacciones principales en la celda electrocoagulación	45
Tabla 8. Beneficio y perjuicios de la técnica de electrocoagulación	47
Tabla 9. Operacionalización de variables	52
Tabla 10. Variable de operación con sus respectivos niveles de operación	56
Tabla 11. Diseño experimental ortogonal según Taguchi	57
Tabla 12. Lugar de captación de muestras en el lavadero de vehículos “MY KAHOMY”	59
Tabla 13. Resultados mediante el sustento de la metodología Taguchi ...	68
Tabla 14. Tabla de respuestas para medias para la reducción de la turbiedad	71
Tabla 15. Tabla de respuestas para medias en el consumo de energía (KWh/m ³)	71
Tabla 16. Condiciones del módulo experimental para la optimización en la reducción de la turbiedad	78
Tabla 17. Singularidades fisicoquímicas del agua residual de lavadero de autos del antes y después de su tratamiento a condiciones óptimas para su reducción de la turbiedad	78
Tabla 18. Resultados del antes y final del tratamiento del efluente	79
Tabla 19. Resultados obtenidos del trabajo de investigación “Optimization of electrocoagulation operating parameters applied to the recovery vehicle washing wastewater”	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Valores Estándares de descargas de afluentes de aguas residuales industriales	20
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de lavado de vehículos	28
Figura 3. Componentes de una formulación de un detergente	31
Figura 4. Proceso de tratamiento de aguas residuales de lavadero de vehículo	36
Figura 5. Superioridad de los procesos de oxidación avanzada frente a los demás agentes oxidantes (rayos ultravioleta/ozono)	37
Figura 6. Mecanismos de coagulación de partículas coloidales.	41
Figura 7. Diagrama esquemático de una celda de electrocoagulación de dos electrodos a escala de banco.....	42
Figura 8. Concentración de especies monoméricas de aluminio en equilibrio con hidróxido de amorfo, en condiciones de fuerza iónica cero, T = 25° C y pH variable.....	43
Figura 9. Diagrama donde se representa las diferentes formas de conexión con los electrodos y la serie de electrodos.	44
Figura 10. Bosquejo de la investigación	55
Figura 11. Lugar de captación de muestras en el lavadero de vehículos “MY KAHOMY”	58
Figura 12. Verificación del módulo construido para la experimentación central.	60
Figura 13. Equipo de electrocoagulación acoplado a ozono y rayos ultravioleta	62
Figura 14. Instrumentos usados en el desarrollo de la investigación.....	64
Figura 15. Resultados recogidos en el campo experimental de los parámetros fisicoquímicos y eléctricos cada 10 minutos.	65
Figura 16. Gráfica sobre números de experimentos y porcentaje de reducción de la turbiedad.....	69
Figura 17. Gráfica de consumo de energía en la celda de electrocoagulación versus N° de experimentos.	70
Figura 18. Gráfica de efectos principales para medias sobre la reducción de la turbiedad.	72

Figura 19. Gráfica de efectos principales para medias sobre el consumo de energía en la celda.	73
Figura 20. Diagrama de Pareto para la reducción de la turbiedad	74
Figura 21. Diagrama de Pareto para el consumo de energía en la celda ..	74
Figura 22. Gráficas de superficies para la reducción de la turbiedad	75
Figura 23. Eliminación de diversos contaminantes a diversos niveles de pH	81
Figura 24. Aumento de la remoción de la turbiedad con el incremento de la densidad de corriente.	82
Figura 25. Reducción de la turbiedad a efectos de densidad de corriente y pH a tiempo de 20 minutos	83

RESUMEN

La eliminación y desinfección de contaminantes presentes en aguas residuales de lavadero de autos han sido elemento de indagación por diversos

Investigadores debido a que sus efectos negativos sobre la salud y medioambiente son cada vez más complejos. Diversos estudios de investigación constataron que las aguas residuales salientes de lavaderos de automóviles contienen contaminantes con efectos negativos, generando un gran problema ambiental el cual requiere una respuesta práctica con responsabilidad social. Una serie de tecnología electroquímicas para la separación y eliminación de contaminantes se están desarrollando en los últimos años como la electrocoagulación, los sistemas acoplados con los oxidantes avanzados tienen el objetivo de aumentar la eficiencia de tratamiento, este tipo de tecnologías son considerados como una alternativa hacia los tradicionales.

En esta investigación, se ejecutó la optimización en la eliminación de la turbiedad utilizando el método Taguchi en aguas residuales de lavado de autos mediante el módulo de electrocoagulación asistida con procesos de oxidación avanzada. El desarrollo experimental se llevó a cabo en un módulo de tipo batch re circulante (electrocoagulación/ozono/rayos ultravioleta), con el objetivo de optimizar la reducción de la turbiedad para ello se utilizó la metodología Taguchi, se estudiaron cinco factores: voltaje, tiempo de tratamiento, pH, distancia entre electrodos y flujo de alimentación cada uno de ellos con 4 niveles operacionales. Los resultados demuestran que empleando la tecnología se logró optimizar la reducción de la turbiedad llegando a 98.93%, trabajadas a condiciones operacionales de voltaje (10 V), tiempo de tratamiento (50 min), pH (5), distancia entre electrodos (1 cm) y flujo de alimentación (6 L/M), también se logró reducir la DQO (61.53%), DBO₅ (44.23%), A y G (95.81%) y SAM (70.28%), aumentando la biodegradabilidad de 0.152 a 0.22.

Palabras claves: Aguas grises, lavadero de autos, electrocoagulación, oxidación avanzada, metodología Taguchi, ozono, UV.

ABSTRACT

The elimination and disinfection of pollutants present in car wash wastewater have been an element of investigation by various

Researchers because its negative effects on health and the environment are increasingly complex. Various research studies found that the wastewater coming out of car washes contains pollutants with negative effects, generating a great environmental problem which requires a practical response with social responsibility. A series of electrochemical technologies for the separation and elimination of pollutants are being developed in recent years such as electrocoagulation, systems coupled with advanced oxidants have the objective of increasing treatment efficiency, this type of technology is considered as an alternative to the traditional ones.

In this research, the optimization in the removal of turbidity using the Taguchi method was carried out in car wash wastewater by means of the assisted electrocoagulation module with advanced oxidation processes. The experimental development was carried out in a circulating batch type module (electrocoagulation / ozone / ultraviolet rays), with the aim of optimizing the reduction of turbidity, for this the Taguchi methodology was used, five factors were studied: voltage, treatment, pH, distance between electrodes and feed flow, each with 4 operational levels. The results show that using the technology it was possible to optimize the reduction of turbidity reaching 98.93%, working under operating conditions of voltage (10 V), treatment time (50 min), pH (5), distance between electrodes (1 cm) and feed flow (6 L / M), it was also possible to reduce COD (61.53%), BOD5 (44.23%), A and G (95.81%) and SAM (70.28%), increasing biodegradability from 0.152 to 0.22 .

Keywords: Gray water, car wash, electrocoagulation, advanced oxidation, Taguchi methodology, ozone, UV.

INTRODUCCIÓN

La importancia de hacer estudios relacionados sobre tratamiento de aguas grises contaminadas por la industria de lavados de autos ha generado mucho interés sobre todo en zonas donde el crecimiento poblacional y la agricultura aumentan considerablemente, influenciadas en el consumo de agua. Por lo tanto, se han realizado grandes esfuerzos para el desarrollo de tecnologías que puedan adquirir agua dulce a partir de aguas grises en especial la electrocoagulación.

Con la tecnología de electrocoagulación se puede tratar efluentes provenientes de lavadero de autos, reduciendo los contaminantes mediante la sedimentación acelerada de sólidos totales suspendidos y oxidación de compuestos orgánicos (Mirshahghassemi, Aminzadeh, Torabian, & Afshinnia, 2017).

La electrocoagulación puede ser definido como un sistema donde se desestabilizan diversos contaminantes mediante la generación de un coagulante insitu influenciada por una corriente exterior.

Los procesos de tratamiento por electrocoagulación de diversos efluentes se vienen estudiando desde hace varios años con resultados prometedores, los primeros estudios reportados sobre la utilización de la electrocoagulación como tecnología emergente en el tratamiento de efluentes contaminados data de los principios del siglo XX correspondiente al año 1906 en los Estados Unidos (Álvaro, 2005).

El interés de utilizar la electrocoagulación acoplado a los procesos de oxidación avanzada e incrementar el grado de biodegradabilidad de los contaminantes en especial los recalcitrantes es debido a las estrictas revisiones y regulaciones de la calidad del agua, la necesidad de reutilización, reciclaje y el incremento de la eficiencia de la electrocoagulación.

En este trabajo se evaluó los factores de operación de un módulo acoplado de electrocoagulación y oxidación avanzada sobre efluente

proveniente de lavadero de autos, reconfirmando como una técnica opcional hacia otras técnicas tradicionales.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El uso de diversos vehículos para diversos fines se está incrementando exponencialmente en los últimos años, generando una saturación vehicular, esto hace que los centros de lavado de automóviles se incrementen, a la par un aumento en cantidad y calidad del efluente generado, para lugares donde el agua escasea es un gran problema a solucionar.

Las aguas grises provenientes de lavaderos de autos son considerados como potenciales contaminantes inclusive en bajos volúmenes, por tal razón a nivel mundial han atraído a ser tratados y reutilizarse propuesto bajo una directriz y legislación ambiental (Zaneti, Etchepare, & Rubio, 2011).

De acuerdo a Rodríguez, entre 200 L y 45 L se consume agua de forma automática y lavado de servicio, respectivamente, generando miles de litros de aguas residuales con altos niveles de contaminantes (Mallick & Chakraborty, 2019).

En Huánuco los lavaderos vierten sus desechos en los canales, ríos y otros, contaminando así gran parte de agua para consumo humano, por este motivo nace la necesidad de tratar estas aguas contaminadas con métodos eficientes y adecuados antes de desecharlas y así disminuir el impacto generado.

Surgiendo así una propuesta, como la electrocoagulación una alternativa para el tratamiento de aguas, ya que en la actualidad es una técnica que ofrece un potencial significativo en la remoción de diversos contaminantes contenidos en aguas residuales proveniente de diversas fuentes.

El método de coagulación química, dado que esta es la raíz o punto de partida de la electrocoagulación. La coagulación química se define como la adición de compuestos químicos al agua para alterar el estado físico de los sólidos disueltos, coloidales y suspensión, a fin de facilitar su eliminación por precipitación o filtración. La corriente eléctrica proporciona la fuerza electromotriz que provoca una serie de reacciones químicas, cuyo resultado final es la estabilidad de las moléculas contaminantes (Mollah, Morkovsky, Gomes, Praga, & Cocke, 2004).

En los lavaderos de vehículos no suelen tener un control adecuado de sus aguas residuales, solo pasan a ser vertidas a los ríos. La electrocoagulación, es un proceso en el que el tratamiento se lleva a cabo sin la adición de ningún coagulante o floculante químico. Es así que se plantea el método de electrocoagulación acoplado con oxidación avanzada con electrodos de aluminio, como alternativa para remover la carga contaminante presente en el agua residual de lavadora de autos.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema general

¿Podrá optimizarse la eliminación de la turbiedad utilizando el método Taguchi mediante el módulo de electrocoagulación asistida con POAs en aguas residuales de lavado de autos “Mi Kahomy”?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuáles son los valores de los parámetros físico químicos del agua residual provenientes de lavado de autos “MI KAHOMY”, antes de su tratamiento?
- ¿Cuáles son los parámetros operacionales que influyen en la reducción de la turbiedad utilizando la metodología Taguchi mediante el módulo de electrocoagulación asistida con Procesos de Oxidación Avanzadas?
- ¿Cuáles son los valores de los parámetros fisicoquímicos de la muestra en estudio después de tratarlo con la técnica acoplada?

1.3 OBJETIVO

1.3.1 Objetivo general

Determinar la optimización de la eliminación de la turbiedad utilizando el método Taguchi mediante el módulo de electrocoagulación asistida con POAs en aguas residuales de lavado de autos “Mi Kahomy”.

1.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar los parámetros físicos químicos del agua residual provenientes de lavado de autos “MI KAHOMY”, antes de su tratamiento.
- Determinar los parámetros operacionales que influyen en la optimización de la reducción de la turbiedad utilizando la metodología Taguchi mediante el módulo de electrocoagulación asistida con Procesos de Oxidación Avanzadas
- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos del efluente proveniente de lavado de autos después de su tratamiento con la técnica acoplada.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Legal

Según el marco Normativo del numeral 22 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú, sostiene que toda persona tiene derecho a gozar y estar en pleno equilibrio con la naturaleza que lo rodea. Según la Ley N° 28611 correspondiente a la ley General del Ambiente se refiere a que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y debe proteger el ambiente, así como a sus componentes asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva.

Según la Ley N° 26534 de las Áreas Naturales Protegidas, en el Artículo 25 menciona que no deben ponerse en riesgo bajo cualquier actividad las zonas de amortiguamiento y alterar la zona Natural Protegida.

La investigación busca cumplir con los requerimientos ambientales de Vertimientos del agua residual con alto contenido de carga orgánica. En el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se indican los valores de los Estándares de Calidad Ambiental de la descarga de las aguas residuales, los cuales se indican en la tabla 1.

Tabla 1.
Parámetros y valores consolidados Ecas 3

CATEGORÍAS		ECA AGUA: CATEGORÍA 3	
PARÁMETRO	UNIDAD	PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES	PARÁMETROS PARA BEBIDAS DE ANIMALES
		D1: RIEGO DE VEGETALES DE TALLO ALTO	D2: BEBIDAS DE ANIMALES
Aceites y grasas	mg/L	5	10
Demanda química de oxígeno	mg/L	40	40
Demanda biológica de oxígeno	mg/L	15	15
Detergentes	mg/L	0.2	0.5
Cloruros	mg/L	500	**
Conductividad	uS/cm	2500	5000
Coliformes totales	NMP/100m	1000	5000

Nota: Decreto Supremo N°004-2017- MINAM

En el Perú no hay una Normativa exclusiva que regule los efluentes salientes de lavaderos de automóviles, sin embargo se tomará como base referencial adicional las Normas Internacionales sobre los Estándares de descarga de efluentes de aguas residuales de las industrias, recomendado por agencias de ley Nacional del agua OMS, en la figura 1 se muestran dichos valores.

Figura 1.

Valores Estándares de descargas de afluentes de aguas residuales industriales

Parameter	NATIONAL WATER ACT, WHO effluent standards (dissolved value (mg/l)) ^a	NEQS (mg/L, unless otherwise stated)		
		Into Inland Water	Into Sewage Treatment	Into Sea
Chloride (as Cl)	0.25, 0.25	1000	1000	SC
NO ₃ ⁻ and NO ₂ ⁻	15, ND	ND	ND	ND
SO ₄ ⁻²	ND, ND	600	1000	SC
O&G	2.5, 2.5	ND	ND	ND
pH	5.5–9.5	6–9	6–9	6–9
TDS	ND, 25	3500	3500	3500
COD	75, 60	150	400	400
TSS	25, 25	200	400	200
BOD ₅	ND, 30	80	250	200
Iron	ND, ND	8	8	8
Cr	0.05, 0.2	1 ^b	1 ^b	1 ^b
Cd	ND, 0.005	0.1	0.1	0.1
Cu	0.01, 2	1	1	1
Fe	0.3, 0.3	8	8	8
Mn	0.1, 0.4	1.5	1.5	1.5
Ni	ND, ND	1	1	1
Pb	0.01, 0.01	0.5	0.5	0.5
Zn	0.1, 3	5	5	5
EC (mS/cm)	70–150	ND	ND	ND
Total toxic metals	ND, ND	2	2	2
An-ionic detergents (as MBAS)	ND, ND	20	20	20

Nota: Tomado de "Standards of industries' wastewater effluent discharge characteristics", por (Sarmadi, y otros, 2020), *Efficient technologies for carwash wastewater treatment: a systematic review*, p. 14. part of Springer Nature 2020, Springer-Verlag GmbH Germany.

1.4.2 Tecnológica

El alcance de este proyecto es exponer los conceptos básicos de ingeniería electroquímica y química aplicados en el tratamiento de efluentes líquidos, implementando un módulo de electrocoagulación asistida con Oxidación Avanzadas y reemplazar al proceso tradicional de coagulación química.

1.4.3 Social

El crecimiento exponencial de uso de automóviles como medio de transportes en las zonas rurales y urbanas es una necesidad que obliga a que muchos de ellos sean competitivos dando el servicio de la mejor calidad, uno de ellos es la seguridad y la limpieza del automóvil, esa necesidad hace que aparezcan lavaderos de diferentes tecnologías, paralelo a ello se generan efluentes de diferentes concentraciones, ocasionando o alterando el medio ambiente, el cual urge implementar normas y técnicas propicias para solucionar el problema social.

1.4.4 Económico

Al implementar la técnica de electrocoagulación acoplada a oxidantes avanzados como reemplazo a las técnicas tradicionales como la coagulación química, que comúnmente son costosas, ofrecen varias ventajas, primero hay una reducción significativa en el grado de contaminación de los efluentes, aumentando su grado de biodegradabilidad, no se necesita agregar productos químicos exteriores, estos y entre otros hacen que este sistema de tratamiento sea viable económicamente frente a otras técnicas.

1.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Espacial

Estará centrada en las aguas residuales provenientes de lavadero de automóviles “MY KAHOMY”, localizados en Distrito de Amarilis.

1.5.2 Teóricas

La evaluación de los parámetros de operación será en un módulo de electrocoagulación asistida con oxidación avanzada a nivel de laboratorio, cuyos resultados nos permitirá conocer los fundamentos y escalar hacia equipos a nivel planta piloto.

En cuanto a la construcción del módulo se presentó algunas limitaciones:

- Por las situación de la problemática del covid 19, se trató de construir con materiales sobrevalorados, al no poderse encontrar lugares de venta.
- Al no contar con equipos de medición de los parámetros como la turbiedad, pH, etc. se tuvo que alquilar y en algunas ocasiones se tuvo que enviar las muestras a laboratorios certificadas y especializados.

1.6 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

El investigador cuenta con los conocimientos previos sobre electrocoagulación, en la utilización de los conceptos de la electroquímica para tratamiento de efluentes, además de contar con una carrera relacionado con el tema para poder asumir todo el proceso de la investigación.

Existe una gran disponibilidad de información secundaria; sobre el tema a investigar, que nos ha permitido fundamentar el marco teórico y conceptual de la investigación, estas se les encuentra en forma virtual como en físico como son libros, revistas, artículos científicos, resultados de investigaciones ambientales y a través de la red de internet, entre otros.

El tesista asumirá todos los costos que demande el proceso de investigación; así también cuenta con la logística y el asesoramiento de un docente para desarrollar el trabajo de investigación en todas sus fases.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 Antecedente internacional

M. Priya Y J. Jeyanthi (2019). Colegio tecnológico del Gobierno - India. En su trabajo titulado “Removal of cod, oil and grease from automobile wash wáter effluent using electrocoagulation technique”, El objetivo del presente estudio es la reducción de DQO, aceite y grasa procedentes de lavado de automóviles utilizando la técnica de electrocoagulación, para ello se utilizaron cuatro materiales de sacrificio (Al, Fe, Cu y St), de igual manera se estudiaron las influencias de las cuatro variable operativas con sus respectivos niveles (distancia de electrodos (10, 5 y 2.5 cm), densidad de corriente (de 5 a 30 A/m²), tiempo de reacción (de 10 a 60 min) y pH (de 4 a 10).

La mayor reducción de DQO se dio con electrodo de cobre como ánodo y aluminio como cátodo, a pH 6.5. Con los parámetros operacionales optimizados de distancia a 5 cm, densidad de corriente en 25 A/m², tiempo de 40 minutos y pH a 6, se logró reducir en 95.1%, 92.5% y 99% de DQO, aceites - grasas y turbidez respectivamente. Resultando la técnica eficiente y económico (Priya & Jeyanthi, 2019).

Z. B. Gönder, G. Balcioğlu, Y. Kaya y I. Vergili (2019). Universidad de Estambul-Cerrahpasa – Turquía. En su trabajo titulado “Treatment of carwash wastewater by electrocoagulation using Ti electrode: optimization of the operating parameters”, El trabajo se enfocó en estudiar un efluente proveniente de lavado de autos, con la técnica de electrocoagulación utilizando un electrodo de sacrificio titanio. El objetivo fue optimizar los parámetros operacionales utilizando la metodología Taguchi sobre la reducción de DQO, aceites y grasas y eliminación de tensoactivos aniónicos. Las variables operaciones estudiadas son el pH (4 – 8), Densidad de corriente (2.5 – 30 A/m²) y velocidad de agitación (150 – 350 rpm). A las condiciones optimizadas de los parámetros operacionales se obtuvieron resultados en una reducción del 84%, 99.3% y 82% en DQO, tensoactivo

aniónico y aceites - grasas respectivamente. Para estas condiciones optimizadas el costo de operación se calculó en 9.67 dolares/m³. La densidad es uno de las variables de mayor influencia en la reducción de los contaminantes. De igual forma se analizó los lodos producidos mediante microscopía electrónica de barrido. Llegando a la conclusión de que utilizando esta técnica con electrodo de titanio se pudo resolver el problema de descontaminar los efluentes provenientes de lavadoras de autos con alta eficiencia (Gönder, Balcıođlu, Kaya, & Vergili, 2019).

A. A. Ribeiro da Silva, C. A. Paulinetti da Camara, I. Lobo, I. S. Scarmínio y J. C. Alves (2017). Universidade Estadual de Londrina (UEL) - Londrina (PR) - Brasil. En su trabajo publicado “Optimization of electrocoagulation operating parameters applied to the recovery vehicle washing wastewater”. Para esta investigación se usó como muestra un efluente proveniente de lavados de autos, el objetivo fue desarrollar un sistema de tratamiento por electrocoagulación con electrodo de sacrificio (aluminio), se estudiaron parámetros como pH, intensidad de corriente y tiempo de tratamiento como variables operacionales.

Como resultado al optimizar los parámetros operacionales en pH a 5, intensidad de corriente a 3.5 A y tiempo de 20 minutos se logró reducir en 73% en DQO, 58% en tensoactivos y 90% de turbidez, logrando obtener un efluente apto para ser reutilizado en lavado de autos (Ribeiro da Silva, Paulinetti da Camara, Lobo, Scarmínio, & Alves, 2017).

S. Mirshahghassemi, B. Aminzadeh, A. Torabian y K. Afshinnia (2017). University of South Carolina, Columbia - Estados Unidos. En su trabajo publicado “Optimizing electrocoagulation and electro-Fenton process for treating car wash wastewater”. Para este trabajo se utilizó un efluente contaminado con restos de lavadero de autos. El objetivo de este trabajo fue optimizar los parámetros operacionales de un sistema de tratamiento con electrocoagulación y electro-fenton. La metodología utilizada fue superficie de respuesta, con tres variables operacionales, entre ellos el pH, densidad de corriente y tiempo de tratamiento en función de la reducción de DQO, fosfatos y turbiedad. Se utilizaron electrodos de hierro, con una conexión

monopolar, de igual manera se trabajaron para el sistema electro-fentón manipulando las variables de pH, tiempo de tratamiento y la concentración de peróxido en función de la reducción de DQO. Como resultado se obtuvieron en condiciones optimizadas de pH (7.3), densidad de corriente (4.2 A/m^2) y tiempo de tratamiento (20.3 minutos) una reducción de 80.8%, 94.9% y 85.5% en DQO, fosfato y turbiedad respectivamente. Llegando a obtener un consumo de energía en 1.5 KWh/m^3 , de igual manera en el sistema de electro-fentón con condiciones optimizadas de pH (3), tiempo de tratamiento (10 minutos), intensidad de corriente (2 A) y concentración de peróxido (500mg/L) se obtuvo una reducción de 85.6% en DQO, con un consumo mucho menor de energía (0.5 KWh/m^3). Concluyendo que las dos técnicas entre electrocoagulación y electro-fentón son muy eficientes con altos rendimientos (Mirshahghassemi, Aminzadeh, Torabian, & Afshinnia, 2017).

2.1.2 Antecedentes nacionales

M. M. Bermeo Garay (2017). Universidad Nacional Mayor de San Marcos – Perú. En su trabajo publicado “Remoción eficiente de colorante refractario azul MNO reactivo en combinación con vinil sulfónico en aguas residuales mediante técnicas de electrocoagulación y adsorción”. Para este trabajo se utilizó una muestra sintética simulada de un efluente de la industria textil, el objetivo es evaluar la eficiencia del módulo acoplado de electrocoagulación con carbón activado, sobre la reducción del color y DQO, operacionalizando las variables de intensidad de corriente, voltaje y tiempo de tratamiento, se utilizaron electrodos de hierro como material de sacrificio. Como resultado del tratamiento se obtuvieron una reducción de 97.54% en DQO y 99.11% en la coloración, esta reducción se incrementó con el acoplamiento de del carbón activado en 97.95% en DQO y 99.20% en la coloración (Bermeo Garay, 2017).

D. J. Velásquez Flores (2017). Universidad Nacional Agraria la Molina – Perú. En su trabajo publicado “Aplicación del método de electrocoagulación el efluente de la planta piloto de leche “la Molina””. El

efluente en estudio es proveniente de la planta piloto de leche de la universidad de la Molina, el objetivo fue evaluar la eficiencia de la celda de electrocoagulación en la reducción de contaminantes, utilizando 6 pares de electrodos de aluminio – hierro, se investigó el efecto de tres factores operacionales del módulo construido a escala laboratorio, pH, tiempo de tratamiento e intensidad de corriente. Los resultados a condiciones óptimas de pH (8.5), intensidad de corriente (3 A) y tiempo de tratamiento (30 minutos) se obtuvieron una reducción en 45%, 42%, 96.2%, 78.8% y 95% de DQO, DBO₅, fósforo total, sólidos suspendidos totales y aceites – grasas respectivamente, mientras que otros compuestos presentes en la muestra aumentaron en 2.76 veces de nitrógeno y en 24.3 mg/L de aluminio (Velásquez Flores, 2017).

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Lavadero de vehículos

Los lavaderos de autos son actividades que prestan servicios comerciales y que comprenden de una serie de operaciones unitarias físicas con la finalidad de brindar vehículos libre de escorias superficiales, pero adversamente afectan al medio ambiente relacionado a la contaminación del efluente por el uso de productos de limpieza y restos adheridos a los autos (Brown, 2002).

2.2.2 Etapas del proceso de lavado de vehículos

Según Brown, las etapas del proceso que conforman un lavadero en general constan de cuatro:

- a. Prelavado:** Esta etapa al igual que otras consta de sub etapas, el vehículo en esta etapa se le somete con productos desincrustantes, con el objetivo de remover la suciedad más incrustada, como pueden ser lodos, mosquitos, defecaciones de aves, etc. Y que en las fases posteriores con la ayuda física de rodillos o cepillos serán eliminados, una vez terminado esta fase se empieza una limpieza con abundante

agua a presión, generalmente se consigue con esta etapa dejar listo al vehículo para la siguiente etapa (Brown, 2002).

- b. Lavado:** Etapa que consiste en rociar agua más champú, logrando suavizar las pinturas y ayudar a maximizar la limpieza con los cepillos, en ocasiones también se agrega otro detergente que tiene la cualidad de generar más espuma densa logrando maximizar aún más la limpieza. En esta etapa también es limpiado la parte interior del vehículo correspondiente a las ruedas, etc. Para esta operación se pueden utilizar dos tipos de arcos uno de tipo cepillo de nilón y cortinas textiles (Brown, 2002).

- c. Acabado:** Esta etapa incluye el uso del agua para su mejor aclaración después del encerado, la enceración es opcionalmente, a menudo lo aplican conjuntamente en maquinaria en frío. Las ceras pueden aplicarse según la calidad a obtener, por eso primero se aplica una cera pulible que tiene la función de proteger y dar el carácter hidrófobo, para que cualquier gota adherida salga fácilmente. Algunos sistemas de lavaderos aplican agua libre de dureza al final del encerado, con la finalidad de darle un acabado fino, para eso se tiene que instalar equipos para tratamiento de la dureza del agua, de lo contrario aparecen manchas blancas sobre la pintura (Brown, 2002).

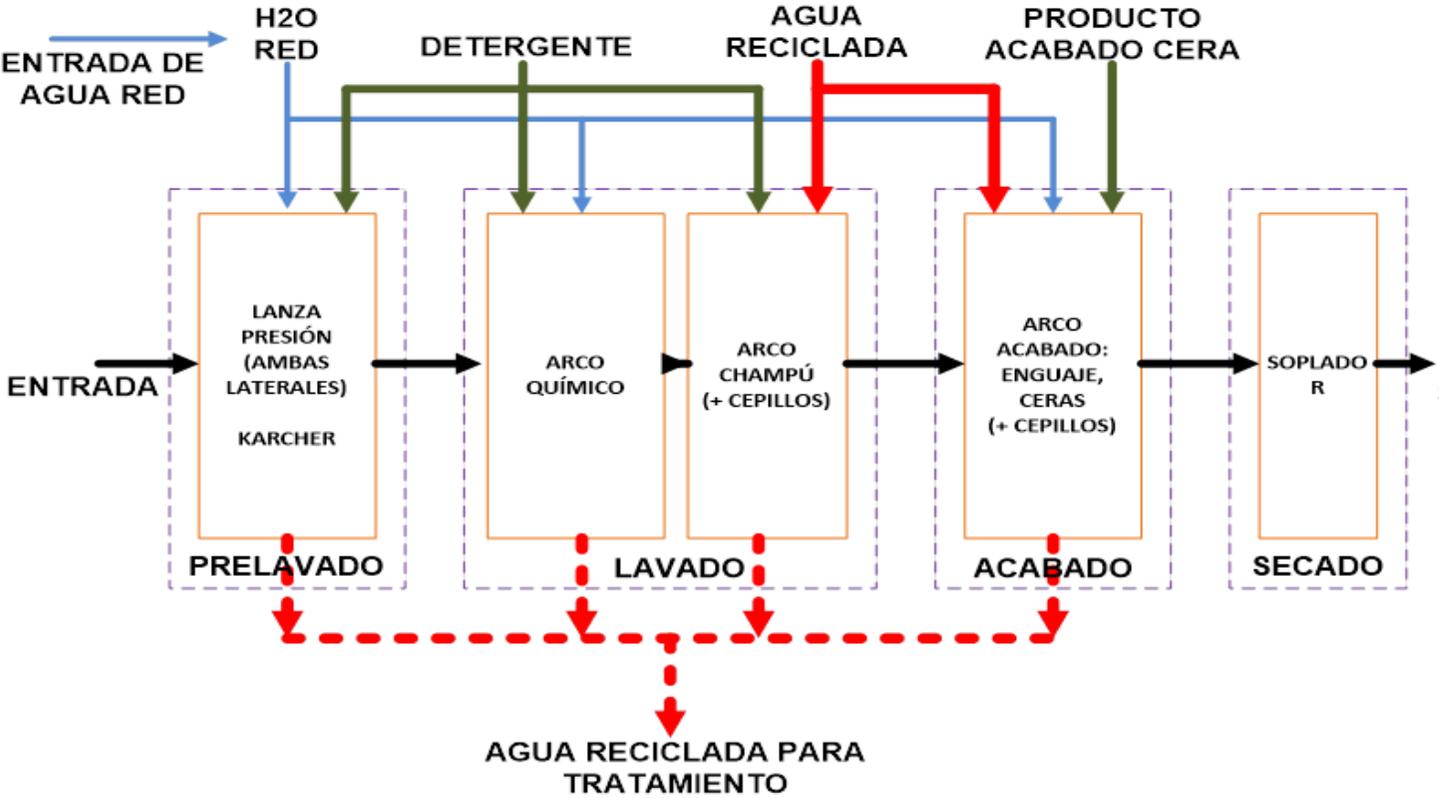
- d. Secado:** Esta fase es opcional, lo normal se aplica en un túnel con sopletes o ventiladores para limpiar las gotas de aguas adheridas sobre la pintura.

Según la International Carwash Association el proceso de lavado puede realizarse utilizando equipos automatizados con la finalidad de minimizar la contaminación difusa y volverse a reutilizar el agua, para esto en el mercado se ofrecen diversos equipos:

- Puente de lavado (rollover o in-bay automatico)
- Túnel de lavado (conveyor)
- Autolavado de coches (self-service).

Figura 2.

Diagrama de flujo del proceso de lavado de vehículos



Nota: El proceso de lavado de autos con sus diferentes etapas

Según Boussu et al., 2007 y Bazrafshan et al., 2012, existen cuatro tipos de lavado de vehículos los más comunes se detallan en la tabla 2.

Tabla 2.

Diferentes tipos de lavado de autos

TIPO	CONSIDERACIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Lavado a mano	Todas las actividades son realizados físicamente sin aire a presión	. Mínimo rascarse	. Requiere más agua, equipo, hora y costoso . Baja calidad de lavado
		. Capacidad para eliminar contaminación pesada	
Lavado de autoservicio	Proporcionar quioscos en la ciudad con alta presión de mangueras	. La posibilidad para limpiar el coche por el persona el mismo	. No hay supervisión
Túnel de lavado	El auto está completamente lavado sobre un transportador. Estos lavados de autos existen en diferentes países, especialmente en países avanzados.	. Ofertas más altas de trabajo de calidad	Requiere más espacio y consideraciones
		. Puede reducirse significativamente el consumo del agua	
Lavado automático	El auto se mueve a un baño y lavado con frente y limpiadores de espalda o con especial rodillos que tienen alto rendimiento Estos lavados de autos son generalmente utilizado en La mayoría de los países	. Barato	. Causas pesado rascarse
		.Rápido	. Los productos químicos pueden dañar y causar aspersión en terminaciones
			. No se pueden eliminar contaminaciones pesadas

Nota: los diferentes tipos de lavados (Boussu et al., 2007), (Bazrafshan et al., 2012).

2.2.3 Consumo de agua en lavadero de vehículos

El consumo del agua en bruto varía en función del tipo de lavado, tipo de vehículo, números de proceso, etc. Según Janik y Huybrechts, Como muestran los datos, sobre todo en instalaciones tipo puentes y túnel de lavado, el consumo de agua puede variar mucho de una instalación a otra.

Influye tanto el tipo de instalación como el tamaño del vehículo y el programa elegido por los clientes (Janik & Kupiec, 2007). Según Janik y Kupiec en la tabla 3 se muestran las cantidades usadas de agua por coche.

Tabla 3.

Consumo medio de agua por tipo de lavado de coches

TIPO DE LAVADO	CONSUMO DE AGUA (L/LAVADO)
PUENTE DE LAVADO	100 - 350
TÚNEL DE LAVADO	200 - 650
BOX DE AUTOLAVADO	70 - 80
LAVADO DE CAMIONES	350 - 900
LAVADO A MANO	50 - 500

Nota: Consumo del agua en los tipos de lavados (Huybrechts et al, 2002)

2.2.4 Efluentes generados en lavadero de vehículos

Según (Huybrechts et al., 2007), el agua residual generado en lavaderos es agua sucia, el efluente generado varía en función del tipo de instalación y tipo de vehículo. La cantidad saliente es mínimo a al flujo entrante por razones de pérdidas, por ejemplo se pierde 10 L en coches, 25 – 30 camiones y otros por evaporación y arrastre.

La composición del efluente es muy variado va depender de varios factores (ubicación del lugar, la temporada, la carga del vehículo, productos químicos, etc.).

En relación a los insumos químicos utilizados se pueden clasificar en tres categorías:

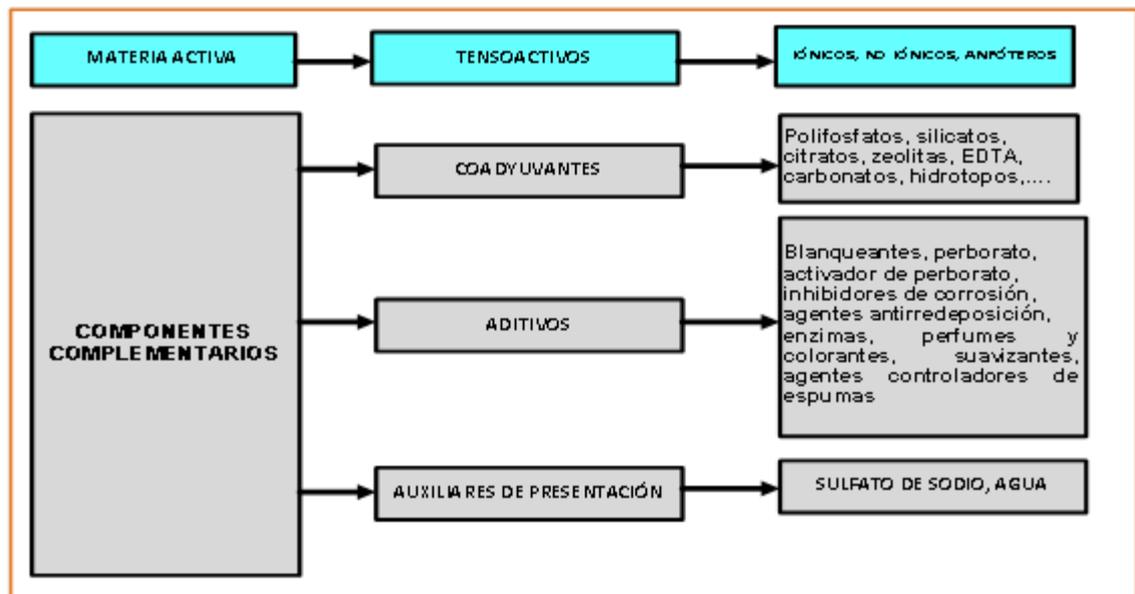
- Productos de limpieza del vehículo, utilizados en las cuatro operaciones y procesos unitarias (detergente, ceras, abrasivos, emulsionantes, siliconas, solventes, espesantes).
- Productos exclusivos para el manteniendo de los equipos y otros.

- Productos utilizados para el tratamiento del efluente o para los malos olores (floculante, productos para la limpieza de los filtros, reguladores de pH, antiespumantes, etc.).

En la siguiente figura 3 se muestra la composición de los detergentes en forma general.

Figura 3.

Componentes de una formulación de un detergente



Nota: los componentes que contiene el detergente (Sanchez, 2007).

Las características fisicoquímicas y biológicas de los efluentes generados en lavaderos de vehículos son muy variantes y depende de varios factores, en la siguiente tabla 4 según (Torkashvand, y otros, 2020) en forma resumida se muestran los valores leídos de las diferentes propiedades que reportaron algunos investigadores.

Tabla 4.

Calidad de efluente generada en lavaderos de vehículos reportados en diferentes literaturas

PARÁMETROS	CARACTERÍSTICAS	REFERENCIAS
COD (mg/L)	776	(Boluarte et al., 2016)
	314	(Uçar et al., 2018)
	141–1019	(Bhatti et al., 2011)
	282–566	(El-Ashtoukhy et al., 2015)
	700	(Istirokhatun et al., 2018)
	572	(Panizza and G et al., 2010)
DBO (mg/L)	68	(Zaneti et al., 2013)
	178	(Panizza and G et al., 2010)
ACEITES (mg/L)	1.3–83.7	(Bhatti et al., 2011)
	125	(Gönder et al., 2017)
	36–70	(Istirokhatun et al., 2018)
	5–25	(Tan and L et al., 2008)
	5.28–13.47	(Zhang et al., 2013)
TURBIEDAD (NTU)	1000	(Boluarte et al., 2016)
	275	(Al-Gheethi et al., 2015)
	73–772	(Bhatti et al., 2011)
	128	(Chu et al., 2012)
	140	(Kiran et al., 2015)
	552	(Moazzem et al., 2018)
TDS (mg/L)	345	(Zaneti et al., 2013)
	500	(Zaneti et al., 2011)
	259	(Moazzem et al., 2018)
	577–644	(Bhatti et al., 2011)
TS (mg/L)	1054	(Uçar et al., 2018)
	110–5855	(Bhatti et al., 2011)
	320–770	(Pinto et al., 2017)
	434	(Zaneti et al., 2011)
CONDUCTIVIDAD (Us/cm)	469	(Zaneti et al., 2013)
	300	(Pinto et al., 2017)
	400	(Moazzem et al., 2018)
	980	(Gönder et al., 2017)
	919–1000	(El-Ashtoukhy et al., 2015)
	1159–1289	(Bhatti et al., 2011)
pH	8.5	(Boluarte et al., 2016)
	6.96	(Gheethi et al., 2015)
	7.89–8.75	(Bhatti et al., 2011)
	7.1–7.7	(El-Ashtoukhy et al., 2015)
	8	(Gönder et al., 2017)
	6.42	(Moazzem et al., 2018)

Nota: los diferentes parámetros presente en el agua residual (Torkashvand, y otros, 2020).

En el caso de la presencia de metales en el efluente generado a partir de lavado de vehículos según los reportes de (Brown, 2002), los que predominan de mayor a menor concentración corresponden a Zinc, cobre, plomo, cromo, etc. Respectivamente.

2.2.5 Impactos ambientales de los efluentes generados en lavado de vehículos

Según (Sánchez, 1995) y (Sanchez, 2007), los tensoactivos que se acumulan son tóxicos, de carácter orgánico consumiendo el oxígeno, causando anoxia, resultando efluentes bajos en DBO.

Los detergentes a parte de los tensoactivos tienen otros componentes que causan eutrofización, aparte de esto generan espumas de diferente tamaño, en cantidades grandes son perjudiciales en planta de tratamientos posteriores, adicionalmente generan problemas en sedimentación, coagulación y por lo general alteran el pH del efluente, subiéndolo a 12, otro campo afectado son los efluentes subterráneos logrando adherir los tensoactivos en los sólidos (suelo).

Estos efectos pueden agravarse en lavaderos donde no hay personal adecuado en constante direccionamiento y control del efluente, en ocasiones los mismos choferes en vez de realizar un lavado exterior, realizan otras operaciones como engraso, llenado de combustible, etc. Todo ello agrava la concentración del efluente.

Estos componentes provenientes de los detergentes en general son sustancias de cadena larga, lo cual les hace sustancias no biodegradables, desde un punto de vista ecológico estos productos deberían ser muy fácilmente degradables, no sólo con respecto a los detergentes si no con las ceras o aceites aplicados en las últimas fases, a diferencia de otros países donde se impulsa la utilidad de productos a base de compuestos biodegradables, cultura que en nuestro país se debería impulsar y más aún como profesionales del campo.

2.2.6 Tratamiento de efluentes de lavadero de vehículos

Estos efluentes según (Sarmadi, y otros, 2020), pueden ser tratados según su naturaleza y composición con diferentes tecnologías entre tradicionales y emergentes. Entre los tradicionales están el tratamiento preliminar, primario, secundario y terciario, generalmente para este tipo de efluentes se llega hasta la etapa secundaria.

Los tratamientos (preliminar y primaria) sustentada en eliminar la materia suspendida (grasas, aceites, etc.) y las arenas sedimentables, estos contaminantes pueden ser eliminados con operaciones físicas y químicas como flotación, aireación y sedimentación, etc. (Bhatti, y otros, 2011).

Los tratamientos secundarios se caracterizan por utilizar fundamentalmente a los microorganismos utilizados en procesos (aeróbico y anaeróbico), degradando a los contaminantes orgánicos y elementos nutrientes como N y P.

El tipo de detergente y otros productos químicos utilizados hace que muchos de estos efluentes se encuentren por encima de los parámetros establecidos para la reutilización del agua, por ello diferentes procesos se han utilizado y comparado su rendimiento. En la tabla 5 se muestra algunas técnicas de tratamiento con sus puntos clave de aplicación.

Tabla 5.

Puntos claves para utilizar diferentes procesos de tratamiento de efluentes de lavadero de vehículo

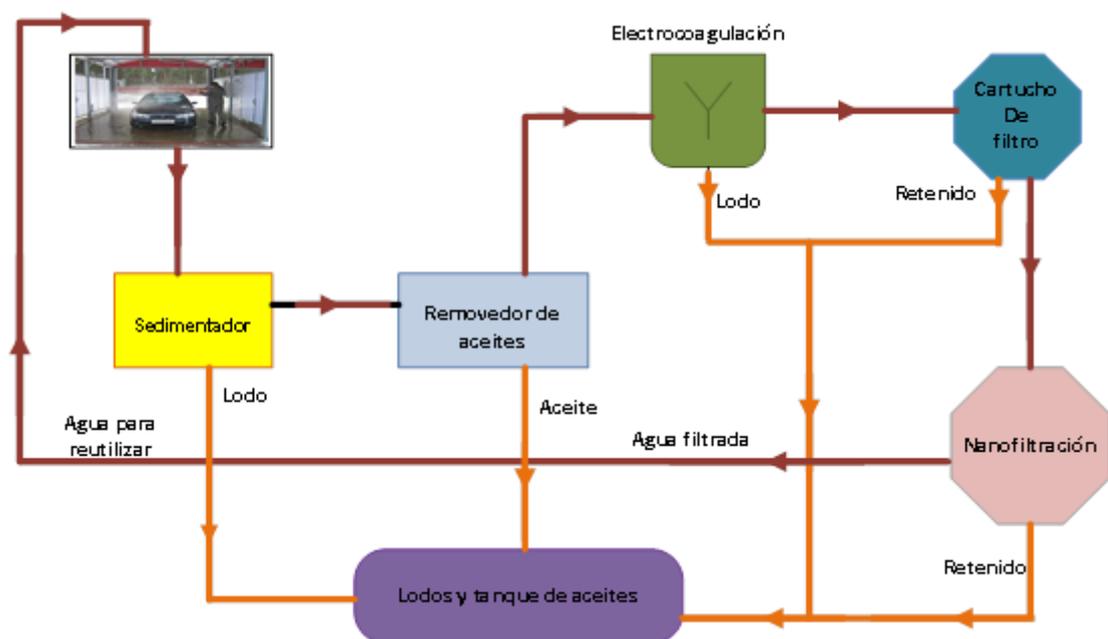
PROCESO DE TRATAMIENTO	OBSERVACIONES
PROCESO DE MENBRANAS	<ul style="list-style-type: none">- Alta reducción de flujo- Bajas tasas de recuperación de agua- Ensuciamiento rápido y severo- Alta eficiencia en corto tiempo de tratamiento <p>.- El efecto del tipo de membrana y su estructura sobre el flujo y la eficiencia de eliminación</p>
COAGULACIÓN QUÍMICA	<ul style="list-style-type: none">- El alumbre, el poli (cloruro de aluminio) y el cloruro férrico fueron los coagulantes más utilizados.-El tiempo de coagulación fue de 10 minutos y el tiempo de floculación fue de 20 a 30 minutos.-Producción de lodo, disminución del pH, aumento de TDS 60% de reducción de DQO y 70% de reducción de turbidez
ELECTROCOAGULACIÓN	<ul style="list-style-type: none">-La eficiencia está relacionado con el pH del efluente-El tipo de electrodo Efecto sobre el tratamiento Eficiencia y consumo de energía-Corto tiempo de tratamiento (30 minutos)
ELECTROOXIDACIÓN	<ul style="list-style-type: none">-Efecto del tipo de ánodo sobre la eficiencia y el tiempo de tratamiento, que es entre 4 a 8 horas.-Alto consumo de energía y el método es costoso-Aumento del pH en el sobrenadante después de la formación de dióxido de carbono debido a la oxidación orgánica-Las variables como las concentraciones de Fe^{2+}, H_2O_2 y pH son importantes para proporcionar la máxima eficiencia en el tratamiento de efluente de lavadero de autos por Photo-Fenton reacciones

Nota: diferentes procesos que se puede aplicar para un tratamiento de aguas residuales (Torkashvand, y otros, 2020).

Los tratamientos terciarios, según (Ramalho, 1996), Son métodos avanzados, de carácter biológica, química y radiación. El propósito de éste etapa es llegar a mineralizar algunos compuestos complejos persistentes que son dañinos para el medio receptor, para ello se pone a disposición en el mercado una serie de técnica eficaces para llevar una sustancia a un estado inactivo. En la figura 4 se muestra un diagrama de flujo general de tratamiento del efluente de lavadero de vehículos.

Figura 4.

Proceso de tratamiento de aguas residuales de lavadero de vehículo



Nota: Las etapas de un proceso de tratamiento.

2.2.7 Procesos de oxidación avanzada

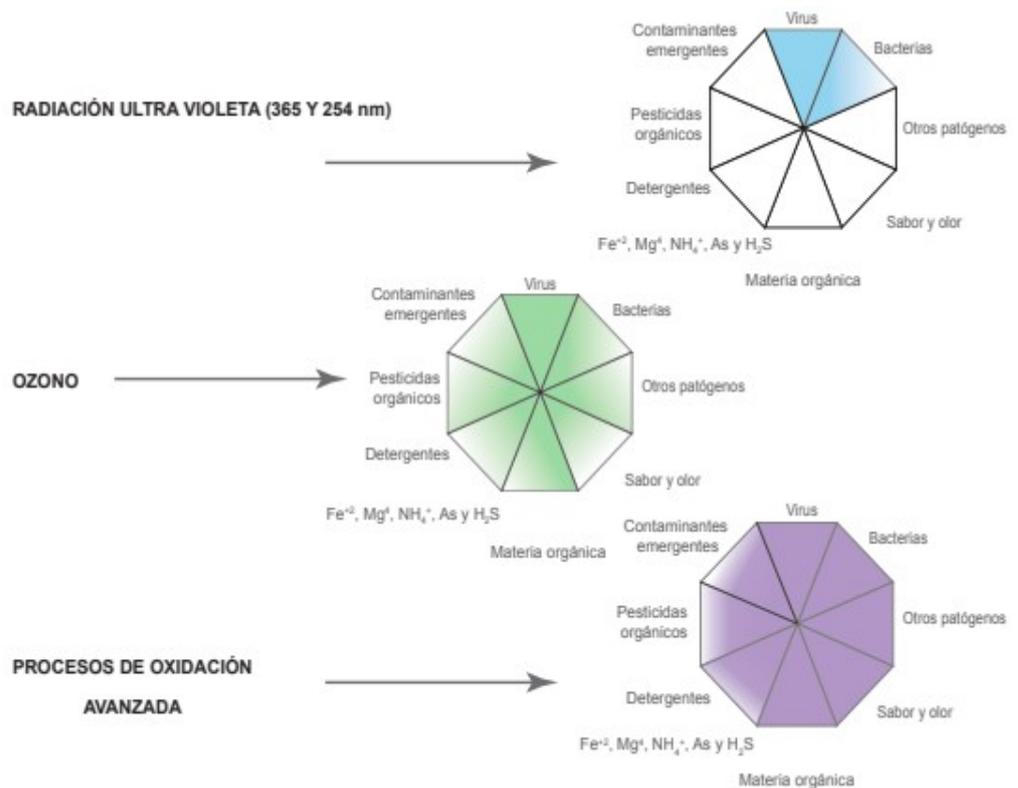
Según (Glaze, Kang, & Chapin, 1987), los procesos de oxidación avanzada se basan en oxidar a los compuestos orgánicos e inorgánicos con el radical hidroxilo (OH[•]), estas reacciones suceden a condiciones de presión y temperatura ambiental. Los radicales hidroxilos se generan de un conjunto de procesos, los más conocidos son: ozono (O₃), peróxido de (H₂O₂), radiación ultravioleta (UV), óxido de titanio, fotocátalisis, ozonización catalítica y reaccione de Fentón. Dentro de este grupo se incluyen procesos

como cavitación, la irradiación con has E, la irradiación ionizante, plasma pulsado, oxidación con aire húmedo y oxidación supercrítica, todo ello la efectividad se diferencia del grado de producción del radical OH^-

En la figura 5 se muestra los diferentes agentes oxidantes con sus respectivas ventajas.

Figura 5.

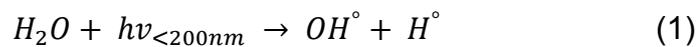
Superioridad de los procesos de oxidación avanzada frente a los demás agentes oxidantes (rayos ultravioleta/ozono)



Nota: los procesos de oxidación avanzada que contiene agentes oxidantes (Glaze, Kang, & Chapin, 1987).

2.2.8 Desinfección de contaminantes por radiación ultravioleta (UV)

Es un proceso altamente eficiente en la degradación de diversos contaminantes, según (Gonzalez, Oliveros, Worner, & Braun, 2004), la mejor radiación en la oxidación se da a < 200 nm, al reaccionar con la molécula del agua forman radicales hidroxilo, lo cual le hace más eficiente en la degradación. Estas radiaciones pueden generarse por lámparas de mercurio, las reacciones con el agua se muestran en las dos ecuaciones (1) y (2).



La eficiencia en la desinfección depende de la característica del efluente, tiempo de contacto, diseño del reactor e intensidad de la radiación. La dosificación de la luz ultravioleta se realiza mediante la ecuación (3).

$$Dosisificación UV = \frac{Potencia\ de\ la\ lámpara}{Caudal\ del\ efluente} \quad (3)$$

2.2.9 Desinfección de contaminantes por ozono

El ozono por ser un agente oxidante de mayor fuerza, es utilizado en la desinfección de diferentes aguas residuales, considerado por ser el más oxidante que el cloro, peróxido, etc. Entre sus diversas ventajas que ofrece al utilizarse el ozono son: reacciona de manera directa e indirecta con la materia orgánica e inorgánica, al descomponerse vuelve a formar el oxígeno. Entre las ventajas y desventajas al aplicarse el ozono tenemos:

Tabla 6.

Ventajas y desventajas en la aplicación del ozono en el tratamiento de aguas residuales

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none">- Tiene poder de eliminar a los virus y bacterias que con cloro no se pueden eliminar.- Uso de menor cantidad de ozono a diferencia de cloro u otros oxidantes.- No deja restos de otros componentes a diferencia de otros oxidantes (iones y cationes).- Al utilizarse el ozono a diferencia de otros oxidante tiene un costo menor.- Se anula olores y sabores de otras sustancias presentes en el agua residual.	<ul style="list-style-type: none">- El ozono tiene una vida de activación cercana a 25 minutos.
	<ul style="list-style-type: none">- Para su uso no se necesita ser llevado almacenado, si no creado insitu.
	<ul style="list-style-type: none">- El equipo para su generación del ozono tiene una debilidad frente a ácido nítrico.
	<ul style="list-style-type: none">- Se debe tener mayor seguridad cuando se trabaja con el ozono a nivel laboratorio e industrial.

Nota: las ventajas y desventajas del proceso de tratamiento de ozonificación (Bataller, Fernández, & Véliz, 2010)

2.2.10 La electrocoagulación

El proceso de electrocoagulación como una técnica para el tratamiento de aguas residuales mediante la separación y eliminación de contaminantes, en los recientes años se han estudiado de diversas maneras a profundidad y ha llamado la atención de diversas industrias por sus diversas ventajas frente a las técnicas tradicionales.

a) Fundamentos 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 5.

$$m = E * Q = \left(\frac{Peq.}{F}\right) * It \dots\dots\dots 5$$

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.

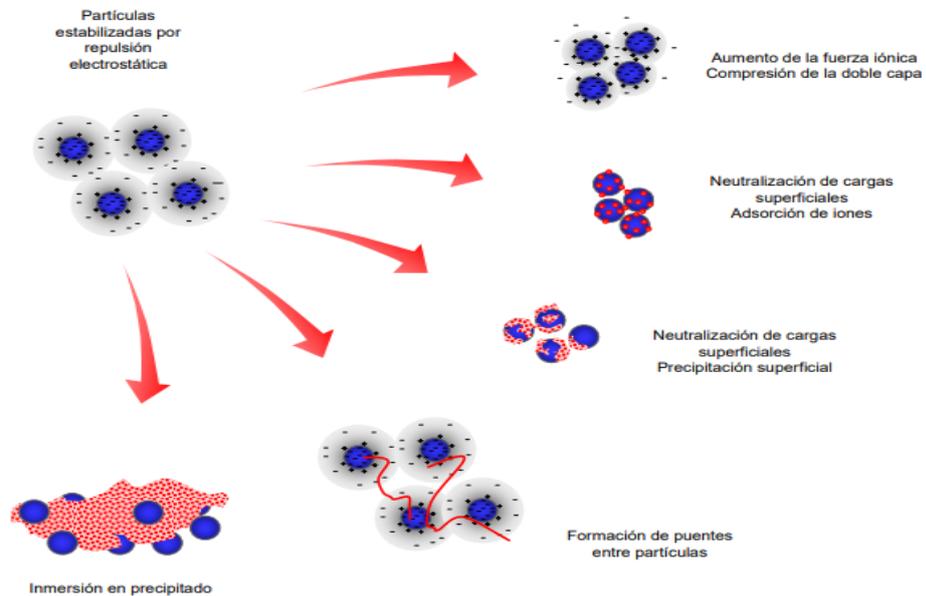
Según (Amirtharajah & Mills, 1982), el proceso de coagulación conlleva varios mecanismos, desde el momento en que el coagulante entra en contacto con el agua hasta la formación de diversos compuestos a base de aluminio y el hierro, los mecanismos iniciales son:

- 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.

Figura 6.

Mecanismos de coagulación de partículas coloidales.



Nota: se muestra los procesos de coagulación (Martínez, 2007).

Los efectos mecánicos que suceden en una celda electroquímica se afilian a la amplia gama de fenómenos físicos que ocurren en el proceso de electrocoagulación, tales como la acelerada sedimentación, la flotación, adsorción, las transferencias de masa por la convección, etc. Todo estos fenómenos suceden gracias a las influencias de los factores de operación de la celda electrolítica (Yasri, Hu, GolamKibria, & Roberts, 2020).

b) Ciencias aplicadas para la electrocoagulación

La ciencia de la electrocoagulación se da generalmente por la aplicación de un potencial exterior en forma de corriente para la formación del agente coagulante. Esta formación insitu proviene de la oxidación de los electrodos y una serie de fenómenos.

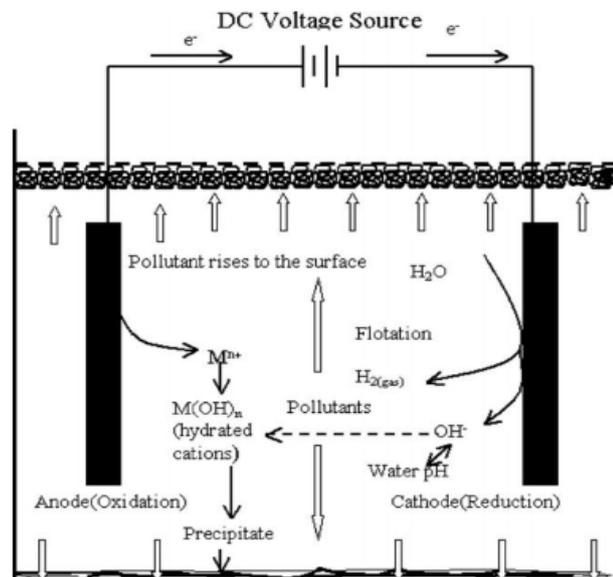
Según (Mollah M. , Morkovsky, Gomes, Praga, & Cocke, 2004), la celda de electrocoagulación empieza cuando se le conecta una fuente externa de corriente el cual pasa a través de los electrodos y el medio electrolítico, que en este caso se considera el medio electrolítico a los

efluentes en estudio, los electrodos para estos procesos comúnmente son aluminio, hierro, cobre y otros materiales metálicos que puedan desestabilizar a los coloides. 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 7.

Figura 7.

Diagrama esquemático de una celda de electrocoagulación de dos electrodos a escala de banco



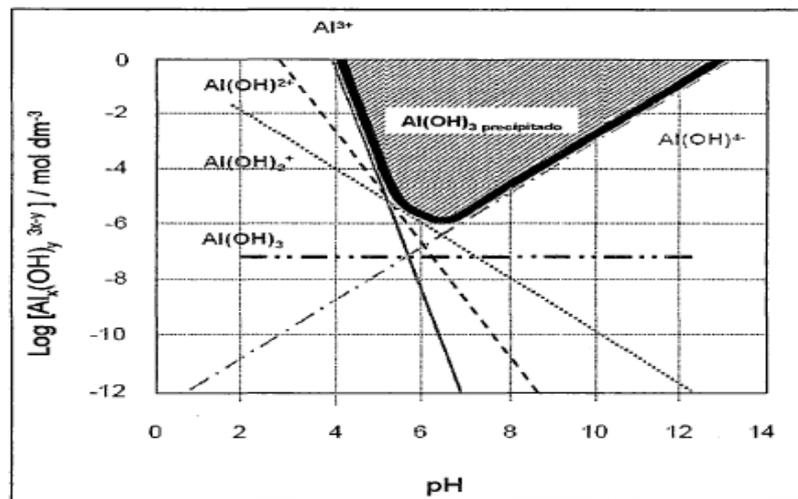
Nota: esquema de una celda de electrocoagulación (Mollah et al., 2004).

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 8 se muestra la formación y la estabilización de las diferentes especies formadas a diferentes pH de solución.

Figura 8.

Concentración de especies monoméricas de aluminio en equilibrio con hidróxido de amorfo, en condiciones de fuerza iónica cero, T = 25° C y pH variable.

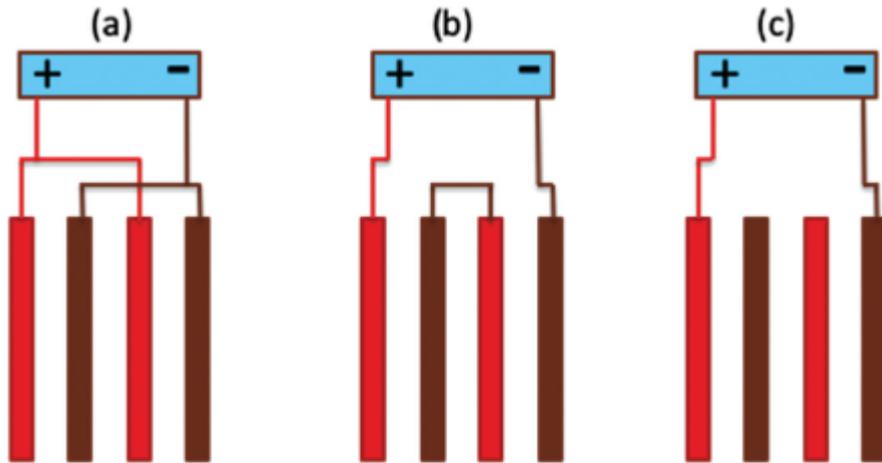


Nota: Gráfica de la concentración del hidróxido de aluminio a diferentes temperaturas y pH (Martínez, 2007).

Los electrodos pueden trabajarse con dos tipos de configuraciones, entre ellos tenemos las conexiones en paralelo y en serie, de igual forma los electrodos pueden ser monopolar y bipolar. En la siguiente figura se aprecia las dos formas de conexión con sus respectivas series.

Figura 9.

Diagrama donde se representa las diferentes formas de conexión con los electrodos y la serie de electrodos.



Nota: las diferentes formas de conexión de los electrodos para un tratamiento de electrocoagulación (Yasri, Hu, GolamKibria, & Roberts, 2020).

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 7 se muestran las principales reacciones electroquímicas en una celda de electrocoagulación.

Tabla 7.

Reacciones principales en la celda electrocoagulación

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

Nota: las reacciones químicas que ocurre en la celda de electrocoagulación (Koby, Can, & Bayramoglu, 2003), (Mollah, Schennach, Parga, & Cocke, 2001).

c) Principales parámetros que gobiernan el proceso de electrocoagulación

- **Densidad de corriente:** La intensidad de corriente según (Mollah Y. A., y otros, 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 M. , Morkovsky, Gomes, Praga, & Cocke, 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, Bilyeu, Roa, & Bernal-Martinez, 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.

d) 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, DBO_5 , 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**

Las ventajas y desventajas como cualquier tecnología en desarrollo se detallan en el siguiente tabla.

Tabla 8.

Beneficio y perjuicios de la técnica de electrocoagulación

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - El costo de operación es inferior hacia otras tecnologías. - Los materiales como insumos son fáciles de encontrar y de operar. - La formación de lodos en la parte inferior a causa de la aceleración de la velocidad de sedimentación a diferencia de la coagulación química la masa es menor. - La formación de flóculos en área es muy superior a la formada en coagulación química. - Tiene una amplia capacidad de eliminar y separar a los contaminantes. - Mediante esta tecnología se puede reutilizar el agua para diversas actividades. - La formación del lodo tiene mayor resistencia al manipuleo para su procesamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se tiene que cambiar los electrodos de sacrificio para mantener su eficacia. - La cantidad importante de iones metálicos presentes en el lodo generado (aluminio, hierro, etc.). - Para zonas donde el costo de energía es alta el costo de operación sería muy alta. - El efecto de pasivación formada en los electrodos disminuye la eficiencia de la celda expresada en Faradios.

Nota: las ventajas y desventajas del proceso de electrocoagulación (González-Joaquín, 2018).

2.2.11 Procesos de oxidación avanzada acopladas a electrocoagulación

Muchas veces al utilizarse una sola tecnología se obtiene un rendimiento no del 100%, para ello es necesario acoplarse o combinar con otras técnicas para mejorar la eficiencia, obteniéndose un tratamiento sostenible. Al acoplarse agentes como el ozono, peróxido, rayos ultravioleta, etc al proceso de electrocoagulación nos da muchas ventajas, uno de ellos es aumentar la magnitud de la desinfección con la generación de oxidantes más fuertes a las ya conocidas y la eliminación de contaminantes disminuyendo el tiempo de tratamiento y por ende un efecto sobresaliente de las hibridaciones para el tratamiento de aguas residuales (Linares-Hernández et al., 2010).

2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES

a) Electrocoagulación

Es una técnica electroquímica de separación de contaminantes, impulsada con la alimentación de una corriente externa para su formación de agentes coagulantes insitu, por ser una celda electroquímica ocurren una serie de fenómenos, en conjunto eliminan a los contaminantes por varios mecanismos (físico, químico y mecánico) (Yasri et al., 2020).

b) Lavado de autos

Los lavados de autos son actividades que están compuestas por una serie de operaciones, con la finalidad de limpiar la parte exterior de los carros, donde se utiliza una serie de productos químicos de limpieza conjuntamente con el empleo del agua en cantidades importantes, sin embargo al realizarse esta actividad se genera efluentes con altas cargas contaminantes (Sánchez, 1995).

c) Tratamiento de aguas residuales

Las depuradoras de aguas residuales están conformadas por varias operaciones y procesos que involucran los físicos, químicos y biológicos, que la mayoría de ellas tienen el objetivo de eliminar, desinfectar a los

diferentes contaminantes presentes en el agua y de esta forma dejarla apta para el uso en otras actividades (El-Ashtoukhy, Amin, & Fouad, 2015).

d) Turbiedad

Como parámetro físico nos da una idea de la calidad de un medio líquido, la turbiedad nos da un valor del grado de concentración de partículas presentes en forma suspendida en el agua, cuanto más suspensión de partículas se encuentra habrá una lectura de turbiedad muy grande (Arboleda-Valencia, 2000).

e) Electrodo de aluminio

Los electrodos de aluminio son materiales muy utilizados para la generación insitu del coagulante en una celda electroquímica, a diferencia de un electrodo de hierro el aluminio como electrodo forma mejores coagulantes a pH entre 6 – 8, este material actúa como un conductor eléctrico entre dos sistemas metálicas y no metálicas (Koby, Can, & Bayramoglu, 2003).

f) Diseño Metodología Taguchi

El bosquejo de experimentación con la ayuda de la técnica de Taguchi nos permite a socorrer e identificar los factores que más influyen en dar una respuesta buscada con sus respectivos niveles, y para llegar a optimizar se deben llegar tres mecanismos fundamentales: Diseño de sistema, diseño de parámetros y diseño de tolerancias (Taguchi, 1993).

2.4 HIPÓTESIS

2.4.1 Hipótesis general

Ha: Si el porcentaje de remoción de sólidos disminuye con el tiempo entonces la optimización en la eliminación de la turbiedad utilizando Taguchi mediante el módulo de electrocoagulación asistida con POAs en aguas residuales de lavado de autos “Mi Kahomy”, es viable.

Ho: Si el porcentaje de remoción de sólidos no disminuye con el tiempo entonces la optimización en la eliminación de la turbiedad

utilizando Taguchi mediante el módulo de electrocoagulación asistida con POAs en aguas residuales de lavado de autos “Mi Kahomy”, es no viable.

2.4.2 Hipótesis específico

Ha: Caracterizando los parámetros físicos químicos del efluente de lavado de autos antes de su tratamiento, entonces se podrá conocer la composición y la calidad del afluente vertido.

Ho: Caracterizando los parámetros físicos químicos del efluente de lavado de autos, entonces no se podrá conocer la composición y la calidad del afluente vertido.

Ha: El voltaje, tiempo de tratamiento, pH, distancia entre electrodos influyen significativamente en la optimización de la reducción de la turbiedad utilizando la metodología Taguchi mediante el módulo de electrocoagulación asistida con Procesos de Oxidación Avanzadas.

Ho: El voltaje, tiempo de tratamiento, pH, distancia entre electrodos no influyen significativamente en la optimización de la reducción de la turbiedad utilizando la metodología Taguchi mediante el módulo de electrocoagulación asistida con Procesos de Oxidación Avanzadas.

Ha: Caracterizando los parámetros físicos químicos del efluente de lavado de autos después de su tratamiento, se podrá conocer la composición y la calidad del afluente vertido adecuadamente.

Ho: Caracterizando los parámetros físicos químicos del efluente de lavado de autos después de su tratamiento, no se podrá conocer la composición y la calidad del afluente vertido adecuadamente.

2.5 VARIABLES

La exploración ejecutada tiene una característica de ser longitudinal, en este caso se estudia la reducción de la optimización de la turbiedad para una serie de parámetros en distintos tiempos de tratamiento. Las variables

en estudio tienen una característica cualitativa y cuantitativa y tienen una relación de causa y efecto.

2.5.1 Variable independiente (X)

Módulo de electrocoagulación asistida con procesos de oxidación avanzada para el tratamiento de aguas residuales de lavado de autos.

X1 = Voltaje

X2 = Tiempo de tratamiento

X3 = pH

X4 = Espacio de electrodos

X5 = Flujo de alimentación

2.5.2 Variable dependiente (Y)

Optimización en la eliminación de la turbiedad utilizando el método Taguchi

Y = % de la reducción de la turbiedad

2.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 9.

Operacionalización de variables

Título: “OPTIMIZACIÓN EN LA ELIMINACIÓN DE LA TURBIEDAD UTILIZANDO EL MÉTODO TAGUCHI EN AGUAS RESIDUALES DE LAVADO DE AUTOS “MI KAHOMY”, MEDIANTE EL MÓDULO DE ELECTROCOAGULACIÓN ASISTIDA CON POAs, DISTRITO AMARILIS - PROVINCIA HUANUCO - 2020”

Tesista: VILLANUEVA SALAZAR CAROLAY BRENDA

Variable dependiente	Dimensiones	Indicador	Índice	Técnicas estadísticas	Método
Y = % de la reducción de la turbiedad	Eliminación de la turbiedad	Concentración de sólidos suspendidos totales	NTU	ANOVA	Nefelometría
Variable independiente	Dimensiones	Indicador	Índice	Técnicas estadísticas	Método
X1 = Voltaje	Potencia aplicada a la celda electrolítica	Voltaje	Voltaje	Estadística descriptiva	Multitester

X2 = Tiempo de tratamiento	Tiempo de tratamiento	Tiempo	Minutos	Estadística descriptiva	Cronómetro
X3 = pH	Grado de acidez	Indicador de color	0-14	Estadística descriptiva	potenciómetro
X4 = Espacio de electrodos	Distancia entre electrodos	Centímetro	Centímetro	Estadística descriptiva	Regla
X5 = Flujo de alimentación	Flujo de alimentación a la celda electroquímica	Litros por minuto	L/M	Estadística descriptiva	Flujómetro

Nota: las condiciones de Operacionalización de variables

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación fue de tipo aplicada y experimental, porque se recurrirá a la experimental en ciencia de la ingeniería para solucionar los problemas de los efluentes generados por los diferentes productos que se utilizan en el lavado de autos e innovando en la investigación (Navarro Asencio, 2017).

3.1.1 Enfoque

El enfoque fue mixto porque se recolecta, analiza y vincula datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio de investigación. Hernández (2015).

3.1.2 Alcance o nivel

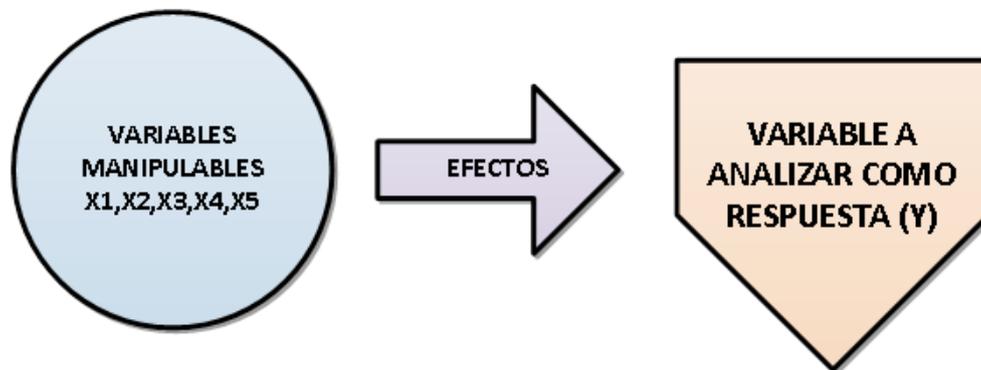
El nivel de investigación fue experimental, porque se manipulara la variable independiente: Voltaje, pH, tiempo de tratamiento, y las variables dependientes: porcentaje de reducción de la Turbiedad. (Navarro Asencio, 2017).

3.1.3 Diseño de la investigación

Para desarrollar la presente investigación se siguió tres etapas secuenciales, en la figura 9 se muestran los siguientes pasos.

Figura 10.

Bosquejo de la investigación



Nota: Diagrama de las variables de investigación

3.1.4 Fases de la investigación

Se tomaron las siguientes etapas

- a) **Etapa inicial de la investigación:** Esta etapa consistió en utilizar las muestras preparadas y hacer las corridas experimentales modeladas mediante la metodología Taguchi utilizando el módulo construido de electrocoagulación acoplado con ozono y rayos ultravioleta, en esta etapa se realizaron los 16 experimentos manipulando los cinco variables (x_1, x_2, x_3, x_4 y x_5).
- b) **Etapa intermedia de la investigación:** Esta fase corresponde a los resultados obtenidos de los 16 experimentos y ser analizados robustamente con una herramienta estadística para encontrar la optimización de los parámetros operacionales del módulo construido.
- c) **Etapa final de la investigación:** Corresponde esta fase a realizar una experimentación con la parte optimizada de los parámetros operacionales del módulo construido y comparar los valores obtenidos de los parámetros fisicoquímicos del agua problema el antes y después de su tratamiento para verificar si es eficiente la técnica aplicada.

3.1.5 Diseño de metodología experimental Taguchi

Para realizar la parte experimental se utilizó la metodología Taguchi, con la cual al ingresar los parámetros operacionales como el voltaje, tiempo de tratamiento, pH, distancia entre electrodos y flujo de alimentación con sus respectivos niveles de operación nos facilitó los 16 experimentos basados con el diseño robusto ortogonal Taguchi. En la tabla 10 se muestran los niveles de los cinco factores en estudio para la optimización en la reducción de la turbiedad.

Tabla 10.

Variable de operación con sus respectivos niveles de operación

N°	PARÁMETROS	NIVELES			
1	Voltaje (V)	4	6	8	10
2	Tiempo de tratamiento (min)	20	30	40	50
3	pH	3	5	8	10
4	Distancia entre electrodos (cm)	1	2	3	4
5	Flujo de alimentación (L/M)	4	6	8	10

Nota: las variables de operación con las niveles de operación.

Con estos niveles se elaboró con la ayuda del software Minitab un cuadro de los 16 experimentos que se realizaron, en la tabla 11 se muestran los diseños experimentales según Taguchi.

Tabla 11.

Diseño experimental ortogonal según Taguchi

N° EXPERIMENTOS	VOLTAJE (V)	TIEMPO DE TRATAMIENTO (min)	pH	DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS (cm)	FLUJO DE ALIMENTACIÓN (L/M)
1	4	20	3	1	4
2	10	40	5	4	4
3	4	50	10	4	10
4	8	20	8	4	6
5	10	30	8	1	10
6	6	20	5	3	10
7	8	40	3	2	10
8	8	30	10	3	4
9	6	50	8	2	4
10	10	20	10	2	8
11	8	50	5	1	8
12	6	30	3	4	8
13	10	50	3	3	6
14	4	40	8	3	8
15	6	40	10	1	6
16	4	30	5	2	6

Nota: se muestra la cantidad de experimentos con sus respectivas variables de operación

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 Población

La población para esta investigación corresponde al agua residual saliente del lavadero de autos "MY KAHOMY", se trabajará con la misma concentración saliente del lavadero, para ello se juntó en total 130 litros de muestra para toda la corrida experimental.

La población corresponde al agua residual saliente de las 24 horas de trabajo empleado para los diferentes tipos de vehículos.

3.2.2 Muestra

La muestra necesaria por cada experimento fue de 7 litros, estas muestras previamente acondicionadas según el diseño experimental facilitado se utilizaron para los 16 experimentos incluidos para la parte optimizada.

Las corridas experimentales se realizaron en mi domicilio apoyado con un asesor externo en el tema de estudio.

3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1 Técnicas

a) Captación de la muestra en estudio

Las muestras para su estudio se captaron en un bidón para su almacenamiento, se captaron durante 5 horas de trabajo de lavado de los vehículos, un total de 150 litros, los cuales se llevaron a mi domicilio para su conservación y acondicionamiento para ejecutar las corridas experimentales.

La captación o recolección de la muestra se realizaron en base al Protocolo para el Monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

Figura 11.

Lugar de captación de muestras en el lavadero de vehículos “MY KAHOMY”.



Nota: fotos del área de lavado de autos “MY KAHOMY”

b) Caracterización fisicoquímica de los parámetros de campo

Los parámetros de campo que fueron analizados tanto en el mismo lugar experimental y el laboratorio para los momentos del antes y después del tratamiento con el módulo construido se detallan a continuación.

Tabla 12.

Lugar de captación de muestras en el lavadero de vehículos "MY KAHOMY".

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO	MÉTODOS
Determinación de Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23rd Ed. 2017. Turbidity. Nephelometric Method
Determinación de aceites y grasas.	EPA Method 1664, 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
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
Detergentes	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 0.023 Part 5540 C, 23rd Ed. 2017
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 parámetros fisicoquímicos con sus respectivos métodos de la norma apha versión 23.

d) Previos tratamientos con el módulo construido

Antes de empezar a realizar el experimento central, se procedió a realizar la verificación del equipo, primero se verificó la parte hidráulica del módulo, para eso se utilizó el agua del grifo como fuente problema y se empezó a prender el equipo y ver cualquier rotura o fuga del agua, el siguiente paso es verificar la conexión eléctrica del equipo tanto para los

sistemas acoplados de ozono y rayos ultravioleta y la parte central del equipo que es el reactor electroquímico (celda de electrocoagulación); por lo tanto una vez verificado el sistema completo se procedió a experimentar con una muestra sintética preparada con una turbiedad conocida y ver la funcionalidad en sí del módulo completo.

Figura 12.

Verificación del módulo construido para la experimentación central.



Nota: demostración de la parte experimental con el modulo para el tratamiento de aguas residual procedente de lavado de autos

e) Proceso de electrocoagulación acoplado a ozono y rayos ultravioleta

Una vez realizado los experimentos previos se procedió a ejecutar los 16 experimentos.

Antes de realizar cada experimento, primero se tuvo de acondicionar cada muestra para cada experimento, llevándolo al pH requerido para un volumen de trabajo que corresponde a 7 litros para todas las corridas, seguido se empieza a arreglar los electrodos a la distancia requerida y se coloca en el reactor tubular, de igual manera se conecta la manguera para la conexión del ozono, por lo tanto la primera etapa consiste en fijar las condiciones de operación del equipo (voltaje, tiempo de tratamiento, pH, distancia de electrodos y el flujo de alimentación) tomando en cuenta que parámetros van a ser constantes, en este caso lo son el volumen de la

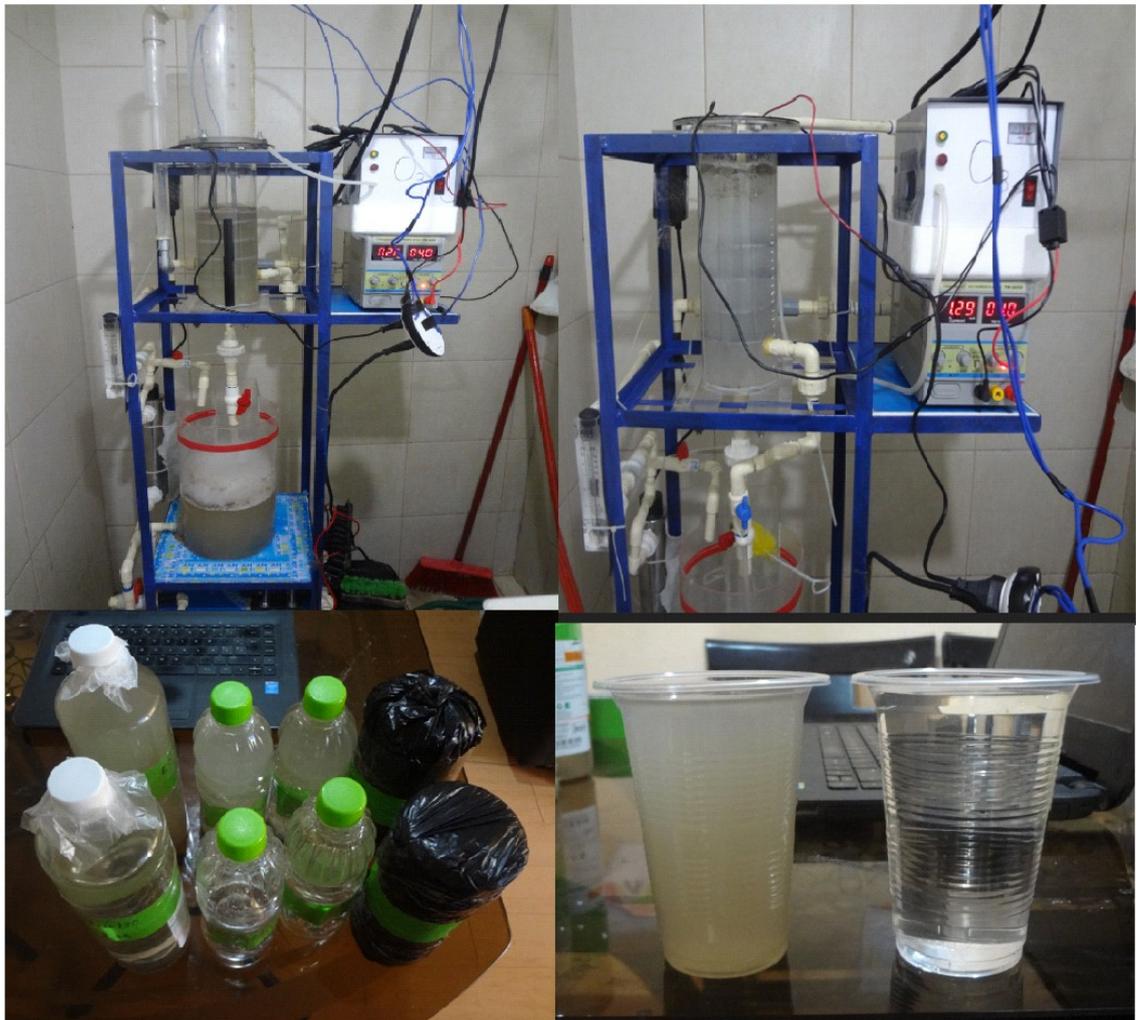
muestra de trabajo, la temperatura, rayos ultravioleta, la presión atmosférica, material de electrodo (aluminio), configuración de los electrodos y número de electrodos. Para regular el pH se utilizaron los insumos químicos de grado analítico como la soda cáustica y ácido sulfúrico.

Una vez que se carga la muestra acondicionada al depósito inferior del equipo, se empieza a prender la bomba para la succión de la muestra, la muestra recorre primero pasando por el equipo de rayos ultravioleta, después pasa por el Fluviómetro donde se mide el caudal, seguido por el tubo de Venturi donde ingresa el ozono y finalmente el efluente ingresa al reactor de electrocoagulación, después de tener un tiempo de retención en la celda electrolítica el efluente vuelve al depósito de la base y sigue este mecanismo continuo para los demás experimentos hasta que llegue a un tiempo determinado, el proceso estudiado se comporta como un proceso tipo batch re circulante. Durante el proceso experimental las muestras se sacaron cada 10 minutos para todas las corridas para determinar la turbiedad y otros parámetros fisicoquímicos y físicos (pH, conductividad, STD, voltaje e intensidad de corriente).

Una vez realizado los 16 experimentos, en base al análisis de los datos estadísticamente sobre la reducción de la turbiedad se procede a experimentar con la parte óptima encontrada del experimento, luego las muestras son llevadas a un laboratorio certificado para su respectivo análisis de los parámetros fisicoquímicos del antes y después de su tratamiento.

Figura 13.

Equipo de electrocoagulación acoplado a ozono y rayos ultravioleta



Nota: En la parte superior se muestra el equipo en funcionamiento del antes y después de su tratamiento, mientras en la parte inferior se muestra las muestras listas a ser llevada a un laboratorio especializada y por otro lado en el vaso se aprecia la diferencia cuando se le somete la muestra a este tratamiento.

3.4 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El desarrollo experimental completo se demoró en total 6 días, de los cuales el último día se utilizó para realizar la parte optimizada, una vez terminada se envió con las mismas a un laboratorio para su respectivo análisis.

3.4.1 Procesamiento de la información

Los datos recogidos durante los días experimentales se analizaron estadísticamente empleando una herramienta que le dé robustez y validar estos resultados, con ello se determinó la máxima reducción de la turbiedad y encontrar la parte óptima del proceso influenciado con los parámetros operacionales del equipo.

3.4.2 Técnica para presentar los datos recogidos

Los resultados en forma de datos se presentaron en la tesis de configuración cualitativa y cuantitativa. Los datos cualitativos corresponden a la riqueza de los conceptos teóricos encontrados o buscados en revistas internacionales, informes de tesis, libros, etc. todo ello le da validez al aspecto cualitativo de la investigación, mientras los datos recogidos pertenecientes a lo cuantitativo se darán a conocer mediante gráficas, valores estadísticos y formas matemáticas que se deje entender de alguna otra manera.

3.4.3 Explicación de datos y resultados

Los valores de los resultados recogidos en el campo experimental se anotaron de forma clara para poder analizar y representar en forma de gráficas o cuadros estadísticos. Para su análisis de estos datos se usaron herramientas de software como Excel, Minitab, Desing Expert 11 y calculadora científica.

3.4.4 Instrumentos

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron los siguientes instrumentos.

Figura 14.

Instrumentos usados 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
	Ozono de capacidad 1g/h
	Bomba hidráulica
	Rectificador de corriente marca MT-305D
	Balanza analítica
	Cronómetro
Materiales	Multímetro digital de gancho
	Equipo multiparámetro de marca Hanna
	Estructura metálica para el módulo
	Materiales de acrílico para el reactor y el depósito
	Acero inoxidable
	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: los diferentes instrumentos que se utilizó para la parte experimental del trabajo de investigación

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DE LOS 16 EXPERIMENTOS

En este apartado los resultados obtenidos serán detallados tanto los parámetros fisicoquímicos como la turbiedad, pH, conductividad y los sólidos disueltos totales del mismo modo los parámetros eléctricos como el voltaje, la intensidad de corriente.

Figura 15.

Resultados recogidos en el campo experimental de los parámetros fisicoquímicos y eléctricos cada 10 minutos.

Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μ s)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
0	320	3	680	1359	1	4	0.6	4
10	204.1	3.86	608	1212	1	4	0.56	4
20	161.4	3.98	599	1198	1	4	0.53	4
Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μ s)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
0	320	5	574	1147	2	4	0.36	6
10	125.6	5.61	564	1129	2	4	0.32	6
20	114.5	5.94	559	1118	2	4	0.31	6
30	97.6	6.26	561	1110	2	4	0.31	6
Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μ s)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
0	320	8	518	1035	3	4	0.23	8
10	170.6	8.23	515	1024	3	4	0.25	8
20	163.6	8.1	506	1012	3	4	0.24	8
30	114.5	8.02	498	1006	3	4	0.23	8
40	105.5	7.98	481	987	3	4	0.23	8
Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μ s)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
0	320	10	802	1607	4	4	0.21	10
10	280.3	9.86	700	1400	4	4	0.27	10
20	240	9.76	681	1362	4	4	0.26	10
30	199.5	9.68	373	1342	4	4	0.24	10

40	184.2	9.64	659	1319	4	4	0.21	10
50	178.36	9.56	356	1311	4	4	0.2	10
Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μ s)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
0	320	5	523	1045	3	6	0.42	10
10	131.1	6.02	518	1033	3	6	0.44	10
20	108.7	6.44	507	1013	3	6	0.47	10
Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μ s)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
0	320	3	629	1258	4	6	0.44	8
10	190.2	3.6	569	1136	4	6	0.43	8
20	145.7	3.86	556	1114	4	6	0.43	8
30	93.8	3.99	534	1075	4	6	0.45	8
Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μ s)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
0	320	10	592	1185	1	6	0.98	6
10	198	9.58	543	1086	1	6	0.84	6
20	186.9	9.55	540	1079	1	6	0.8	6
30	139.3	9.4	538	1077	1	6	0.83	6
40	92.4	9.28	533	1066	1	6	0.82	6
Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μ s)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
0	320	8	558	1115	2	6	0.65	4
10	149	7.42	554	1105	2	6	0.54	4
20	106.4	7.59	541	1082	2	6	0.52	4
30	75.5	7.66	541	1081	2	6	0.52	4
40	60	7.71	532	1064	2	6	0.5	4
50	52.1	7.8	527	1059	2	6	0.47	4
Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μ s)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
0	320	8	507	1013	4	8	0.56	6
10	140.5	7.26	496	993	4	8	0.53	6
20	106.5	7.31	486	973	4	8	0.52	6
Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μ s)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
0	320	10	593	1186	3	8	0.75	4
10	185.7	9.57	558	1118	3	8	0.76	4
20	171	9.4	552	1104	3	8	0.73	4
30	114.8	9.35	547	1094	3	8	0.7	4
Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μ s)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)

0	320	3	578	1156	2	8	1.13	10
10	116.4	3.87	560	1118	2	8	0.96	10
20	59.7	4.06	537	1074	2	8	1	10
30	42.1	4.28	532	1065	2	8	1.09	10
40	58.72	4.54	530	1057	2	8	1.12	10
Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μs)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
0	320	5	539	1178	1	8	1.5	8
10	70.4	6.36	509	1018	1	8	1.33	8
20	25.8	6.36	489	980	1	8	1.38	8
30	16.61	6.46	496	992	1	8	1.35	8
40	10.4	6.59	492	982	1	8	1.34	8
50	5.98	6.68	483	966	1	8	1.33	8
Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μs)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
0	320	10	716	1433	2	10	1.62	8
10	127	9.52	667	1325	2	10	1.26	8
20	114.52	9.48	630	1261	2	10	1.13	8
Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μs)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
0	320	8	516	1031	1	10	1.85	10
10	73.6	7.82	514	1029	1	10	1.6	10
20	18.2	7.87	499	998	1	10	1.73	10
30	4.86	7.83	488	975	1	10	1.72	10
Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μs)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
0	320	5	799	1598	4	10	1.11	4
10	134	7.26	776	1552	4	10	1.18	4
20	100.8	7.08	771	1542	4	10	1.24	4
30	41.42	7.03	771	1542	4	10	1.25	4
40	17.89	7.02	765	1530	4	10	1.24	4
Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μs)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
0	320	3	641	1282	3	10	1.14	6
10	66.2	4.23	592	1198	3	10	1.09	6
20	33	4.3	582	1164	3	10	1.09	6
30	14	4.37	577	1157	3	10	1.13	6
40	12.5	4.55	577	1144	3	10	1.16	6
50	11.33	4.82	570	1139	3	10	1.17	6

Nota: Datos recogidos en el desarrollo de la parte experimental

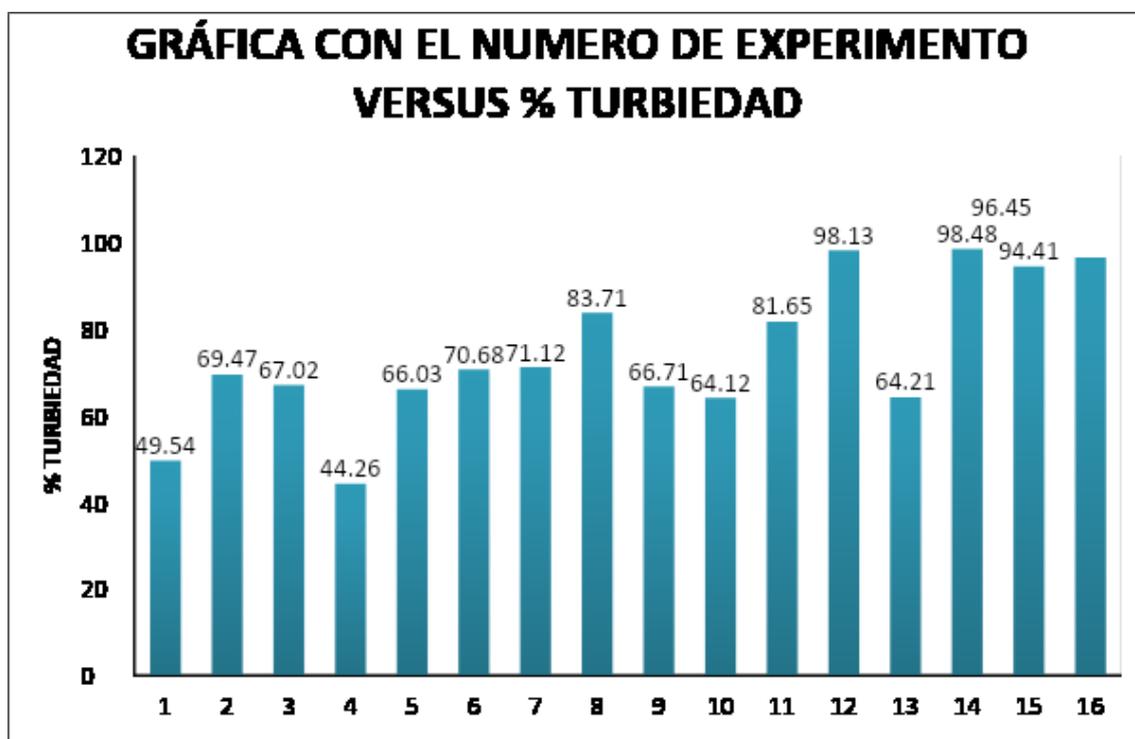
Tabla 13.*Resultados mediante el sustento de la metodología Taguchi*

N° EXPERI MEN TO	VOLTAJE (V) X1	TIEMPO (min) X2	pH X3	DISTANCIA ELECTRODO (cm) X4	FLUJO ALIMENTACIÓN (L/M) X5	TURBIED AD (NTU)	% TURBI EDAD	pH	CONDU C TIVIDAD (US)	CONSUMO DE ENERGÍA (KWh/m3)
1	4	20	3	1	4	161.47	49.54	3.98	1198.00	0.10698
2	4	30	5	2	6	97.69	69.47	6.26	1110.00	0.09143
3	4	40	8	3	8	105.53	67.02	7.95	987.00	0.09063
4	4	50	10	4	10	178.36	44.26	9.56	1311.00	0.11337
5	6	20	5	3	10	108.70	66.03	6.44	1013.00	0.12619
6	6	30	3	4	8	93.82	70.68	3.99	1075.00	0.18589
7	6	40	10	1	6	92.41	71.12	9.28	1066.00	0.48025
8	6	50	8	2	4	52.13	83.71	7.80	1059.00	0.37520
9	8	20	8	4	6	106.53	66.71	7.31	973.00	0.20317
10	8	30	10	3	4	114.82	64.12	9.35	1094.00	0.42286
11	8	40	3	2	10	58.72	81.65	4.54	1057.00	0.79026
12	8	50	5	1	8	5.98	98.13	6.68	966.00	1.29140
13	10	20	10	2	8	114.52	64.21	9.48	1261.00	0.61825
14	10	30	8	1	10	4.86	98.48	7.83	975.00	1.21071
15	10	40	5	4	4	17.89	94.41	7.02	1530.00	1.15439
16	10	50	3	3	6	11.33	96.46	4.82	1139.00	1.33780

Nota: base a los resultados experimentales realizados.

Figura 16.

Gráfica sobre números de experimentos y porcentaje de reducción de la turbiedad



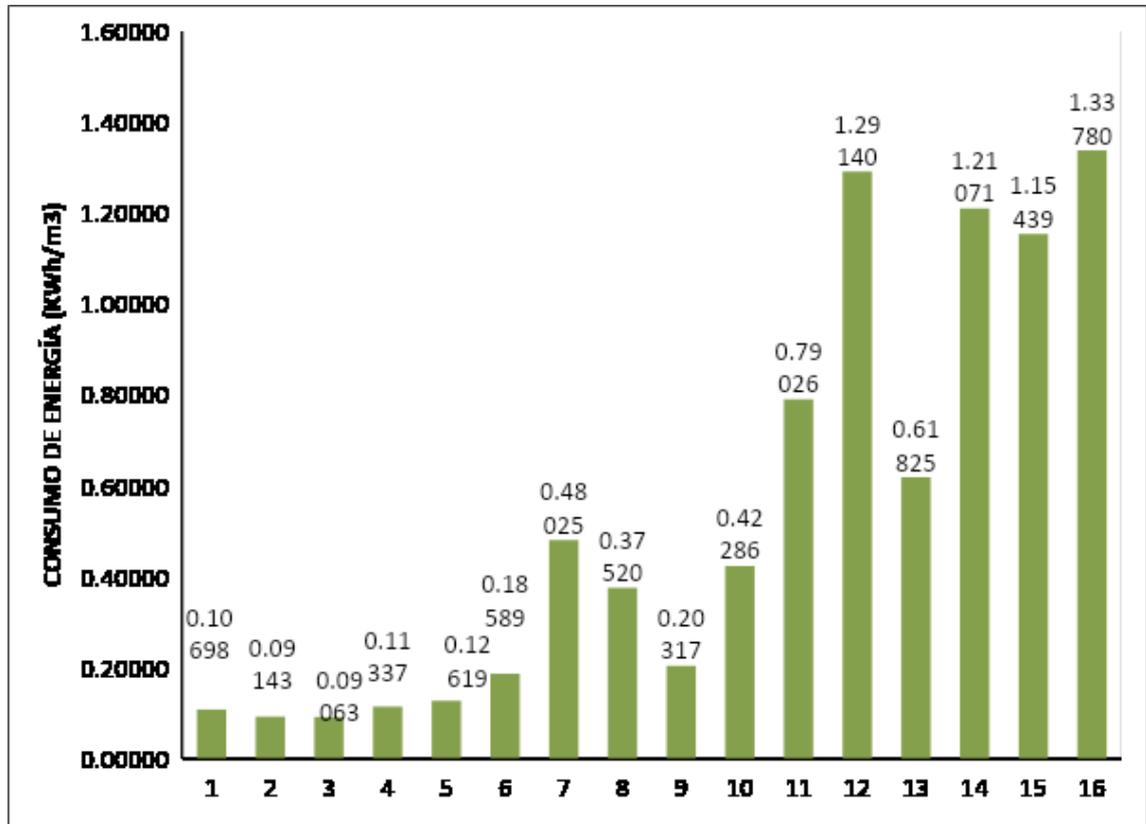
Nota: Gráfica de los números de muestras con el porcentaje de turbiedad

Tanto en la tabla 16 y figura 13 observamos que con el experimento 14 se logra la máxima reducción de la turbiedad, llegando a un 98.48%, mientras con el experimento 4 se logra una mínima reducción de la turbiedad llegando tan sólo a 44.26%.

Mientras para el consumo de energía en la celda electroquímica, en la tabla 16 y figura 14 se muestra que el mayor consumo de energía está en el experimento 16 llegando a un valor de 1.33780 KWh/m³, mientras con el experimento 3 se llegó a un consumo mínimo correspondiente a 0.09063 KWh/m³.

Figura 17.

Gráfica de consumo de energía en la celda de electrocoagulación versus N° de experimentos.



Nota: gráfica del consumo de energía para el proceso de electrocoagulación

4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICA PARA LA ROBUSTEZ Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PARTE EXPERIMENTAL

Mediante el análisis estadístico de Taguchi se observa la siguiente tabla para la reducción de la turbiedad y consumo de energía en la celda de electrocoagulación.

Dónde: x1 es el voltaje, x2 es el tiempo de tratamiento, x3 es el pH, x4 es la distancia de electrodos y x5 es el flujo de alimentación hacia el reactor. L16 (4*5), Factores 5, corridas: 16.

Tabla 14.*Tabla de respuestas para medias para la reducción de la turbiedad*

Nivel	X1	X2	X3	X4	X5
1	57.57	61.62	74.58	79.32	72.94
2	72.89	75.69	82.01	74.76	75.94
3	77.65	78.55	78.98	73.41	75.01
4	88.39	80.64	60.93	69.01	72.61
Delta	30.82	19.02	21.08	10.30	3.33
Clasificar	1	3	2	4	5

Nota: Extraído del Software Minitab 18

Según la tabla se observa que el factor de mayor importancia o efecto es la tensión o voltaje al nivel 4, seguido el pH de la muestra a un nivel 2, seguido del tiempo de tratamiento a nivel 4, después la distancia de electrodos a nivel 1 y por último el flujo de alimentación a nivel 2.

Tabla 15.*Tabla de respuestas para medias en el consumo de energía (KWh/m³)*

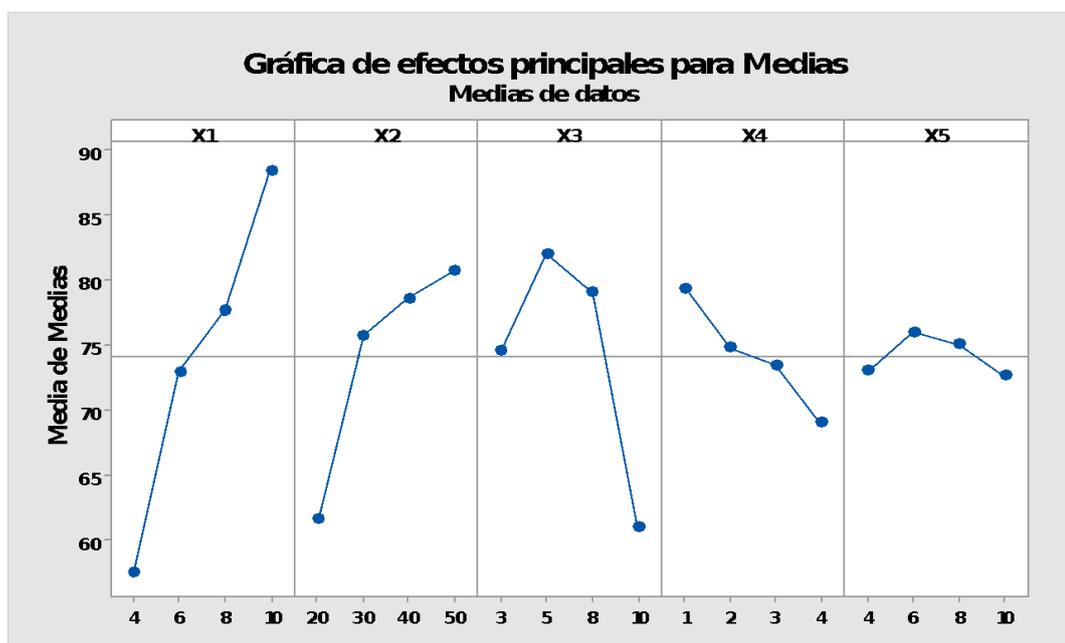
Nivel	X1	X2	X3	X4	X5
1	0.1006	0.2636	0.6052	0.7723	0.5149
2	0.2919	0.4777	0.6659	0.4688	0.5282
3	0.6769	0.6289	0.4699	0.4944	0.5465
4	1.0803	0.7794	0.4087	0.4142	0.5601
Delta	0.9797	0.5158	0.2572	0.3581	0.0453
Clasificar	1	2	4	3	5

Nota: Extraído del Software Minitab 18

En base a la tabla 15, los factores de mayor influencia para el consumo de energía en orden prioritario son: el voltaje a nivel 4, tiempo de tratamiento a nivel 4, la distancia entre electrodos a nivel 1, el pH a nivel 2 y el flujo de alimentación a nivel 4.

Figura 18.

Gráfica de efectos principales para medias sobre la reducción de la turbiedad.



Nota: Extraído del software Minitab 18

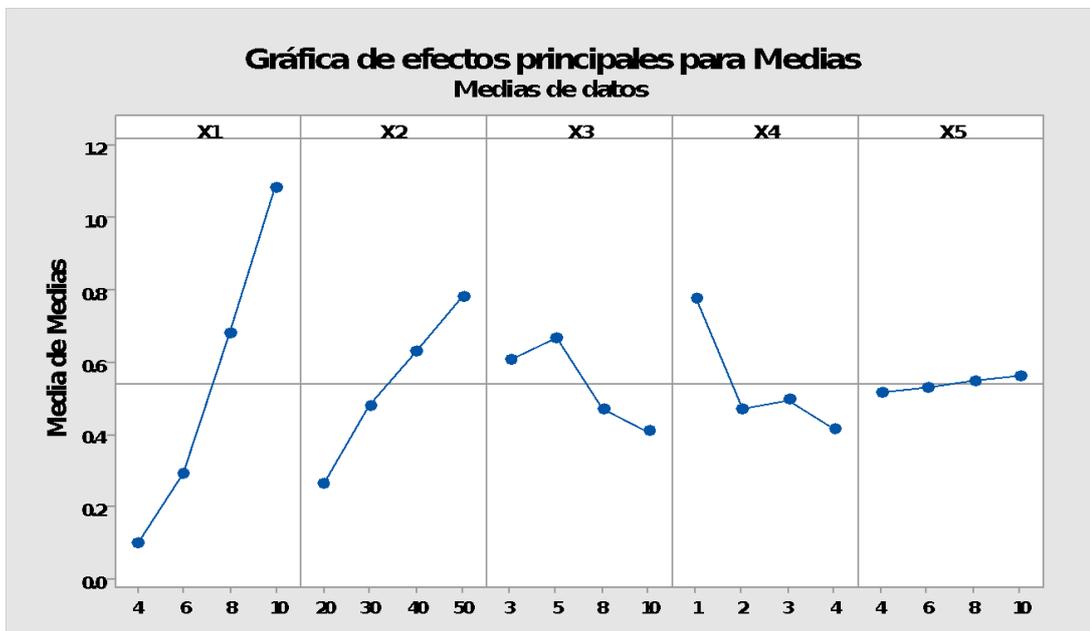
En la figura 15 se observa que cuanto más se sube el voltaje de 4 a 10 voltios hay un incremento en la reducción de la turbiedad, de igual forma para el tiempo de tratamiento al subir de 20 a 50 minutos hay un incremento en la reducción de la turbiedad, sin embargo para el pH de la solución a medida que se sube el pH de 3 a 5 hay una mayor reducción de la turbiedad, superior a 5 hasta llegar a 10 existe una disminución en la reducción de la turbiedad, en el caso de la distancia entre los electrodos a medida que aumentas la distancia entre ellos existe una disminución en la reducción de la turbiedad, en cambio para el factor de flujo de alimentación el nivel de cambio es poco significativo para reducir la turbiedad.

En la figura 16 se muestra que el factor de mayor influencia es el voltaje, a medida que sube de 4 a 10 voltios hay un incremento considerado de consumo de energía, de igual manera para el tiempo de tratamiento cada vez que se incremente el tiempo hay un aumento de consumo de energía, en cambio para el pH y la distancia de electrodos a medida que se sube el

nivel disminuye el consumo de energía, este fenómeno puede ser explicado porque cuando la muestra es ácida según lo leído con el multiparámetro tiene mayor conductividad a diferencia que otros niveles de pH, del mismo modo a menor distancia hay mayor facilidad de transporte de electrones, pero cuando se aleja entre electrodos hay mayor resistencia para la conducción de la corriente.

Figura 19.

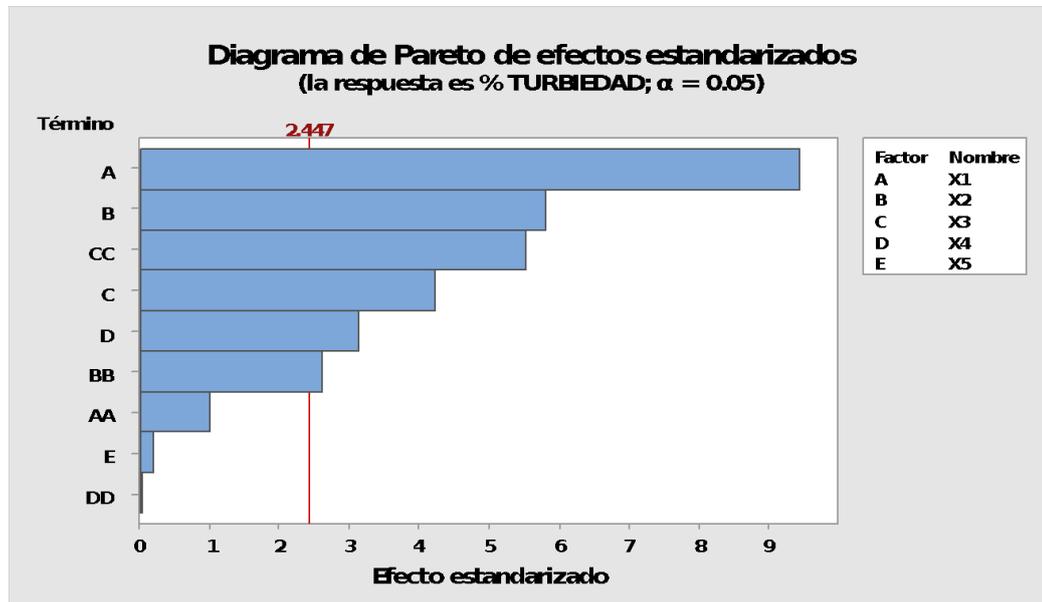
Gráfica de efectos principales para medias sobre el consumo de energía en la celda.



Nota: Extraído del software Minitab 18.

Figura 20.

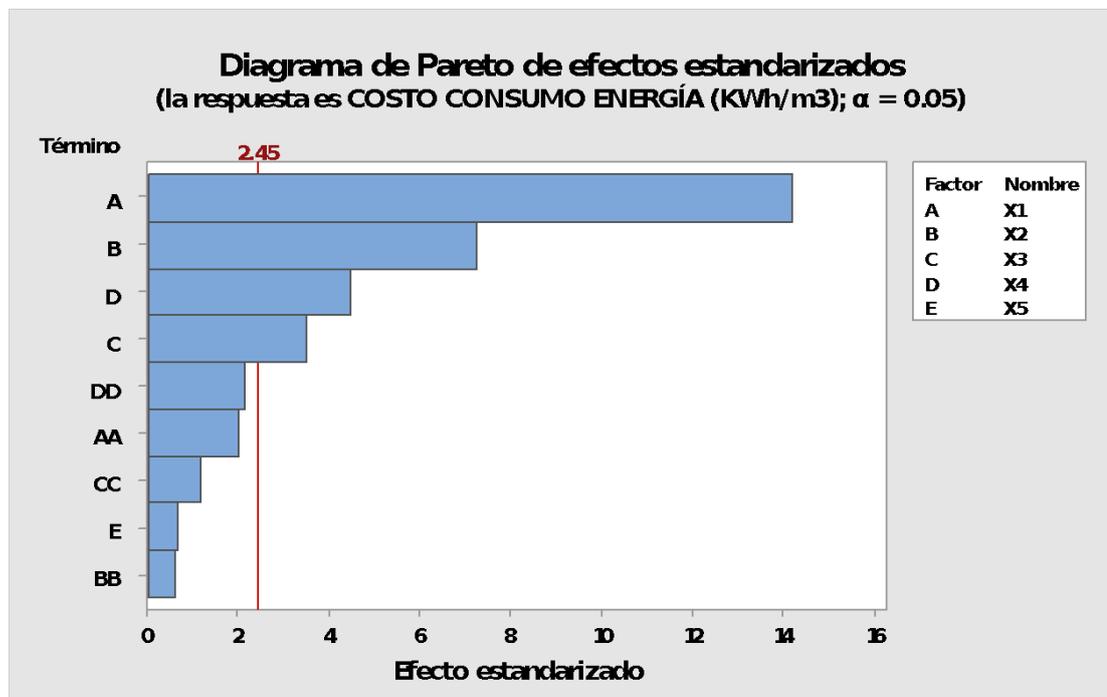
Diagrama de Pareto para la reducción de la turbiedad



Nota: Extraído del software Minitab 18.

Figura 21.

Diagrama de Pareto para el consumo de energía en la celda



Nota: Extraído del software Minitab 18.

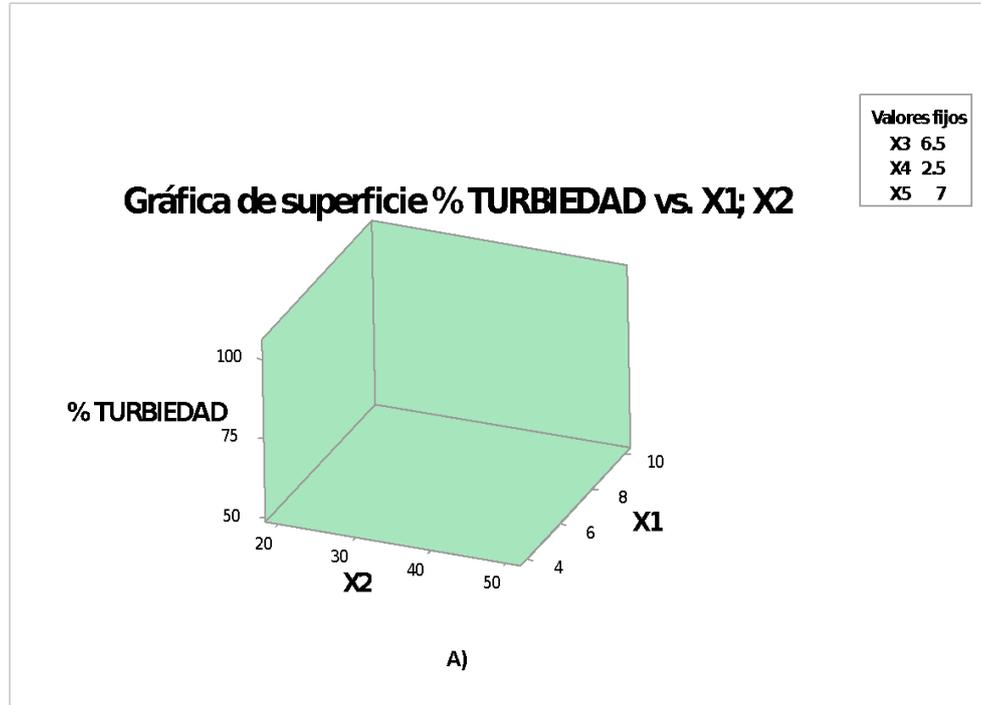
Según la figura 17 los factores de voltaje, tiempo, pH y distancia de electrodos son estadísticamente muy significativos ya que sobrepasan la línea de referencia que es resultado del grado de significancia ($\alpha = 0.05$); Sin embargo el factor de mayor magnitud es el voltaje por su tamaño.

Mientras en la figura 18, los factores que sobrepasan la línea de referencia que es resultado del grado de significancia ($\alpha = 0.05$) son voltaje, tiempo, pH y distancia de electrodos, del mismo modo el factor que tiene mayor efecto o predominancia es el voltaje por su tamaño.

En las siguientes figuras se muestran el efecto combinado mediante la gráfica de superficie sobre la reducción de la turbiedad y el consumo de energía en la celda electrolítica.

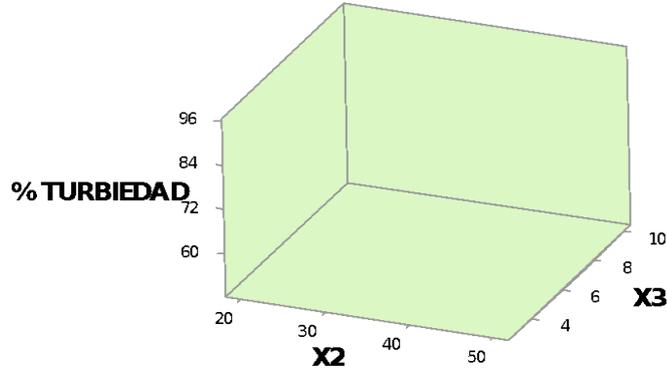
Figura 22.

Gráficas de superficies para la reducción de la turbiedad



Gráfica de superficie % TURBIEDAD vs. X3; X2

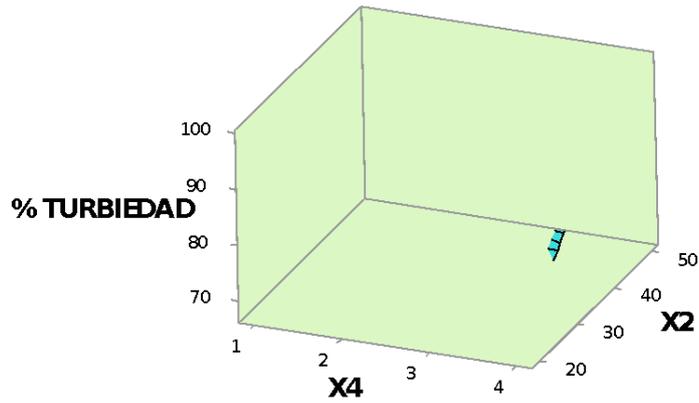
Valores fijos
X1 7
X4 2.5
X5 7



B)

Gráfica de superficie de % TURBIEDAD vs. X2; X4

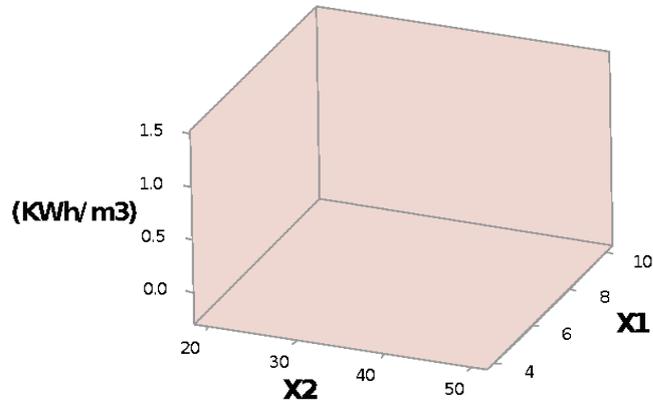
Valores fijos
X1 7
X3 6.5
X5 7



C)

Gráfica de superficie (KWh/m3) vs. (voltaje)X1;(tiempo) X2

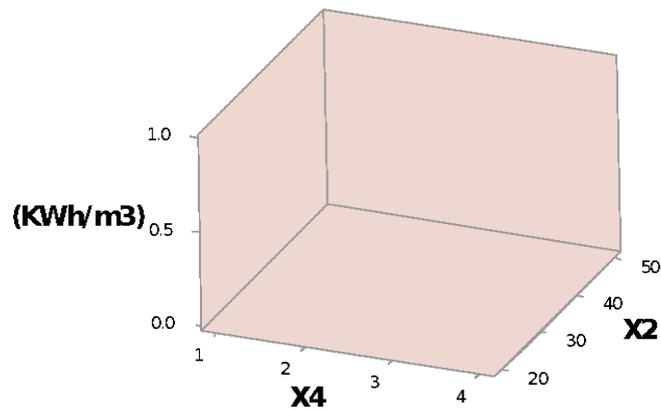
Valores fijos	
X3	6.5
X4	2.5
X5	7



D)

Gráfica de superficie d (KWh/ m3) vs. X2; X4

Valores fijos	
X1	7
X3	6.5
X5	7



E)

Nota: Gráficas de superficies para la reducción de la turbiedad: a) voltaje y tiempo, b) pH y tiempo, c) tiempo y espacio electrodo y para el consumo de energía d) tiempo y voltaje, e) tiempo y espacio entre electrodos.

4.3 RESULTADOS EN BASE A LA OPTIMIZACIÓN SEGÚN TAGUCHI

Una vez analizado los resultados estadísticamente, se encontraron los parámetros operacionales óptimos con sus respectivos niveles.

Tabla 16.

Condiciones del módulo experimental para la optimización en la reducción de la turbiedad.

Nº	PARÁMETROS ÓPTIMOS	NIVELES
1	Voltaje (V)	10
2	Tiempo de tratamiento (min)	50
3	pH	5
4	Distancia entre electrodos (cm)	1
5	Flujo de alimentación (L/M)	6

Nota: Datos extraídos del análisis estadístico

En base a estos niveles se hizo el último experimento para corroborar la optimización en la reducción de la turbiedad.

Tabla 17.

Singularidades fisicoquímicas del agua residual de lavadero de autos del antes y después de su tratamiento a condiciones óptimas para su reducción de la turbiedad.

PARÁMETROS	UNIDAD	EXPRESIÓN	ANTES TRATAMIENTO	DESPUES TRATAMIENTO	ECAS-3 RIEGO VEGETALES	ECAS-3 BEBIDA ANIMALES
Aceites grasas	mg/L	A y G	90.7	3.8	5	10
Demanda química de oxígeno	mg/L	DQO	459.6	176.8	40	40
Demanda biológica de oxígeno	mg/L	DBO5	70	39	15	15
Detergente	mg MBAS/L	SAM	17.4722	5.1928	0.2	0.5
Conductividad	µS/cm	µS/cm	1147	1004	2500	5000
pH			5	7.5	(6-9)	(6-9)
Turbiedad	NTU	NTU	320	3.4	-	-
Sólidos disueltos totales	ppm	STD	574	526	-	-
Grado de biodegradabilidad	DBO/DQO		0.1523	0.221		

Nota: Fruto de los análisis en laboratorio.

CAPÍTULO V DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS CON LOS RESULTADOS CONSEGUIDOS

Fue viable la optimización en la eliminación de la turbiedad utilizando Taguchi mediante el módulo de electrocoagulación asistida con POAs en aguas residuales de lavado de autos “Mi Kahomy” en el porcentaje de remoción de sólidos con el tiempo, la cual se observa en la tabla:

Tabla 18.

Resultados del antes y final del tratamiento del efluente.

PARÁMETROS	UNIDAD	ANTES TRATAMIENTO	DESPUES TRATAMIENTO	% reducción
Turbiedad	NTU	320	3.4	98.94

Nota: Resultado del parámetro de turbiedad para la muestra del agua residual

En base a estos resultados se puede concluir que fue muy viable el aumento de porcentaje de remoción de sólidos con el tiempo mediante la optimización en la eliminación de la turbiedad utilizando la metodología Taguchi mediante el módulo de electrocoagulación asistida con poas en aguas residuales de lavado de autos, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula.

5.2 CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS CON OTROS TRABAJOS SEMEJANTES

Según (Ribeiro da Silva et al., 2017) mediante su trabajo de investigación “**Optimization of electrocoagulation operating parameters applied to the recovery vehicle washing wastewater**”, mediante el uso de una celda de electrocoagulación a nivel laboratorio con electrodos de aluminio lograron eliminar por encima del 90% tanto para la turbiedad y sólidos suspendidos totales (SST) para todas las corridas; sin embargo a condiciones optimizadas lograron remover en un 92% de turbiedad, 99% de

SST, 58% tensoactivos y 73% DQO. Al comparar con nuestro trabajo de investigación la remoción que logramos llegar en la turbiedad fue de 98.93%, concluyendo que el dispositivo construido es muy eficiente.

Tabla 19.

Resultados obtenidos del trabajo de investigación “Optimization of electrocoagulation operating parameters applied to the recovery vehicle washing wastewater”.

Experimentos	% de Remoção Turbidez	% Remoção SST
1	95	99
2	98	99
3	98	100
4	99	95
5	92	99
6	98	99
7	96	99
8	99	99
9	90	99
10	97	100
11	96	99
12	95	99
13	98	98
14	91	100
15	99	99
16	99	100
17	97	99

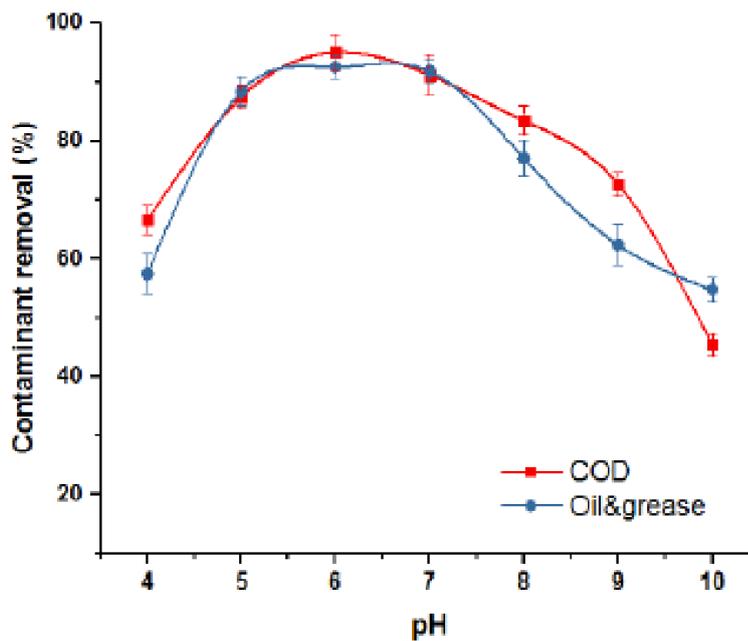
Nota: (Ribeiro da Silva et al., 2017).

Para el investigador (Priya & Jeyanthi, 2019), en su trabajo de **“Removal of cod, oil and grease from automobile wash wáter effluent using electrocoagulation technique”**, logró reducir en 95.1% la DQO, 92.5% en aceites grasas y un 99% de la turbiedad, todo ellos a condiciones de 40 minutos de tratamiento, 5 cm de distancia entre electrodos, densidad de corriente a 25 A/m², tipo de electrodos entre Cu-Al y pH a 6, por lo tanto con el módulo propuesto se logró una reducción de la turbiedad en un

98.93%, lo que hace ver que el diseño propuesto tiene una buena eficiencia, como sabemos trabajar a nivel laboratorio la eficiencia según experiencias es mucho mayor que cuando se llega a implementar a nivel planta piloto o semiplanta piloto.

Figura 23.

Eliminación de diversos contaminantes a diversos niveles de pH



Nota: (Priya & Jeyanthi, 2019)

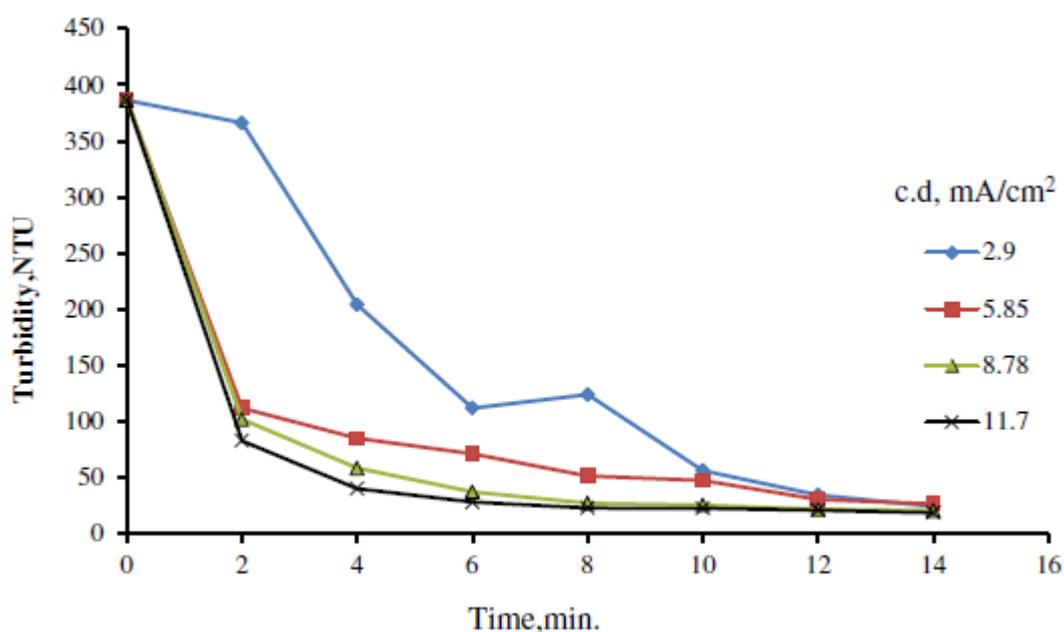
En la figura 20 podemos apreciar un comportamiento inevitable para un proceso de electrocoagulación, donde la mayor eficiencia en la remoción de contaminantes a condiciones de pH se da para el rango (5-7.5), este mismo comportamiento obtuvimos mediante la gráfica de superficie tal como se muestra en la figura 19 B).

El investigador (El-Ashtoukhy et al., 2015) en su publicación **“Treatment of real wastewater produced from Mobil car wash station using electrocoagulation technique”**, con un diseño de electrocoagulación diferente logró reducir los contaminantes superiores a 85%, con electrodo de aluminio, a pH entre (6-8) del mismo modo si hacemos la comparación con el trabajo realizado se puede afirmar que siguen el mismo comportamiento

en la eficiencia de la reducción. En la figura 21 se aprecia la influencia de la densidad de corriente aplicado sobre la reducción de la turbiedad, a mayor densidad existe un aumento en la reducción de la turbiedad, este mismo comportamiento se obtuvo en el experimento realizado tal como se muestra en la figura 19 A).

Figura 24.

Aumento de la remoción de la turbiedad con el incremento de la densidad de corriente.



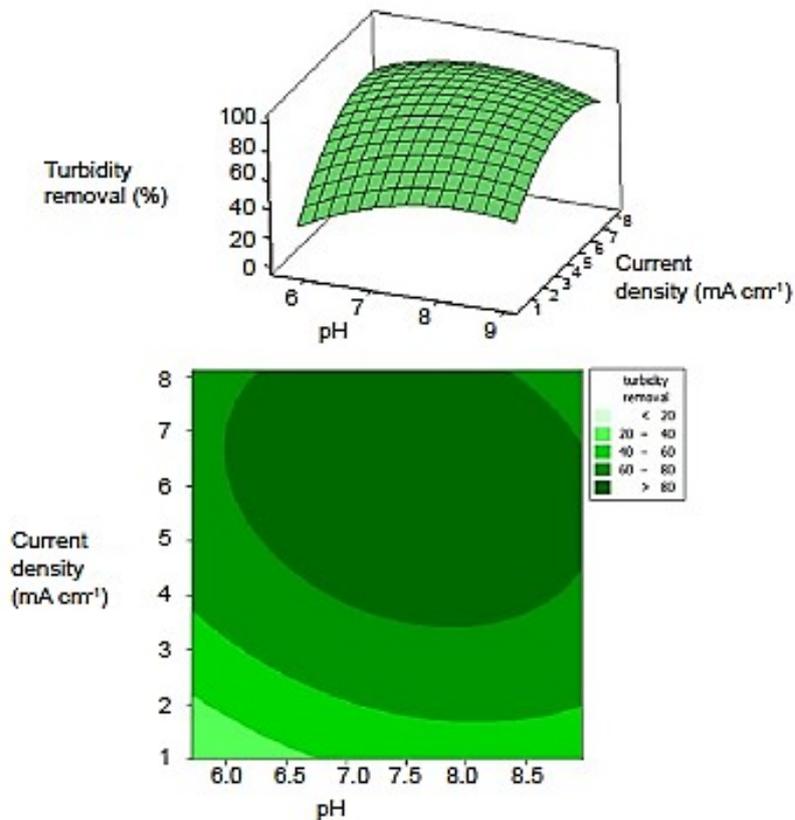
Nota: (El-Ashtouky et al., 2015).

Para el trabajo de investigación realizado por (Mirshahghassemi et al., 2017) “**Optimizing electrocoagulation and electro-Fenton process for treating car wash wastewater**”, a condiciones optimizadas de pH en 7.3, densidad de corriente a 4.2 mA/m² y 20.3 minutos de tiempo de tratamiento la eliminación de DQO se llegó a 80.8%, para los fosfatos a 94.9% y la turbiedad en 85.5%, si comparamos estos resultados con la investigación que realizamos para el caso de la turbiedad está muy por encima de la eficiencia, los resultados que se obtuvieron en porcentaje fueron del 61.53%, 70.27% y 98.93% para DQO, SAM y turbiedad respectivamente.

En la figura 22 se muestra el efecto de los dos parámetros operaciones como la densidad de corriente y pH sobre la reducción de la turbiedad, donde se aprecia que hay una máxima remoción de la turbiedad para una determinada corriente, de igual forma para el pH, este mismo efecto se observa en la figura 19 A) Y B).

Figura 25.

Reducción de la turbiedad a efectos de densidad de corriente y pH a tiempo de 20 minutos



Nota: (Mirshahghassemi et al., 2017).

Las informaciones en las literaturas o trabajos de investigación relacionados a la optimización sobre la reducción de la turbiedad empleando un equipo de electrocoagulación acoplado a ozono, rayos ultravioleta y el efecto de cavitación hidrodinámica no se han encontrado, eso hace que este trabajo de investigación tenga una característica de idoneidad, como una solución al tratamiento de efluentes provenientes de lavado de autos.

CONCLUSIONES

- Se optimizó la eliminación de la turbiedad utilizando el método Taguchi en aguas residuales de lavado de autos “Mi Kahomy”, mediante el módulo de electrocoagulación asistida con Procesos de oxidación avanzada encontrándose que las condiciones operacionales del módulo para optimizar la respuesta fueron: voltaje a 10 V, tiempo de tratamiento a 50 minutos, pH a 5, distancia entre electrodos a 1 cm y flujo de alimentación a 6 L/M. Con lo cual se logró reducir el 98.93% de turbiedad.

- Se distinguió el efluente saliente del lavado de autos antes de su tratamiento consiguiendo las siguientes características fisicoquímicas: DQO (459.6 mg/L), DBO₅ (70 mg/L), aceites y grasas (90.7 mg/L), SAM (17.4722 mg MBAS/L), turbiedad (320 NTU) y pH (7.3), con estas características el efluente tiene una mala calidad para su reuso en riego de vegetales o bebida de animales.

- Se resolvió que los factores operacionales: voltaje, tiempo de tratamiento, pH, distancia entre electrodos influyen significativamente en la optimización de la reducción de la turbiedad utilizando la metodología Taguchi mediante el módulo de electrocoagulación asistida con Procesos de Oxidación Avanzadas menos el flujo de alimentación.

- Los valores de las características fisicoquímicas del efluente después de su tratamiento da como producto: DQO (176.8 mg/L), DBO₅ (39 mg/L), aceites y grasas (3.8 mg/L), SAM (5.1928 mg MBAS/L), turbiedad (3.4 NTU) y pH (7.6), de todos ellos sólo los parámetros de aceite y grasas, turbiedad, conductividad, STD Y pH están por debajo de los límites de las ECAS 3 para su reuso en riego de vegetales y bebida de animales, en cambio la DQO, DBO₅ y SAM se encuentran por encima de los límites de las ECAS 3.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que se hagan corridas primero con muestras modelos para obtener datos fiables y en base a eso realizar con sustento con muestras reales para su estudio.
- Para que los resultados obtenidos tengan validez, se recomienda que antes de cada corrida experimental el módulo se lave con agua destilada, para no alterar las respuestas.
- Antes de empezar las corridas tener cuidado con los electrodos, se tiene que limpiar muy bien, porque en el proceso de electrocoagulación dichos materiales se ensucian, se recubren por diferentes capas, para eso lavar con ácidos y bases y finalmente agua destilada.
- Durante el desarrollo de la investigación debemos mantener el voltaje constante, porque en el desarrollo del experimento el voltaje tiende a subir, en cambio la intensidad disminuye.
- Tratar de realizar la parte experimental en un tiempo mínimo, para que no se altere los parámetros físicos y químicos con el tiempo, de lo contrario conservar bien las muestras.
- Para realizar el monitoreo del parámetro de la turbiedad se recomienda que los envases de las muestras recolectadas se diseñen especialmente para no alterar la lectura de la turbiedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvaro, R. (2005). La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *REVISTA LASALLISTA DE INVESTIGACIÓN - VOL. 2 No. 1*, 49-56.
- 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.
- Arboleda-Valencia, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Santa Fé de Bogota. ISBN: 95841-0015-7: Ed. McGraw-Hill/Interamericana.
- Barrera-Díaz, C., Bilyeu, B., Roa, G., & Bernal-Martinez, L. (2011). Physicochemical Aspects of Electrocoagulation. *Separation & Purification Reviews*, 40, 1-24.
- Bataller, M. O., Fernández, L. A., & Véliz, E. (2010). Eficiencia y sostenibilidad del empleo del ozono en la gestión de los recursos hídricos. *Scielo*, 4999.
- Bazrafshan, E., Kordmostafapoor, F., Soori, M., & Mahvi, A. H. (2012). Application of combined chemical coagulation and electrocoagulation process to carwash wastewater treatment. *Fresenius Environ Bull* 21, 2694–2701.
- Bhatti, Z., Mahmood, Q., Raja, I., Malik, A., Khan, M., & Wu, D. (2011). Chemical oxidation of carwash industry wastewater as an effort to decrease water pollution. *Phys Chem Earth Parts A/B/C* 36, 465–469.
- Boussu, K., Kindts, C., Vandecasteele, C., & Van der Bruggen, B. (2007). Applicability of nanofiltration in the carwash industry. *Sep Purif Technol* 54, 139–146.
- Bermeo Garay, M. M. (2017). *Remoción eficiente de colorante refractario azul MNO reactivo en combinación con vinil sulfónico en aguas residuales mediante técnicas de electrocoagulación y adsorción*. Perú: Posgrado.
- Brown, C. (2002). *Water use in the professional car wash industry*. Estados Unidos: International Carwash Association, Inc.

- El-Ashtoukhy, E. Z., Amin, N. K., & Fouad, Y. O. (2015). Treatment of real wastewater produced from Mobil car wash station using electrocoagulation technique. *Environ Monit Assess* 187, 628.
- Glaze, W. H., Kang, J. W., & Chapin, D. H. (1987). The chemistry of water treatment processes involving ozone, hydrogen peroxide and UV-radiation. *Ozone Science and Engineering* 9,, 335–352.
- Gonzalez, M., Oliveros, E., Worner, M., & Braun, A. M. (2004). Vacuum-ultraviolet photolysis of aqueous reaction systems. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* 5, 225–246.
- González-Joaquín, M. C. (2018). *Descontaminación y desinfección de aguas residuales mediante tecnología electroquímica*. México: Centro de Investigación y desarrollo Tecnológico en Electroquímica.
- Gönder, Z. B., Balcioglu, G., Kaya, Y., & Vergili, I. (2019). Treatment of carwash wastewater by electrocoagulation using Ti electrode: optimization of the operating parameters. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-12.
- Huybrechts, D., Piet De Baere, Van Espen, L., Wellens, V., & Dijkmans, R. (2002). *Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor car- en truckwash*. Países Bajos: Vito.
- Janik, H., & Kupiec, A. (2007). Trends in Modern Car Washing. *Polish J. of Environ. Stud. Vol. 16, No. 6*, 927-931.
- 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.
- Linares-Hernández, I., Barrera-Díaz, C., Bilyeu, B., Juárez-García, P., & Campos-Medina, E. (2010). Un tratamiento combinado de electrocoagulación-electrooxidación para aguas residuales industriales. *Journal of Hazardous Materials* 175 , 688–694.
- Mallick, S. K., & Chakraborty, S. (2019). Bioremediation of wastewater from automobile service station in anoxic-aerobic sequential reactors and microbial analysis. *Chem Eng J* 361, 982–989.

- Martínez, F. (2007). *Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación química*. Cuenca: Universidad de Castilla - la Mancha.
- Mirshahghassemi, S., Aminzadeh, B., Torabian, A., & Afshinnia, K. (2017). Optimizing electrocoagulation and electro-Fenton process for treating car wash wastewater. *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 4(1), 37–43.
- 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.
- Mollah, Y. A., Morkovsky, P., Gomes, A. G., Kesmez, M., Parga, J., & Cocke, D. L. (2004). Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials B114*, 199–210.
- Mollah, M. Y., Schennach, R., Parga, J. R., & Cocke, D. L. (2001). Electrocoagulation (EC) — science and applications. *Journal of Hazardous Materials B84*, 29–41.
- Priya, M., & Jeyanthi, J. (2019). Removal of COD, oil and grease from automobile wash water effluent using electrocoagulation technique. *technique. Microchemical Journal.*, 1-8.
- Ramalho, R. S. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. Barcelona: Ed. Reverte.
- Ribeiro da Silva, A. A., Paulinetti da Camara, C. A., Lobo, I., Scarmínio, I. S., & Alves, J. C. (2017). Optimization of electrocoagulation operating parameters applied to the recovery vehicle washing wastewater. *Eng Sanit Ambient | v.22 n.1* , 179-186.
- Sánchez, J. (1995). *Aspectos ecológicos de los detergentes. Gestión y promoción*. Editorial Barcelona.
- Sanchez, M. (2007). *Efectos biológicos de los Sulfonatos de alquilbenceno lineales (las) en suelo agrícola: Biotransformación y estudios de biodiversidad*. España: Editorial de la Universidad de Granada.
- Sarmadi, M., Foroughi, M., Najafi Saleh, H., Sanaei, D., Allah Zarei, A., Ghahrchi, M., & Bazrafshan, E. (2020). Efficient technologies for carwash wastewater treatment: a systematic review. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-17.

- Taguchi, G. (1993). *Taguchi on Robust Technology Development: Bringing Quality Engineering Upstream*. Tokyo: Amer Soc of Mechanical Engineers.
- Torkashvand, J., Pasalari, H., Gholami, M., Younesi, S., Oskoei, V., & Farzadkia, M. (2020). On-site carwash wastewater treatment and reuse: a systematic review. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1-16.
- Velásquez Flores, D. J. (2017). *Aplicación del método de electrocoagulación al efluente de la planta piloto de leche "La Molina"*. Perú: Facultad de Ciencias.
- Yasri, N., Hu, J., GolamKibria, M., & Roberts, E. P. (2020). Electrocoagulation Separation Processes. *American Chemical Society*.
- Zaneti, R., Etchepare, R., & Rubio, J. (2011). Car wash wastewater reclamation. Full-scale application and upcoming features. *Resources. Conserv Recycl* 55, 953–959.

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: “OPTIMIZACIÓN EN LA ELIMINACIÓN DE LA TURBIEDAD UTILIZANDO EL MÉTODO TAGUCHI EN AGUAS RESIDUALES DE LAVADO DE AUTOS “MI KAHOMY”, MEDIANTE EL MÓDULO DE ELECTROCOAGULACIÓN ASISTIDA CON POAs, DISTRITO AMARILIS - PROVINCIA HUANUCO 2020”.

TESISTA: Bach. VILLANUEVA SALAZAR CAROLAY BRENDA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
GENERAL	GENERAL	GENERAL	DEPENDIENTE			
- ¿Podrá optimizarse la eliminación de la turbiedad utilizando el método Taguchi mediante el módulo de electrocoagulación asistida con POAs en aguas residuales de lavado de autos “Mi Kahomy”?	- Determinar la optimización de la eliminación de la turbiedad utilizando el método Taguchi mediante el módulo de electrocoagulación asistida con POAs en aguas residuales de lavado de autos “Mi Kahomy”.	Si el porcentaje de remoción de sólidos disminuye con el tiempo entonces la optimización en la eliminación de la turbiedad utilizando Taguchi mediante el módulo de electrocoagulación asistida con POAs en aguas residuales de lavado de autos “Mi Kahomy”, es viable	Y = Optimización en la eliminación de la turbiedad utilizando el método Taguchi	% de la reducción de la turbiedad	Porcentaje de reducción de partículas presentes en el agua residual	Ecuación
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
- ¿Cuáles son los valores de los parámetros físico químicos del agua residual provenientes de lavado de autos “MI KAHOMY”, antes de su tratamiento?	- Caracterizar los parámetros físicos químicos del agua residual provenientes de lavado de autos “MI KAHOMY”, antes de su tratamiento.	Caracterizando los parámetros físicos químicos del efluente de lavado de autos antes de su tratamiento, entonces se podrá conocer la composición y la calidad del afluente vertido	X1 = Voltaje	Tensión aplicada a la celda electroquímica	Voltaje (V)	Multiparámetro de (multímetro)

<p>- ¿Cuáles son los parámetros operacionales que influyen en la reducción de la turbiedad utilizando la metodología Taguchi mediante el módulo de electrocoagulación asistida con Procesos de Oxidación Avanzadas?</p>	<p>- Determinar los parámetros operacionales que influyen en la optimización de la reducción de la turbiedad utilizando la metodología Taguchi mediante el módulo de electrocoagulación asistida con Procesos de Oxidación Avanzadas</p>	<p>El voltaje, tiempo de tratamiento, pH, distancia entre electrodos influyen significativamente en la optimización de la reducción de la turbiedad utilizando la metodología Taguchi mediante el módulo de electrocoagulación asistida con Procesos de Oxidación Avanzadas.</p>	<p>X2 = Tiempo de tratamiento</p>	<p>Tiempo</p>	<p>Minutos</p>	<p>Cronómetro</p>
<p>- ¿Cuáles son los valores de los parámetros fisicoquímicos de la muestra en estudio después de tratarlo con la técnica acoplada?</p>	<p>- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos del efluente proveniente de lavado de autos después de su tratamiento con la técnica acoplada.</p>	<p>Caracterizando los parámetros físicos químicos del efluente de lavado de autos después de su tratamiento, se podrá conocer la composición y la calidad del afluente vertido adecuadamente.</p>	<p>X4 = Distancia electrodos</p> <p>X5 = Flujo de alimentación</p>	<p>Espacio entre electrodos</p> <p>Volumen de agua que ingresa al reactor electrolítico</p>	<p>Cm</p> <p>L/M</p>	<p>Regla</p> <p>Flujómetro</p>

ANEXO 2: MATRIZ OPERACIONAL

TÍTULO: “OPTIMIZACIÓN EN LA ELIMINACIÓN DE LA TURBIEDAD UTILIZANDO EL MÉTODO TAGUCHI EN AGUAS RESIDUALES DE LAVADO DE AUTOS “MI KAHOMY”, MEDIANTE EL MÓDULO DE ELECTROCOAGULACIÓN ASISTIDA CON POAs, DISTRITO AMARILIS - PROVINCIA HUANUCO 2020”.

TESISTA: Bach. VILLANUEVA SALAZAR CAROLAY BRENDA

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIEMNSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTOS	
INDEPE NDIENT E	Módulo de electrocoagulación asistida con procesos de oxidación avanzada para el tratamiento de aguas residuales de lavado de autos	Módulo construido a nivel semiplanta piloto, está compuesto de una celda de electrocoagulación acoplado a rayos ultravioleta y ozono. La electrocoagulación es un proceso complejo donde suceden diversos fenómenos: físicos, químicos, mecánicos, etc. En cambio tanto el UV y el ozono son dos agentes oxidantes de alta capacidad.	La técnica electroquímica en el campo del tratamiento de efluentes está llamando la poderosa atención, por lo tanto la electrocoagulación por ser una tecnología emergente es usado para tratar una diversidad de efluentes, que tiene muchas ventajas sobre otras tecnología; sin embargo para efluentes con sustancias altamente resistentes a la desinfección los agentes oxidantes avanzados pueden acoplarse, de tal forma la eficiencia aumenta.	X = Característica fisicoquímicas del agua residual saliente de lavado de autos	pH	Acidez y alcalinidad	pH metro
				X =Parámetros operaciones del módulo construido	voltaje	V	Multitester
				Tiempo de tratamiento	Minutos	Cronómetro	
				Espacio de electrodos	Cm	Regla	
				Flujo de alimentación	L/M	Flujómetro	

**DEPEN
DIENTE**

**Optimización en la
eliminación de la
turbiedad utilizando
el método Taguchi**

La turbiedad es la medida del grado de transparencia que pierde el agua o algún otro líquido incoloro por la presencia de partículas en suspensión. Cuanto mayor sea la cantidad de sólidos suspendidos en el líquido, mayor será el grado de turbidez.

Mediante la optimización en la eliminación de la turbiedad se puede reducir una alta turbidez. En potabilización del agua y tratamiento de aguas residuales, la turbidez es considerada como un buen parámetro para determinar la calidad del agua, a mayor turbidez menor calidad

**Y = % de la
reducción de la
turbiedad**

Turbiedad

%

Ecuación

ANEXO 3: HOJA DE CAMPO

N° EXPERIMENTO	Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μs)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
1	0	320	3	680	1359	1	4	0.6	4
	10								
	20								

N° EXPERIMENTO	Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μs)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
2	0	320	5	574	1147	2	4	0.36	6
	10								
	20								
	30								

N° EXPERIMENTO	Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μs)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
3	0	320	8	518	1035	3	4	0.23	8
	10								
	20								
	30								
	40								

N° EXPERIMENTO	Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μs)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
4	0	320	10	802	1607	4	4	0.21	10
	10								
	20								
	30								
	40								
	50								

N° EXPERIMENTO	Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μs)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
5	0	320	5	523	1045	3	6	0.42	10
	10								
	20								

N° EXPERIMENTO	Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μs)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
6	0	320	3	629	1258	4	6	0.44	8
	10								
	20								
	30								

N° EXPERIMENTO	Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μs)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
7	0	320	10	592	1185	1	6	0.98	6
	10								
	20								
	30								
	40								

N° EXPERIMENTO	Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μs)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
8	0	320	8	558	1115	2	6	0.65	4
	10								
	20								
	30								
	40								

N° EXPERIMENTO	Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μs)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
9	0	320	8	507	1013	4	8	0.56	6
	10								
	20								

N° EXPERIMENTO	Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μs)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
10	0	320	10	593	1186	3	8	0.75	4
	10								
	20								
	30								

N° EXPERIMENTO	Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μs)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
11	0	320	3	578	1156	2	8	1.13	10
	10								
	20								
	30								
	40								

N° EXPERIMENTO	Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μs)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
12	0	320	5	539	1178	1	8	1.5	8
	10								
	20								
	30								
	40								
	50								

N° EXPERIMENTO	Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μs)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
13	0	320	10	716	1433	2	10	1.62	8
	10								
	20								

N° EXPERIMENTO	Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μs)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
14	0	320	8	516	1031	1	10	1.85	10
	10								
	20								
	30								

N° EXPERIMENTO	Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μs)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
15	0	320	5	799	1598	4	10	1.11	4
	10								
	20								
	30								
	40								
N° EXPERIMENTO	Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)	pH	SDT (ppm)	Conductividad (μs)	Distancia electrodos (cm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Flujo alimentación (L/M)
16	0	320	3	641	1282	3	10	1.14	6
	10								
	20								
	30								
	40								
	50								

ANEXO 4: CARACTERÍSTICA DEL MÓDULO ACOPLADO DE ELECTROCOAGULACIÓN

CARACTERIZACIÓN DE LA CELDA ELECTROQUÍMICA

Volumen del reactor	10.99 L
Volumen de trabajo	7 litros
N° de electrodos	4 Unid.
Área de electrodo/Unid.	582.22 cm ²
Espesor del electrodo	3 mm
Material electrodo	Aluminio
Configuración del electrodo	Monopolar paralelo
N° de agujeros	9
Diámetro del agujeros	0.9 cm
Forma de electrodo	circular
Diámetro de electrodo	10 cm

ANEXO 5: RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DEL ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
Facultad de Ingeniería
RESOLUCIÓN N° 161-2020-CF-FI-UDH
Huánuco, 07 de Febrero de 2020

Visto, el Oficio N° 029-2020-C-EAPIA-FI-UDH, del Coordinador Académico de Ingeniería Ambiental, referente a **Carolay Brenda, VILLANUEVA SALAZAR**, 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 332-20, del Programa Académico de Ingeniería Ambiental, informa que el Proyecto de Investigación Presentado por **Carolay Brenda, VILLANUEVA SALAZAR**, ha sido aprobado, y

Que, según Oficio N° 029-2020-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 07 de Febrero de 2020 y normado en el Estatuto de la Universidad, Art. N° 44 inc. e);

SE RESUELVE:

Artículo Único. - **APROBAR**, el Proyecto de Investigación y su ejecución intitulado: "OPTIMIZACIÓN EN LA ELIMINACIÓN DE LA TURBIEDAD UTILIZANDO EL MÉTODO TAGUCHI EN AGUAS RESIDUALES DE LAVADO DE AUTOS "MI KAHOMY", MEDIANTE EL MÓDULO DE ELECTROCOAGULACIÓN ASISTIDA CON POAS, DISTRITO AMARILIS - PROVINCIA HUÁNUCO 2020" presentado por **Carolay Brenda, VILLANUEVA SALAZAR** 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
SECRETARÍA
DOCENTE
HUÁNUCO - PERÚ

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Mg. Johanna B. Pacheco Rojas
SECRETARÍA DOCENTE



FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
DECANO

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

Distribución:
Fac. de Ingeniería - EAPIA - Asesor - Exp. Graduando - **Interesado** - Archivo
BCU/JJR.

ANEXO 6: GALERÍA DE FOTOS CAPTADAS EN EL EXPERIMENTO

Armando los electrodos para poner en la celda electrolítica



Asegurando los electrodos en la celda electroquímica



Armado de los electrodos



Recolectando las muestras



Juntando el agua que se usa para lavar los autos o motos



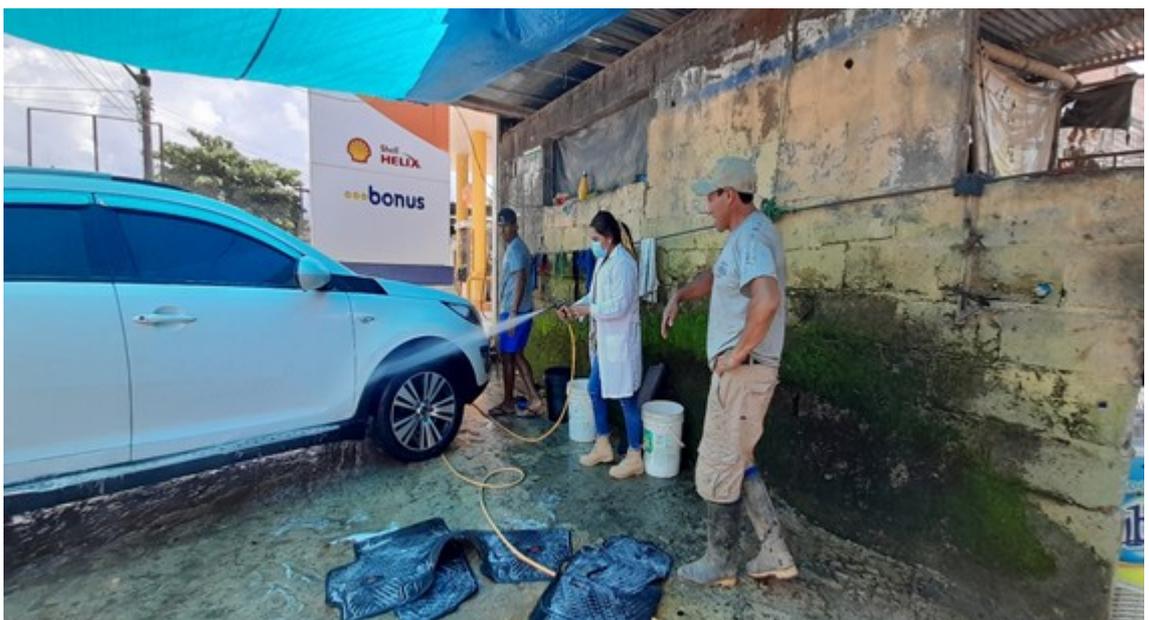
Ver qué tipo de productos usan en el lavadero



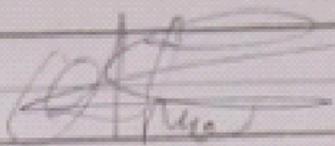
Juntando las muestras agua que usan el lavadero



Lavando de auto para recoger las muestras residual



ANEXO 7: FICHA DE RECOLECCIÓN Y MONITOREO DE DATOS EN CAMPO

Asunto:								
Fecha: →		4/1/14						
①	Tiempo	NTU	pH	MS	TSD	V	I	D
6:40	0	320	3	1359	680	4	0.60	1
6:52	10	204.2	3.86	1212	608	4	0.56	1 (1)
7:02	20	161.4	3.98	1198	599	4	0.53	1
②	Tiempo	NTU	pH	MS	TSD	V	I	D
7:38	0	320	5	1598	799	10	1.11	4
7:48	10	1340	7.76	1552	776	10	1.10	4
7:58	20	1008	7.04	1742	771	10	1.24	4 (15)
8:08	30	41.9	7.03	1542	771	10	1.25	4
8:18	40	17.89	7.02	1500	765	10	1.24	4
③	Tiempo	NTU	pH	MS	TSD	V	I	D
9:01	0	320	8	1115	550	6	0.65	2
9:11	10	1490	7.42	1105	554	6	0.59	2
9:21	20	106.4	7.59	1082	541	6	0.52	2 (8)
9:31	30	75.5	7.66	1081	541	6	0.52	2
9:41	40	60.0	7.71	1064	532	6	0.50	2
9:51	50	52.1	7.80	1059	527	6	0.47	2
④	Tiempo	NTU	pH	MS	TSD	V	I	D
11:16	0	320	10	1186	593	8	0.75	3
11:26	10	185.7	9.53	1118	550	8	0.76	3 (10) (3)
11:36	20	141.0	9.40	1104	552	8	0.73	3
11:46	30	114.8	9.35	1094	547	8	0.70	3

Asunto: 84/11
 Fecha:

9

Time	NTU	pH	MS	TSD	V	I	D
6:55 0	320	3	1258	629	6	0.94	4
7:05 10	190.2	3.60	1136	569	6	0.93	4
7:15 20	145.7	3.86	1114	556	6	0.93	4
7:25 30	93.8	3.79	1083	534	6	0.95	4

10

Time	NTU	pH	MS	TSD	V	I	D
7:52 0	520	5	1178	539	8	1.50	1
8:02 10	70.4	6.36	1018	509	8	1.33	1
8:12 20	25.8	6.36	980	489	8	1.38	1
8:22 30	16.6	6.46	992	496	8	1.35	1
8:32 40	10.4	6.59	983	492	8	1.34	1
8:42 50	5.98	6.68	966	483	8	1.33	1

11

Time	NTU	pH	MS	TSD	V	I	D
9:39 0	320	5	1035	518	4	0.23	3
9:49 10	170.6	8.88	1024	515	4	0.25	3
9:59 20	163.6	8.10	1012	506	4	0.24	3
10:09 30	114.5	8.02	1008	498	4	0.23	3
10:19 40	105.5	7.95	987	481	4	0.23	3

12

Time	NTU	pH	MS	TSD	V	I	D
11:26 0	320	10	1433	716	10	1.62	2
11:36 10	127.0	9.52	1325	667	10	1.26	2
11:46 20	114.62	9.48	1261	630	10	1.13	2

Asunto:
 Fecha: 6/11

(5)

Time	NTU	pH	MS	TSD	V	I	D
3:13 0	320	3	1282	641	10	1.14	3
3:29 10	66.2	4.28	1298	549	10	1.09	3
3:50 20	33.0	4.30	1164	582	10	1.09	3
3:57 30	14.02	4.31	1157	577	10	1.13	3
3:57 40	12.5	4.35	1144	572	10	1.16	3
4:07 50	11.33	4.82	1131	570	10	1.17	3

16

(6)

Time	NTU	pH	MS	TSD	V	I	D
12:14 0	320	5	1147	574	4	0.36	2
12:29 10	125.6	5.61	1129	565	4	0.32	2
12:39 20	119.5	5.74	1118	559	4	0.31	2
12:49 30	97.6	6.20	1120	561	4	0.31	2

2

(7)

Time	NTU	pH	MS	TSD	V	I	D
5:06 0	320	8	1013	507	8	0.56	4
5:16 10	170.5	7.26	993	476	8	0.53	4
5:26 20	104.5	7.31	973	486	8	0.52	4

9

(8)

Time	NTU	pH	MS	TSD	V	I	D
5:51 0	320	10	1085	592	6	0.98	1
6:01 10	198	9.58	1088	543	6	0.84	1
6:11 20	186.9	9.55	1079	540	6	0.80	1
6:21 30	139.3	9.40	1077	538	6	0.83	1
6:31 40	92.1	9.24	1066	533	6	0.82	1

7

Asunto: 925069248
 Fecha: 986678587 10/17

(13)

Time	NTU	pH	US	TSD	V	I	D
10:00	320	3	1156	578	8	1.13	2
1:10	136.4	2.81	1118	500	8	0.96	2
1:20	59.7	4.06	1074	537	8	1.00	2
1:30	42.1	4.28	1065	532	8	1.09	2
1:40	53.72	4.54	1057	530	8	1.12	2

(14)

Time	NTU	pH	US	TSD	V	I	D
2:27	320	5	1045	523	6	0.92	3
2:37	131.1	6.82	1033	518	6	0.99	3
2:47	108.7	6.49	1013	507	6	0.97	3

(15)

Time	NTU	pH	US	TSD	V	I	D
3:05	320	8	1031	514	10	1.85	1
3:15	73.6	7.82	1029	514	10	1.60	1
3:20	18.2	7.57	998	499	10	1.73	1
3:30	4.86	7.83	975	488	10	1.72	1

(16)

Time	NTU	pH	US	TSD	V	I	D
3:40	320	10	1607	802	4	0.21	4
3:50	280.3	9.86	1400	700	4	0.22	4
3:52	270.0	9.74	1362	681	4	0.26	4
3:53	199.5	9.68	1342	673	4	0.29	4
3:54	184.2	9.64	1319	659	4	0.21	4
3:55	128.36	9.56	1311	656	4	0.20	4

**ANEXO 8: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS ENVIADOS AL
LABORATORIO ESPECIALIZADO**

INFORME DE ENSAYO N° 000061420
SUSTITUYE AL INFORME DE ENSAYO N° 000059979

CLIENTE: VELLANUEVA SALAZAR CAROLAY BRENDA
DOMICILIO LEGAL: JR. 9 DE OCTUBRE N°108- AMARILIS - HUÁNUCO- HUÁNUCO ()
REFERENCIA CLIENTE: ENTRADA E1
CÓDIGO TYPSA: 000055431
MATRIZ: Agua residual, Industrial
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: Cotización N° 00020005886
Aproximadamente 1 L de muestra (Agua residual Industrial)
Carta N° 0313-2020
DESCRIPCIÓN PROCEDIMIENTO TOMA DE MUESTRA: Tomada por el cliente
CONDICIONES AMBIENTALES EN LA TOMA DE MUESTRAS:
DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO: HUÁNUCO
FECHA DE TOMA: 17/12/2020 07:35:00 a.m.
FECHA DE RECEPCIÓN: 18/12/2020
FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 18/12/2020 - 2/02/2021

RESULTADOS ANALÍTICOS FÍSICO-QUÍMICOS GENERALES

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Técnica Empleada	L.D.
Detergentes	mg MBAS/L	17.4722	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5540 C, 23rd Ed. 2017	Surfactante Aniónico Surfactante as MBAS	0.023

Callao, 2 de Febrero de 2021



Fco. Vanessa León Legua
Jefe de Laboratorio General y Espectroscopía
CQP N° 927

L.C. Límite de cuantificación/L.D. Límite de detección

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el **INACAL - DA**

NOTA:

Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de TYPSA, S.A. Sucursal del Perú. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de preservabilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario después de la recepción de la muestra en el laboratorio. Resultados válidos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce

LABORATORIO TYPSA PERÚ, Urb. Parque Industrial Callao, C/ Delta, 289, Callao. Tel: 511-711-8736/711-8753 E-mail: labperu@typsa.com

**INFORME DE ENSAYO N° 000061421
SUSTITUYE AL INFORME DE ENSAYO N° 000059980**

CLIENTE: VILLANUEVA SALAZAR CAROLAY BRENDA
DOMICILIO LEGAL: JR. 9 DE OCTUBRE N°108- AMARILIS - HUÁNUCO- HUÁNUCO ()
REFERENCIA CLIENTE: SALIDA S1
CÓDIGO TYPSA: 000055432
MATRIZ: Agua residual, Industrial
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: Cotización N° 00020005886
Aproximadamente 1 L de muestra (Agua residual Industrial)
Carta N° 0313-2020
Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN PROCEDIMIENTO TOMA DE MUESTRA:
CONDICIONES AMBIENTALES EN LA TOMA DE MUESTRAS:
DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO: HUÁNUCO
FECHA DE TOMA: 17/12/2020 08:35:00 a.m.
FECHA DE RECEPCIÓN: 18/12/2020
FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 18/12/2020 - 2/02/2021

RESULTADOS ANALÍTICOS FÍSICO-QUÍMICOS GENERALES

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Técnica Empleada	L.D.
Detergentes	mg MBAS/L	5.1928	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5540 C, 23rd Ed. 2017	Surfactants. Anionic Surfactants as MBAS	0.023

Callao, 2 de Febrero de 2021



Fdo. Vanessa León Legua
Jefe de Laboratorio General y Espectroscopía
CQP N° 827

L.C. Límite de cuantificación/L.D. Límite de detección

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el [INACAL - DA](#)

NOTA:

Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de TYPSA, S.A. Sucursal del Perú. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario después de la recepción de la muestra en el laboratorio. Resultados válidos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce

LABORATORIO TYPSA PERÚ, Urb. Parque Industrial Callao, C/ Delta, 269, Callao. Telf 511-711-4736/711-4753 E-mail: labgeneral@typsa.com

INFORME DE ENSAYO FQ N° 201224-001

Nombre del Cliente : VILLANUEVA SALAZAR CAROLAY BRENDA
Dirección de la Empresa : JR. 9 DE OCTUBRE N° 106- AMARILIS - HUÁNUCO - HUÁNUCO
Solicitado por : VILLANUEVA SALAZAR CAROLAY BRENDA

DATOS DE LA MUESTRA

Procedencia : Huánuco
Muestreo : Realizado por el cliente.
Referencia : NS20016307
Orden de Trabajo : 09728.1220
Cantidad de Muestras : 2
Presentación : Frasco vidrio ámbar y botella pet
Fecha de Muestreo : 17 de Diciembre de 2020 (Dato proporcionado por el solicitante)
Fecha de Recepción : 17 de Diciembre de 2020
Fecha de Inicio de Ensayos : 17 de Diciembre de 2020
Fecha de término de Ensayos : 24 de Diciembre 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	
ENTRADA E1	7:35	-	-	-	-
SALIDA S1	8:35	-	-	-	-

MÉTODOS DE ENSAYO

DETERMINACIÓN	NORMA
Aceites y Grasas	EPA Method 1664, 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, Colorimetric Method
Determinación de pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed. 2017. pH Value. Electrometric Method.
Determinación de la turbiedad (NTU)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23rd Ed. 2017. Turbidity. Nephelometric Method
Determinación de la conductividad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 23rd Ed. 2017. Conductivity. Laboratory Method
Determinación de los sólidos disueltos totales STD	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 C, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Dissolved Solids Dried at 180°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 se han realizado bajo responsabilidad de CERTIFICAL S.A.C. Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) del prototipo o del lote ensayado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad lote que no haya sido analizada. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

PROHIBIDA LA MODIFICACIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME.

INFORME DE ENSAYO FQ N° 201224-001

				ENTRADA E1	SALIDA S1
Código del Cliente					
Descripción del Punto				-	-
Código de Laboratorio				20016507(1)	20016507(2)
Tipo de Producto				AGUA RESIDUAL (INDUSTRIAL)	AGUA RESIDUAL (INDUSTRIAL)
Fecha de muestreo				17/12/2020	17/12/2020
Hora de muestreo				7:35	8:35
ENSAYOS	UNIDAD	L.D.	L.C.	RESULTADOS	
Aceites y Grasas	mg/L	-	1.6	90.7	3.8
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	2	-	70	39
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	-	99.9	459.6	176.8
pH		0.1	-	5	7.5
Turbiedad (NTU)	NTU		1.3	320	3.4
Conductividad	µS/cm	0.1	-	1147	1004
Sólidos disueltos totales (STD)	ppm	2	-	574	526

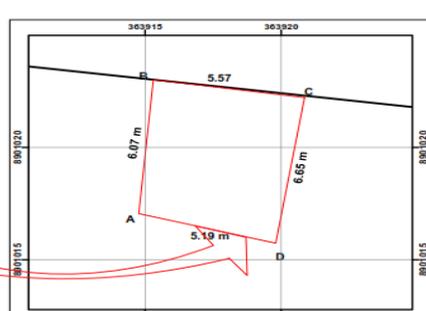
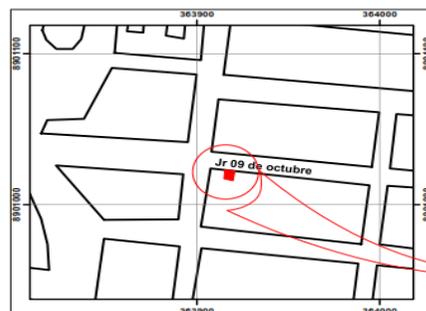
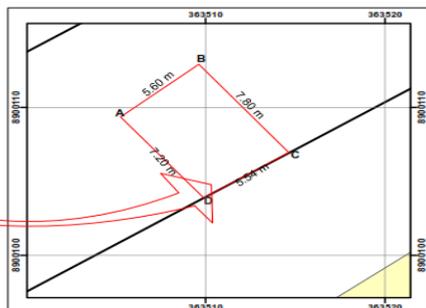
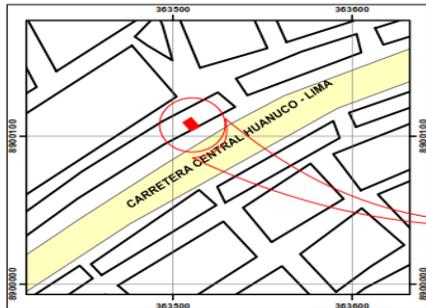
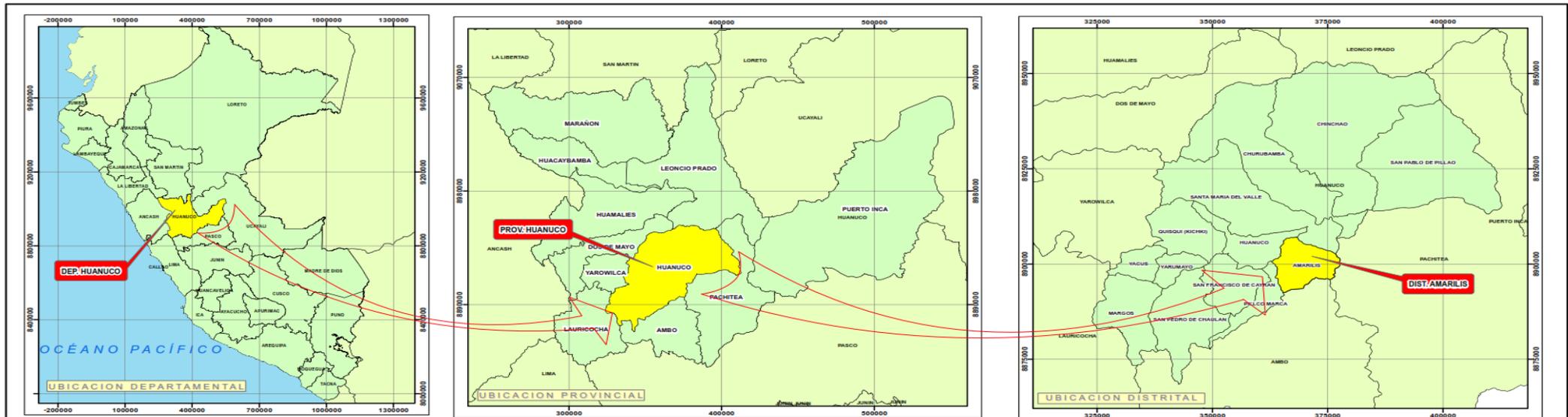
Emitido en Lima, el 24 de Diciembre de 2020


 CERTIFICACIONES Y CALIDAD S.A.C.
 Ing. Luis 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 protocolo 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 del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

PROHIBIDA LA MODIFICACIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME.

ANEXO 09: PLANO DE UBICACIÓN DEL PROYECTO



CUADRO DE DATOS TECNICOS

VERTICE	DIST.	ESTE	NORTE
A - B	5.6	363505.3	8900109.4
B - C	7.8	363509.7	8900112.67
C - D	5.54	363514.6	8900107.05
D - A	7.2	363509.9	8900103.89



CUADRO DE DATOS TECNICOS

VERTICE	DISTANCIA	ESTE	NORTE
A - B	6.07	363914.9	8901017.09
B - C	5.57	363915.3	8901022.98
C - D	6.65	363920.9	8901022.22
D - A	5.19	363919.8	8901015.8



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

MAPA DE UBICACION

TESIS "OPTIMIZACION EN LA ELIMINACION DE LA TURBIDEDAD UTILIZANDO EL METODO TAGUCHI EN AGUAS RESIDUALES DE LAVADO DE AUTOS "MI KAHOMY" MEDIANTE EL MODULO DE ELECTROCOAGULACION ASISTIDA CON POAS , DISTRITO DE AMARILIS - PROVINCIA HUANUCO - 2020"

TESISTA:	Bach. Ing. Amb Carolay Brenda Villanueva Salazar.	LAMINA 01
FECHA:	01/11/2020	
ASESOR:	ING. Yasser Vásquez Baca	

ESCALA: INDICADA