

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

ESCUELA DE POSGRADO

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA**



**“DEGRADACIÓN DEL TENSOACTIVO ANIÓNICO MEDIANTE OZONO/LUZ
UV/TiO₂ EN AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE UNA LAVANDERÍA
COMERCIAL”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
INGENIERIA QUIMICA**

AUTORES:

DEYCI MARIA, SILVA GUILLEN

RUBI, NIETO UGARTE

ASESOR:

MSC. PABLO BELIZARIO, DIAZ BRAVO

LINEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Callao, 2023

PERÚ

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD:	Ingeniería Química
UNIDAD DE INVESTIGACION:	Posgrado de La Facultad de Ingeniería Química.
TITULO:	Degradación del tensoactivo aniónico mediante <i>Ozono /UV/TiO₂</i> en aguas residuales provenientes de una lavandería comercial.
AUTOR (ES):	Deyci Maria, Silva Guillen: DNI: 44288385 Código ORCID: 0000-0003-1170-8138 Rubí, Nieto Ugarte: DNI: 47829903 Código ORCID: 0000-0001-9541-7332
ASESOR:	MSc. Pablo Belizario, Diaz Bravo: DNI: 06587068 Código ORCID: 0000-0003-4504-5547
LUGAR DE EJECUCION:	Laboratorio de operaciones unitarias (LOPU) de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.
UNIDAD DE ANALISIS:	Tensoactivo Aniónico presente en las Aguas residuales de procedencia de una lavandería comercial.
TIPO:	Aplicado
ENFOQUE:	Cuantitativo
DISEÑO DE INVESTIGACION:	Experimental - transversal, a nivel de laboratorio
TEMA OCDE:	Ingeniería y tecnología

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

MIEMBROS DEL JURADO:

- | | |
|--------------------------------------|------------|
| • Dra. SANEZ FALCON LIDA CARMEN | PRESIDENTE |
| • Dr. MEDINA COLLANA JUAN TAUMATURGO | SECRETARIO |
| • Mg. DÍAZ GUTIERREZ ALBERTINA | MIEMBRO |
| • Mg. CABRERA ARISTA CÉSAR | MIEMBRO |

ASESOR : PABLO BELIZARIO, DIAZ BRAVO

N° ACTA : 046-2023-UPG-FIQ

N° DE LIBRO: 01

N° FOLIO : 48

Fecha de Sustentación de Tesis: 21 mayo del 2023.

DEDICATORIA

La presente tesis va dedicada a Dios quien ha sido guía y fortaleza hasta el día de hoy asimismo con mucho aprecio a nuestros padres por apoyarnos incondicionalmente, por su comprensión, amor y por inculcarnos valores que son importantes para lograr nuestros objetivos y sueños planteados.

AGRADECIMIENTO

Los autores, agradecemos a la Universidad Nacional del Callao a través de todos los integrantes docentes por el apoyo incondicional, asimismo a nuestro asesor Mg. Pablo Belisario Díaz Bravo por su asesoramiento constante para la realización de esta tesis que sin ello hubiese sido dificultoso. Nuestro reconocimiento a la Facultad de Ingeniería Química de la UNAC por acogernos en sus aulas desde el pre grado.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	1
ÍNDICE DE TABLAS.....	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
RESUMEN.....	7
RESUMO.....	8
INTRODUCCIÓN.....	9
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	10
1.2. Formulación del problema.....	11
1.2.1 Problema general.....	11
1.2.2 Problemas específicos.....	11
1.3 Objetivo.....	11
1.3.1. Objetivo general.....	11
1.3.2. Objetivos específicos.....	12
1.4 Justificación.....	12
1.4.1. Justificación legal.....	12
1.4.2. Justificación tecnología.....	12
1.4.3. Justificación ambiental.....	12
1.4.4. Justificación teórica.....	13
1.4.5. Justificación social.....	13
1.5 Delimitantes de la investigación.....	13
1.5.1 Delimitante teórica.....	13
1.5.2 Delimitante temporal.....	13
1.5.3 Delimitante espacial.....	13
II. MARCO TEÓRICO.....	15
2.1. Antecedentes.....	15
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	15
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	17
2.2. Bases teóricas.....	18
2.2.1. Alternativas tecnologías avanzadas de oxidación.....	18
2.2.2. Proceso de oxidación avanzada.....	19
2.2.3. Combinación UV/O ₃	20
2.2.4. Fotocatálisis TiO ₂ /UV.....	21
2.2.7. Factores que influyen en el proceso de fotocatalisis heterogénea.....	23

2.2.8.	Ventajas de la fotocatalisis heterogénea	24
2.2.9.	Eficiencia del tratamiento fotocatalítico de tensoactivosaniónicos	25
2.3.	Conceptual.....	25
2.3.1.	Lavanderías comerciales	25
2.3.2.	Proceso de lavado	26
2.3.3.	Detergentes	27
2.3.4.	Principales componentes del detergente.....	29
2.3.5.	Clasificación de detergentes	31
2.3.6.	Detergentes aniónicos	32
2.3.7.	Vertidos de lavanderías.....	33
2.3.8.	Remoción de detergentes en aguas residuales.....	33
2.3.9.	Optimización del proceso de oxidación avanzada	35
2.4.	Definición de términos básicos.....	35
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	37
3.1.1.	Hipótesis General.....	37
3.1.2.	Hipótesis específica	37
3.2.	Operacionalización de variable	37
3.2.2.	Operacionalización de variables.....	40
IV.	METODOLOGÍA DEL PROYECTO.....	41
4.2.	Método de investigación.....	41
4.3.	Población y muestra.....	43
4.3.1.	Población	43
4.3.2.	Muestra.....	43
4.4.	Lugar del estudio y periodo de desarrollo.....	43
4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	43
4.5.1.	Técnicas de recolección de las muestras de agua residual	45
4.6.	Análisis y procedimientos de datos	47
4.7.	Aspectos éticos en la investigación	47
V.	RESULTADOS	48
5.1.	Resultados descriptivos	48
5.1.1.	Concentración de tensoactivo aniónico del agua residual proveniente de la lavandería comercial "QUICK WASH MIS AMORES"	48
5.1.2.	Concentración de tensoactivo aniónico obtenidas después del tratamiento con Ozono/Luz UV/TiO ₂ . 51	
5.1.1.	Porcentaje de degradación de tensoactivo aniónico para cada prueba experimental.....	51
5.2.	Resultados inferenciales	53
5.2.2.	Valores para los parámetros óptimos	56
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	58
6.1.	Contrastación de las hipótesis con los resultados obtenidos	58

6.2.	Contrastación de resultados con otros estudios similares	58
6.3.	Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes	59
VII.	CONCLUSIONES.....	60
VIII.	RECOMENDACIONES	61
	Bibliografía	62
	ANEXOS	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación de los Procesos de Oxidación Avanzada	20
Tabla 2.	Ingredientes declarados en envolturas de detergentes comerciales.....	29
Tabla 3.	Clasificación de detergentes.	31
Tabla 4.	Matriz de Experimentos.....	38
Tabla 5.	Condiciones de las corridas experimentales	39
Tabla 6.	Operacionalización de las Variables	40
Tabla 7.	Método usado para la determinación de la concentración de tensoactivo aniónico de las aguas residuales de lavandería comercial.	45
Tabla 8.	Especificaciones del muestreo in situ del agua residual de lavandería comercial.	49
Tabla 9.	Datos tomados a la salida de la manguera de desfogue de la lavadora.....	49
Tabla 10.	Concentración de tensoactivo aniónico del agua residual de lavandería comercial específico para tensoactivo anióni	50
Tabla 11.	Concentración de tensoactivo aniónico después del tratamiento con Ozono/Luz UV/TiO ₂ Concentración de tensoactivo aniónico (mg/L) despuésdel tratamiento con ozono/ luz UV / TiO ₂	51
Tabla 12.	Porcentaje de degradación de tensoactivo aniónico para cada prueba experimental	52
Tabla 13.	Análisis de varianza para el porcentaje de degradación de tensoactivo aniónico.....	53
Tabla 14.	Parámetros óptimos encontrados en el tratamiento Ozono/Luz UV/TiO ₂	57
Tabla 15.	Comparación de resultados de la concentración de tensoactivo	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Degradación fotocatalítica de una molécula orgánica.....	21
Figura 2. Posición de las bandas de un conductor, semiconductor y aislante.....	22
Figura 3. Proceso de lavado de ropa.	27
Figura 4. Variables de operación y respuesta del POA mediante ozono/UV/ TiO ₂	39
Figura 5. Diseño de investigación; se da a conocer cada etapa del proceso en la investigación.	41
Figura 6. Diagrama de flujo del diseño experimental.	42
Figura 7. Diagrama del equipo POA	45
Figura 8. Toma de muestra del agua residual en lavandería comercial	45
Figura 9. Proceso de lavado en la lavandería comercial “QUICK WASH MIS AMORES” ...	49
Figura 10. Medición in situ en la lavandería comercial “QUICK WASH MIS AMORES”	50
Figura 11. Proceso de extracción en medio acuoso ácido con exceso de azul de metileno.....	50
Figura 12. Diagrama de Pareto para el porcentaje de degradación de tensoactivo aniónico.	54
Figura 13. Grafica de contorno para el porcentaje de degradación de tensoactivo vs concentración de TiO ₂ y tiempo de exposición.	55
Figura 14. Grafica de contorno para el porcentaje de degradación de tensoactivo vs Flujo de agua residual y tiempo de exposición.....	56

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia.....	66
Anexo 2. Métodos Estándar para el Examen de Agua y Aguas Residuales –Parte 5540 C. Surfactantes Aniónicos como MBAS – 23 rd Ed.2017.	67
Anexo 3. Informes de Ensayo Oficial	71
Anexo 4. Ficha Técnica del TiO ₂	77
Anexo 5. Fichas Técnica del Antiespumante	78
Anexo 6. Partes del equipo de proceso de oxidación avanzada Ozono/UV/O ₂	79
Anexo 7. Foto de la construcción del equipo POA (proceso de oxidación avanzada)en las instalaciones del laboratorio de operaciones unitarias LOPU bajo supervisión.	80
Anexo 8. Foto de la construcción del equipo POA (proceso de oxidación avanzada) terminada su construcción.	80

RESUMEN

El presente trabajo tuvo por objetivo la degradación de la concentración de tensoactivo aniónico específicamente Alquil aril sulfonato de sodio (LAS) mediante ozono, luz UV y TiO_2 en aguas residuales provenientes de una lavandería comercial. La metodología utilizada consistió en determinar la concentración inicial de tensoactivo aniónico (LAS) en las aguas residuales, seguidamente se realizó un tratamiento preliminar con un antiespumante con el fin de lograr mayor contacto entre el tensoactivo aniónico con el ozono y UV. Posteriormente, se fijaron las condiciones de operación de flujo, tiempo y concentración de TiO_2 . El seguimiento de las concentraciones de tensoactivo aniónico fueron determinadas por el método SAAM (Estándar para el Examen de Agua y Aguas Residuales). Los resultados obtenidos muestran una concentración inicial de tensoactivo aniónico de 150.616 mg/L. Para condiciones óptimas de operación con un flujo de agua residual de 7 L/min, 20 mg de TiO_2 por litro y tiempo de exposición de 120 minutos, se logró un porcentaje de degradación de 50% en promedio de tensoactivo aniónico. En conclusión, el método utilizado mediante ozono, luz UV y TiO_2 es una técnica alternativa para la degradación del tensoactivo aniónico (LAS) en aguas residuales provenientes de una lavandería comercial.

Palabras clave: degradación, tensoactivo aniónico, proceso de oxidación avanzada.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi degradar a concentração de surfactante aniônico especificamente alquil aril sulfonato de sódio (LAS) por ozônio, luz ultravioleta e TiO_2 em efluentes de uma lavanderia comercial. A metodologia utilizada consistiu na determinação da concentração inicial de surfactante aniônico (LAS) no efluente, seguida de um tratamento preliminar com antiespumante para obter maior contato do surfactante aniônico com ozônio e UV. Posteriormente, foram fixadas as condições operacionais de fluxo, tempo e concentração de TiO_2 . O monitoramento das concentrações de surfactantes aniônicos foi determinado pelo método SAAM (Padrão para o Exame de Água e Águas Residuais). Os resultados obtidos mostram uma concentração inicial de tensoativo aniônico de 150.616 mg/L. Para condições ótimas de operação com um fluxo de água residual de 7 L/min, 20 mg de TiO_2 por litro e um tempo de exposição de 120 minutos, uma porcentagem média de degradação de 50% do surfactante aniônico foi alcançada. Em conclusão, o método utilizado por ozônio, luz UV e TiO_2 é uma técnica alternativa para a degradação de surfactante aniônico (LAS) em efluentes de uma lavanderia comercial.

Palavras-chave: degradação, tensoativo aniônico, processo de oxidação avançada.

INTRODUCCIÓN

En el Perú, las lavanderías comerciales ofrecen servicios a la mayoría de los hogares y cada vez hay más personas haciendo uso de este servicio tanto para limpiar camisas, blusas, pantalones, o vestidos y trajes muy caros que podrían perjudicarse y arruinarse si uno los lava en casa. Cabe resaltar que también hay algunas lavanderías que se especializan en atender a hoteles, restaurantes, hospitales e industrias.

Las lavanderías de la ciudad de Lima utilizan comúnmente detergentes y otros aditivos de limpieza, haciendo uso de grandes cantidades de agua en su proceso de lavado de prendas de vestir. Estas aguas residuales generadas por las lavanderías comerciales son vertidas al alcantarillado sin ningún tipo de tratamiento causando daños a la flora, fauna, ambiente y a la salud humana.

La contaminación del agua por los detergentes actualmente es una gran preocupación, ya que el uso desmedido de estos genera consecuencias como la formación de espumas, inhibición de la actividad biológica, efectos tóxicos para sistemas acuáticos, alteración de la permeabilidad del suelo facilitando la penetración de microorganismos en las aguas subterráneas, la eutrofización del agua priva de oxígeno causando muerte de otros organismos.

En este trabajo se determina el porcentaje de degradación de la concentración de tensoactivos aniónico mediante ozono, luz ultra violeta (UV) y TiO_2 de aguas residuales provenientes de una lavandería comercial, donde se evaluaron las variables de operación para la remoción de la concentración de tensoactivos en la experimentación permitiendo hacer una selección del más óptimo reflejándose en el rendimiento y la calidad del agua residual (A.R) luego del tratamiento.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

La producción de detergentes y otros productos de higiene y aseo ha incrementado ostensiblemente en las últimas décadas como respuesta a la necesidad de mayores condiciones de asepsia para labores en el hogar, la industria, sectores de la salud y otros. La problemática que presentan las aguas residuales que provienen de lavanderías comerciales tienen un alto índice de sustancias nocivas para algunas especies animales, flora, ambiente, al igual que para la calidad de los recursos hídricos (1).

Es común que en los países en desarrollo como en nuestro Perú se cumplen parcialmente las regulaciones y en más del 80% de los casos los efluentes se descargan sin llevar a cabo pre-tratamientos (2).

Algunos insumos para la fabricación de detergentes no son biodegradables, por lo que es necesario investigar procesos de tratamientos no convencionales para el tratamiento de las aguas residuales que los contengan.

Las metodologías convencionales de tratamiento permiten remover porcentajes significativos de tensoactivos contenidos en los efluentes, incrementar la biodegradabilidad, y disminuir porcentajes de color y la demanda química de oxígeno (DQO). No obstante, se presentan dificultades relacionadas con altos costos de inversión, largos tiempos de tratamiento, necesidad de personal especializado, requerimientos de capacidad instalada, entre otras limitaciones (1).

Para solucionar esta problemática, es necesaria la elección de tecnologías no solo económicamente atractivas, sino eficientes. Entre las tecnologías más relevantes se encuentran los denominados procesos oxidativos avanzados (POAs) los cuales modifican la estructura química de compuestos orgánicos convirtiéndolos en compuestos más simples, de menor masa molecular, menos tóxicos a los microorganismos y, consecuentemente, más

biodegradables debido a que se presenta: fotólisis directa, ozonización directa y oxidación por radicales hidroxilos que, generan reacciones rápidas y no selectivas (3).

El objetivo del presente trabajo fue determinar el porcentaje de degradación de la concentración del tensoactivo aniónico mediante ozono, luz UV y TiO_2 de aguas residuales provenientes de una lavandería comercial, con el fin de obtener una descarga con una menor concentración de tensoactivo aniónico.

Los principales problemas ambientales ocasionados por el uso desmedido de los detergentes sintéticos son: espuma, toxicidad en la agricultura, toxicidad en la vida acuática, eutrofización y alteración de la transferencia y disolución del oxígeno (1).

1.2. Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿En qué medida se podrá degradar la concentración de tensoactivo aniónico mediante ozono, luz UV y TiO_2 en aguas residuales provenientes de una lavandería comercial?

1.2.2 Problemas específicos

- a) ¿Cuál será la concentración inicial de tensoactivo aniónico de aguas residuales provenientes de una lavandería comercial?
- b) ¿Cuáles son los parámetros de operación más adecuados del proceso de oxidación avanzada mediante ozono, luz UV y TiO_2 para la degradación del tensoactivo aniónico de aguas residuales provenientes de una lavandería comercial?

1.3 Objetivo

1.3.1. Objetivo general

Determinar la degradación de la concentración de tensoactivo aniónico mediante ozono, luz UV y TiO_2 en aguas residuales provenientes de una lavandería comercial.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Determinar la concentración inicial de tensoactivo aniónico de aguas residuales provenientes de una lavandería comercial.
- b) Identificar los parámetros de operación más adecuados del proceso de oxidación avanzada mediante ozono, luz UV y TiO₂ para la degradación del tensoactivo aniónico de aguas residuales provenientes de una lavandería comercial.

1.4 Justificación

1.4.1. Justificación legal

La muestra extraída de la lavandería contiene un alto contenido de detergentes, por la naturaleza de las mismas que no son degradados totalmente, sin embargo, esta investigación intenta reducir a un nivel mucho menor para que al momento de ser vertidos al sistema de alcantarillado el daño causado al ecosistema no sea tan impactante al ambiente; por consiguiente al no existir ninguna norma en la actualidad que regule la concentración de detergentes en efluentes de lavanderías, se exige que los organismos encargados de la fiscalización de efluentes líquidos en las industrias, propongan a corto plazo la normalización de los valores máximos permisibles.

1.4.2. Justificación tecnología

El proceso de oxidación avanzada elegido como propuesta es la combinación ozono, luz UV y TiO₂ se plantean como una nueva alternativa de tecnología limpia de aguas residuales en las lavanderías comerciales en comparación a otros tratamientos donde se usan reactivos químicos con resultados de menor eficiencia.

1.4.3. Justificación ambiental

Las aguas residuales generadas por lavanderías comerciales no son sometidos a tratamientos adecuados produciendo impactos ambientales negativos es por ello que el proceso de oxidación avanzada aplicando la combinación ozono, luz UV y TiO₂ pretende minimizar el deterioro de la flora y fauna por las altas

cargas orgánicas y grasas, generación de malos olores por descomposición, patógenos, contaminación de aguas subterráneas, contaminación de aguas superficiales, transmisión de enfermedades, emisión de amoníaco, entre otros.

1.4.4. Justificación teórica

El proceso de oxidación es reconocido por su eficiencia la cual logra degradar una gran variedad de contaminantes, debido a ello sirve como base teórica para futuras investigaciones en la aplicación de diferentes procedencias de aguas residuales.

1.4.5. Justificación social

El presente trabajo busca ayudar a solucionar de alguna manera el tema de la disminución de los índices de contaminación de aguas y desde este punto de vista también, beneficia a la sociedad.

1.5 Delimitantes de la investigación

1.5.1 Delimitante teórica

El presente estudio está enmarcado dentro del campo de tratamiento de aguas residuales de lavandería comercial, utilizando la oxidación avanzada con ozono, luz UV y TiO_2 , asimismo el estudio se realizó únicamente para el grupo de detergentes tipo aniónico ya que es el ingrediente más común presente en diferentes marcas de detergentes que se comercializan.

1.5.2 Delimitante temporal

No existe una delimitación del tiempo, el trabajo experimental se realizó en 4 meses en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.

1.5.3 Delimitante espacial

El agua residual a utilizar proviene de la lavandería comercial "QUICK WASH MIS AMORES", cuyo tratamiento experimental se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao, cabe indicar que los resultados de las muestras fueron realizados por el

Laboratorio Analytical Laboratory E.I.R. L., el cual se encuentra acreditado por el organismo de acreditación INACAL – DA con registro N° LE - 096.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

En la tesis “*Evaluación a nivel de laboratorio de un sistema de remoción fotocatalítico de tensoactivos aniónicos*”, trabajaron con muestras preparadas de tensoactivos de diferentes concentraciones, donde se utilizaron varios sistemas para el tratamiento como lo es la oxidación (H_2O_2), la fotocatalisis homogénea (UV/H_2O_2) y la fotocatalisis heterogénea ($UV/H_2O_2/TiO_2$) con el fin de determinar cuál sistema logra la mayor eficiencia de remoción en un rango de concentración de 0 a 500 mg SAAM/L de (sustancias activas al azul de metileno), se definió un tiempo de reacción entre 0 y 120 minutos (2 horas), con respecto a la parte operativa del sistema, extrayéndose alícuotas a los 15, 30, 60 y 120 minutos, en las cuales se determina la concentración de SAAM. La dosificación de TiO_2 estuvo comprendida entre 0.1 y 1 g/L. Se puede observar que como el experimento con 500 mg SAAM/L a medida que se aumenta la cantidad de H_2O_2 (0,2 - 2,5 ml /L) se aumenta la constante K, lo que nos indica que el tensoactivo se degrada más rápido a medida que hay una mayor cantidad de radicales OH por la disociación del peróxido, llegando a alcanzar valores mayores a 90% de degradación de tensoactivos aniónicos (4).

En la tesis “*Estudio de la degradación fotocatalítica dodecilbencenosulfonato (DBS) en reactores con lámpara de mercurio y con LEDS*”. En el método para la degradación fotocatalítica estudiada (para el DBS en reactores con lámpara de mercurio presenta como variables de trabajo concentraciones iniciales para el BDS de 50 mg/L ,100 mg/L,150 mg/L y TiO_2 al 0.5, 2.5 mg/L respectivamente. Obteniéndose valores mayores al 90% de disminución de DBS al cabo de 1 hora. La disminución de dicho surfactante se daba a medida que aumentaba el tiempo de exposición a la radiación UV. El pH utilizado fue en un rango 5.3 y 6.8, en dicho experimento se aprecia que a medida que aumenta el tiempo de exposición UV, disminuye el pH (5).

En el presente artículo científico *“Fotocatálisis heterogénea para el abatimiento de tensoactivos aniónicos en aguas residuales”*. menciona que la fotocatalisis heterogénea es un proceso efectivo para la degradación y mineralización de tensoactivos aniónicos presentes en aguas residuales provenientes de fuentes variables. Esta se ha empleado en forma conjunta con otras técnicas convencionales, logrando incrementos en la cinética química y mayor eficiencia de remoción de contaminantes (1).

En el artículo científico *“Solar photocatalysis, photodegradation of a commercial detergent in aqueous TiO₂ dispersions under sunlight irradiation”* emplearon fotocatalisis heterogénea con TiO₂ para degradar un detergente comercial en condiciones de dispersión acuosa del fotocatalizador. El detergente, compuesto principalmente por surfactante aniónico y agentes blanqueadores, fue tratado en presencia de aire e irradiación solar directa. Los mejores porcentajes de degradación se obtuvieron con las condiciones experimentales siguientes: 6 g/L de dióxido de titanio, 4,91 L/min para la tasa de circulación y 4,9 unidades de pH. El seguimiento de la cinética de reacción permitió identificar el primer orden ($k = 0.025 \pm 0.004 \text{ min}^{-1}$). En adición, el estudio incluyó la evaluación de los efectos causados por el pH, cantidad de fotocatalizador, y la tasa de circulación sobre la cinética de reacción global del detergente (6).

En la investigación sobre la *“Oxidación fotocatalítica de aguas residuales de la industria de lavandería utilizando TiO₂ como catalizador y luz UV”* teniendo como objetivo de comenzar a efectuar un estudio con efluentes líquidos generados en los procesos de lavanderías con muestras reales y no elaboradas de manera sintética, generando el uso de nuevas tecnologías. Durante la investigación se tomó muestra a las concentraciones del catalizador, pH y tiempo de recirculación. Los parámetros de operación que se utilizaron para los dos casos de estudio donde cada ensayo experimental variaba en sus condiciones de concentración TiO₂ se trabajó en un intervalo de 0 - 1 g/l. El volumen procesado en el reactor se fijó en 8 litros por ensayo. Se trabajó a un flujo constante de agua a tratar de 7,02 l/min. El tiempo de recirculación fluctuó entre 1 y 3 horas. El intervalo de pH utilizado fue de 4

a 8. Demostrando un logro en la degradación máxima sin H_2O_2 del 26,49% y con adición de H_2O_2 del 41,8% (7).

2.1.2. Antecedentes nacionales

En la publicación de la revista química “*Degradación fotocatalítica de detergentes en efluentes domésticos*” menciona que el dodecilsulfonato de sodio, principal agente tensoactivo de los detergentes comerciales, fue seleccionado como molécula modelo para estudiar la degradación por procesos oxidativos avanzados de muestras de efluentes de lavandería doméstica e industrial usando el sistema $H_2O_2/TiO_2/UV$ en un reactor de lecho fluidizado y un reservorio de 1 L de capacidad que recircula mediante una bomba peristáltica a 1 L/h. El peróxido aporta una mayor concentración de estos radicales ayudando en el proceso degradativo de las moléculas de LAS. Esto se comprobó tras agregar 6 mg de H_2O_2 , obteniéndose un porcentaje de degradación que llegó hasta 82%. La disminución del pH se relaciona con el avance de la degradación de las moléculas de LAS. El método fotocatalítico ensayado $H_2O_2/TiO_2/UV$ presenta buenos resultados de degradación bajo las condiciones propuestas (solución de 17 mg/L de LAS, exposición de 8 horas con 4 lámparas de 8 W cada una, 6 mg de H_2O_2 , en un reactor de lecho fluidizado con 180 mg de catalizador TiO_2 , impregnado sobre arena de cuarzo, recirculando a una velocidad de 1.0L/h), para una mayor degradación de muestras con mayor concentración de contaminantes el tiempo de exposición y la intensidad de las lámparas UV deben ser mayores (8).

En la tesis “Determinación y evaluación comparativa de la cinética de biodegradación de los tensoactivos lauril éter sulfato de sodio (aniónico), alcohol etoxilado (no iónico) y cocoamido propil betaína (anfótero) en condiciones ambientales”, tiene por objetivo determinar la cinética de biodegradación de los tensoactivos más comerciales en Perú en función a su familia química: lauril éter sulfonato de sodio (tensoactivo aniónico), alcohol etoxilado (tensoactivo no iónico) y el cocoamido propil betaína (tensoactivo anfótero); desarrollo las curvas de cinética de biodegradación (% de biodegradación vs tiempo) y la curva de crecimiento de producto (1/ velocidad

de crecimiento vs $1/\text{concentración de tensoactivo}$) para cada tensoactivo y obteniéndose los parámetros cinéticos de biodegradabilidad: tiempo de vida media, tiempo de latencia y velocidad máxima de crecimiento. Tras la evaluación es notoria la cinética de biodegradación en menor tiempo del tensoactivo aniónico (lauril éter sulfonato de sodio) alcanzando hasta un 95%, en especial, para su concentración de 0.5 mg/L cuya velocidad de máxima de crecimiento es 0.4854 día⁻¹, el valor más alto; y sus tiempos de latencia (biodegradabilidad de 10%) y vida media (biodegradabilidad de 50%) son los menores: 15.00 hr y 57.06 hr respectivamente; confirmándose que por su cadena lineal en su estructura química presenta la mejor capacidad de biodegradarse en comparación con los demás (9).

En el trabajo de suficiencia profesional "*Fotocatálisis para la degradación de detergentes en aguas residuales*". El proceso de fotodegradación por el sistema $UV/H_2O_2/TiO_2$ fue realizado con el siguiente procedimiento: a 100 ml de agua residual de lavandería se le adicionó 40 mg de TiO_2 y una solución 30 mM de H_2O_2 fueron colocadas dentro de un matraz de fotodegradación luego el matraz fue colocado dentro del aparato construido para la fotodegradación y fue expuesto a lámparas UV por 24 horas. Existe una mejora significativa en la fotodegradación a medida que se extiende el tiempo de proceso. El tiempo de extensión facilitó el contacto más efectivo entre la luz con H_2O_2 y TiO_2 , para formar más radicales OH, y entre los radicales con el surfactante (10).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Alternativas tecnologías avanzadas de oxidación

Se dice que la creciente demanda por querer conseguir la descontaminación de aguas residuales de diversos orígenes, materializada en regulaciones cada vez más estrictas, ha generado en los últimos tiempos el desarrollo de nuevas tecnologías para conseguir el tratamiento más eficiente en cuanto a la minimización de los contaminantes presentes en las aguas.

Si bien los procesos biológicos suelen ser el modo más económico de tratar efluentes industriales, muchos de ellos son bio-refractarios e incluso tóxicos.

Desde este punto de vista, los llamados procesos avanzados de oxidación, AOPs, son particularmente atractivos, ya que son capaces de degradar completamente (11).

2.2.2. *Proceso de oxidación avanzada*

Los Procesos de Oxidación Avanzada (POAs “Advanced Oxidation Processes”) son procesos fisicoquímicos capaces de producir cambios profundos en la estructura química de los contaminantes. El concepto fue inicialmente establecido por Glaze y colaboradores, quienes definieron los POA, estos procesos que involucran la generación y uso de especies transitorias poderosas, fundamentalmente el radical hidroxilo (HO^\cdot). Este radical puede ser generado por medios fotoquímicos (incluida la luz solar) o por otras formas de energía, y posee alta efectividad para la oxidación de materia orgánica (12).

Los procesos de oxidación avanzada (AOP, por sus siglas en inglés) se caracterizan por su efectividad para el tratamiento de efluentes de tipo doméstico e industrial de composiciones variadas, por ser novedosos, viables desde el punto de vista tecnológico y ambiental, y por permitir la minimización de costos de ciertos métodos de tratamiento. Los AOP son técnicas de tratamiento que abarcan una amplia gama de sustancias y compuestos como metales, colorantes, detergentes, insecticidas, pesticidas, germicidas, compuestos orgánicos, entre otros, los cuales se pueden apreciar en la tabla 1 (12).

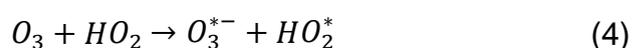
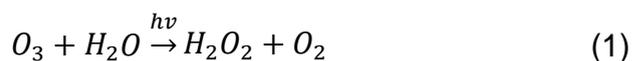
Tabla 1. Clasificación de los Procesos de Oxidación Avanzada

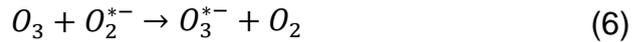
Procesos no fotoquímicos	Procesos fotoquímicos
Ozonización	Ultravioleta de vacío
Ozonización con O_3/ H_2O_2	UV/ H_2O_2
Procesos fenton Fe_{+2}/ H_2O_2	UV/O_3
Oxidación electroquímica	$UV/ O_3/ H_2O_2$
Radiólisis y tratamiento con haces de electrones.	Fotocatálisis Solar
Plasma no térmico oxidación en agua subcrítica y supercrítica.	Homogénea: foto-fenton y relaciones Heterogénea: fotocatalisis con TiO_2
Irradiaciones gamma.	

Terán, 2016.

2.2.3. Combinación UV/O₃

La combinación ozono/radiación ultravioleta al igual que el ozono, busca en la mayoría de los casos para este tipo de industrias contribuir con el aumento de la capacidad del efluente para ser tratado por procesos biológicos. En particular, la combinación UV/O_3 es de especial interés por los diferentes procesos de degradación que coexisten: fotólisis directa, ozonización directa y oxidación por radicales hidroxilos que, generan reacciones rápidas y no selectivas (13). Las reacciones que involucran la producción del radical hidroxilo aplicando UV/O_3 se presentan a continuación:



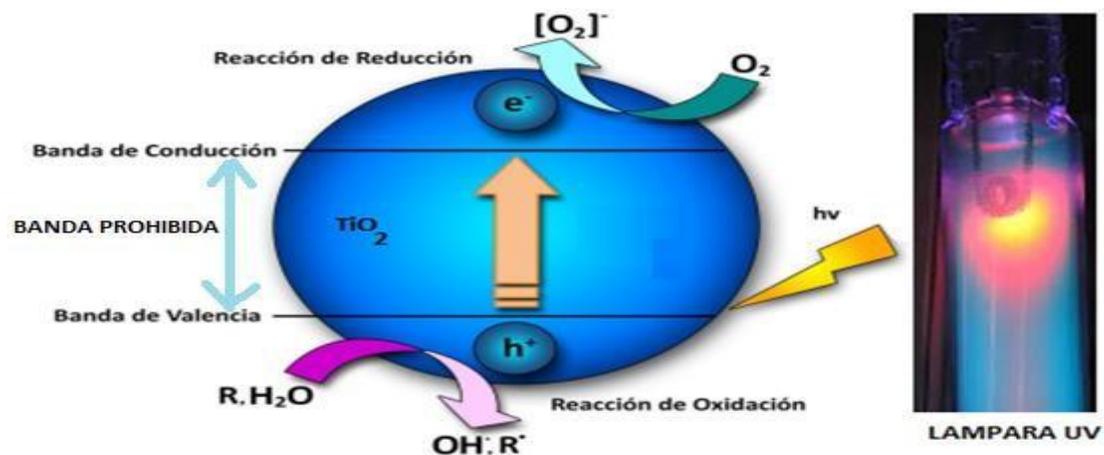


2.2.4. Fotocatálisis TiO_2/UV

La fotocatálisis Heterogénea comienza con la absorción de la luz UV por un sólido semiconductor en este caso el TiO_2 , como consecuencia de la excitación de un electrón desde la banda de valencia hacia la banda de conducción, de esta manera se forman pares de hueco (h^+) - electrón (e^-), estos pares son los que inician las reacciones de oxidación de la molécula orgánica, lo cual se muestra en la figura 1 (14).

Figura 1.

Degradación fotocatalítica de una molécula orgánica

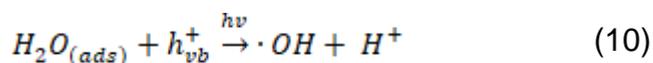


Cedeño, 2011.

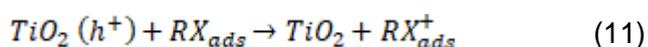
La formación de los pares hueco – electrón, se da con la siguiente reacción:



Los electrones obtenidos en la reacción anterior y ubicados en la banda de conducción son buenos reductores, los cuales, al reaccionar con el oxígeno disuelto, forman el ión *radical* O_2^- ; asimismo los huecos (h^+) presentes en la banda valencia son buenos oxidantes, los cuales, absorben H_2O o OH^- y forman radicales OH^\bullet , produciéndose las siguientes reacciones:



Asimismo, por la transferencia de electrones, puede ocurrir la oxidación directa de la molécula orgánica; originándose la siguiente reacción:



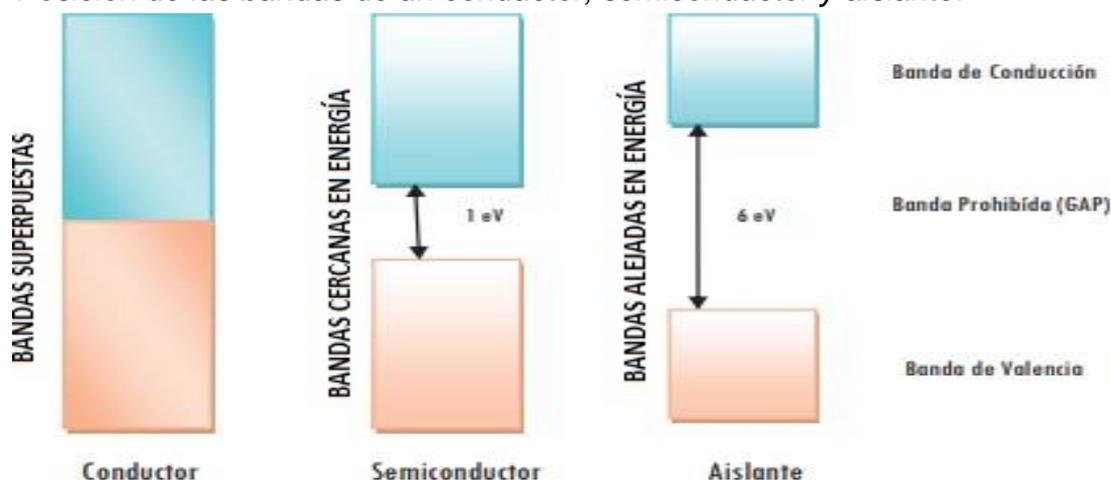
Cabe indicar que también sucede la reacción inversa cuando no existen los electrones adecuados o la energía se ha disipado en forma de calor, lo cual restringe un parte de los pares electrón – hueco, lo que propicia reducción en el rendimiento de la reacción (15).

2.2.5. Semiconductores

A diferencia de los metales que tienen una continuidad en sus estados electrónicos, los semiconductores tienen una región vacía, sin embargo, tienen una banda prohibida más reducida que los aislantes, según se puede observar en la figura 2 esta situación posibilita que, requiriendo solo una mínima cantidad de energía, algunos electrones que se encuentran en la banda de valencia salten a una banda de conducción, el cual corresponde al lugar donde se encuentran los electrones libres (15).

Figura 2.

Posición de las bandas de un conductor, semiconductor y aislante.



Cedeño, 2011.

2.2.6. Dióxido de titanio (TiO₂)

El dióxido de titanio (TiO₂) es abundante en la corteza terrestre, se encuentra en la naturaleza en tres estructuras cristalinas diferentes: anatasa, rutilo y brookita, siendo el rutilo y la anatasa los más efectivos en el tratamiento de contaminantes; asimismo el dióxido de titanio es estudiado y distinguido, a causa de la estabilidad en su estructura química, es el semiconductor más utilizado en fotocatalisis, debido a que es química y biológicamente inerte, no es tóxico, es estable a corrosión fotoquímica y química, es económico, asimismo posee un gap de energía de 3.2 eV que puede ser excitado con luz UV de $\lambda < 387$ nm, la misma que puede ser proveída por la luz solar (16).

Generalmente el semiconductor que ha demostrado destacados resultados en diferentes estudios es el dióxido de titanio en forma de anatasa (17)

La anatasa es termodinámicamente menos estable que el rutilo, no obstante, posee mayor área superficial y alta densidad superficial de sitios activos para la adsorción. La energía de banda prohibida de la fase anatasa es de 3.2 eV mientras que para el rutilo es de 3.0 eV, a pesar de ello los procesos oxidativos son semejantes (18).

2.2.7. Factores que influyen en el proceso de fotocatalisis heterogénea

Los principales factores que influyen son:

Características y concentración del catalizador: área superficial alta, distribución del tamaño de partícula uniforme, partículas de forma esférica y ausencia de porosidad interna son características óptimas del catalizador; respecto a la concentración óptima corresponde cuando partículas están iluminadas y no hay un exceso que evita o enmascara parte de la superficie de las partículas (19).

Materia orgánica: usualmente la materia orgánica que se encuentra en el agua es fácilmente oxidable. Este fenómeno entra en competencia directa con el uso del ozono como desinfectante, debido a que el ozono residual aparece en el agua cuando un porcentaje de este ozono ha sido empleado para la oxidación de esta materia orgánica, esta cantidad de ozono se denomina

“demanda química de ozono”.

pH: a pesar que el efecto del pH es menor sobre el ozono que sobre otros desinfectantes, aun así, se ve afectado por este factor, el pH en medio ácido es más eficiente, en el intervalo de pH de 3 a 5, pero depende del sistema reactivo. El pH influye en las propiedades superficiales del catalizador y en la forma química del compuesto a degradar, factores que alteran la velocidad de degradación y en la floculación del catalizador (16)

Temperatura: este factor también influye sobre la capacidad de desinfección de la mayoría de agentes desinfectantes. Con referencia al ozono, aumenta la velocidad de difusión y reacción del ozono y aumentala velocidad de destrucción del ozono en sus radicales. No obstante, diversos autores indican que variaciones de temperatura entre 0°C y 37°C afectan relativamente poco a la eficacia desinfectante del ozono. Se determina que un pequeño aumento de la eficacia cuando la temperatura sube. De todas formas, en los casos más extremos una temperatura elevada aumenta la cinética de inactivación de los gérmenes según la teoría de Van Hoff – Arrhenius.

Concentración de ozono en agua: al igual que con cualquier otro desinfectante, la única forma de control de la aplicación del ozono, es medir la concentración del mismo obtenida en el agua, es decir, es controlar el ozono libre residual de dicha agua.

2.2.8. Ventajas de la fotocatalisis heterogénea

Las ventajas de esta tecnología frente a los métodos convencionales son:

- Favorece la transformación química de una gran variedad de sustancias contaminantes.
- Posibilita la destrucción total de los contaminantes a través de mineralización.
- Permite la eliminación de contaminantes recalcitrantes que no pueden serlo por otros medios de tratamiento.
- No existe la producción de lodos.
- Es capaz de lograr tratamiento de contaminantes con concentraciones

- mínimas como trazas, de concentraciones de partes por billón (*ppb*)
- Es muy baja la formación de subproductos de reacción.
 - Con este método de tratamiento se logra las mejoras en las propiedades organolépticas del agua (color, olor, sabor).
 - La demanda de energía en este método es mucho menor que la requerida por otros métodos de tratamiento.
 - Los sistemas de tratamiento fotocatalíticos tienen una vida útil mayor a la de otros sistemas.
 - Es un tratamiento con mínimos impactos negativos.
 - Menores costos asociados al tratamiento en comparación a los de otros sistemas convencionales.
 - Sencilla aplicación de las metodologías (1).

2.2.9. Eficiencia del tratamiento fotocatalítico de tensoactivos aniónicos

El tratamiento de aguas residuales industriales (constituidas por variadas concentraciones de tensoactivos, detergentes, compuestos de baja alta toxicidad y biodegradabilidad) por medio fotocatalisis heterogénea es un tema considerablemente estudiado por la comunidad científica en respuesta a la urgencia de amortiguar los impactos ambientales causados por estas sustancias sobre los cuerpos de agua, equilibrio de los ecosistemas y el bienestar del ser humano (1).

2.3. Conceptual

2.3.1. Lavanderías comerciales

El servicio de lavado de prendas de vestir consiste en llevar a cabo el proceso de limpieza y secado, con lo cual se logra extraer manchas o suciedad impregnada en la prenda, causada por la contaminación diaria a la que están expuestas; esta puede ser un lavado en seco, es decir sin presencia del agua y solo haciendo uso de aditivos desinfectantes y limpiadores para aquellas prendas que sean necesarias usar este método y la mayoría de ellas que se realizan a través del uso de agua como agente disolvente de los aditivos de

limpieza y desinfección; posterior a este proceso se procede con el secado de acuerdo a las indicaciones que el tipo de prenda lo requiera; se puede incluir el planchado como un servicio adicional que comúnmente brindan las lavanderías (20).

El lavar ropa es una operación que tiene por objeto devolverles a sus tejidos su aspecto inicial. Para esto es necesario:

- Eliminar las manchas (suciedad).
- Conservar las fibras y los colores.
- Descontaminarla.
- Dejar el tejido con suavidad.

Esto se logra conociendo las máquinas que se utilizan y los productos que sean apropiados de acuerdo con el tipo de suciedad, las fibras textiles y el agua; por lo tanto, es necesario estar al tanto de factores de lavado:

- Naturaleza de las manchas.
- Clase de fibra textil del tejido.
- Influencia del agua.
- Ciclos de lavado.

2.3.2. Proceso de lavado

El proceso de lavado se lleva a cabo de la siguiente manera:

Clasificación de la ropa: Como punto de partida en el proceso de lavado, la ropa debe clasificarse procurando separarla considerando aspectos como: Tipo de tela, suciedad, lavado y otros.

Pesado de la ropa: La ropa ya clasificada será pesada en las balanzas y agrupadas de acuerdo a la capacidad de las máquinas lavadoras que se dispone. La ropa deberá estar húmeda para poder ser pesada.

Proceso de Pre lavado: Se inicia con el enjuague inicial y humectación con jabón y escobillado los cuales están destinados a eliminar el polvo, suciedades gruesas y manchas rápidamente solubles en agua fría.

Proceso de lavado: se coloca la ropa en las máquinas lavadoras y se agregan el detergente el cual actúa en la fase principal del proceso que elimina los restos de manchas y residuos, luego viene la etapa del blanqueado

, el cual consiste en la eliminación parcial de los productos detergentes y del agua sucia, luego el suavizado, en esta etapa se procede a aplicar el líquido suavizante y perfumador para las prendas y finalmente el enjuague final, la cual consiste en eliminar detergente y blanqueador de las prendas, y descenso de la temperatura del proceso de lavado (21).

Proceso de secado: Luego la ropa es llevada a las máquinas secadoras, en las cuales se obtiene la ropa semiseca.

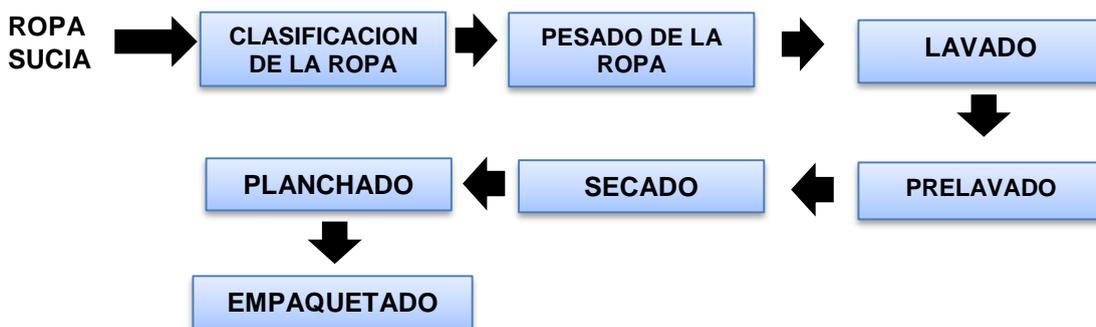
Proceso de Planchado: Las prendas secas son llevadas a la mesa de planchado y son planchadas de acuerdo a la naturaleza de las fibras textiles.

Empaquetado: Las prendas son envueltas en bolsas plásticas o cobertores de prendas y etiquetadas con el nombre del cliente.

Se observa el orden del proceso de lavado de ropa en la figura 3.

Figura 3.

Proceso de lavado de ropa.



2.3.3. Detergentes

Los detergentes son compuestos orgánicos sintéticos, que disminuyen la tensión superficial de los líquidos en que se hallan disueltos. El cambio en la tensión superficial se debe a la presencia de una sustancia activa llamada surfactante.

Los surfactantes están formados por moléculas relativamente grandes estas sustancias combinan en una sola molécula un grupo fuertemente hidrofóbico con uno fuertemente hidrofílico. El grupo hidrofóbico es un radical hidrocarburo que contiene de 10 a 20 átomos de carbono en una cadena recta o ligeramente ramificada. El grupo hidrofílico corresponde a la parte polar de

la molécula, que puede ser: iónico o no iónico. La parte polar es soluble en agua; mientras que la cadena hidrocarbonada es soluble en aceites o grasas (22). Los detergentes tienen acción solubilizante, humectante, dispersante, emulsionante y de formación de espuma; todas ellas provocadas por el descenso en la tensión superficial del líquido en el que se encuentran. Gracias a la baja tensión superficial, los detergentes penetran en todas las concavidades y se combinan con los residuos, para luego atraerlos hacia la superficie y mantenerlos en suspensión (23).

En promedio una muestra comercial de detergente contiene moléculas de LAS en aproximadamente las siguientes proporciones: C_{10} 3,9%, C_{11} 37,4%, C_{12} 35,7%, C_{13} 23,1% y C_{14} 0,2%. El C_{12} es uno de los componentes representativos en las formulaciones de los detergentes domésticos y presenta propiedades físicas, químicas y toxicológicas intermedias entre los componentes de LAS de cadena corta C_{10} , C_{11} y de cadena larga C_{13} y C_{14} . Se añaden aditivos al detergente para favorecer la remoción de las grasas y suciedad y mejorar la calidad del lavado. Sobre la base de los ingredientes declarados en las envolturas de los productos comerciales en el mercado local se elaboró la tabla 2 (8).

Tabla 2. Ingredientes declarados en envolturas de detergentes comerciales.

Detergente	Surfactante LAS	Cosurfactante	Na ₂ CO ₃	Na ₂ SO ₄	Blanqueador Óptico
Ñapancha	X	X	X		X
Sapolio Lavavajilla	X		X		X
Ariel	X	X		X	X
Ace	X	X			X
Opal	X	X	X	X	X
Bold-3	X				X
Magia Blanca	X	X		X	X
Ariel con blanqueador	X	X		X	X
Blanca Nieve	X		X	X	X

Visitación y Gamboa (2005)

2.3.4. Principales componentes del detergente

Las sustancias que se usan en las fórmulas de los detergentes son:

Surfactantes o tensoactivo: se define como sustancias sintéticas de superficie activa, que proveen a los detergentes la capacidad de limpieza (24).

Agentes suavizadores: sustancias reductoras de la dureza del agua, suministran las condiciones óptimas para la remoción de la suciedad, facilitan la solubilización de todos los componentes del detergente, promueven la dispersión de la suciedad y evitan que se vuelva a depositar en el tejido. Entre los principales agentes suavizadores tenemos: tripolifosfato de sodio, ácido etilendiaminotetracético (EDTA), carboximetilcelulosa, carbonatos, silicatos y citratos (23).

Agentes eliminadores de manchas: agente que se encargan de degradar las grasas para que puedan ser removidas de los tejidos. Entre los más importantes tenemos: blanqueadores y enzimas (23).

Abrillantadores ópticos: son sustancias fluorescentes que se encargan de que la ropa se vea más blanca o que los colores queden más vivos (23).

Reguladores de espuma: son necesarios para que los surfactantes realicen una limpieza eficiente. Entre los más importantes tenemos: jabones de ácidos grasos saturados y amidas de ácidos grasos superiores (24).

Inhibidores de la corrosión: son sustancias que se añaden para proteger los objetos que se lavan. El más utilizado es el silicato de sodio (1).

Perfumes: su principal función es dar olor a la ropa (25).

Diluyentes: no tienen ninguna función limpiadora, se los usa para aumentar el volumen del detergente. El más utilizado es el sulfato de sodio (25).

2.3.5. Clasificación de detergentes

En la tabla 3 se dan a conocer los principales tipos de detergentes:

Tabla 3. Clasificación de detergentes.

Tipos de Detergentes	Estructura	Características	Ejemplos
Detergentes aniónicos	Están constituidos por una cadena alquílica lineal o ramificada que contiene de 10 a 14 átomos de carbono y en el extremo polar de la molécula se encuentra un anión.	Este tipo de surfactantes son básicamente sales de sodio del tipo sulfato $[\text{ROSO}_3]^-$ Na^+ y tipo sulfonato $[\text{RSO}_3]^- \text{Na}^+$.	<ul style="list-style-type: none"> • Sulfato de alcoholes grasos. • Alquil benceno sulfonato • Alquil benceno sulfonato lineal
Detergentes no iónicos	Están constituidos por una cadena alquílica larga y en el extremo polar de la molécula se encuentra un grupo neutro. Su fórmula molecular es del tipo: $\text{RO}(\text{CH}_2\text{-CH}_2\text{O})_n\text{H}$ (18).	La solubilidad de estos surfactantes depende de la cantidad de grupos polares que estén presentes en la molécula.	<ul style="list-style-type: none"> • Alcoholes • Alquil fenoles etoxilados
Detergentes catiónicos	Están constituidos por una cadena alquílica larga y en el extremo polar de la molécula se encuentra un catión. El grupo hidrofílico lo constituye el nitrógeno tetravalente en forma de sales de amonio cuaternario o sales de alquil aminas. El anión suele ser un ión cloruro o bromuro.	Poseen las mejores propiedades bactericidas y desinfectantes que como agentes de limpieza.	<ul style="list-style-type: none"> • Cloruro de cetiltriethyl amonio

2.3.6. Detergentes aniónicos

Los surfactantes que se emplean en las fórmulas de los detergentes aniónicos, están constituidos por una cadena alquílica lineal o ramificada que contiene de 10 a 14 átomos de carbono y en el extremo polar de la molécula se encuentra un anión. Este tipo de surfactantes son básicamente sales de sodio del tipo sulfato $[\text{ROSO}_3] - \text{Na}^+$ y tipo sulfonato $[\text{RSO}_3] - \text{Na}^+$. Entre los más importantes tenemos: sulfatos de alcoholes grasos, alquil benceno sulfonato y alquil benceno sulfonato lineal (26).

- Alquilbencenosulfonatos de cadena ramificada (ABS)

Hasta principios de 1960, el surfactante aniónico más empleado era el alquil benceno sulfonato (ABS). El ABS obtenido a partir del tetrámero del propileno, es un compuesto altamente ramificado que al sulfonarse tiene propiedades deterativas muy buenas, aunque adolece de un adecuado comportamiento en el medio ambiente, debido a que su estructura molecular lo hace resistente al ataque de los microorganismos, por lo que no se biodegrada fácilmente (27).

- El dodecibencenosulfonato sódico

Es un buen surfactante con excelentes propiedades de formación de espuma y como se deriva de materias primas económicas y fácilmente disponibles. Sin embargo, estos materiales son biológicamente duros, es decir, se degradan biológicamente con bastante lentitud debido al grupo alquilo altamente ramificado, basado en propileno tetrámero. Esto quiere decir que una proporción significativa de ABS sódico que va a los desagües domésticos sobrevive al tratamiento de aguas residuales y se descarga a los ríos y lagos. Con ello se originan espumas desagradables durante el tratamiento de aguas residuales y en los ríos (26).

- Alquilbencenosulfonatos de cadena lineal (LAS)

En el principio de la década de 1960 se desarrolló y comercializó un conjunto de rutas para los alquilbencenos de cadena recta; los materiales duros basados en propileno tetrámero han sido ya reemplazados por alquilbencenosulfonatos suaves.

Las propiedades de los alquilbencenosulfonatos sódicos de cadena recta

dependen de la longitud de cadena del grupo alquilo y de la posición del anillo bencénico en la cadena alquílica (26).

El Alquilbencenosulfonatos de cadena lineal (LAS) obtenido a partir de cloroparafinas u olefinas lineales, es un compuesto no ramificado en donde el anillo bencénico puede estar ligado a cualquier punto de la cadena alquílica excepto en los extremos (1).

2.3.7. Vertidos de lavanderías

La industria del lavado constituye un servicio y no un proceso de fabricación, por lo que resulta normal que no existan subdivisiones específicas. Los vertidos de las lavanderías se componen de jabones, carbonato sódico y detergentes utilizados para quitar la grasa, suciedad y almidón que poseen los trajes y ropas sucias. Estos vertidos poseen una gran turbidez y alcalinidad y una materia orgánica rápidamente putrescible con una DBO de 400 a 1.000 ppm. El método habitual para tratar estos vertidos consiste en una precipitación química, después de haber ajustado el pH mediante dilución o la adición de productos químicos. Si se necesitara un segundo tratamiento auxiliar, se pueden oxidar con suma facilidad los vertidos mediante la utilización de filtros bacterianos. Algunas veces se utiliza el método de lodos activados, pero no resulta eficaz como el de los filtros bacterianos.

2.3.8. Remoción de detergentes en aguas residuales

Los detergentes pueden ser removidos de las aguas residuales mediante los siguientes tratamientos:

Tratamiento biológico aerobio: esta técnica se basa en el empleo de un reactor biológico que mantiene una alta concentración de microorganismos, los cuales se encuentran en suspensión o pegados a las paredes del reactor. El mecanismo de oxidación biológica consiste en que los microorganismos producen una enzima que se encarga de degradar la molécula de los detergentes, para poder utilizarla como fuente de carbono.

Este método es apropiado para tratar detergentes biodegradables, hasta una concentración máxima de 30 mg/l. Cambios bruscos en la temperatura o en la

concentración, pueden ser perjudiciales al proceso y a los microorganismos (28).

Tratamiento con ozono: el empleo del ozono es muy apropiado para el tratamiento de aguas, ya que recupera sus características comunes, eliminando todo tipo de sabores, colores y olores extraños. El ozono tiene la capacidad de oxidar hierro, manganeso y otros metales pesados, que están presentes en el agua. Además, neutraliza cianuro, amoníaco, nitritos y urea (26).

Destruye virus, bacterias y hongos: es apto para disgregar compuestos orgánicos tales como fenoles, trihalometanos, pesticidas y detergentes. El ozono descompone gran parte de los detergentes biodegradables y no biodegradables, transformándolos en estructuras más simples de biodegradación. La demanda de ozono por parte de los detergentes es del orden de 3 mg por cada mg de ABS, que corresponde a un poco menos de 10 mg de ozono por radical funcional sulfonato ($-\text{SO}_3\text{Na}$). Para reducir en un 50 % el contenido de detergentes aniónicos no biodegradables, es necesario utilizar dosis que varían entre 1,5 y 3 g de ozono por m³ de agua. Mediante este proceso se puede reducir la concentración de detergentes hasta en un 70 - 90 % (19).

Tratamiento con carbón activado: este proceso se emplea en plantas de purificación de agua potable para la remoción de color, compuestos productores de olores y de sabores, así como de contaminantes orgánicos. En plantas de tratamiento de aguas residuales se usa como tratamiento terciario, después del tratamiento biológico o luego del tratamiento físico- químico, para mejorar la calidad del efluente. En general, el carbón activado es especialmente útil para la adsorción de compuestos orgánicos disueltos. Mediante este proceso se puede remover hasta un 90 % de orgánicos disueltos (22).

2.3.9. Optimización del proceso de oxidación avanzada

Existe la necesidad de optimizar este tipo de tecnologías por ello es absolutamente necesaria una etapa previa de modelización y caracterización. Esta etapa debe estar enfocada al adecuado dimensionamiento de los equipos y a la adecuada disposición y dosificación de los oxidantes, para hacer que estas tecnologías sean eficientes, además de ambiental y económicamente sostenibles (29).

2.4. Definición de términos básicos

Aguas residuales: son cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica. Las aguas residuales incluyen las aguas usadas, domésticas, urbanas y los residuos líquidos industriales o mineros eliminados.

DQO: demanda química de oxígeno es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida.

DBO: es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida.

DBO5: es la materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Se utiliza para medir el grado de contaminación; normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O₂/L).

Fotocatálisis heterogénea es un proceso de oxidación avanzado, en donde se emplea un sólido semiconductor (TiO₂, ZnO, etc.) que bajo irradiación forma una suspensión estable para provocar una reacción en la interfase sólido/gas o sólido/líquido.

Luz ultravioleta (UV): es aplicado a la radiación electromagnética emitida por la región del espectro que ocupa la posición intermedia entre la luz visible y los rayos X.

Ozono: gas muy oxidante de color azulado, que se forma en la ozonósfera y que protege la Tierra de la acción de los rayos ultravioleta del sol; es un estado alotrópico del oxígeno producido por la electricidad.

SST: indica la cantidad de sólidos (medidos habitualmente en miligramos por litro - mg/l), presentes, en suspensión y que pueden ser separados por medios mecánicos, como por ejemplo la filtración en vacío, o la centrifugación del líquido.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. *Hipótesis General*

Se obtendrá un alto porcentaje de degradación del tensoactivo aniónico mediante ozono, luz UV y TiO_2 en las aguas residuales provenientes de una lavandería comercial.

3.1.2. *Hipótesis específica*

- a) Al determinar la concentración del tensoactivo aniónico de aguas residuales provenientes de una lavandería comercial nos permitirá conocer su concentración inicial de tensoactivo aniónico como punto de partida para el tratamiento.
- b) Al identificar los parámetros de operación más adecuados para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de una lavandería comercial se podrá evaluar el efecto sobre el porcentaje de degradación del tensoactivo aniónico.

3.2. Operacionalización de variable

3.2.1. *Definición conceptual*

- Variable independiente

X_1 : Flujo de agua residual

X_2 : Concentración de TiO_2

X_3 : Tiempo de exposición

- Variable dependiente

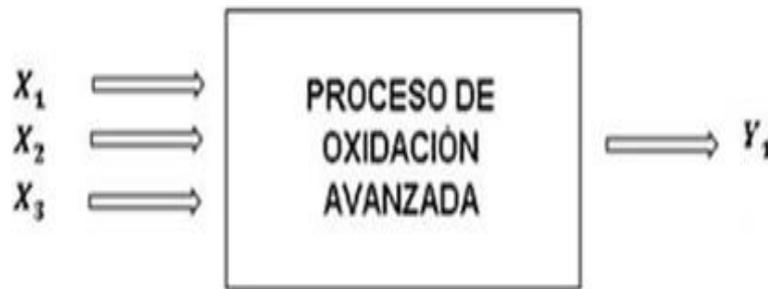
Y_1 = Porcentaje de degradación del tensoactivo aniónico.

$$\% \text{ degradación del tensoactivo aniónico} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \% \quad (12)$$

Las variables de operación y respuesta en el equipo de oxidación avanzada mediante el ozono, luz UV y TiO_2 se aprecian en la figura 4:

Figura 4.

Variables de operación y respuesta del POA mediante ozono/UV/ TiO_2



Las variables independientes seleccionadas y niveles se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Matriz de Experimentos

N°	Variables Independientes	Notación	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
1	Flujo de agua residual (L/min)	X_1	3	5	7
2	Concentración TiO_2 (mg/L)	X_2	20	40	60
3	Tiempo de exposición (minutos).	X_3	60	90	120

Las condiciones de las corridas experimentales se muestran en la tabla 5:

Tabla 5. Condiciones de las corridas experimentales

N°	FLUJO DE AGUA RESIDUAL	CONCENTRACIÓN DE TIO₂	TIEMPO DE EXPOSICIÓN
1	3	60	90
2	3	60	120
3	3	40	120
4	7	20	90
5	7	20	120
6	5	60	60
7	5	20	120
8	3	40	90
9	5	40	90
10	5	20	90
11	5	20	60
12	5	60	120
13	3	20	60
14	3	20	90
15	5	40	60
16	7	40	90
17	7	40	120
18	7	40	60
19	5	40	120
20	7	60	60
21	3	40	60
22	3	20	120
23	7	60	120
24	3	60	60
25	5	60	90
26	7	20	60
27	7	60	90

3.2.2. Operacionalización de variables

En la tabla 6 se muestran la operacionalización de las variables, en la que se muestran las dimensiones, indicadores e instrumentos.

Tabla 6. Operacionalización de las Variables

Variable	Tipo de Variable	Dimensión	Indicadores	Instrumento
Flujo de agua residual	Independiente	Caudal	L/min.	Flujómetro
Tiempo de exposición	Independiente	Periodo de tratamiento	min.	Cronómetro
Concentración de TiO_2	Independiente	Cantidad de TiO_2 por litro de agua residual.	mg/L	Balanza analítica
Porcentaje de degradación del tensoactivo aniónico	Dependiente	Diferencia porcentual de los valores de concentración de tensoactivo aniónico antes y después del tratamiento.	%	Software estadístico

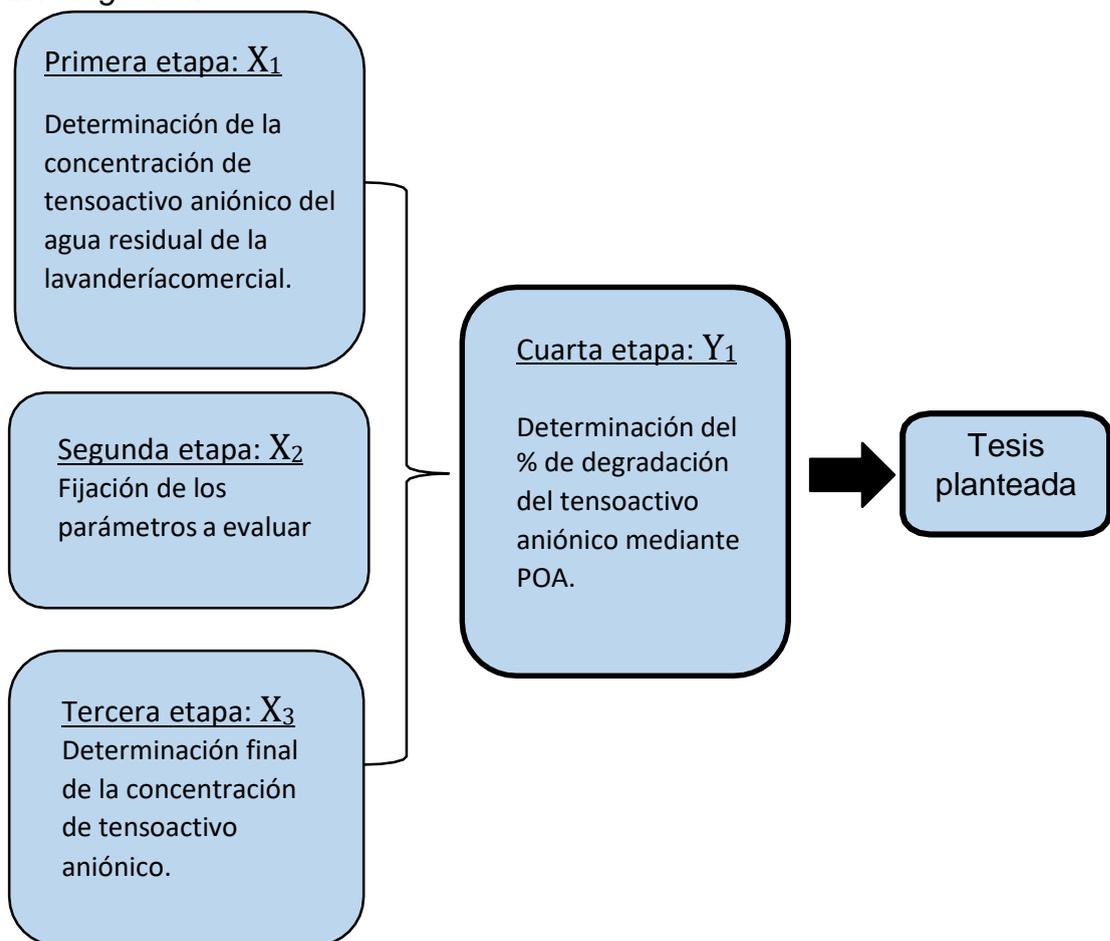
IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

4.1. Diseño metodológico

Se propuso el trabajo de investigación en cuatro etapas de las cuales inicialmente se plantearon 3 etapas (X_1 , X_2 , X_3) y se obtuvo la etapa principal Y_1 , se trabajó según lo mostrado en la figura 5.

Figura 5.

Diseño de investigación; se da a conocer cada etapa del proceso en la investigación.



4.2. Método de investigación

La experimentación permitió la manipulación una o más variables para poder medir su efecto sobre la variable dependiente o respuesta, cuyos resultados

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

Se tomó como punto de muestreo las aguas residuales provenientes de una lavandería comercial “QUICK WASH MIS AMORES” ubicado en Av. José G. Condorcanqui N°970 Urb. Tupac Amaru, Independencia Lima -Perú.

4.3.2. Muestra

La muestra para cada experiencia a tomar es de 7 litros de agua residual proveniente de la lavandería comercial “QUICK WASH MIS AMORES” que está en función de la capacidad del equipo experimental.

4.4. Lugar del estudio y periodo de desarrollo

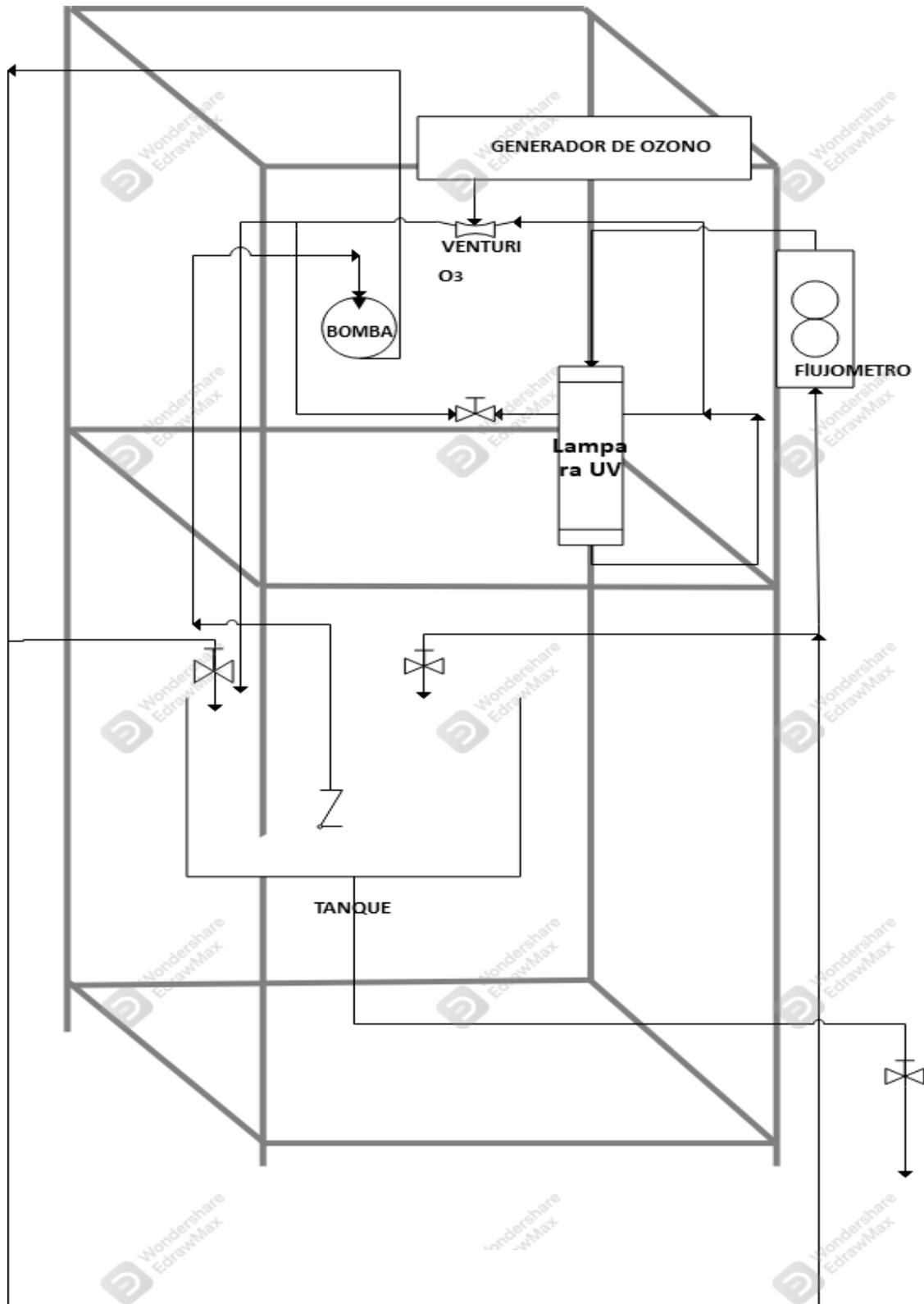
Laboratorio de operaciones y procesos unitarios de la Universidad Nacional del Callao, asimismo se desarrolló en un periodo de 4 meses.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

Se realizó un análisis químico instrumental en la determinación de la concentración de tensoactivo aniónico a las muestras de agua residual provenientes de una lavandería comercial para determinar su concentración inicial de tensoactivo aniónico y se evaluó la concentración de tensoactivo aniónico durante todo el proceso mediante el método SAAM. En la figura 7 se muestra el diagrama de equipo POA (proceso de oxidación avanzada) utilizado. La fotografía del equipo experimental se encuentra en el anexo 9 y las especificaciones técnicas de la lámpara UV, generador de ozono, bomba y flujómetro se encuentran en el anexo 7.

Figura 7.

Diagrama de equipo POA (proceso de oxidación avanzada).



4.5.1. Técnicas de recolección de las muestras de agua residual

Las muestras de aguas residuales del proceso de lavado se tomaron a la salida canal, luego se almacenaron hasta sus análisis respectivos en un frasco de plástico y se conservó en frío con una temperatura menor o igual a 4°C haciendo uso del gel pack. Previamente in situ se le hizo la medición de pH y temperatura, según se puede observar en la figura 7.

Figura 8.

Toma de muestra del agua residual en lavandería comercial



a) Determinación de la concentración de tensoactivo aniónico de las aguas residuales provenientes de la lavandería comercial.

El método usado para la determinación de concentración de tensoactivo aniónico de las aguas residuales provenientes de la lavandería comercial antes y después del tratamiento con el proceso de oxidación avanzada es el MÉTODO SAAM, según se observa en la tabla 7.

Tabla 7. Método usado para la determinación de la concentración de tensoactivo aniónico de las aguas residuales de lavandería comercial.

Análisis fisicoquímico	Método
Determinación de tensoactivoaniónico	Método Tensoactivos aniónicos en agua –MÉTODO SAAM

b) Tratamientos preliminares del agua residual proveniente de lavandería comercial

El agua residual proveniente de la lavandería comercial muestreada a la salida del canal se encontró con la presencia de cantidad de espuma que indirectamente no permitirían un mayor contacto del ozono, luz UV y TiO_2 con el agua tratar por ello se hizo uso de un antiespumante es cual es una sustancia inerte que solo actúa para disminuir la cantidad de espuma mas no influir en el tratamiento.

Tratamiento: antiespumante

Condiciones:

- Dosis de 0.5 gramos/ litro de agua residual.
- Tiempo de agitación manual 2 minutos.

c) Proceso de oxidación avanzada

Se inició la prueba experimental con el equipo de proceso de oxidación avanzada O_3/UV .

- Se fijó las condiciones de operación (flujo de agua residual, concentración de TiO_2 y tiempo de exposición) según el número de tratamiento establecido en el diseño, se fijó el pH del agua residual en el rango de (7-8.5) específico para este tipo de tratamiento según referencias bibliográficas; para fijar el caudal de agua residual a tratar se manipuló el flujómetro (3 L/min, 5 L/min, 7 L/min), se agregó al inicio de cada prueba concentración de TiO_2 en diferentes valores 20; 40; 60 miligramos de TiO_2 por litro de agua residual, finalmente sacando muestras a diferentes tiempos (60 min, 90 min y 120 min).
- Para cada prueba experimental se llenó el tanque de alimentación con un volumen de 7 litros de agua residual previamente acondicionada.
- Luego fue impulsado por la bomba para pasar por el flujómetro la lectura del flujo en el proceso experimental, luego pasó por una lámpara UV tipo C de 260 nm continuando su recorrido hasta pasar por un inyector Venturi el cual está conectado al generador de ozono (con producción constante de ozono 16,6 mg/min) mediante una válvula check asegurando el paso del gas de ozono al líquido mas no en sentido inverso.

- Finalmente retornó nuevamente al tanque de alimentación y continuó con el mismo procedimiento recirculando hasta alcanzar el máximo resultado en un tiempo determinado.

4.6. Análisis y procedimientos de datos

El análisis de los resultados experimentales, se efectuó mediante el software Minitab y Excel, mediante su aplicación se realizó una serie de tablas, gráficas y análisis de varianza (ANOVA) para determinar los factores más influyentes en la respuesta (y), se efectuó el análisis de regresión de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales provenientes de una lavandería comercial después de haber pasado por el equipo de oxidación avanzada mediante el ozono, luz UV y TiO₂, tomando en consideración la concentración de tensoactivo para comprobar la efectividad del método POA en la degradación del tensoactivo aniónico.

4.7. Aspectos éticos en la investigación

Los autores de la investigación se responsabilizan por la información emitida en la presente tesis titulada “Degradación del tensoactivo aniónico mediante ozono/luz UV/TiO₂ en aguas residuales provenientes de una lavandería comercial”, está de acuerdo con el Reglamento del Código de Ética de la investigación de la Universidad Nacional del Callao a través de la Resolución del Consejo Universitario N° 260-2019-CU.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

5.1.1. Concentración de tensoactivo aniónico del agua residual proveniente de la lavandería comercial “QUICK WASH MIS AMORES”

El muestreo del agua residual para las pruebas experimentales fue no probabilístico y por conveniencia, también llamadas muestras dirigidas, suponen un procedimiento de selección orientado por las características de la investigación, más que por un criterio estadístico de generalización (30). Se trabajó con una muestra representativa (muestreo en el día y hora de mayor actividad y consumo del agua en el proceso) de acuerdo al protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes procedentes del tratamiento de los efluentes domésticas o municipales emitida por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) de acuerdo a la Resolución Ministerial N°273-2013-Vivienda por ello para la determinación de concentración de tensoactivo aniónico del agua residual se tomó en cuenta el día y hora de mayor actividad y consumo de agua en el proceso.

En la lavandería comercial “QUICK WASH MIS AMORES” ubicado en Av. José G. Condorcanqui N°970 Urb. Tupac Amaru, Independencia Lima -Perú, lugar donde se desarrolla el proceso de lavado de prendas (según se observa en la figura 8), en dicho lugar se realizó el muestreo en situ del agua residual, según los días, horas, tipo de prendas a lavar en el proceso, peso promedio de ropa Kg/ horas de muestreo y cantidad de agua utilizada; de la manera como se observa en la tabla 8.

Tabla 8. Especificaciones del muestreo in situ del agua residual de lavandería comercial.

Dia	Hora	Tipos de prenda	Peso promedio de ropa Kg/horas de muestreo	Cantidad de agua utilizada (Litros)
Lunes	9:00 - 11:00 am	Polos, short	30	90
Miércoles	10:00 - 1:00 pm	camisas, pantalones, edredones,	50	150
Viernes	2:00pm- 4:00pm	sábanas, ternos etc.	80	240

Figura 9.

Proceso de lavado en la lavandería comercial "QUICK WASH MIS AMORES"



Se realizaron medidas de los parámetros como la temperatura y pH del agua obtenida de la manguera de desfogue de la lavadora, como se puede observar en la figura 9 y los resultados se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Datos tomados a la salida de la manguera de desfogue de la lavadora

Parámetro	Unidad	Resultados
pH	-	8.5
Temperatura	°C	21

Figura 10.

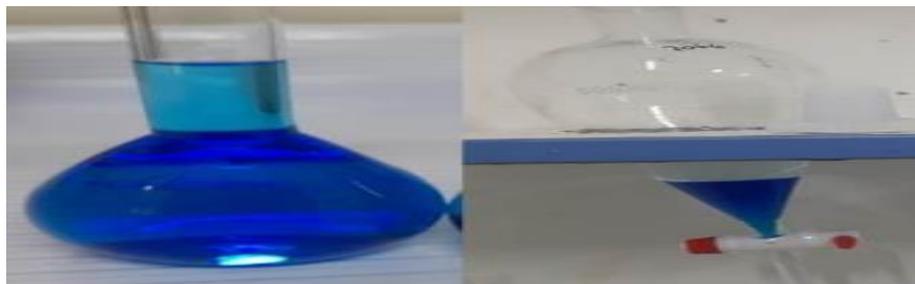
Medición in situ en la lavandería comercial “QUICK WASH MIS AMORES”



Se determinó la concentración de tensoactivo aniónico presente en el agua residual proveniente de la lavandería comercial debido a que son de interés específico para el estudio en determinados tiempos con el objetivo de encontrar el mayor porcentaje de degradación, se obtuvieron los resultados de la tabla 10; cabe indicar que el proceso de extracción se realizó en medio ácido con exceso de azul de metileno, según la figura 10.

Figura 11.

Proceso de extracción en medio acuoso ácido con exceso de azul de metileno.



Alab- analytical laboratory, 2023.

Tabla 10. Concentración de tensoactivo aniónico del agua residual de lavandería comercial específico para tensoactivo aniónico.

Parámetro	Unidad	Expresión	Resultados
Tensoactivo aniónico	mg/L	SAAM	150.616

5.1.2. Concentración de tensoactivo aniónico obtenidas después del tratamiento con Ozono/Luz UV/TiO₂.

El agua residual de lavandería comercial fue tratada mediante el proceso de oxidación avanzada Ozono/Luz UV/TiO₂ a diferentes niveles para cada una de las variables propuestas obteniéndose concentraciones de tensoactivo aniónico expresados en mg/L. En la tabla 11 se muestran los resultados obtenidos para la concentración de tensoactivo aniónico después del tratamiento.

Tabla 11. Concentración de tensoactivo aniónico después del tratamiento con Ozono/Luz UV/TiO₂ Concentración de tensoactivo aniónico (mg/L) después del tratamiento con ozono/ luz UV / TiO₂

Concentración de tensoactivo aniónico (mg/L)									
Tiempo de exposición (minutos)	Flujo de agua residual 3 LPM			Flujo de agua residual 5 LPM			Flujo de agua residual 7 LPM		
	Concent. [TiO ₂]			Concent. [TiO ₂]			Concent. [TiO ₂]		
	20 mg/L	40 mg/L	60 mg/L	20 mg/L	40 mg/L	60 mg/L	20 mg/L	40 mg/L	60 mg/L
60	94.29	124.29	115.10	114.49	109.65	104.69	121.84	142.62	125.84
90	90.00	111.43	104.08	95.82	103.88	90.84	92.76	121.23	92.76
120	86.33	83.18	99.49	88.47	74.39	81.34	75.00	81.74	83.57

5.1.1. Porcentaje de degradación de tensoactivo aniónico para cada prueba experimental.

El porcentaje de degradación de tensoactivo aniónico se realizó siguiendo el siguiente cálculo para cada prueba experimental:

Teniendo como concentración de tensoactivo inicial

$$\text{tensoactivo anionico}_{\text{inicial}} = 150.616 \text{ mg/L}$$

Tomando como referencia la concentración de tensoactivo aniónico inicial brindado por laboratorio "Alab- analytical" (se adjunta certificado de ensayo en Anexo 4) y utilizando la ecuación 12 del punto 3.2.

Definición conceptual; se obtuvo como resultado los porcentajes de degradación de

tensoactivo aniónico mostrado en la tabla 12.

Tabla 12. Porcentaje de degradación de tensoactivo aniónico para cada prueba experimental

Flujo de agua residual	Concent. TiO ₂	Tiempo de exposición	% Degradación de tensoactivo aniónico
3	20	60	37.398
3	20	90	40.243
3	20	120	42.682
3	40	60	17.481
3	40	90	26.018
3	40	120	44.777
3	60	60	23.579
3	60	90	30.896
3	60	120	33.942
5	20	60	23.985
5	20	90	36.381
5	20	120	41.259
5	40	60	27.202
5	40	90	31.031
5	40	120	50.609
5	60	60	30.489
5	60	90	39.691
5	60	120	45.998
7	20	60	19.107
7	20	90	38.414
7	20	120	50.203
7	40	60	5.312
7	40	90	19.513
7	40	120	45.732
7	60	60	16.450
7	60	90	38.414
7	60	120	44.512

5.2. Resultados inferenciales

5.2.1. Análisis estadístico de las pruebas experimentales

Los resultados estadísticos presentados a continuación en tabla 13, respecto del análisis del porcentaje de degradación de tensoactivo aniónico que fueron tratadas mediante ozono/UV/TiO₂ son obtenidos a partir de software MINITAB 18.

Tabla 13. Análisis de varianza para el porcentaje de degradación de tensoactivo aniónico

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
<i>Modelo</i>	18	3425.71	190.32	29.62	0.000
<i>Lineal</i>	6	2544.58	424.10	66.01	0.000
<i>FLUJO DE AGUA RESIDUAL</i>	2	135.29	67.65	10.53	0.006
<i>CONCENTRACIÓN DE TIO₂</i>	2	215.61	107.81	16.78	0.001
<i>TIEMPO DE EXPOSICIÓN</i>	2	2193.68	1096.84	170.73	0.000
<i>Interacciones de 2 términos</i>	12	881.13	73.43	11.43	0.001
<i>FLUJO DE AGUA RESIDUAL*CONCENTRACIÓN DE TIO₂</i>	4	300.43	75.11	11.69	0.002
<i>FLUJO DE AGUA RESIDUAL*TIEMPO DE EXPOSICIÓN</i>	4	302.98	75.75	11.79	0.002
<i>CONCENTRACIÓN DE TIO₂*TIEMPO DE EXPOSICIÓN</i>	4	277.71	69.43	10.81	0.003

Siendo el resumen del modelo $R^2 = 0.985$, a continuación se muestra la ecuación de regresión con los parámetros operacionales los cuales mostraron un valor de $p < 0,05$, que indican un efecto significativo sobre las variables respuesta.

$$\begin{aligned} \%DEGRADACION = & 33.382 - 0.380 A + 2.912 B - 2.531 C + 3.248 D - 3.640 E + 0.392 F - \\ & 11.049 G + 0.018 H + 11.031 I + 3.858 A *D + 0.064 A *E - 3.922 A *F - \\ & 5.667 B *D + 3.627 B *E + 2.040 B *F + 1.809 C *D - 3.691 C *E + 1.882 \\ & C *F + 4.199 A *G - 0.634 A *H - 3.565 A *I + 1.980 B *G - 0.611 B *H - \\ & 1.369 B *I - 6.179 C *G + 1.245 C *H + 4.934 C *I + 1.248 D *G + 1.698 \\ & D *H - 2.946 D *I - 2.028 E *G - 4.239 E *H + 6.267 E *I + 0.780 F *G + \\ & 2.541 F *H - 3.321 F *I \end{aligned} \quad (13)$$

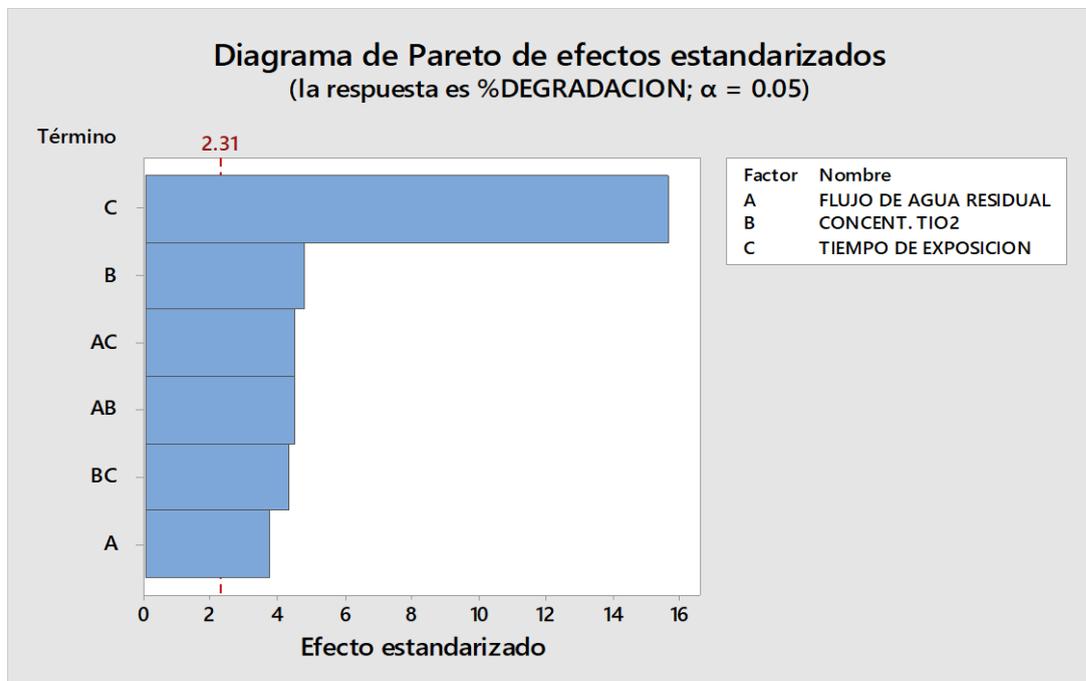
Donde A, B, C, D, E, F, G, H, I significa:

A: Flujo de A.R 3LPM	D: Conc.TiO ₂ 20 mg/L	G: Tiempo 60 min
B: Flujo de A.R 5LPM	E: Conc.TiO ₂ 40 mg/L	H: Tiempo 90 min
C: Flujo de A.R 7LPM	F: Conc.TiO ₂ 60 mg/L	I: Tiempo 120 min

Se realizó el análisis de los datos que se observan en la tabla, en donde se encontró un coeficiente de correlación $R^2 = 0.985$, lo que significa que el modelo estadístico propuesto explica el 98.5% de la variabilidad de la proporción de degradación de tensoactivo aniónico, lo cual indica un buen ajuste del modelo a los datos recolectados.

Figura 12.

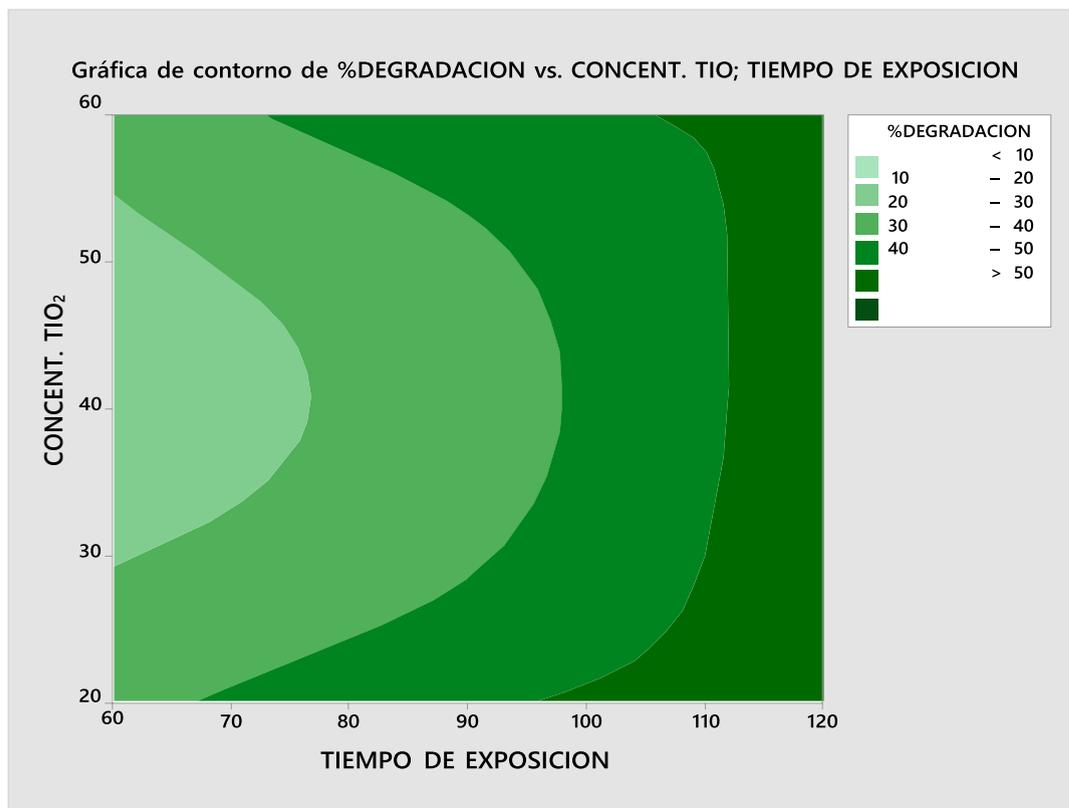
Diagrama de Pareto para el porcentaje de degradación de tensoactivo aniónico.



En estos resultados, los tres efectos principales flujo de agua residual (A), concentración de TiO_2 (B) y Tiempo de exposición (C) son estadísticamente significativos ya que pasan la línea de referencia obtenida a partir del nivel de significancia ($\alpha = 0.05$) en el software Minitab 18. Además, se observa que el efecto más grande es el tiempo de exposición (C) porque es el que más se extiende.

Figura 13.

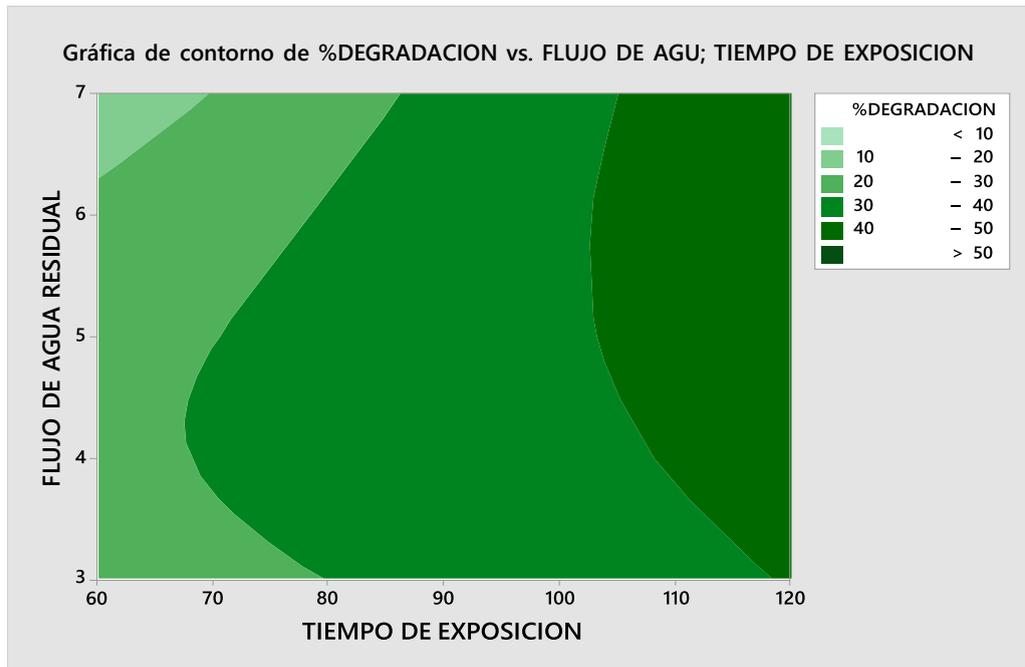
Grafica de contorno para el porcentaje de degradación de tensoactivo vs concentración de TiO_2 y tiempo de exposición.



Los valores más altos para el porcentaje de degradación del tensoactivo aniónico se encuentran en el lado derecho de la gráfica, que coincide con todos los valores de concentración de TiO_2 (B) y valores altos para tiempo de exposición (C). Los valores más bajos de calificación para el porcentaje de degradación del tensoactivo aniónico se encuentran el lado izquierdo de la gráfica, que coincide con el valor intermedio propuesto para concentración de TiO_2 (B) y todos los valores en tiempo de exposición bajo (C).

Figura 14.

Grafica de contorno para el porcentaje de degradación de tensoactivo vs Flujo de agua residual y tiempo de exposición.



Los valores más altos para el porcentaje de degradación del tensoactivo aniónico se encuentran en el lado derecho de la gráfica, que coincide con todos los valores de flujo de agua residual (A) y valores altos para tiempo de exposición (C). Los valores más bajos de calificación para el porcentaje de degradación de tensoactivo aniónico se encuentran el lado izquierdo de la gráfica cercanos al flujo de agua residual 7 LPM, que coincide con el valor menos para el tiempo de exposición (C).

5.2.2. Valores para los parámetros óptimos

La figura 13 muestra que los valores altos de tiempo de exposición son los más adecuados para lograr mayor degradación es por ello que se toma como valor óptimo el tiempo de exposición de 120 minutos. La figura 14 muestra como valor óptimo para mayor degradación el flujo de agua residual de 7 LPM y como en la figura 13 se observa que todos los valores de concentración TiO_2 en un tiempo alto de exposición tienen valores similares, se escoge el de menor concentración ya que eso disminuiría el costo del proceso. Por tanto, las condiciones óptimas

de los parámetros operacionales en el tratamiento Ozono/Luz UV/TiO₂ son las mostradas en la tabla 14.

Tabla 14. Parámetros óptimos encontrados en el tratamiento Ozono/Luz UV/TiO₂

Parámetros óptimos	Resultados
Flujo de agua residual	7 LPM
Concentración de TiO ₂	20 mg/L
Tiempo de exposición	120 min

Dosificación de ozono y UV a partir del caudal óptimo encontrado.

- Dosificación de ozono:

Dónde: Capacidad de generación de ozono: 1g/h = $1.66 \cdot 10^{-2}$ g/min.

Caudal del efluente óptimo: 7 L/min

$$\text{Dosificación de ozono} = \frac{1.66 \cdot 10^{-2} \text{ g/min}}{7 \text{ L / min}}$$

$$\text{Dosificación de ozono} = 0.237 \cdot 10^{-2} \text{ g/L}$$

- Dosis de UV:

Dónde: Potencia de la lámpara: 1 Kw/h = $6 \cdot 10^{-3}$ Kw/min

Caudal del efluente óptimo: 7 L/min

$$\text{Dosificación de Luz UV} = \frac{6 \cdot 10^{-3} \text{ Kw/min}}{7 \text{ L / min}}$$

$$\text{Dosificación de Luz UV} = 0.85 \cdot 10^{-3} \text{ Kw /L}$$

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación de las hipótesis con los resultados obtenidos

En el tratamiento con ozono/ luz UV/ TiO_2 en las aguas residuales provenientes de una lavandería comercial se obtuvo un porcentaje de degradación del tensoactivo aniónico promedio llegando alcanzar hasta el 50% de degradación.

Tabla 15. Comparación de resultados de la concentración de tensoactivo

Análisis	Resultados muestra inicial	Resultados Muestra final	% degradación
Tensoactivo aniónico	150.616	75	50.203

Según los resultados podemos concluir que el no haber llegado a porcentaje más altos de igual forma ha tenido efecto significativo en comparación a la concentración de tensoactivo inicial.

6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares

Cubillos & Moncada., 2006 en su tesis "*Evaluación a nivel de laboratorio de un sistema de remoción fotocatalítico de tensoactivos aniónicos*" las pruebas lo realizaron en rangos altos de tensoactivo (0-500 mg/L) trabajo en rangos de tiempo de exposición (0-120 min), también las concentraciones de TiO_2 (0-1 mg/L) y de H_2O_2 (0,2 - 2,5 ml /L) empleadas para las pruebas experimental, son similares al nuestro donde su máxima remoción lo obtuvo a 120 min asimismo mencionan que al estar en mayor tiempo de exposición permite la mayor liberación de iones OH; cabe indicar que en las pruebas que realizaron Cubillos & Moncada se obtuvieron valores mayores a 90% de degradación de tensoactivos aniónicos, cuyo porcentaje es mayor al obtenido por nuestro tratamiento con ozono/ luz UV/ TiO_2 . La diferencia posiblemente se debe a que los autores utilizaron H_2O_2 (0,2 - 2,5 ml /L) mientras que nosotros utilizamos O_3 ($0.237 * 10^{-2}$ g/L).

En comparación con Gil, et al.,2005 en su investigación "Oxidación

fotocatalítica de aguas residuales de la industria de lavandería utilizando TiO_2 como catalizador y luz UV”, en las pruebas que realizaron, trabajaron a concentraciones de TiO_2 en un intervalo de 0 - 1 g/L, utilizaron un volumen de 8 litros de muestra por ensayo con pH de 4 a 8 y trabajaron a un flujo de 7,02 L/min y tiempo de recirculación que fluctuó entre 60 a 180 minutos; obteniéndose una máxima degradación con H_2O_2 del 41,8% de degradación.

En comparación con Vera, 2008 en su tesis “Preparación de fotocatalizadores de TiO_2 soportados para su uso en potabilización en aguas”, utilizaron el sistema $H_2O_2/TiO_2/UV$ en un reactor de lecho fluidizado y un reservorio de 1 L de capacidad que recircula mediante una bomba peristáltica a 1 L/h, trabajando a solución de 17 mg/L de LAS, con exposición de 8 horas usando 4 lámparas de 8 W cada una, utilizando 6 mg de H_2O_2 con 180 mg de catalizador TiO_2 anatasa, impregnado sobre arena de cuarzo, recirculando a una velocidad de 1.0L/h, obtuvieron el 82 % de degradación, cuyo valor es mayor al obtenido por nosotros, la diferencia se debería al uso de una lámpara de menor intensidad y un tiempo de exposición menor.

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes

Los autores de la investigación se responsabilizan por la información emitida en la presente tesis titulada “Degradación del tensoactivo aniónico mediante ozono/luz UV/ TiO_2 en aguas residuales provenientes de una lavandería comercial”, está de acuerdo con el Reglamento del Código de Ética de la investigación de la Universidad Nacional del Callao a través de la Resolución del Consejo Universitario N° 260-20

VII. CONCLUSIONES

- La concentración de tensoactivo aniónico (LAS) presente en las aguas residuales provenientes de una lavandería comercial fue de 150.616 mg/L, el cual es un valor considerablemente alto.
- Se optimizó los parámetros operacionales del proceso de oxidación avanzada encontrándose los siguientes: Flujo de agua residual de 7 L/min., una concentración de TiO_2 de 20 mg/L y el tiempo de exposición de 120 minutos para la concentración inicial de tensoactivo aniónico en estudio.
- Se logró determinar un porcentaje de degradación de la concentración de tensoactivo aniónico (LAS) de 50% utilizando un proceso de oxidación avanzada mediante ozono / UV / TiO_2 , para las condiciones de concentración inicial en estudio y las condiciones óptimas de operación. Los resultados muestran que esta técnica es una alternativa viable para el tratamiento de efluentes provenientes de una lavandería comercial.

VIII. RECOMENDACIONES

- Trabajar a diferentes rangos de pH y temperatura ambiente el proceso de oxidación avanzada en estudios futuros.
- Utilizar el H₂O₂ para poder aumentar el porcentaje de degradación de tensoactivo aniónico ya que otros autores muestran que su uso es muy eficiente para lograr un alto porcentaje de degradación.
- Se propone realizar un proceso de degradación de tensoactivo aniónico a escala comercial utilizando el TiO₂ soportado sobre vidrio a fin de separarlo de la solución.

Bibliografía

1. **CARVAJAL, J.** Fotocatálisis heterogénea para el abatimiento de tensoactivos aniónicos en aguas residuales. *Artículo científico*. s.l.: Universidad del Magdalena, 2011.
2. **ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA.** *Aguas residuales el recurso desaprovechado*. 2017. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos.
3. **MELÉNDEZ, Z. y NAVARRO, R.** *Evaluación de la degradación de azul de metileno mediante la técnica de oxidación de aire húmedo con peróxido de hidrogeno empleando óxidos mixtos de Mn, Cu y/o Fe como catalizador para el tratamiento de aguas residuales provenientes del laboratorio de mi.* Pontificia Universidad Javeriana. 2019. Proyecto Integral de Grado para optar el título de Ingeniero Químico.
4. **CUBILLOS, D. y MONCADA, J.** *Evaluación a nivel de laboratorio de un sistema de remoción fotocatalítico de tensoactivos aniónicos.* Universidad La Salle. 2006. Proyecto de grado para optar el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario.
5. **DOMÍNGUEZ, S.** *Estudio de la degradación fotocatalítica dodecibencenosulfonato (DBS) en reactores con lampara de mercurio.* Universidad de Catalunya. 2012. Tesis para optar el grado de Ingeniero Químico.
6. **OYAMA, T., y otros.** *Solar photocatalysis, photodegradation of a commercial detergent in aqueous TiO₂ dispersions under sunlight irradiation.* 2004. pág. 525. Vol. 5.
7. **GIL, E.** *Oxidación fotocatalítica de aguas residuales de la industria de lavandería utilizando TiO₂ como catalizador y luz UV Ingeniería y Ciencia.* 2005. págs. 22-40. Vols. 1, 2.
8. **VISITACIÓN, L. y GAMBOA, N.** Degradación fotocatalítica de detergentes en efluentes domésticos. Lima : Departamento de Ciencias Pontificie Universidad Católica del Perú, 2005. Vol. XIX, 1. Revista química.
9. **HERRERA, X.** *Determinación y evaluación comparativa de la cinética de biodegradación de los tensoactivos lauril éter sulfato de sodio (aniónico), alcohol etoxilado (no iónico) y cocoamido propil betaína (anfótero) en*

- condiciones ambientales*. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. 2017. Tesis optar el Título Profesional de Ingeniero Químico.
10. **MENDOZA, A.** *Fotocatálisis para la degradación de detergentes en aguas residuales*. 2019.
 11. **LOVATO, E.** *Cinética de la descomposición del ozono y de su aplicación a la degradación de un compuesto modelo utilizando ozono y radiación ultravioleta*. Universidad Nacional del Litoral. 2010. Tesis para optar el grado de doctor en Ingeniería Química.
 12. **TERÁN, M.** *Estudio de la aplicación de procesos de oxidación avanzada a aguas contaminadas*. Universidad Politécnica de Catalunya. 2016. Tesis para optar el grado de doctor en ingeniería química.
 13. **KOPRIVANAZ, N., USIC, H. y OZIC, A.** Minimization of Organic Pollutant Content in Aqueous Solution by means of AOPs: UV- and Ozone – Based Technologies. *Chemical Engineering Journal*. 2006. Vol. 123, págs. 127-137.
 14. **VERA, M.** *Preparación de fotocatalizadores de TiO_2 soportados para su uso en potabilización en aguas*. Departamento de Ciencias de la Pontificie Universidad Católica del Perú. 2008. Tesis para optar el título de Magister en Ciencia y Tecnología de Materiales.
 15. **CEÑEDO, V.** *Estudio de degradación de lignina asistida por fotosemiconductores TiO_2 , CeO_2 , Bi_2MoO_6 y $Bi_2W_2O_9$ impurificados con nitrógeno en presencia de energía UV y visible*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México : s.n., 2011. Tesis para optar el grado de maestra en Ciencias e Ingeniería Ambiental.
 16. **BLANCO, J., y otros.** *Purificación de aguas por fotocatalisis heterogénea: estado del arte*. 2001.
 17. **HERRMANN, J.** *Heterogeneous photocatalysis: fundamentals and applications to the removal of various types of aqueous pollutants*. [trad.] 1999 115-129. 1999. Vol. 1.
 18. **ASHXROFT, N. y MEMIN, N.** *Solid States physics*. New York : s.n., 1976.
 19. **PEY, J.** *Aplicación de procesos de oxidación avanzada (fotocatálisis solar) para tratamiento y reutilización de efluentes textiles*. Departamento de Ingeniería Textil y papelera. Valencia : s.n., 2008. Tesis Doctoral.
 20. **ARROYO, K., LUNA, R. y SAUÑE, M.** *Plan de negocios para determinar la viabilidad del servicio de lavandería delivery mediante el uso de tecnología*

- (*app*). ESAN. 2018. Tesis para obtener el grado de Maestro en Administración.
21. **ORTEGA, A., PINEDO, K. y ROQUE, C.** *Servicio de lavandería con un sistema de recojo y entrega a domicilio para Lima Metropolitana - distritos de San Isidro, Miraflores y Santiago de Surco.* Universidad Tecnológica del Perú. Tesis para optar el título de Licenciada en Administración de Empresas.
 22. **ROMERO, J.** *Purificación de agua.* Escuela Colombiana de Ingeniería. 2002.
 23. **KIRK, O.** *Enciclopedia de tecnología química.* Mexico : s.n., 1997.
 24. **AGUSTIN, G.** *Manual de Procesos Químicos en la Industria.* s.l. : McGraw Hill, 1998.
 25. **FAIR, G., GEYER, J. y OKUN, D.** *Ingeniería sanitaria y de aguas residuales.* s.l. : Limusa Noriega, 1989.
 26. **CHAMBI, Z.** *Tratamiento de aguas residuales de lavanderías por el proceso de coagulación - floculación y adsorción.* Universidad Nacional del Altiplano. 2018. Tesis para optar el título de Ingeniero Químico.
 27. **MALDONADO, L.** *Estudio de la remoción de detergentes aniónicos tipo sulfato con carbón activado.* Escuela Politécnica Nacional. 2008.
 28. **CERIDE.** *Degradación del Petróleo y detergentes con Microorganismos.* s.f.
 29. **SANZ, J., LOMBRAÑA, J. y DE LUIS, A.** *Estado del arte en la oxidación avanzada a efluentes industriales: nuevos desarrollos y futuras tendencias.* s.l. : Afinidad, 2013. pág. 70 (561).
 30. **HERNÁNDEZ, R.** *Metodología de la Investigación.* s.l. : McGraw Hill, 2014. 6ta. edición.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

DEGRADACIÓN DE TENSOACTIVOS ANIÓNICOS MEDIANTE OZONO, LUZ UV y TiO₂ EN AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE UNA LAVANDERÍA COMERCIAL

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variables Dependientes	Indicadores	Método
¿En qué medida se podrá degradar la concentración de tensoactivo aniónico mediante ozono, luz UV y TiO ₂ en aguas residuales provenientes de una lavandería comercial?	Determinar la degradación de la concentración de tensoactivo aniónico mediante ozono, luz UV y TiO ₂ en aguas residuales provenientes de una lavandería comercial.	Se obtendrá un alto porcentaje de degradación del tensoactivo aniónico mediante ozono, luz UV y TiO ₂ en las aguas residuales provenientes de una lavandería comercial	Degradación del tensoactivo aniónico Dimensiones Porcentaje de degradación del tensoactivo aniónico.	Concentración de tensoactivo aniónico/tiempo de exposición al tratamiento	Cálculo de ingeniería
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variable independiente	Indicadores	
¿Cuál será la concentración inicial de tensoactivo aniónico de aguas residuales provenientes de una lavandería comercial?	Determinar la concentración inicial de tensoactivo aniónico de aguas residuales provenientes de una lavandería comercial	Al determinar la concentración del tensoactivo aniónico de aguas residuales provenientes de una lavandería comercial nos permitirá conocer su concentración inicial de tensoactivo aniónico como punto de partida para el tratamiento.	Tratamiento mediante ozono, luz UV y TiO ₂ Dimensiones Concentración inicial de tensoactivo aniónico	Concentración inicial (ppm)	Método SAAM
¿Cuáles son los parámetros de operación más adecuados del proceso de oxidación avanzada mediante ozono, luz UV y TiO ₂ para la degradación del tensoactivo aniónico de aguas residuales provenientes de una lavandería comercial?	Identificar los parámetros de operación más adecuados del proceso de oxidación avanzada mediante ozono, luz UV y TiO ₂ para la degradación del tensoactivo aniónico de aguas residuales provenientes de una lavandería comercial.	Al identificar los parámetros de operación más adecuados para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de una lavandería comercial se podrá evaluar el efecto sobre el porcentaje de degradación del tensoactivo aniónico.	Parámetros de operación más adecuados del proceso de oxidación avanzada mediante ozono, luz UV y TiO ₂	Flujo de A.R. Tiempo de exposición. pH	Experimental

Anexo 2.

Métodos Estándar para el Examen de Agua y Aguas Residuales – Parte 5540 C. Surfactantes Aniónicos como MBAS – 23 rd Ed.2017.

1. Discusión General

Definición y principio: Sustancias activas de azul de metileno (MBAS) provocan la transferencia de azul de metileno, un catiónico colorante, de una solución acuosa a un líquido orgánico inmiscible al equilibrarse. Esto ocurre a través de la formación de pares de iones por el anión MBAS y el catión azul de metileno. La intensidad del color azul resultante en la fase orgánica es una medida de MBAS. Los tensioactivos aniónicos se encuentran entre los más destacados de muchas sustancias, naturales y sintéticas, que muestran actividad en el azul de metileno.

2. Aparato

a. Equipo colorimétrico: Se requiere uno de los siguientes:

- 1) Espectrofotómetro, para usar a 652 nm, que proporciona una luz camino de 1 cm o más largo.
- 2) Fotómetro de filtro, que proporciona una trayectoria de luz de 1 cm o más y equipado con un filtro de color rojo que exhibe una transmitancia máxima cerca de 652 nm.

b. Embudos de decantación: 500 ml, preferiblemente con TFE inertellaves de paso y tapones.

3. Reactivos

a. Solución Stock LAS: Pesar una cantidad de la referencia material igual a 1,00 g LAS sobre una base 100% activa. Disolver en agua y diluir a 1000 mL; 1,00 mL = 1,00 mg LAS. Almacenar en un refrigerador para minimizarla biodegradación. Si es necesario, prepárese semanalmente.

b. Solución LAS estándar: Diluya 10,00 mL de la solución LAS estándar a 1000 mL con agua; 1,00 ml 10,0 µg LAS. Preparar a diario.

c. Solución indicadora de fenolftaleína, alcohólica.

d. Hidróxido de sodio (NaOH), 1N.

e. Ácido sulfúrico (H₂SO₄), 1N y 6N.

f. Cloroformo (CHCl₃): PRECAUCIÓN: El cloroformo es tóxico y un carcinógeno sospechoso. Tome las precauciones adecuadas contra inhalación y exposición cutánea.

g. *Reactivo de azul de metileno:* disolver 100 mg de azul de metileno † en 100 ml de agua. Transferir 30 mL a un matraz de 1000 mL. Agregar 500 ml de agua, 41 ml de H₂SO₄ 6 N y 50 g de fosfato de sodio, monobásico, monohidrato, NaH₂PO₄ H₂O. Agitar hasta disolver. Diluir a 1000 mL.

H. Solución de lavado: agregue 41 ml de H₂SO₄ 6 N a 500 ml de agua en un matraz de 1000 mL. Añadir 50 g NaH₂PO₄ H₂O y agitar hasta disuelto. Diluir a 1000 ml.

i. *Metanol (CH₃OH).* **PRECAUCIÓN:** *Los vapores de metanol son inflamables y tóxicos; tomar las precauciones adecuadas.*

j. *Peróxido de hidrógeno (H₂O₂), 30%.*

k. *Lana de vidrio:* Pre-extracción con CHCl₃ para eliminar interferencias.

l. *Agua, grado reactivo.* Uso para hacer todos los reactivos y diluciones.

4. Procedimiento

a. Preparación de la curva de calibración: Prepare una curva de calibración inicial que consista en al menos cinco estándares que cubran el al que se hace referencia (5540C.1f) o al rango de concentración deseado. Proporcionó que la linealidad se demuestra en el rango de interés ($r = 0.995$ o mejor) ejecutar estándares de verificación diarios en el límite de informes y una concentración por encima de la concentración esperada de las muestras. Los resultados del estándar de verificación deben estar dentro del 25 % del valor original en el límite de informe y el 10% del valor original para todos los demás. De lo contrario, prepare una nueva curva de calibración.

Prepare una serie de embudos de decantación para un blanco de reactivo y estándares seleccionados. Pipetear porciones de solución LAS estándar (5540C.3b) en embudos. Agregue suficiente agua para hacer el total volumen 100 ml en cada embudo de decantación. Tratar cada estándar como descrito en s d y e a continuación, y trazar una curva de calibración de absorbancia frente a microgramos LAS tomados, especificando el valor molecular peso del LAS utilizado.

b. Tamaño de muestra: Para análisis directo de aguas y aguas residuales, seleccione el volumen de la muestra sobre la base de la concentración esperada de MBAS:

Expected MBAS Concentration <i>mg/L</i>	Sample Taken <i>mL</i>
0.025–0.080	400
0.08–0.40	250
0.4–2.0	100

Si la concentración esperada de MBAS es superior a 2 mg/L, diluya muestra que contiene 40 a 200 µg MBAS a 100 mL con agua. Para el análisis de muestras purificadas por sublimación, disuelva la sublimación residuo (5540B.4e) en 10 a 20 ml de metanol, cuantitativamente transfiera la cantidad total (o una porción adecuada si es más de se esperan 200 µg de MBAS) a 25 a 50 mL de agua, evaporar sin hervir hasta que desaparezca el metanol, agregando agua según sea necesario para evitar que se seque, y diluir a unos 100 mL con agua.

c. Tratamiento con peróxido: Si es necesario para evitar la decoloración de azul de metileno por sulfuros, añadir unas gotas de H₂O₂ al 30%.

d. Apareamiento iónico y extracción:

1) Agregue la muestra a un embudo de decantación. Hacer alcalino por adición gota a gota de NaOH 1N, usando indicador de fenolftaleína. Descarga de color rosa mediante la adición gota a gota de H₂SO₄ 1N.

2) Agregar 10 mL de CHCl₃ y 25 mL de reactivo azul de metileno. Embudo de decantación vigorosamente durante 30 s y deje que las fases se separen. Como alternativa, coloque una barra de agitación magnética en el embudo de decantación; coloque el embudo de lado sobre un mezclador magnético y ajuste la velocidad de revolviendo para producir un movimiento oscilante. La agitación excesiva puede provocar la formación de emulsión.

Para romper emulsiones persistentes añadir un pequeño volumen de alcohol isopropílico (<10 mL); agregar el mismo volumen de alcohol isopropílico a todos los estándares. Algunas muestras requieren un período más largo de separación de fases que otros. Antes de drenar capa de CHCl₃, agite suavemente y luego deje reposar.

3) Retire la capa de CHCl₃ a un segundo embudo de decantación. Enjuague

el tubo de suministro del primer embudo de decantación con una pequeña cantidad de CHCl_3 . Repita la extracción dos veces más, usando 10 ml de CHCl_3 cada vez. Si el color azul en la fase del agua se vuelve se desvanece o desaparece, deséchelo y repita, usando una muestra más pequeña.

4) Combinar todos los extractos de CHCl_3 en el segundo embudo de decantación. Agregue 50 ml de solución de lavado y agite enérgicamente durante 30 s. No se forman emulsiones en esta etapa. Deje que se asiente, gire y dibuje eliminar la capa de CHCl_3 a través de un embudo que contiene un tapón de lana de vidrio en un matraz volumétrico de 100 mL; el filtrado debe ser claro. Extracto lave la solución dos veces con 10 ml de CHCl_3 cada una y agréguela al matraz a través de la lana de vidrio. Enjuague la lana de vidrio y embudo con CHCl_3 . Recoja los lavados en un matraz aforado, diluya hasta marcar con CHCl_3 , y mezcle bien.

d. Medición: Determinar la absorbancia a 652 nm frente a un blanco de CHCl_3

5. Cálculo: De la curva de calibración (5540C.4a) lea microgramos de LAS aparente (mol) correspondiente a la medida absorbancia.

$$\text{mg MBAS/L} = \frac{\mu\text{g apparent LAS}}{\text{mL original sample}}$$

Informar como "MBAS, calculado como LAS, peso molecular".

Anexo 3. Informes de Ensayo Oficial



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-2517

N° Id.: 0000070705

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: Deyci Maria Silva Guillen
2.-DIRECCIÓN	: Mz B Lote 5H.Huertos de Naranjal - San Martín de Porres - Lima
3.-PROYECTO	: DEGRADACION DE TENSOACTIVO ANIONICO MEDIANTE OZONO, LUZ UV Y DIOXIDO DE TITANIO AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE UNA LAVANDERIA COMERCIAL
4.-PROCEDENCIA	: LAVANDERIA QUICK WASH MIS AMORES - MTO
5.-SOLICITANTE	: DEYCI MARIA SILVA GUILLEN
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000000622-2023-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREADO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2023-03-02

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Agua Residual
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 1
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2023-02-23
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2023-02-23 al 2023-03-02

Liz Y. Quispe Quispe
Jefe de Laboratorio
CIP N° 211662



Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L. 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.

Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaça N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+011) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
Bellavista - Callao
Telf.: (+011) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 1 de 3

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-2517

N° Id.: 000070705

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Detergentes ¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5540 C, 23 rd Ed. 2017	Surfactants. Anionic Surfactants as MBAS

¹⁾SMEWW : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

²⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

SEDE PRINCIPAL

 Av. Guardia Chalaca N° 1877,
 Bellavista - Callao
 Telf.: (+01) 713 0756
 Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA

 Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
 Bellavista - Callao
 Telf.: (+01) 713 0636
 Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA

 COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
 Arequipa
 Telf.: (+054) 616 843
 Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA

 Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
 Castilla - Piura
 Telf.: (+073) 542 335
 Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 2 de 3

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-2517

N° Id.: 0000070705

IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-23-08038
CÓDIGO DEL CLIENTE:				LAVANDERIA QUICK WASH MIS AMORES MTO
COORDENADAS:				NO APLICA
UTM WGS 84:				NO APLICA
PRODUCTO:				Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Agua Residual Industrial
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO :				21-02-2023 17:00
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Detergentes (*)	mg/L	0,007	0,020	150,616

Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-2532

N° Id.: 0000070720

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: Deyci Maria Silva Guillen
2.-DIRECCIÓN	: Mz B Lote 5H.Huertos de Naranjal - San Martin de Porres - Lima
3.-PROYECTO	: DEGRADACION DE TENSOACTIVO ANIONICO MEDIANTE OZONO, LUZ UV Y DIOXIDO DE TITANIO EN AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE UNA LAVANDERIA COMERCIAL
4.-PROCEDENCIA	: SALIDA DEL SISTEMA PDA
5.-SOLICITANTE	: DEYCI MARIA SILVA GUILLEN
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000000683-2023-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREADO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2023-03-02

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Agua Residual
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 3
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2023-02-23
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2023-02-23 al 2023-03-02



Liz Y. Quispe Quispe
Jefe de Laboratorio
CIP N° 211662



Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L. 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.

Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 1 de 3

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-2532

N° Id.: 0000070720

III MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Detergentes ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5540 C, 23 rd Ed. 2017	Surfactants. Anionic Surfactants as MBAS

⁽¹⁾ "SMEWW" : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

 **SEDE PRINCIPAL**
 Av. Guardia Chalaca N° 1877,
 Bellavista - Callao
 Telf.: (+01) 713 0756
 Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

 **SEDE ZARUMILLA**
 Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
 Bellavista - Callao
 Telf.: (+01) 713 0636
 Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

 **SEDE AREQUIPA**
 COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
 Arequipa
 Telf.: (+054) 616 843
 Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

 **SEDE PIURA**
 Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
 Castilla - Piura
 Telf.: (+073) 542 335
 Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 2 de 3

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-2532

IV. RESULTADOS

N° Id.: 0000070720

ITEM	1	2	3			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-23-08076	M-23-08077	M-23-08078			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	MTS	MTR	MTT			
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA					
FECHA y HORA DE MUESTREO :	22-02-2023 10:06	22-02-2023 10:36	22-02-2023 11:06			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Detergentes (*)	mg/L	0,007	0,020	92,759	121,838	75,002

Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 3 de 3

Anexo 4. Ficha Técnica del TiO₂.



CERTIFICADO DE CALIDAD

PRODUCTO DIOXIDO DE TITANIO EN POLVO
LOTE 20211028
FECHA PRODUCCION 28/10/2022
FECHA DE VENCIMIENTO 27/10/2023

RESULTADOS DE ANALISIS:

PARÁMETROS	ESPECIFICACIONES	RESULTADOS
Fracción de masa de dióxido de titanio (%)	90 mín.	93
Fracción de masa en forma de rutilo (%)	97 mín.	98
Fracción de masa de volátiles (%)	0.5 máx.	0.2
Fracción de masa de sustancias solubles en agua (%)	0.2 máx.	0.2
pH	6.5 - 8.5	7.3
Residuos de tamiz de 0045, (%)	0.01 máx.	0.001
Poder blanqueador, arb. Unid.	1900 mín.	2080
Poder de ocultación g/m ²	35 máx.	25
Dispersibilidad um	15 máx.	12
Blancura arb. Unid.	95.8 mín.	96.9
CIELAB:	-	-
L*	-	97.6
A*	-	-0.2
B*	-	2.1
Absorción de Aceite, g/100g	25 máx.	22

**Certificamos que los datos corresponden 7 al certificado analítico recibido de nuestro proveedor.*

**Esta información no libera al cliente de hacer su propio control una vez recibida la mercadería.*

	DIRECCIÓN Av. 2 de Octubre Mz. B, Lt. 7 Urb. El Olivar del Norte – Los Olivos – Lima – Perú	TELÉFONOS +511 5287171 946 896 267 979 633 620	CORREOS ventas@sgquimicos.com	SÍGUENOS EN f i t
--	---	--	---	-----------------------------

Anexo 5. Fichas Técnica del Antiespumante

Certificate of analysis

Silicones
Lubricants
Additives
Chemicals



Name	Akasil Antifoam TG 30, Drum 200 kg	Batch number	B109298
Quantity	4,00 pcs	Manufacturing date	13/10/2022
Customer name	SG QUIMICOS DEL PERU SAC	Expiry date	18/10/2023
Reference number	SLO-280850	Analyse date	13/10/2022
Customer reference	00060	Item number	1044009-DRU01
		Customer item nr	

Parameter	Test result	Unit	Min. value	Max. value
Appearance	Pass			
<i>White to off-white liquid, Free from suspended matter</i>				
Stability	Pass			
pH	7,280	-	4,000	9,000
Non volatile content	33,250	% w/w	30,000	35,000
<i>Halogen Dryer at 125°C</i>				
Viscosity at 25°C	4.671,000	mm ² /s	1.500,000	5.000,000

The above product is conform our specifications when supplied in original container.
 The information above relates to the specified batch number and delivery.
 This data does not release the customer from checking the quality of this product immediately after acceptance.
 This certificate has been electronically generated and therefore is unsigned.

BRB International B.V.
 PO Box 3552, NL-6017 ZH Thom, Office: Branskamp 12, NL-6014 CB IJlervoorde, The Netherlands
 T +31 (0)475 56 03 00, F +31 (0)475 56 61 44 | Registration number: 13020953 | VAT number: NL005845367801

Ambition Flexibility Innovation

Anexo 6. Partes del equipo de proceso de oxidación avanzada Ozono/UV/O₂

El equipo de trabajo cuenta con tanque de alimentación de una capacidad de 7 litros en el cual se almacenará el agua residual a tratar este impulsado por una bomba pasa por el flujómetro el cual hará lectura del caudal con el cual se trabajará, luego pasa por una lámpara UV tipo C continua su recorrido hasta pasar por un inyector Venturi el cual está conectado al generador de ozono mediante una válvula check asegurando el paso del gas de ozono al líquido mas no en sentido inverso, la disminución de presión hace que haiga indirectamente una mezcla entre el gas de ozono y el agua residual luego se dirige al tanque de alimentación para luego seguir con el mismo procedimiento recirculando hasta alcanzar el máximo resultado en su tratamiento.



GENERADOR DE OZONO
Ozono output: 1g/h
Voltage input: B220/50Hz
Power :20w
Made in china



UV STERILIZER
Marca Ballast
Model SSE-00GPM
110V 50/-60 Hz
Power:6w



FLUJOMETRO O
MEDIDOR DE AGUA
7 LPM



ELECTROBOMBA
DE AGUA
0.1 HP

Anexo 7. Foto de la construcción del equipo POA (proceso de oxidación avanzada) en las instalaciones del laboratorio de operaciones unitarias LOPU bajo supervisión.



Anexo 8. Foto de la construcción del equipo POA (proceso de oxidación avanzada) terminada su construcción.

