

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES
DEL PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA EN EL
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES
PROVENIENTES DE UN MATADERO DE PORCINOS”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO

**NIETO UGARTE RUBÍ
HUAMAN LUSTRE JUAN JOHNNATHAN**

Callao, Agosto 2019
Perú

PRÓLOGO DEL JURADO

La presente Tesis fue Sustentada por la señorita Bachiller **NIETO UGARTE RUBI** y el señor bachiller **HUAMAN LUSTRE JUAN JOHNNATHAN** ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** conformado por los siguientes Profesores Ordinarios :

ING° CARLOS ALEJANDRO ANCIETA DEXTRE	PRESIDENTE
ING° JULIO CÉSAR CALDERÓN CRUZ	SECRETARIO
ING° RICARDO RODRIGUEZ VILCHEZ	VOCAL
ING° JUAN TAUMATURGO MEDINA COLLANA	ASESOR

Tal como está asentado en el Libro de Actas N° 1 de Tesis con Ciclo de Tesis Folio N° 58 y Acta N° 57 de fecha **UNO DE SETIEMBRE DE 2019**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la Modalidad de Titulación de Tesis con Ciclo de Tesis, de conformidad establecido por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 309–2017–CU de fecha 24 de octubre de 2017 y en su Cuarta Disposición Transitoria, norman los requisitos de los expedientes para la obtención del Grado Académico de Bachiller

DEDICATORIA

A Dios, por haberme dado la perseverancia y fortaleza para que fuera posible alcanzar esta meta. A mis padres Venancia y Percy A., a mis hermanos Katherine, Brayan y Percy H., por la confianza y apoyo incondicional. Al resto de mi familia y amigos que de manera directa e indirecta contribuyeron a la realización de la presente tesis.

Rubí Nieto Ugarte.

Dedicado este trabajo primero a Dios por darme salud y sabiduría, a mi mamita Raymunda que me guía en cada momento. A mis padres Juan y Celisa por apoyarme en mi vida profesional, a mi hermano Moisés, a mis familiares que confiaron en mí y a mis amigos que me motivaron salir adelante.

Juan Johnnathan Huamán Lustre.

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial a nuestro asesor, Ing. Juan Taumaturgo Medina Collana, por su tiempo, orientación, experiencias compartidas y conocimientos impartidos en cada etapa del desarrollo de la tesis.

A la Msc. Zoila Margarita Díaz Córdova (Jefe del Centro Experimental Tecnológico-UNAC), a la Msc. Gloria Tula Bravo Araujo, quienes nos apoyaron y confiaron plenamente en nosotros, abriéndonos las puertas del Centro Experimental Tecnológico-UNAC, para poder llevar a cabo parte del desarrollo de la tesis.

Al Dr. Luis Américo Carrasco Venegas (Decano de la FIQ-UNAC) y al Químico Farmacéutico Walter Tapia, docentes de la FIQ-UNAC, quienes confiaron también en nosotros, facilitándonos los ambientes y equipos de los Laboratorios de la FIQ UNAC. Al Msc. Policarpo Agatón Suero Iquiapaza, docente de la FIQ-UNAC por sus conocimientos estadísticos aportados en el presente trabajo.

A todos aquellos quienes nos brindaron su apoyo y de seguro lo seguirán haciendo siempre.

Gracias.

ÍNDICE

ÍNDICE	1
INDICE DE FIGURAS	3
INTRODUCCIÓN	7
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
1.1. Descripción de la realidad problemática	8
1.2. Formulación del problema	8
1.2.1 Problema general	8
1.2.2 Problemas específicos	9
1.3. Objetivo	9
1.3.1. Objetivo general	9
1.3.2. Objetivos específicos	9
1.4. Limitantes de la investigación	9
II. MARCO TEÓRICO	10
2.1. Antecedentes	10
2.1.1. Antecedentes internacionales	10
2.1.2. Antecedentes nacionales.	13
2.2. Bases teóricas	14
2.2.1. Mataderos	14
2.2.2. Proceso de Faenamiento de porcinos	15
2.2.3. Aguas residuales provenientes de mataderos de porcinos.	19
2.2.4. Tratamientos de aguas residuales usados en mataderos y plantas de procesamiento de carne.	19
2.2.5. Alternativas tecnologías avanzadas de oxidación	21
2.2.6. Proceso de oxidación avanzada	21
2.2.7. Proceso fotoquímico:O ₃ /UV	22
2.2.8. Parámetros operacionales que influyen en el proceso de oxidación avanzada	25
2.2.9. Importancia de los valores máximos admisibles en las aguas residuales de mataderos de porcinos.	26
2.3 Marco conceptual	28
2.4 Definición de términos básicos	29
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES	31
3.1. Hipótesis	31
3.1.1. Hipótesis General	31
3.1.2. Hipótesis específica	31
3.2. Variables	31
3.2.1. Variable dependiente	31
3.2.2. Variable independiente	31

3.3 Operacionalización de las variables	32
IV. DISEÑO METODOLÓGICO	33
4.1. Tipo de investigación.	33
4.2. Diseño de la investigación.	33
4.2.1. Determinación de las variables del diseño.	33
4.2.2. Diseño Factorial de la experimentación	35
4.3. Población y muestra	37
4.3.1. Población	37
4.3.2. Muestra	37
4.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	37
4.4.1. Técnicas	37
4.4.2. Instrumentos	41
4.5. Análisis y procedimientos de datos	42
V. RESULTADOS	43
5.1. Caracterización del agua residual proveniente del camal de porcinos.	43
5.2. Resultados de las variables respuestas obtenidas después del proceso de oxidación avanzada.	46
5.3. Resultados del porcentaje de remoción para cada prueba experimental.	46
5.4. Resultados del análisis estadístico de las pruebas experimentales	48
5.5. Resultados de los valores para los parámetros óptimos encontrados.	55
5.6. Resultados de las características fisicoquímicas del agua residual del camal de porcinos después del tratamiento óptimo.	58
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	59
6.1. Contrastación de las hipótesis con los resultados obtenidos.	59
6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares.	59
CONCLUSIONES	61
RECOMENDACIONES	62
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	63
ANEXOS	68
- Matriz de consistencia	69
- EQUIPO DE PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA OZONO- UV	70
- DETERMINACION DE SST:	71
- DETERMINACION DE DQO	72
- DETERMINACIÓN DE ACEITES Y GRASAS	73

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.Planta de sacrificio de ganado menor, porcino.	15
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso defaenamiento del porcino de un matadero.	18
Figura 3.Potencial redox de agentes químicos (eV)	22
Figura 4.Descomposición del Ozono..	23
Figura 5. Diseño de investigación; se da a conocer cada etapa del proceso en la investigación.	33
Figura 6. Diagrama de flujo del diseño experimental.....	34
Figura 7. Toma de muestra y acondicionamiento del agua residual de camal de porcinos.....	38
Figura 8. Coagulación-floculación del agua residual en el test de jarras.	39
Figura 9.Equipo de proceso de oxidación avanzada ozono-UV	41
Figura 10.Análisis fisicoquímico - demanda química de oxígeno del agua residual de un camal de porcino.....	45
Figura 11. Análisis fisicoquímico – solido suspendidos totales del agua residual de un camal de porcino	45
Figura 12. Muestras de agua residual del camal de porcinos después del tratamiento a diferentes tiempos.....	48
Figura 13.Diagrama de Pareto para el porcentaje de remoción de DQO	49
Figura 14.Gráfica de contorno para el porcentaje de remoción de DQO vs turbidez y tiempo.....	50
Figura 15.Grafica de contorno para el porcentaje de remoción de DQO vs caudal y turbidez.....	51
Figura 16. Diagrama de Pareto para el porcentaje de remoción de SST.....	53
Figura 17.Grafica de contorno para el porcentaje de remoción de SST vs turbidez y tiempo.....	54
Figura 18. Grafica de contorno para el porcentaje de remoción de SST vs caudal y turbidez.....	55
Figura 19. Curva DQO VS tiempo en el tiempo con los parámetros óptimos	57
Figura 20. Curva SST VS tiempo en el tiempo con los parámetros óptimos	57
Figura 21. Análisis de aceites y grasas en el agua residual de camal de porcinos.....	75
Figura 22. Fotografía del asesor orientándonos en la construcción del equipo	76
Figura 23. Muestras después de la prueba experimental acondicionadas	76
Figura 24. Muestra el documento para el permiso y uso de las instalaciones del laboratorio de investigación y desarrollo.	77

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Caracterización de los efluentes en cada etapa del faenamiento.....	19
Tabla 2 Clasificación de los procesos de oxidación avanzada	21
Tabla 3 Operacionalización de las variables	32
Tabla 4 Variables independientes y dependientes del tratamiento POA.	35
Tabla 5 Variables y niveles del proceso de oxidación avanzada.....	35
Tabla 6 Diseño factorial de las variables del proceso de oxidación avanzada.	36
Tabla 7 Métodos usados para la caracterización de las aguas residuales del camal de porcinos.....	38
Tabla 8 Instrumentos usados en las pruebas experimentales.....	41
Tabla 9 Número promedio de animales faenados según día de beneficio	43
Tabla 10 Resultados de los parámetros in situ del agua residual del camal de porcinos.....	43
Tabla 11 Características fisicoquímicas del agua residual del camal de porcinos.....	44
Tabla 12 Características fisicoquímicas del agua residual del camal de porcinos después de la coagulación con sulfato de aluminio.	44
Tabla 13 Características fisicoquímicas del agua residual del camal de porcinos después de la coagulación con sulfato de aluminio.	46
Tabla 14 Resultados de los análisis fisicoquímicos de sólidos suspendidos totales (SST).....	46
Tabla 15 Resultados del % de remoción de demanda química de oxígeno (DQO)	47
Tabla 16 Resultados del % de remoción de sólidos suspendidos totales (SST).....	47
Tabla 17 Análisis de varianza para el porcentaje de remoción de Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	48
Tabla 18 Análisis de varianza para el porcentaje de remoción de Sólidos suspendidos totales (SST).....	51
Tabla 19 Condiciones óptimas de los parámetros operacionales en el proceso de oxidación avanzada.	55
Tabla 20 Características fisicoquímicas del agua residual del camal de porcinos después del tratamiento óptimo.	58
Tabla 21 Resultados comparativos de la muestra problema y la muestra final.	59

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo optimizar los parámetros operacionales del proceso de oxidación avanzada en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de un camal de porcinos. Inicialmente se caracterizó mediante análisis fisicoquímicos el efluente obteniendo como respuestas: DBO₅ (625.9 mg/L), DQO (1965 mg/L), SST (978.3 mg/L) y aceites y grasas (354 mg/L).

Antes de llevar a cabo el proceso de oxidación avanzada O₃/UV el cual es de nuestro interés, se hizo un tratamiento preliminar coagulación-floculación para separar partículas de mayor tamaño, después de lo mencionado en el proceso de oxidación avanzada O₃/UV se fijó niveles de turbidez (300 NTU, 400 NTU y 500 NTU), niveles de caudal (1, 1.6 y 2 L/min) y tiempos de exposición (10, 15 y 20 min.), tomando las muestras respectivas en cada tiempo para así obtener las variables respuestas DQO y SST de cada corrida experimental en el proceso el cual condujo a la cuantificación del porcentaje de remoción.

Finalmente se obtuvo como condiciones óptimas para los parámetros operacionales en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de un camal de porcinos mediante el proceso de oxidación avanzada, una turbidez de 400 NTU, tiempo de exposición de 20 min y caudal de 2L/min., logrando un porcentaje de remoción al 83% en promedio de la materia orgánica (DQO) y 96% de remoción en sólidos suspendidos totales (SST), con las condiciones óptimas trabajadas experimentalmente se caracterizó el agua residual después del tratamiento obteniendo como respuestas: DBO₅ (185.6 mg/L), DQO (324 mg/L), SST (38 mg/L) y aceites y grasas (9.8 mg/L), permitiendo así la disposición final de las aguas tratadas cumpliendo con los valores máximos admisibles según la normativa vigente, como el Decreto Supremo N°010-2019-VIVIENDA, anexo 01.

Palabras clave: matadero, coagulante, agua residual, proceso de oxidación avanzada, variable respuesta, remoción.

ABSTRACT

The present work has as an objective the operational parameters of the advanced oxidation process in the treatment of wastewater from a pig hut. Initially, the tributary was characterized by physicochemical analysis, obtaining as responses: DBO₅ (625.9 mg / L), DQO (1965 mg / L), SST (978.3 mg / L) and oils and fats (354 mg / L).

Before carrying out the advanced oxidation process O₃/UV which is of our interest, a preliminary coagulation-flocculation treatment was carried out to separate larger particles, after what was mentioned in the advanced oxidation process O₃/UV is set turbidity levels (300 NTU, 400 NTU and 500 NTU), flow levels (1, 1.6 and 2 L / min) and exposure times (10, 15 and 20 min.), take respectful samples to obtain the variables DQO and SST responses of each experimental run in the process which leads to quantification of the removal percentage.

Finally, it was obtained as optimal conditions for the operational parameters for the treatment of wastewater in a pig stream through the advanced oxidation process, a turbidity of 400 NTU, exposure time of 20 min and flow rate of 2L / min., Achieving An average 83% removal rate of organic matter (DQO) and 96% removal in total suspended solids (SST), with the optimal conditions worked experimentally, the wastewater was characterized after the treatment, obtaining as responses: DBO₅(185.6 mg /L), DQO (324 mg /L), SST (38mg /L) and oils and fats (9.8 mg/ L), as well as the final disposal of treated waters complying with the maximum permissible values according to current regulations , such as Supreme Decree No. 010-2019-HOUSING,annexed 01

Keywords: Slaughterhouse, coagulant, wastewater, advanced oxidation process, variable response, removal.

INTRODUCCIÓN

En el Perú los problemas ambientales van en aumento, entre ellos tenemos la contaminación del agua, generadas por las diversas industrias. En especial las aguas residuales procedentes de la industria cárnica debido a que realizan sus vertimientos en las redes de alcantarillado sanitario, conteniendo éstas gran cantidad y alta concentración de elementos contaminantes: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), aceites y grasas, entre otros.

La propuesta de utilización de procesos avanzados de oxidación (POA), como tratamiento para este tipo de efluente proveniente de los mataderos de porcinos es que se busca reducir aún más la carga contaminante luego del tratamiento de coagulación - floculación existente ya que no es suficiente para el cumplimiento de la normativa de descarga.

En el presente trabajo “optimización de los parámetros operacionales del proceso de oxidación avanzada en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de un matadero de porcinos”, desarrolló una serie de etapas que constan en: la caracterización del agua residual proveniente de un matadero de porcinos, fijar los parámetros operacionales del proceso de oxidación avanzada y caracterizar fisicoquímicamente el agua procedente del tratamiento de oxidación avanzada O_3/UV .

Consiguiendo finalmente el mayor porcentaje de remoción al encontrar las condiciones óptimas en el proceso de oxidación avanzada logrado a partir de los objetivos planteados y así cumplir satisfactoriamente con la calidad de agua para su disposición final en el sistema de alcantarillado sanitario según la normatividad vigente Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA, anexo 01.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

La problemática con las aguas residuales proveniente de los mataderos de porcinos, se debe a que contienen un alto grado de contaminación orgánica, sólidos suspendidos, grasas y aceites entre otros, lo cual constituye un problema de índole ambiental y en la salud humana, debido a que usan grandes cantidades de agua requeridas para lavar los animales, quitarles la piel, limpieza de equipos de procesos, etc. Ya sea por el contacto directo del agua con los materiales crudos durante los varios procesos, cantidades significantes de material orgánico e inorgánico en forma soluble, coloidal o particulado es descargado en las aguas residuales. Para solucionar esta problemática, es necesaria la elección de tecnologías eficientes para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la industria cárnica, para los cuales se están empezando a aplicar tecnologías de tratamiento para sus desechos. Entre las tecnologías más relevantes se encuentran los denominados procesos oxidativos avanzados (POA), los cuales modifican a los compuestos orgánicos de estructura química compleja a una más simples, de menor masa molecular y más biodegradables. En particular, la combinación O_3/UV es de especial interés por los diferentes procesos de degradación debido a que se presenta: fotólisis directa, ozonización directa y oxidación por radicales hidroxilos que, generan reacciones rápidas y no selectivas.

El objetivo del presente trabajo es optimizar los parámetros operacionales del proceso de oxidación avanzada en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de un matadero de porcinos, con el fin de obtener una descarga de agua que cumpla con los valores máximos admisibles (VMA) establecidos en la normatividad ambiental vigente.

1.2. Formulación del problema

1.2.1 Problema general

- ¿Cuáles serán los parámetros óptimos operacionales del proceso de oxidación avanzada en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de un matadero de porcinos?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Qué características fisicoquímicas presentan las aguas residuales provenientes de un matadero de porcinos?
- ¿Qué parámetros operacionales influyen en el proceso de oxidación avanzada?
- ¿Qué características fisicoquímicas presentan las aguas residuales provenientes de un matadero de porcinos después del tratamiento con oxidación avanzada?

1.3. Objetivo

1.3.1. Objetivo general

- Optimizar los parámetros operacionales del proceso de oxidación avanzada en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de un matadero de porcinos.

1.3.2. Objetivos específicos

- Definir las características fisicoquímicas que presentan las aguas residuales provenientes de un matadero de porcinos.
- Identificar los parámetros operacionales que influyen en el proceso de oxidación avanzada.
- Determinar las características fisicoquímicas que presenta el agua residual de un matadero de porcinos después del tratamiento con oxidación avanzada.

1.4. Limitantes de la investigación

En el presente trabajo a desarrollar presenté limitaciones en cuanto a:

- La capacidad del equipo de oxidación avanzada, debido a que se contaba en un inicio con un equipo para un mayor volumen (20 litros aprox.) de agua residual a tratar, es por ello que se construyó un equipo similar pero de menor volumen (5 litros) de agua residual a tratar.
- No se contaba con equipo para medición de DBO_5 , DQO y turbidez, es por ello que se tuvo que alquilar estos equipos mediante laboratorios externos.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Gerald, R. & et al. (1994). En su trabajo **“UV-O₃, UV- H₂O₂, UV- TiO₂ and the photo-Fenton reagent comparison of advanced oxidation process for waste water treatment”** Reportaron los resultados de la mineralización fotoquímica del 4-clorofenol (4-CP) y de las aguas residuales de la industria de tintorería por los métodos UV/O₃, UV/H₂O₂, UV/TiO₂ bajo iluminación con una lámpara de mercurio de alta presión de 150 W, la eficiencia de degradación de TOC para 4-CP tenía el siguiente orden: UV/H₂O₂/Fe⁺²>UV/O₃>UV/H₂O₂=UV/TiO₂. Decoloración completa del residuo de colorante octanizado fue en 20 minutos con ozono. Un grado de mineralización fue de aproximadamente el 75% se alcanzó después de 90 minutos con la reacción foto-Fenton y después de 150 minutos con UV/O₃. El autor investigó una nueva combinación para el tratamiento de aguas residuales, UV/Fe⁺²/O₃. La adición de Fe⁺² al proceso de UV/O₃ aumentó la tasa de mineralización de 4-CP, mientras que no se observó ningún efecto significativo en la degradación de los residuos de colorantes.

Hill et al; (2002). En su trabajo realizado **“Reduction of entericmicrobes in flushedswine waste wáter treatedby a biological aeratedfilter and UV irradiation”**.Hizo uso de un aparato de haz con UV a baja presión a escala de laboratorio para investigar la efectividad de la irradiación UV para inactivar bacterias entéricas, colífagos y esporas bacterianas en aguas residuales porcinas tratadas y no tratadas y total suspendido concentraciones de sólidos de 500 a 1200 mg /L. Los coliformes fecales, Escherichiacoli, enterococos, colífagos somáticos y colífagos se redujeron en un 97 a 99% en el sistema de biofiltro cuando las temperaturas del agua del reactor estaba entre 23 y 32 ° C. Salmonella se redujo en un 95 a 97% cuando la temperatura del agua fue de 17 a 32°C. En el trabajo colocando una dosis de radiación UV absorbida promedio de 13 mJ/cm pudo encontrar la mayor disminución de carga microbiana. El autor pone de manifiesto que la irradiación ultravioleta puede ser efectiva para reducir aún más las concentraciones de microbios entéricos en desechos porcinos tratados

biológicamente, así como en aguas residuales de baja calidad, lo que indica su potencial general para la reducción de patógenos en aguas residuales de baja calidad destinadas a una reutilización beneficiosa.

Yonaret al. (2005). En su trabajo **“Decolorisation of textile effluent using homogeneous photo chemical oxidation processes”**, trató efluentes procedentes de las industrias textiles, emplearon este método. Los ensayos se realizaron a pH 3, con un caudal de ozono de 2 g/h y variando la concentración de peróxido de hidrogeno desde 10 hasta 100 mg/L; se alcanzan de este modo eliminaciones de DQO superiores al 93% para todos los casos tras una hora de tratamiento. No se observó diferencia entre la eliminación de la DQO al emplear concentraciones de H₂O₂ de 25 y 100 mg/L (97% de eliminación tras una hora), considerando el autor un dosis óptimo de 25 mg/L.

Muñoz y Paredes, 2014. E n su trabajo **“Descontaminación de fenoles en el efluente de una refinería ecuatoriana, mediante el uso de ozono y combinaciones con peróxido de hidrógeno”** describió una alternativa para degradar fenoles bajo concentraciones de 0.15 mg/L en efluentes provenientes de una refinería ecuatoriana, utilizando dos tipos de sistemas de oxidación avanzada, Ozono (O₃) y Ozono/Peróxido de Hidrógeno (O₃/H₂O₂) como los principales conductores del proceso de degradación. Se realizaron pruebas de ozonificación a diferentes valores de pH. El mejor resultado de este proceso de oxidación lo obtuvieron para muestras con pH 8.5. Para este caso específico, la concentración de fenoles se redujo de 4 ppm a 0.03 ppm con una dosis de 2.5 g/h de O₃ durante un min de tratamiento. La demanda de ozono fue de 34.2 mg/L, equivalentes, en este proceso a 8.7 mg de O₃ por cada mg de fenol removido. Se estudió un proceso similar con diferentes relaciones de [H₂O₂]/ [O₃] (i.e. 0.11, 0.22 y 0.49). El análisis de este tratamiento fue determinar si existían diferencias con el uso de ozono solamente y si se podía mejorar la eficiencia de dicho proceso. Los experimentos llevados a cabo con la combinación O₃/H₂O₂ no exhibieron diferencias en relación con los resultados obtenidos solo con O₃.

Kargi y Catalkaya, (2007). **Efluentes secundarios de una industria de pulpa y papel.** En el presente trabajo los efluentes generados a partir de dicha industrial tenían como valores iniciales 400 mg/L de DQO, 110 mg/L de COT, usando como sistema de tratamiento un equipo ozonizador cuya producción de O₃ fue de 4.7 a 11.9 g/h, pH 3-11 y tiempo de reacción de 30 minutos. Los resultados muestran que la mayor eficiencia se obtuvo en valores de COT y color en reducción al 91% con un pH igual a 7.

Kreetachat et al, (2007). **Derivados de la lignina presente en efluentes de la industria de papel y celulosa (n-alcanos, ácidos grasos, éster)** cuya condición de trabajo fue: producción de O₃ de 20-150 mg/min., observándose como resultado una remoción superior al 90% en cuanto a color y un aumento de la biodegradabilidad medida como DBO/DQO de 0.1 a 0.32.

Mounteer et al. (2005). **Efluentes del proceso de blanqueamiento de una industria de celulosa y papel.** En presente trabajo utilizaron el ozono como pretratamiento de un reactor biológico donde las condiciones de operación fueron: producción de O₃ de 3-20 mg/min. Trabajando a un pH neutro, cuyos resultados fueron favorables debido al aumento de la biodegradabilidad (DBO/DQO), en la cual se observó la disminución del valor de DQO.

Ledakowicz et al, (2001). **Agua residual sintética simulando efluentes de industria del papel y celulosa.** En el presente trabajo el efluente a tratar parte de un valor alto en DQO 2154 mgO₂/L y un valor de DBO de 1050mgO₂/L, el sistema de tratamiento empleado es O₃/UV empleando una dosis de ozono de 100 mg/L a un pH de 7,38, los resultados obtenidos demostraron que la combinación de O₃/UV favoreció el aumento de biodegradabilidad y la completa decoloración del efluente se debió solamente a la aplicación de ozono.

Siqueira y Amaral, (2015). **Degradation of Caffeine by Advanced Oxidative Processes: O₃ and O₃/UV.** Este artículo tiene por objetivo la degradación de cafeína por O₃ y O₃/UV, para el diseño experimental a nivel laboratorio se midió el

efecto de la concentración de cafeína la potencia de la luz y el tiempo de reacción, donde los niveles en cada factor fueron: concentración de cafeína (20-60 mg/L), pH de 3-11 y luz UV de 0w a 6w. Los resultados demostraron que la luz ultravioleta mostro poco efecto en la degradación de la cafeína, mientras que las variables optimas fueron: 20 mg/L de cafeína, pH alcalino y un tiempo de reacción de 30 minutos.

2.1.2. Antecedentes nacionales.

Calderón, S. (2016) en su trabajo **“Reducción del DQO en la degradación del colorante negro directo 22, en una solución acuosa sintética, mediante procesos oxidativos avanzados (O₃/UV)”**, preparo muestras iniciales con concentraciones de 40 y 80 mg/l de colorante, luego cada muestra paso por el proceso de oxidación avanzada, que se basa en el uso de un equipo ozonizador con un flujo másico de 3,5 mg de ozono por minuto y el uso de lámparas UV de 254 nm con potencias de 6 W y 16 W. También se midió el flujo volumétrico; variándolas en 2 litros por minuto y 3 litros por minuto. Se pudo obtener resultados con efectividad de hasta 90% con respecto a la medición de la demanda química de oxígeno. No se notó variación en la remoción con respecto al flujo.

Sánchez, Y. (2016), en su tesis de titulación **“Eficiencia de fotocátalisis homogénea en la remoción de materia orgánica de las aguas residuales del frigorífico cárnicos del centro S.A.C. Fricacen distrito de Concepción - Junín 2016”** Desarrolla este trabajo con el objetivo de medir el nivel de eficiencia de la fotocátalisis homogénea. La metodología que se aplica en el trabajo de se dió mediante la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales del frigorífico FRICACEN del distrito de Concepción, se obtuvo 1845 mg/L de sólidos disueltos; 1391 mg/L de sólidos suspendidos; 3236,0 mg/L de sólidos totales, 0,0 mg/L de O₂; 7,4 de pH; 3574 μ Sm/cm; 5803,5 mg/L de DQO y 3501,0 mg/L de DBO₅. En el trabajo cuando se desarrolló con radiación UV se aplicaron con 15 W, 30 W y 45 W en tres tratamientos T1, T2 y T3 lográndose la mayor reducción de demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno con una potencia de 45 W de radiación UV y concluye que este es el más óptimo, por otro lado, las

concentraciones H_2O_2 que obtuvo una significativa reducción fue de 0.4 M y con el $FeSO_4$ de 100 gramos en un periodo de mezcla completa de 60 minutos. Se obtuvo un 92% de remoción de demanda química de oxígeno, por el lado de DBO5 se obtuvo un 93.3% de remoción. El autor concluye que el tratamiento de fotocátalisis homogénea es muy eficiente en la minimización de materia orgánica y lo que repercute en este proceso es la radiación y cantidad que necesita de catalizador para que se dé el tratamiento.

Oré Asparrin, Adolf. (2017). Autor de la tesis **“Influencia del sulfato de aluminio y pH en la remoción de la materia orgánica para el tratamiento del agua residual del camal municipal de Chupaca”**. Realizaron el estudio sobre el tratamiento primario avanzado, interviniendo los procesos de coagulación, floculación y sedimentación, en los experimentos los rangos para cada parámetro fueron: dosis de coagulante 3 y 5 g/L de $Al_2(SO_4)_3$, pH (7 y 9) y la contaminación de las aguas residuales (1408 - 1493 mg O_2/L). En el cual ambos influyen en la remoción de la materia orgánica, donde el valor máximo de porcentaje de remoción de DQO lo obtuvieron a un pH-8 y concentración de $Al_2(SO_4)_3$, de 5 g/L 64.47%.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Mataderos

Los mataderos o industrias del camal son el conjunto de operaciones mecánicas, físicas y entre otras, que tienen por finalidad transformar animales sanos en carne y productos cárneos comestibles de calidad, tal que satisfagan exigencias y preferencias del consumidor. Se puede clasificar como una industria de proceso con la particularidad de predominar las operaciones de desarme de la materia prima en partes distintas acompañadas en mayor o menor grado por reducciones de tamaño, por lo tanto se trata principalmente de trabajar con materia orgánica que va servir de alimento a seres vivos. Esta industria está asociada a una alta carga de materia orgánica. (Barraza y Palpa, 2011)



Figura 1. Planta de sacrificio de ganado menor, porcino. En la figura se aprecia la planta de sacrificio del ganado menor, porcino en el cual se encuentra el animal suspendido para facilitar las tareas posteriores.

Fuente: García y Buxadé, 2006.

2.2.2. Proceso de Faenamiento de porcinos

Según García, 2006 menciona que las etapas del proceso de faenamiento son:

- a. Examen Ante-mortem:** Una vez que el porcino ingresa al corral de descanso, el médico veterinario observa características vitales como, color de la piel, movimientos, parpadeo, los cuales indiquen que el porcino se encuentre en buen estado para poder realizar el sacrificio.
- b. Duchado:** Una vez que el médico veterinario considera que el porcino es apto para faena, se procede a duchado para la eliminación de tierra estiércol u otros contaminantes que el animal tenga sobre la piel.
- c. Aturdimiento:** Luego del duchado del porcino, estos pasan al área de faena correspondiente, en donde como primera operación se realizará el aturdimiento, usando la pistola de perno cautivo o también llamada pistola de émbolo penetrante.
- d. Izado:** Consiste en suspender al animal para facilitar las actividades posteriores, además minimizar el contacto entre la especie sacrificada y el suelo evitando así que las bacterias se adhieran a las instalaciones (suelo, paredes, mesas de trabajo).

- e. **Degüello y sangrado:** En los porcinos solo se seccionan los vasos sanguíneos sin separar la cabeza del cuerpo. La sangre generada en dicha operación no será aprovechada, debido a que esto implicaría el diseño de otro proceso de valor agregado, por ende, se considera que la sangre será tratada junto al agua residual generada en las operaciones de faenado.
- f. **Escaldado y pelado (porcinos):** Una vez que el ganado menor ha sido sacrificado se procede a vaciar agua caliente sobre la piel, para que inmediatamente realizar el pelado, actividad que consiste en separar las cerdas que cubre la piel del porcino sacrificado.
- g. **Desuello:** actividad que consiste en realizar el corte de las patas y la cola (ganado menor). Los subproductos generados durante la operación son colocados en depósitos de acero inoxidable para ser transportados en carros de acero inoxidable al área de pieles, para que sean almacenados momentáneamente hasta la entrega a los abastecedores.
- h. **Lavado superficial (porcinos):** culminado el desuello se lava la capa externa de la piel de los porcinos con el fin de eliminar las cerdas que se encuentran adheridas, cabe mencionar que esta operación no se realiza para el ganado mayor.
- i. **Eviscerado:** culminado el lavado superficial (porcinos) se procede a retirar los órganos digestivos, circulatorios, respiratorios, y reproductivos. Esta operación es de gran importancia, debido a que se debe tener cuidado en la extracción de las vísceras debido a que estas pueden contaminar la carne. Una vez que las vísceras son retiradas del ganado, deben permanecer identificadas con las carcasas obtenidas hasta la inspección veterinaria, luego el médico veterinario autoriza la incineración de los órganos no comestibles y los órganos comestibles son llevados al área de limpieza de menudencia.
- j. **División de carcasas:** actividad que consiste en separar en dos partes iguales al cuerpo del ganado porcino, la cual facilita la evaluación post mortem y la manipulación de carcasas.

- k. Examen post mortem:** el único encargado de realizar el examen post - mortem es el médico veterinario, el cual determina si la carcasa obtenida de las operaciones de faenado y sus menudencias son aptas para el consumo humano, las causas por las que el médico veterinario realiza el comiso de carne, carcasa y/o vísceras comestibles.
- l. Limpieza de carcasa:** culminada la inspección del médico veterinario se puede realizar la limpieza de carcasa, con el fin de eliminar rastros de sangre, para lo cual se emplea el agua potable a presión.
- m. Pesado y sellado:** sección donde se realiza el pesaje de las carcasas antes de su ingreso a la sala de oreo, el encargado de realizar el sellado es el supervisor de faena.

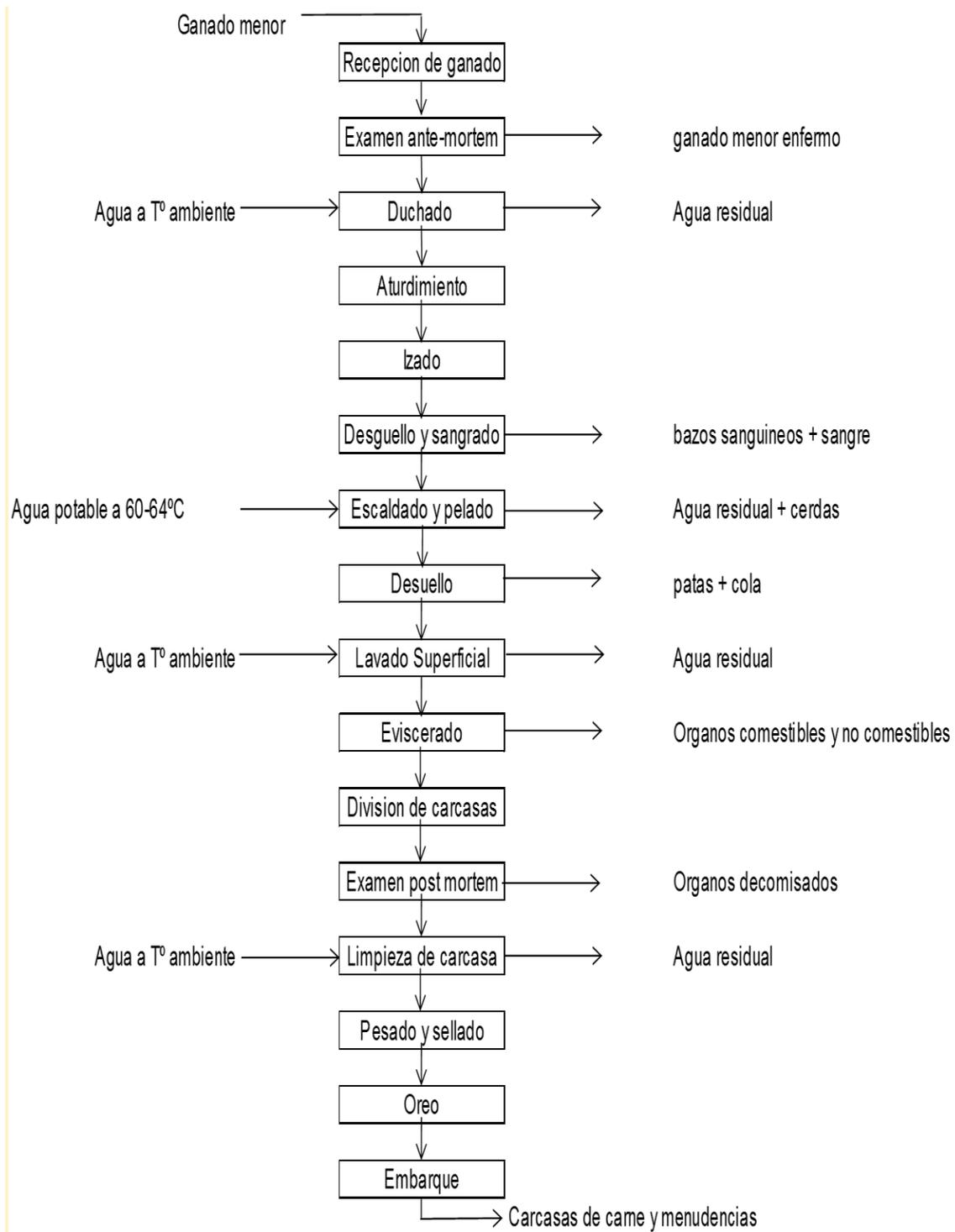


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de faenamiento del porcino de un matadero, se detalla cada etapa en el cual el cerdo es sacrificado obteniendo finalmente un producto para el consumo humano.

Fuente: García Díez, José A.; 2006.

2.2.3. Aguas residuales provenientes de mataderos de porcinos.

Según menciona (Luna M.; 2017), en los mataderos para sus procesos de limpieza y faenamiento se requieren grandes volúmenes de agua, esto ocasiona a su vez que se produzcan en cantidad descargas de agua residual, presentando elevadas concentraciones de materia orgánica las cuales contienen grasa, proteína y celulosa, expresadas en DQO y DBO, donde su valor numérico varía dependiendo la cantidad de animales sacrificados en el día.

(Salas G. y Condorhuaman G; 2008) describen que la generación de vertidos de aguas residuales está compuesta una gran cantidad de carga orgánica y de nutrientes provenientes de la sangre propia del faenamiento asimismo con un contenido importante de sólidos en suspensión, grasas y aceites.

Tabla 1

Caracterización de los efluentes en cada etapa del faenamiento.

Etapas del proceso	Desechos
Lavado	Agua residual con tierra, estiércol y orina
Aturdimiento	Agua residual con sangre
Degollado	Agua residual con sangre
Desollado	Agua residual con sangre
Eviscerado	Agua residual del Lavado de vísceras
Lavado de Canal	Agua residual con sangre
Clasificación de las canales y vísceras	Agua residual con detergente

En la tabla se menciona en que etapas del proceso se desecha agua residual proveniente de las actividades propias de la matanza de cerdos.

Fuente: Gonzales y Apanu, 2016.

2.2.4. Tratamientos de aguas residuales usados en mataderos y plantas de procesamiento de carne.

(Muñoz, 2005), recomienda que para el tratamiento de las aguas residuales de mataderos y plantas de procesamiento de carnes:

- Extraer las sustancias reutilizables y las que obstruyen las tuberías.
- Descargar las vísceras e intestinos al sistema de alcantarillado, después de ser prensadas, trituradas e incineradas.
- Aguas residuales de temperatura mayor a 30°C, deben ser enfriadas antes de su descarga.

Entre los diversos tratamientos usados tenemos:

a. Tratamientos primarios.

Los tratamientos primarios son los más sencillos en la limpieza del agua y tienen la función de preparar el agua, limpiándola de todas aquellas partículas cuyas dimensiones puedan obstruir o dificultar los procesos consecuentes. (Rodie, B 2012. & Hardenberg.1987), menciona que son tratamientos físicos como el cribado que es utilizado para la remoción de sólidos en suspensión donde, a través de rejillas, los materiales flotantes gruesos son separados. La sedimentación es utilizada para separar sólidos en suspensión de tamaño pequeño.

La flotación es un proceso utilizado para separar sólidos de baja densidad. También se incluye los métodos de coagulación para la remoción de material en suspensión y los métodos de absorción. (Ramalho, R, S.1996)

b. Tratamientos secundarios.

Dentro de las etapas que forman el proceso de limpieza de las aguas residuales, el tratamiento secundario tiene el objetivo de limpiar el agua de aquellas impurezas cuyo tamaño es mucho menor a las que se pueden captar por la decantación y las rejillas, para ello, los sistemas se basan en métodos mecánicos y biológicos combinados” (Rodie, B. 2012. & Hardenberg.1987).

Los tratamientos secundarios de los cuerpos de agua incluyen procesos biológicos aeróbicos y anaeróbicos, en lagunas de estabilización del tipo de oxidación, anaeróbicas, facultativas y tratamientos con lodos activados que, por acción de bacterias y algas, oxidan o reducen los componentes orgánicos contaminantes del agua. (Ramalho, R. S.1996).

c. Tratamientos terciarios

Son métodos de tratamiento avanzado, de naturaleza biológica, química o por radiación. En estos tratamientos, la eliminación, de los compuestos tóxicos persistentes para la biótica acuática, se realiza mediante la mineralización completa del contaminante y en otros casos, se busca que el compuesto inicial se degrade a compuestos inocuos. (Ramalho, R. S.1996).

2.2.5. Alternativas tecnologías avanzadas de oxidación

El creciente interés en los últimos tiempos por querer conseguir la descontaminación de aguas residuales de diversos orígenes, basadas en normativas cada vez más estrictas, ha generado el estudio de nuevas tecnologías para conseguir el tratamiento más eficiente.

(Lovato E.; 2010) afirma que, 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 (POAs), son particularmente atractivos, ya que son capaces de degradar completamente.

2.2.6. Proceso de oxidación avanzada

Los Procesos de Oxidación Avanzada (POAs “Advanced Oxidation Processes”) según (Terán M.; 2016) son procesos fisicoquímicos los cuales producen cambios en la estructura química de los contaminantes. Los POA son procesos que involucran la generación y uso de especies transitorias poderosas, fundamentalmente el radical hidroxilo ($\text{HO}\cdot$). El cual puede ser generado a partir de procesos fotoquímicos (incluida la luz solar) o por otras fuentes de energía, para ser usados en la oxidación de materia orgánica con una elevada efectividad.

Tabla 2

Clasificación de los procesos de oxidación avanzada

Procesos no fotoquímicos	Procesos fotoquímicos
Ozonización	Ultravioleta de vacío
Ozonización con $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$	UV/ H_2O_2
Procesos fenton $\text{Fe}^{+2}/\text{H}_2\text{O}_2$	UV/ O_3
Oxidación electroquímica	UV/ $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$
Radiólisis y tratamiento con haces de electrones.	Fotocatálisis solar Homogénea: foto-fenton y relaciones Heterogénea: fotocatalisis con TiO_2
Plasma no térmico. Oxidación en agua subcrítica y supercrítica.	
Irradiaciones gamma.	

Fuente: TeránSolíz Mery C, 2016.

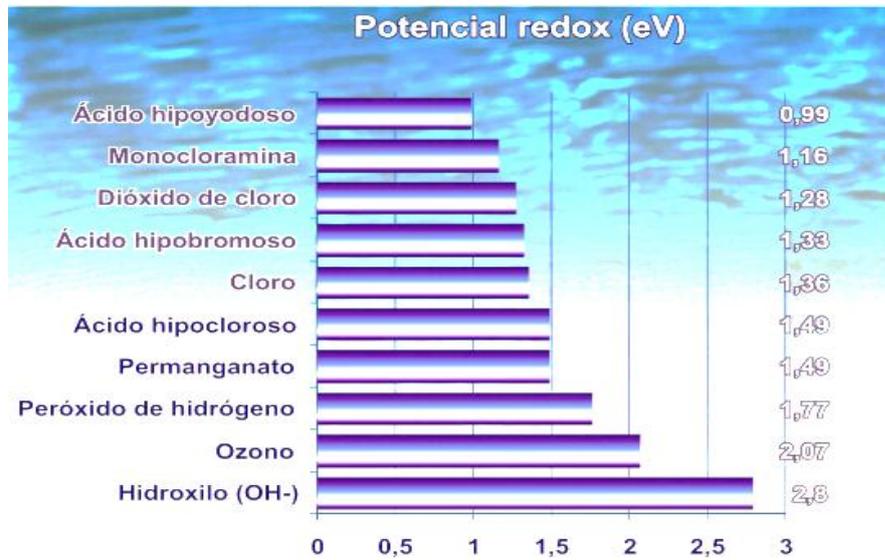


Figura 3. Potencial redox de agentes químicos (eV)

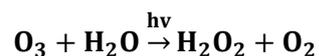
Los radicales libres así generados, constituyen uno de los más potentes oxidantes en agua, con un potencial de 2,80 V. No obstante, presentan el inconveniente de que su vida media es del orden de microsegundos, aunque la oxidación que llevan a cabo es mucho más rápida que la oxidación directa por moléculas de ozono.

Fuente: Pérez, s.f.

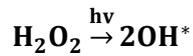
2.2.7. Proceso fotoquímico: O₃/UV

La combinación ozono/radiación ultravioleta, es de especial interés en la mayoría de los casos para este tipo de industrias por los diferentes procesos de degradación que coexisten: fotólisis directa, ozonización directa y oxidación por radicales hidroxilos que, generan reacciones rápidas y no selectivas, (Koprivanac N., 2006). Las reacciones que involucran la producción del radical hidroxilo aplicando O₃/UV se presentan a continuación:

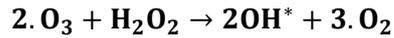
La molécula de O₃ se descompone a través de una secuencia de reacciones:



Luego sigue la fotocatalización del H_2O_2 :



Parte del H_2O_2 reacciona con el exceso de ozono, generando también radicales oxhidrilos:



La actividad del ozono aumenta cuando se le aplica radiación UV generalmente a 254 nm. (Bes et al, s.f).

a. Acción del ozono en aguas residuales

La ozonificación se define como una actividad catalítica la cual se encuentra relacionada directamente con la descomposición de ozono disuelto y posteriormente la generación de radicales hidroxilo.

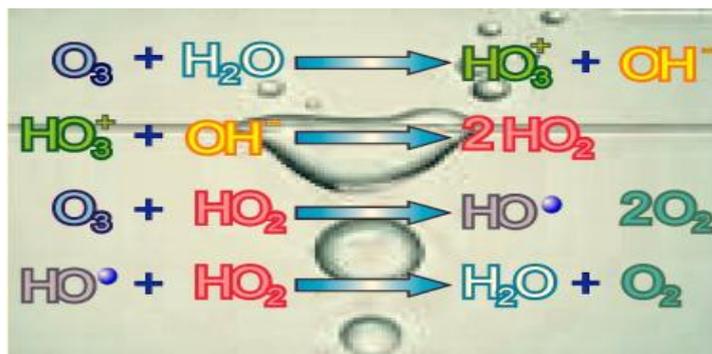


Figura 4. Descomposición del Ozono. El ozono se descompone en agua, los radicales libres del peróxido de hidrógeno (HO_2) y del hidróxido (OH) que se forman tienen gran capacidad de oxidación y desempeñan un papel activo en el proceso de desinfección.

Fuente: Pérez, s.f.

El ozono es un oxidante y agente germicida de virus muy fuerte. Los mecanismos de desinfección asociados con el uso del ozono incluyen:

- La oxidación o destrucción directa de la pared de la célula con la salida de componentes celulares fuera de la misma.

- Las reacciones con los subproductos radicales de la descomposición del ozono.
- El daño a los componentes de los ácidos nucleicos (purinas y pirimidinas).
- La ruptura de las uniones de carbono-nitrógeno que conduce a la despolimerización.

Entre las principales aplicaciones del ozono en el campo del tratamiento de aguas se tiene:

- En el caso de las aguas potables, el ozono es típicamente empleado en una pre-desinfección para el control de algas e inactivación de bacterias y virus, y como pre-oxidación y/o oxidación intermedia de la materia orgánica e inorgánica para eliminación de compuestos que proporcionan sabor, olor y color al agua. Además, es utilizado para la eliminación de la turbidez, iones metálicos y reduce los niveles de trihalometanos (THM) y precursores orgánicos relacionados.
- En el tratamiento de las aguas residuales, el ozono se emplea en la desinfección (reutilización), oxidación de compuestos inorgánicos (eliminación de sustancias tóxicas como el cianuro), oxidación de compuestos orgánicos (oxidación parcial del TOC y sustancias tóxicas) y la eliminación de partículas.
- Actualmente, la ozonización también es empleada para la eliminación de contaminantes emergentes (compuestos farmacéuticos, etc.).

Según el grupo empresarial Top Ozono (2014-2017), menciona que el ozono en el agua tiene un tiempo de vida media de 30 minutos, eso conlleva a que cada media hora, concentración inicial se reducirá a la mitad.

Cálculo para determinar la dosificación de ozono:

$$\text{dosificación de ozono} = \frac{\text{capacidad de generación de ozono}}{\text{caudal del efluente}}$$

b. Acciones de la luz UV en aguas residuales

La eficacia del sistema de desinfección con luz ultravioleta depende de las características del agua residual, la intensidad de la radiación, el tiempo de exposición de los microorganismos a la radiación y la configuración del reactor.

Para cualquier planta de tratamiento, el éxito de las actividades de desinfección está directamente relacionado con la concentración de componentes coloidales y de partículas en el agua residual. Los componentes principales del sistema de desinfección con luz UV son las lámparas de vapor de mercurio, el reactor y los balastos electrónicos (ballasts). La longitud de onda óptima para desactivar eficazmente los microorganismos se encuentra en el rango de 250 a 270 nm.

La temperatura ideal de la pared de la lámpara se encuentra entre 95 y 122 °F. La banda UV-A combinada con la UV-B se emplea para lámparas bronceadoras. La radiación germicida se concentra en la banda UV-C y una parte de la banda UV-B, con longitudes de onda entre 200 y 315 nanómetros, teniendo su efectividad máxima a los 260 nanómetros.

Cálculo para determinar la dosificación de luz UV:

$$\text{dosificación de luz UV} = \frac{\text{Potencia de la lámpara}}{\text{caudal del efluente}}$$

2.2.8. Parámetros operacionales que influyen en el proceso de oxidación avanzada

Los principales factores que influyen son:

a. Materia orgánica: La materia orgánica que se encuentra en el agua, por lo general es fácilmente oxidable. Este fenómeno entra en competencia directa con el uso del ozono como desinfectante. De hecho, 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".

b. pH: aunque el efecto del pH es menor sobre el ozono que sobre otros desinfectantes, también se ve afectado por este factor. El aumento del pH se acompaña por un crecimiento de la velocidad de descomposición del ozono bajo formas de especies oxidantes que tienen reactividades diferentes con los constituyentes de los microorganismos.

c. Temperatura: Este factor influye también 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 aumenta la 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.

d. 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.

2.2.9. Importancia de los valores máximos admisibles en las aguas residuales de mataderos de porcinos.

a. Demanda química de oxígeno del agua (DQO):

Es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en CO₂ y H₂O. Se expresa también en mgO₂/L, cuanto mayor es la DQO, más contaminada está el agua. La DQO en aguas industriales puede situarse entre 50 y 2.000 mgO₂/L, las aguas residuales de matadero de porcinos su DQO es más de 5 000 mg O₂/L, por lo que realiza un tratamiento muy riguroso.

La diferencia principal entre la DBO y la DQO es que la segunda engloba la primera, e incluye más cosas. En la DBO sólo se detecta el material orgánico degradado biológicamente o que es biodegradable, mientras que en la DQO se busca la oxidación completa de la muestra, de manera que todo el material orgánico, biodegradable y no biodegradable,

es químicamente oxidado. Para una muestra dada de agua, el valor de DQO siempre ha de ser mayor que el de DBO.

La DQO es un parámetro importante y lo suficientemente rápido para determinar el grado de contaminación del agua y puede ser empleada para estimar la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales.

b. Demanda biológica de oxígeno (DBO):

Es la materia procedente de una muestra líquida, disuelta o en suspensión, capaz de ser consumida u oxidada por medios biológicos. Es utilizada para medir el grado de contaminación; normalmente se mide después de los cinco días de reacción y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO_2/L). La DBO, Demanda Biológica de Oxígeno es uno de los parámetros más importantes en la caracterización (medición del grado de contaminación) de las aguas residuales. (Ramalho, 1996).

c. Sólidos suspendidos totales (SST):

Son aquellos que están presentes en las aguas residuales los cuales se aprecian a simple vista y flotan entre la superficie y el fondo. Los cuales mediante de procesos de filtración o de sedimentación pueden ser removidos en su mayoría.

Los sólidos suspendidos se dividen en dos grupos: sedimentables y coloidales. Por tamaño y peso aquellos sólidos suspendidos que llegan a sedimentar al tiempo de una hora se llaman sedimentables, mientras que coloidales se le denomina a la diferencia entre sólidos sedimentables y sólidos suspendidos totales.

Los sólidos suspendidos son de naturaleza orgánica, estos están formados por materiales más objetables contenidos en el agua residual. Se atribuye que a mayor parte a las pajas, restos de alimentos de los porcinos, etc., que llegan a formar una masa de sólidos suspendidos en el agua, su importancia de remover recae en la salud humana.

d. Turbidez :

La turbidez es un grado de medición del agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión.

La turbidez del agua es uno de los parámetros que da conocer la calidad del agua para el consumo humano así también es un indicativo de una mayor presencia de contaminantes microbiológicos y compuestos tóxicos.

La eficiencia de los procesos de desinfección, tanto químicos (cloro u otros biocidas) como físicos (radiaciones UV) ayudan a controlar la turbidez del agua.

A mayor cantidad de partículas en suspensión en el agua mayor turbiedad, lo que aumenta en los microhuecos de las partículas la presencia de bacterias, virus y protozoos patógenos ocasionando la disminución de la eficiencia de los desinfectantes, al no haber un contacto directo con el organismo a eliminar.

2.3 Marco conceptual

Los mataderos en general presentan los mayores índices de contaminación presentes en sus aguas residuales, en especial la industria de los mataderos de porcinos.

El DQO es el parámetro más importante para la caracterización de cualquier tipo de agua residual, abarca a los contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el afluente, mientras que el DBO₅ se encarga solo de los contaminantes orgánicos.

Proceso de Oxidación Avanzada: Es un proceso tecnológico de mayor eficiencia en la desintegración de la materia contaminante, dentro de estos procesos encontramos la combinación de O₃/UV, esta combinación va generar tres tipos de radicales: hidroxilos, ozono y peróxido de hidrogeno, para actuar sobre la carga contaminante del agua residual.

2.4 Definición de términos básicos

A continuación se ha definido los términos que se hacen uso a lo largo del presente trabajo de investigación:

a. Aguas residuales: son aquellas aguas procedentes de diferentes actividades domésticas, industriales u otras, cuya calidad se vio afectada negativamente y requieren de tratamientos para ser reutilizadas o descargadas al sistema de alcantarillado.

b. Coagulación: Consiste en la desestabilización de las partículas coloidales, empleando productos químicos (coagulantes) que neutralizan la carga eléctrica de los coloides.

c. DBO₅: Indica la cantidad de oxígeno que las bacterias y otros seres vivos minúsculos consumen durante 5 días a una temperatura de 20°C en una muestra de agua para la degradación aeróbica de las sustancias contenidas en el agua.

d. Descarga: indica una situación de como las sustancias (sólido, líquido o gaseoso) que ingresan al medio ambiente.

e. Efluente: agua o cualquier otro líquido, en su estado natural o tratado total o parcialmente, que sale de un tanque de almacenamiento, depósito o planta de tratamiento.

f. Faenamiento: Es aquella operación supervisada sanitariamente para el sacrificio de un ganado, con el fin de obtener carne y sus derivados para el consumo humano.

g. Floculación: consiste en la agrupación de las partículas coloidales desestabilizadas, formando agregados de mayor tamaño denominados flóculos, para que puedan sedimentar fácilmente debido a su tamaño y peso.

h. 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.

i. Matadero: lugar donde se mata y descuartiza a determinados animales destinados al consumo.

j. 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.

k. Remoción: El término remoción se utiliza para hacer referencia a todo aquel acto que tenga ver con quitar algo de su lugar.

l. Valores máximos admisibles: es la concentración máxima permitida de elementos, sustancias o parámetros fisicoquímicos presentes en un efluente no doméstico para que pueda ser descargado a la red de alcantarillado sanitario.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis General

La optimización de los parámetros operacionales en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de un matadero de porcinos, empleando el proceso de oxidación avanzada nos permitirá obtener un mayor porcentaje de remoción de los VMA.

3.1.2. Hipótesis específica

- Al definir las características fisicoquímicas de las aguas residuales provenientes del matadero de porcino, los resultados obtenidos superan los VMA.
- El tiempo de exposición, caudal y la turbidez de las aguas residuales influyen significativamente en el proceso de oxidación avanzada para el tratamiento de aguas residuales provenientes del matadero de porcino.
- Los VMA de las aguas residuales provenientes del matadero de porcino, logran mayor reducción mediante el proceso de oxidación avanzada.

3.2. Variables

3.2.1. Variable dependiente

Y=optimización de los parámetros operacionales.

3.2.2. Variable independiente

X_1 : Características fisicoquímicas de las aguas residuales provenientes de un matadero de porcinos.

X_2 : Parámetros operacionales que influyen en el proceso de oxidación avanzada.

X_3 : Características fisicoquímicas del agua procedente del tratamiento de oxidación avanzada.

3.3 Operacionalización de las variables

Tabla 3

Operacionalización de las variables

Variable dependiente	Dimensión	Indicadores
Y: optimización de los parámetros operacionales	Porcentaje de remoción de los VMA	VMA
Variables independientes	Dimensión	Indicadores
X ₁ : Características fisicoquímicas de las aguas residuales provenientes de un matadero de porcinos.	Parámetros físico - químicos.	DQO DBO SST A Y G
X ₂ : Parámetros operacionales que influyen en el proceso de oxidación avanzada.	Parámetros operacionales	Caudal del A.R Turbidez del A.R Tiempo de exposición
X ₃ : Características fisicoquímicas del agua procedente del tratamiento de oxidación avanzada.	Parámetros físico - químicos.	DQO DBO SST A Y G

Descripción de las variables operacionales en el trabajo experimental en el cual se menciona las dimensiones e indicadores para cada una de estas.

Fuente propia.

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Tipo de investigación.

a. Por su finalidad: es aplicada debido a que puede ser aplicado el proceso de oxidación avanzada en combinación del ozono y UV como modelo para tratar para otros tipos de aguas residuales.

b. Por su diseño interpretativo: es experimental debido a que se puede variar los parámetros operacionales para determinar la optimización del proceso como objetivo.

c. Por el nivel de estudio: es del tipo exploratorio, porque busca identificar nuevos métodos para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de los mataderos de porcinos.

4.2. Diseño de la investigación.

Se planteó en el trabajo de investigación cuatro etapas de las cuales inicialmente se plantearon tres etapas específicas (X_1, X_2, X_3) las cuales modelaron la etapa principal Y_1 .

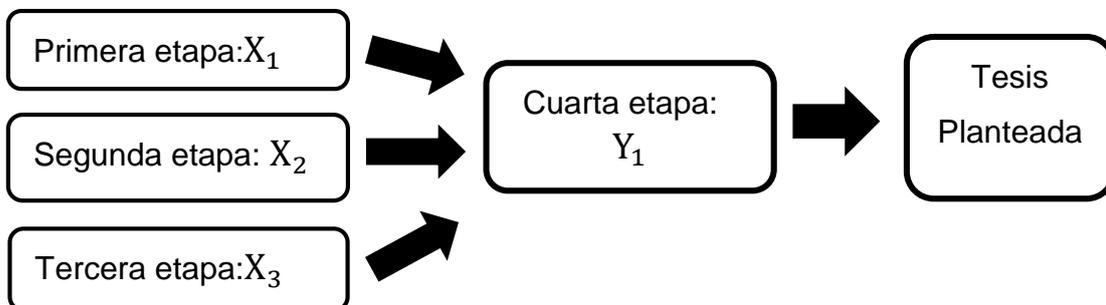


Figura 5. Diseño de investigación; se da a conocer cada etapa del proceso en la investigación.

Fuente propia

Y_1 : Optimización de los parámetros operacionales.

X_1 : Características fisicoquímicas de las aguas residuales provenientes de un matadero de porcinos.

X_2 : Parámetros operacionales que influyen en el proceso de oxidación avanzada.

X_3 : Características fisicoquímicas del agua procedente del tratamiento de oxidación avanzada O_3/UV .

Para la presente investigación se realizó una secuencia de procedimientos:

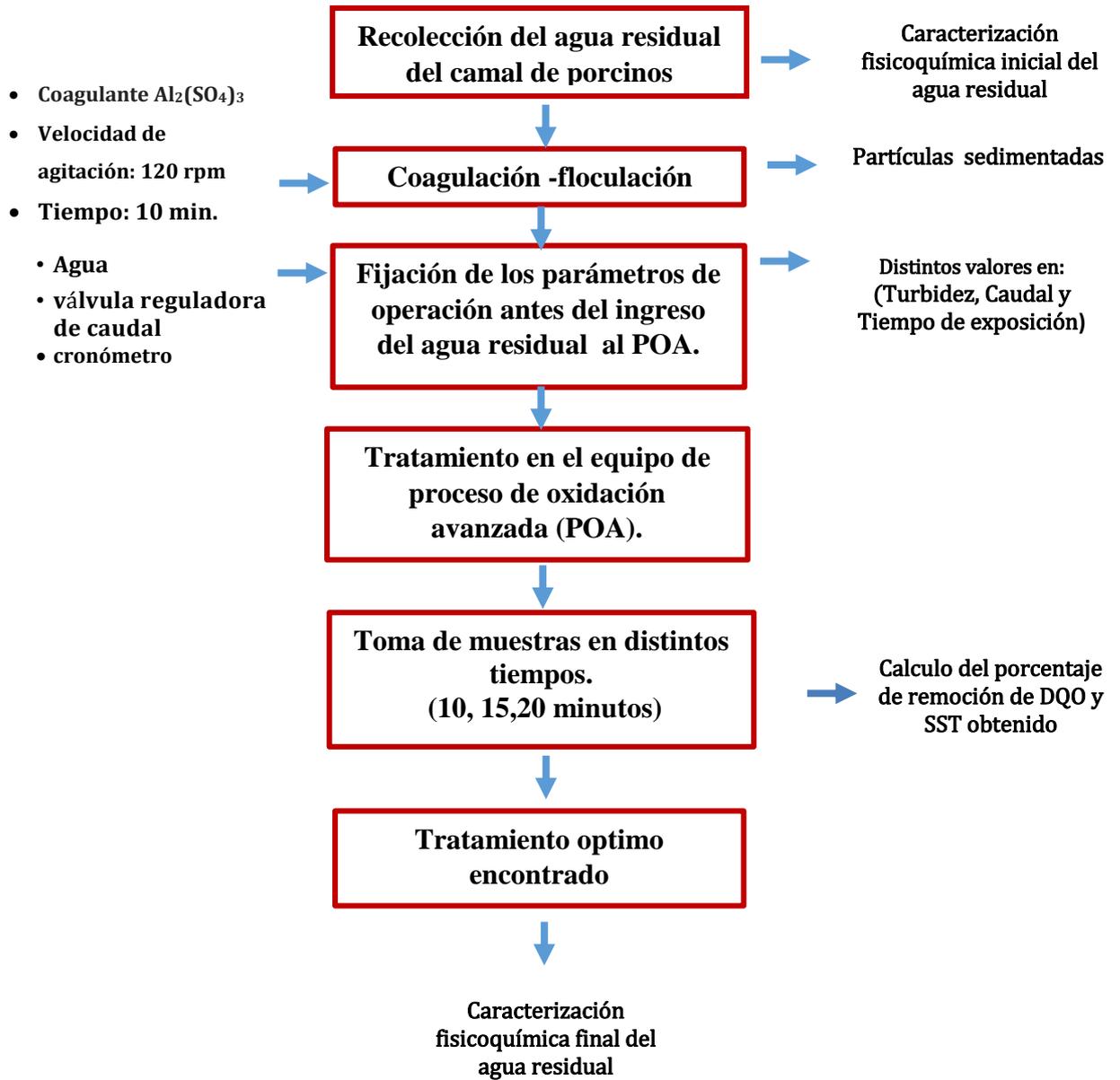


Figura 6. Diagrama de flujo del diseño experimental.

Fuente propia.

4.2.1. Determinación de las variables del diseño.

Se consideraron las siguientes variables cuantitativas para el control, las cuales detallamos a continuación:

Tabla 4

Variables independientes y dependientes del tratamiento POA.

Variables independientes	Definición	Unidades
Turbidez	grado de transparencia del líquido	NTU
Caudal	volumen de agua residual por tiempo	L/min.
Tiempo de exposición	período determinado durante el que se realiza el proceso de oxidación avanzada.	min.
Variable dependiente	Definición	Unidades
% Remoción	Diferencia porcentual de los valores de (DQO, DBO, SST, A y G) antes y después del tratamiento.	%

Variables independientes y dependientes involucradas en la optimización de los parámetros operacionales del tratamiento de A.R de un camal de porcinos mediante un POA.

Fuente propia.

4.2.2. Diseño Factorial de la experimentación

Para obtener el número de corridas experimentales y la combinación de variables se ha utilizado el diseño factorial generado en el software Minitab 18; a continuación se muestra en la tabla los factores y niveles considerados:

Tabla 5

Variables y niveles del proceso de oxidación avanzada

Factores	Niveles		
Caudal (LPM)	1	1.6	2
Turbidez del A.R (NTU)	300	400	500
Tiempo de exposición (min.)	10	15	20

Fuente propia.

Con ello se obtiene un diseño factorial de múltiples niveles.

de experimentos: $3 \times 3 \times 3 = 27$

Se realizó 27 corridas experimentales las cuales permitieron obtener el máximo de su información; a continuación se muestra en la tabla las combinaciones obtenidas a partir del software para cada experiencia.

Tabla 6

Diseño factorial de las variables del proceso de oxidación avanzada.

N° EXPER.	TIEMPO	TURBIDEZ	CAUDAL
1	10	300	1
2	10	400	1.6
3	10	500	2
4	10	400	1
5	10	500	1.6
6	10	300	2
7	10	500	1
8	10	300	1.6
9	10	400	2
10	15	300	1
11	15	400	1.6
12	15	500	2
13	15	400	1
14	15	500	1.6
15	15	300	2
16	15	500	1
17	15	300	1.6
18	15	400	2
19	20	300	1
20	20	400	1.6
21	20	500	2
22	20	400	1
23	20	500	1.6
24	20	300	2
25	20	500	1
26	20	300	1.6
27	20	400	2

Fuente propia.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

Está conformado por las aguas residuales del proceso de sacrificio de porcinos provenientes de un camal, situado en el frigorífico la Colonial S.A.C ubicado en la Calle Alfa 199, Callao - Lima. Esta población está constituida en función a la cantidad de porcinos sacrificados en el día durante el mes de Julio, año 2019.

4.3.2. Muestra

Para el trabajo de investigación, las muestras fueron recogidas en 3 momentos desde las 17:00 horas a las 20:00 horas del domingo, debido a que es un día donde hay mayor sacrificio de porcinos y como consecuencia más cantidad de contaminante. Se recogieron 12 litros por cada momento de recolección obteniendo un volumen total de agua residual de 36 litros, sin embargo, el tamaño de muestra a tomar es de 4 litros de agua residual proveniente del matadero de porcinos frigorífico la Colonial S.A.C que está en función de la capacidad del equipo experimental.

El presente trabajo de investigación fue realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOPU), en el laboratorio de desarrollo e investigación, pertenecientes a la facultad de ingeniería química y en el centro tecnológico experimental (CET), todos pertenecientes a la Universidad Nacional del Callao.

4.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

4.4.1. Técnicas

a. Recolección de las muestras de agua residual

Las muestras de aguas residuales se tomaron a la salida del canal luego de haber pasado por la rejilla donde separa las materias voluminosas que son arrastradas, luego se almacenó hasta su análisis respectivo en un frasco ámbar preservándolo a un pH menor a 2 en frío con una temperatura menor igual a 4°C haciendo uso del ácido sulfúrico y de gel pack respectivamente. Previamente en situ se le hizo la medición de pH y temperatura.



Figura 7. Toma de muestra y acondicionamiento del agua residual de camal de porcinos.

Foto tomada en frigorífico la Colonial S.A.C.

Fuente propia.

b. Caracterización fisicoquímica de las aguas residuales provenientes del camal de porcinos.

Los métodos usados para la caracterización de las aguas residuales provenientes del camal de porcinos antes y después del tratamiento con el proceso de oxidación avanzada, fueron los siguientes:

Tabla 7

Métodos usados para la caracterización de las aguas residuales del camal de porcinos

Análisis fisicoquímicos	Métodos
Determinación de la demanda química de oxígeno.	Método normalizado de oxidación al dicromato (reflujo cerrado colorimétrico) (APHA, 1995).
Determinación de la demanda biológica de oxígeno.	Método de Winkler. APHA, 1992
Determinación de sólidos suspendidos totales.	Sólidos suspendidos totales en agua secados a 103 – 105 °C. NMX-AA-034-SCFI-2015
Determinación de aceites y grasas.	Método extracción líquido -líquido-gavimetría.
Determinación de Turbidez.	Turbiedad por nefelometría APHA, 1998.

Fuente propia.

c. Tratamientos preliminares del agua residual proveniente del camal de porcinos

El agua residual proveniente del matadero de porcinos muestreada a la salida del canal se encuentra aun con la presencia de sólidos que pasaron a través de la rejilla como desbaste, los cuales podrían influir en el proceso de oxidación avanzada. Por la cantidad de partículas aun suspendidas en el agua residual por ello fue necesario realizar un tratamiento preliminar mediante el tratamiento de coagulación-floculación con sulfato de aluminio en el test de jarras en condiciones constantes para el volumen total recolectado así de esta manera poder disminuir la cantidad de sólidos suspendidos que pudieran obstruir el filtro el cual está incluido en el equipo de proceso de oxidación avanzada (POA) el cual ocasionaría que la circulación del agua residual sea dificultosa. Se tomó en cuenta el pH para el tratamiento con sulfato de aluminio encontrándose el agua residual dentro del rango para el tratamiento.

Tratamiento: Coagulación con sulfato de aluminio

Condiciones:

- Dosis de 2.5 gramos/ litro de agua residual.
- Tiempo de coagulación 10 minutos.
- Velocidad de agitación: (100 - 120) rpm.
- pH:6.89



Figura 8. Coagulación-floculación del agua residual en el test de jarras. Coagulación con sulfato de aluminio para volúmenes de 1 litro en cada jarra.

Fuente propia.

d. 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 (turbidez, caudal y tiempo de exposición) según el número de tratamiento establecido en el diseño, se modificó la turbidez en el agua residual a tres niveles(500 NTU,400NTU y 300 NTU) diluyéndola con agua; para fijar el caudal de agua residual a tratar se manipuló la válvula reguladora de caudal, finalmente sacando muestras a diferentes tiempos (10 min,15min y 20 min) cabe resaltar que el pH no se tomó en consideración ya que se fijó con NaOH 5M en el rango de (7-8) específico para este tipo de tratamiento según referencias bibliográficas.
- Para cada prueba experimental se llenó el tanque de alimentación con un volumen de 4 litros de agua residual previamente acondicionada.
- Luego fue impulsado por la bomba para pasar por un filtro el cual retuvo algunos sólidos suspendidos a su paso seguido se fijó en el flujómetro la lectura del caudal en el proceso experimental, luego pasó por una lámpara UV tipo C de 260nm 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 se dirigió a un tanque mezclador el cual contiene en su interior un tubo de acero inoxidable con pequeños orificios el cual con la presión que llega el agua residual generó burbujas permitiendo una mayor interacción entre el agua, el gas de ozono y el UV luego retornó nuevamente al tanque de alimentación y continuó con el mismo procedimiento recirculando hasta alcanzar el máximo resultado en un tiempo determinado.



*Figura 9.*Equipo de proceso de oxidación avanzada ozono-UV
Se aprecia como el equipo de proceso de oxidación avanzada empieza a operar, aun lado se observa el agua residual antes y después de ser tratada.

Fuente: Fotografía tomada en las instalaciones de LOPU FIQ-UNAC.

4.4.2. Instrumentos

Entre los instrumentos que se utilizó para los análisis y tratamientos experimentales se tiene:

Tabla 8

Instrumentos usados en las pruebas experimentales.

EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de proceso de oxidación avanzada O₃/UV. • Equipo espectrofotómetro digital modelo DR1900, marca Hach. • Termoreactor, marca Hach. • Equipo turbidímetro modelo 2100Q, marca Hach • Equipo de filtración al vacío (embudo buchner, kitasato y bomba al vacío) • Estufa OMS100 (50-300°C) • T-de Jarras • Balanza analítica al 0,0001g
----------------	---

**MATERIALES
DE VIDRIO**

- Pipeta graduada de 1 y 5 mL.
- Vaso de precipitado de 500 mL.
- Probeta de 100 mL.
- Fiola de 100 mL
- Filtros para análisis gravimétrico: AP40 Millipore o equivalente a 934AH Whatman)
- Desecador con Sílica azul como indicador colorimétrico de humedad.

REACTIVOS

- Solución de NaOH (0.5N)
 - Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$
 - Biftalato de potasio $C_8H_5KO_4$
 - Sulfato de plata. Ag_2SO_4
 - Sulfato de mercurio. $HgSO_4$
 - Ácido sulfúrico concentrado $H_2SO_4(cc)$
 - Dicromato de potasio. $K_2Cr_2O_7$
-

Fuente propia.

4.5. Análisis y procedimientos de datos

Después de hacer el diseño experimental y realizar los análisis del agua residual, nos arroja un número importante de datos y vectores de respuesta. Estos datos se analizaron mediante el software MINITAB 18, el cual ayudó a identificar si los parámetros operacionales planteados influyeron significativamente en el proceso de oxidación avanzada para contrarrestar las hipótesis planteadas. También permitió obtener gráficos y tablas que nos ayudaron a resumir los datos e interpretar los resultados estadísticos. La optimización de los parámetros operacionales en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de un camal de porcinos se direccionó a encontrar una ecuación que rija el comportamiento de los VMA mediante el proceso de oxidación, de tal manera que maximice el porcentaje de remoción de los VMA con ello permitir encontrar las condiciones óptimas del trabajo.

V. RESULTADOS

5.1. Caracterización del agua residual proveniente del camal de porcinos.

- Para la caracterización del agua residual se tomó en cuenta el día y hora de mayor faenamiento y actividad en el proceso.

Tabla 9

Número promedio de animales faenados según día de beneficio

Día	Nº Porcinos sacrificados	Peso promedio del Porcino	Cantidad de agua utilizada (m ³)
Martes	32-52		22-28m ³
Jueves	65-94	95kg	32-36m ³
Domingo	100-150		54-56m ³
Total,semanal			108-120 m ³

Fuente: Datos tomados en el camal.

- Datos tomados a la salida del canal del agua residual.

Tabla 10

Resultados de los parámetros in situ del agua residual del camal de porcinos.

Parámetro	Unidad	Resultados	VMA para descargas al sistema de alcantarillado
pH	-	6.89	6-8.5
Temperatura	°C	23	<35°C

Fuente propia.

- Características fisicoquímicas del agua residual del camal de porcinos, sin tratamiento alguno.

Tabla 11

Características fisicoquímicas del agua residual del camal de porcinos

Parámetro	Unidad	Expresion	Resultados	VMA para descargas al sistema de alcantarillado
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	DBO ₅	625.9 mg/l	500
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	DQO	1965mg/l	1000
Sólidos suspendidos totales	mg/L	S.S.T.	978.3mg/l	500
Aceites y grasas	mg/L	A y G	354 mg/l	100

Fuente: Resultados de laboratorio y propios.

Tabla 12

Características fisicoquímicas del agua residual del camal de porcinos después de la coagulación con sulfato de aluminio.

Parámetro	Unidad	Expresion	Resultados	VMA para descargas al sistema de alcantarillado
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	DQO	1714 mg/l	1000
Sólidos suspendidos totales	mg/L	S.S.T.	925.9mg/l	500

Fuente: Resultados de laboratorio y propios.

Se caracteriza estos parámetros debido a que son de interés para el estudio en determinados tiempos, mientras que los valores de los parámetros fisicoquímicos de DBO y aceites y grasas son analizados al inicio y final en el tratamiento óptimo.



Figura 10. Análisis fisicoquímico - demanda química de oxígeno del agua residual de un camal de porcino. En la figura se observa los tubos preparados con la solución digestora, ácido concentrado y cantidad de muestra de agua residual del camal de porcinos para que se proceda con la lectura en el espectrofotómetro digital.

Fuente propia.



Figura 11. Análisis fisicoquímico – sólido suspendidos totales del agua residual de un camal de porcino

En la figura se observa el acondicionamiento del papel filtro en la estufa seguido la filtración de la muestra de agua residual del camal de porcinos en el equipo de filtración para que finalmente sea llevado nuevamente a la estufa el papel filtro para su secado correspondiente.

Fuente propia.

5.2. Resultados de las variables respuestas obtenidas después del proceso de oxidación avanzada.

Tabla 13

Características fisicoquímicas del agua residual del camal de porcinos después de la coagulación con sulfato de aluminio.

Resultados de los análisis fisicoquímicos de demanda química de oxígeno (DQO)

Tiempo (Minutos)	Demanda química de oxígeno (mg/L)								
	Turbidez: 300NTU			Turbidez: 400NTU			Turbidez: 500NTU		
	Caudal : 1LPM	Caudal : 1.6LPM	Caudal: 2LPM	Caudal : 1LPM	Caudal : 1.6LPM	Caudal: 2LPM	Caudal : 1LPM	Caudal : 1.6LPM	Caudal: 2LPM
10	337	328	353	557	333	364	901	653	851
15	327	292	302	501	314	328	866	609	784
20	311	265	277	454	296	299	822	589	762

Fuente: Obtenido a partir de las corridas experimentales.

Tabla 14

Resultados de los análisis fisicoquímicos de sólidos suspendidos totales (SST)

Tiempo (Minutos)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)								
	Turbidez: 300NTU			Turbidez: 400NTU			Turbidez: 500NTU		
	Caudal : 1LPM	Caudal : 1.6LPM	Caudal: 2LPM	Caudal : 1LPM	Caudal : 1.6LPM	Caudal: 2LPM	Caudal : 1LPM	Caudal : 1.6LPM	Caudal: 2LPM
10	192	159	152	245	285	194	605	306	302
15	78	98	138	189	194	82	432	262	188
20	61	55	72	36	137	38	303	139	58

Fuente: Obtenido a partir de las corridas experimentales

5.3. Resultados del porcentaje de remoción para cada prueba experimental.

Tabla 15

Resultados del % de remoción de demanda química de oxígeno (DQO)

$$\text{Remoción de DQO (\%)} = \frac{[DQO \text{ inicial} - DQO \text{ final}]}{DQO \text{ inicial}} * 100\%$$

Tiempo (Minutos)	% de remoción de demanda química de oxígeno (DQO)								
	Turbidez: 300NTU			Turbidez: 400NTU			Turbidez: 500NTU		
	Caudal : 1LPM	Caudal : 1.6LPM	Caudal: 2LPM	Caudal : 1LPM	Caudal : 1.6LPM	Caudal: 2LPM	Caudal : 1LPM	Caudal : 1.6LPM	Caudal: 2LPM
10	80	81	79	68	81	79	47	62	50
15	81	83	82	71	82	81	49	64	54
20	82	85	84	74	83	83	52	66	56

Fuente propia.

Tabla 16

Resultados del % de remoción de solidos suspendidos totales (SST)

$$\text{Remoción de SST (\%)} = \frac{[SST \text{ inicial} - SST \text{ final}]}{SST \text{ inicial}} * 100\%$$

Tiempo (Minutos)	% de remoción de solidos suspendidos totales (SST)								
	Turbidez: 300NTU			Turbidez: 400NTU			Turbidez: 500NTU		
	Caudal : 1LPM	Caudal : 1.6LPM	Caudal: 2LPM	Caudal : 1LPM	Caudal : 1.6LPM	Caudal: 2LPM	Caudal : 1LPM	Caudal : 1.6LPM	Caudal: 2LPM
10	79	83	84	74	69	79	35	67	67
15	92	89	85	80	79	91	53	72	80
20	93	94	92	96	85	96	67	85	94

Fuente propia



Figura 12. Muestras de agua residual del camal de porcinos después del tratamiento a diferentes tiempos.

Fuente propia.

5.4. Resultados del análisis estadístico de las pruebas experimentales

Tabla 17

Análisis de varianza para el porcentaje de remoción de Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Fuente	GL	SC Ajuste.	MC Ajuste	Valor F	Valor p
Modelo	9	4119.01	457.67	42.97	0.000
Lineal	3	3324.04	1108.01	104.03	0.000
TIEMPO	1	79.09	79.09	7.43	0.014
TURBIDEZ	1	3137.39	3137.39	294.56	0.000
CAUDAL	1	107.56	107.56	10.10	0.006
Cuadrado	3	750.72	250.24	23.49	0.000
TIEMPO*TIEMPO	1	0.07	0.07	0.01	0.935
TURBIDEZ*TURBIDEZ	1	516.46	516.46	48.49	0.000
CAUDAL*CAUDAL	1	234.18	234.18	21.99	0.000
Interacción de 2 factores	3	18.56	6.19	0.58	0.636
TIEMPO*TURBIDEZ	1	1.33	1.33	0.13	0.728
TIEMPO*CAUDAL	1	0.18	0.18	0.02	0.899
TURBIDEZ*CAUDAL	1	17.05	17.05	1.60	0.223

Fuente: Obtenido a partir del software MINITAB 18.

Resumen del modelo: $R^2 = 95.79\%$

Optimización del modelo:

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.

$$\begin{aligned} \% \text{Remoción} &= -67.4 + 0.21 * \text{tiempo} + 0.564 * \text{turbidez} + 73.3 * \text{caudal} \\ \text{DQO} &= -0.0044 * \text{tiempo} * \text{tiempo} - 0.000928 * \text{turbidez} * \text{turbidez} \\ &\quad - 26.20 * \text{caudal} * \text{caudal} + 0.00067 * \text{tiempo} * \text{turbidez} \\ &\quad + 0.048 * \text{tiempo} * \text{caudal} + 0.0237 * \text{turbidez} * \text{caudal} \end{aligned}$$

Se realizó el análisis de los datos que se observan en la tabla, en donde se encontró un coeficiente de correlación r^2 de 0.95, lo que significa que el modelo estadístico propuesto explica el 95.79% de la variabilidad de la proporción de remoción de demanda química de oxígeno, lo cual indica un buen ajuste del modelo a los datos recolectados. Para $p < 0.05$ con el factor tiempo, turbidez y caudal fueron significativos en la remoción de DQO.

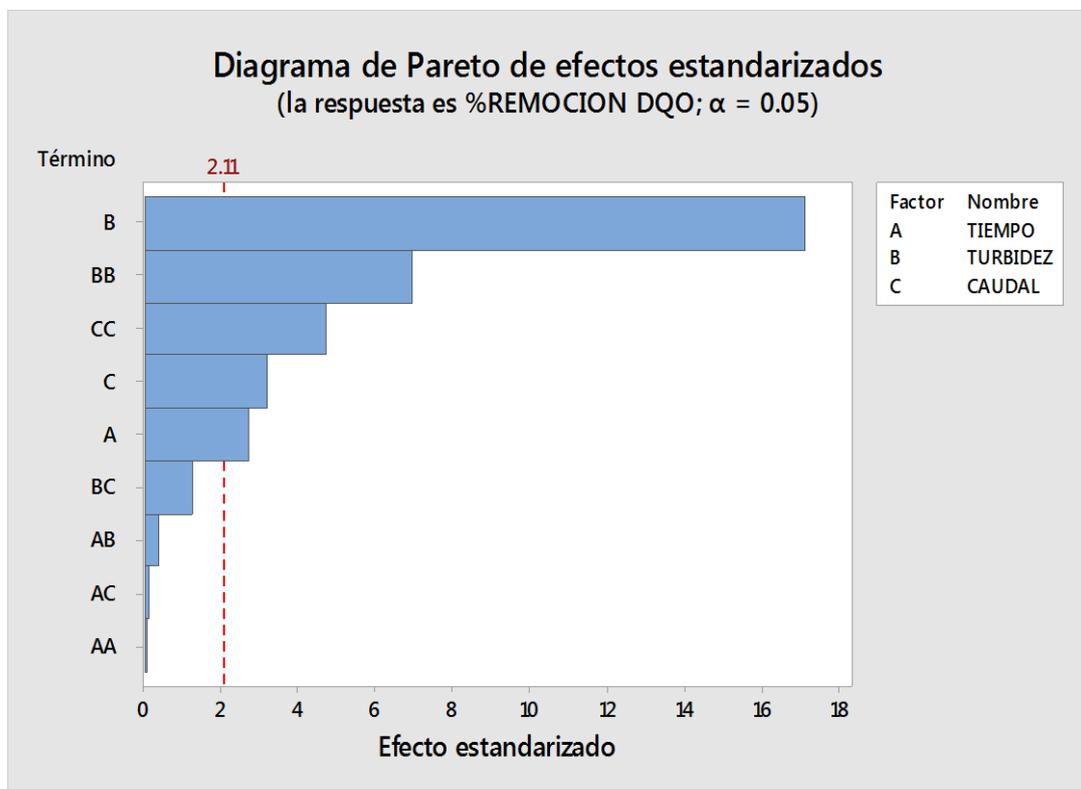


Figura 13. Diagrama de Pareto para el porcentaje de remoción de DQO

Fuente: Obtenido a partir del software MINITAB 18.

En estos resultados, los tres efectos principales tiempo (A), Turbidez (B) y caudal (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 la Turbidez (B) porque es el que más se extiende.

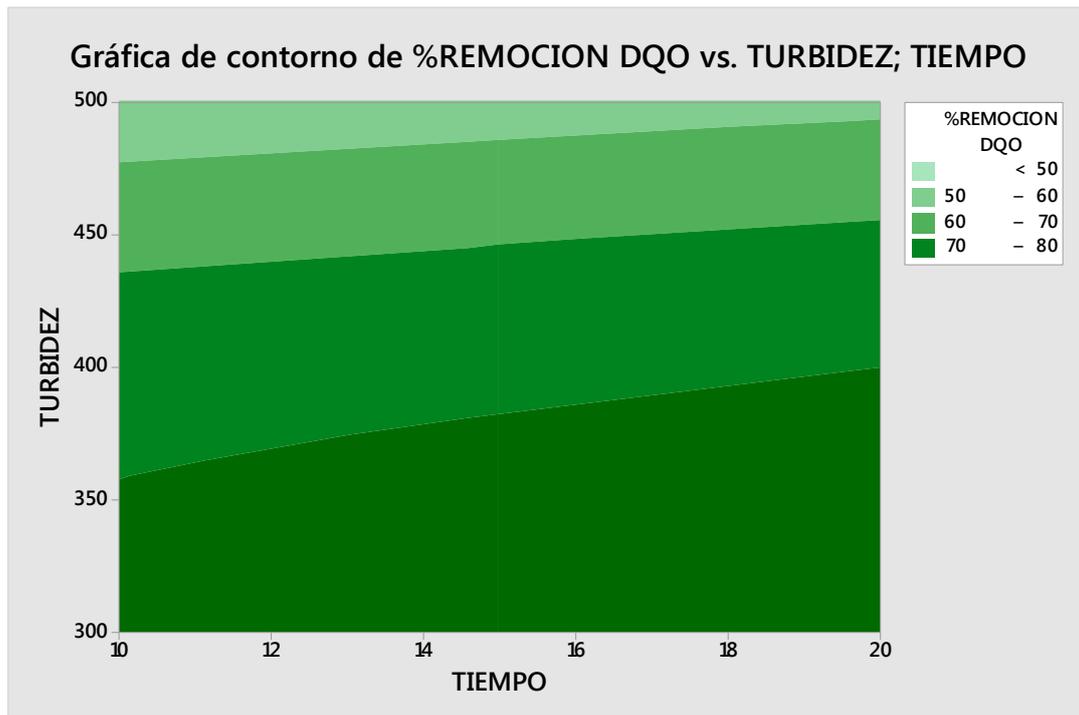


Figura 14. Gráfica de contorno para el porcentaje de remoción de DQO vs turbidez y tiempo.

Fuente: Obtenido a partir del software MINITAB 18.

Los valores más altos para el porcentaje de remoción de DQO se encuentran en la esquina inferior de la gráfica, que coincide con todos los valores de tiempo (A) y valores bajos en la turbidez (B).

Los valores más bajos de calificación para el porcentaje de remoción de DQO se encuentran en la esquina superior de la gráfica, que coincide con los valores altos en turbidez (B) y todos los valores en tiempo (A).

El tercer efecto, caudal (C) no aparecen en la gráfica, Minitab fija el valor de 2 L/min al calcular los valores ajustados de respuesta del porcentaje de remoción de DQO.

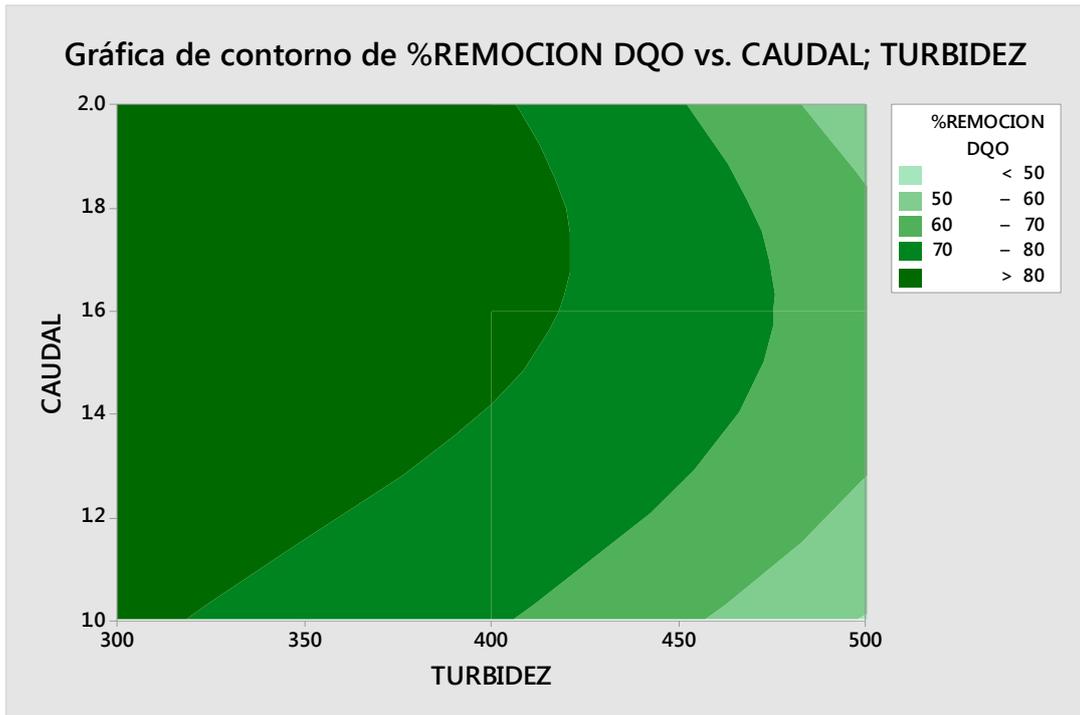


Figura 15. Grafica de contorno para el porcentaje de remoción de DQO vs caudal y turbidez

Fuente: Obtenido a partir del software MINITAB 18

Los valores más altos para el porcentaje de remoción de DQO se encuentran en la parte izquierda de la gráfica, que coincide con todos los valores de caudal (C) y valores bajos para la turbidez (B).

Los valores más bajos de calificación para el porcentaje de remoción de DQO se encuentran en la parte derecha de la gráfica, que coincide con los valores bajos en caudal (C) y valores altos para la turbidez (B).

El tercer efecto, tiempo(A) no aparecen en la gráfica, Minitab fija el valor de 20 minutos al calcular los valores ajustados de respuesta del porcentaje de remoción de DQO.

Tabla 18

Análisis de varianza para el porcentaje de remoción de Solidos suspendidos totales (SST).

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	5253.56	583.73	39.61	0.000
Lineal	3	4466.77	1488.92	101.02	0.000
TIEMPO	1	1898.92	1898.92	128.84	0.000
TURBIDEZ	1	1762.54	1762.54	119.59	0.000
CAUDAL	1	607.44	607.44	41.21	0.000
Cuadrado	3	141.95	47.32	3.21	0.051
TIEMPO*TIEMPO	1	4.85	4.85	0.33	0.574
TURBIDEZ*TURBIDEZ	1	123.91	123.91	8.41	0.010
CAUDAL*CAUDAL	1	9.36	9.36	0.63	0.437
Interacción de 2 factores	3	858.92	286.31	19.43	0.000
TIEMPO*TURBIDEZ	1	243.00	243.00	16.49	0.001
TIEMPO*CAUDAL	1	52.22	52.22	3.54	0.078
TURBIDEZ*CAUDAL	1	563.70	563.70	38.25	0.000

Resumen del modelo: $R^2 = 95.67\%$

Optimización del modelo:

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.

$$\begin{aligned} \% \text{ Remoción SST} &= 141.6 - 2.394 * \text{tiempo} - 0.064 * \text{turbidez} - 37.9 * \text{caudal} \\ &- 0.0215 * \text{tiempo} * \text{tiempo} - 0.000458 * \text{turbidez} * \text{turbidez} \\ &- 0.22 * \text{caudal} * \text{caudal} + 0.01091 * \text{tiempo} * \text{turbidez} \\ &+ 0.358 * \text{tiempo} * \text{caudal} + 0.1082 * \text{turbidez} * \text{caudal}. \end{aligned}$$

Fuente: Obtenido a partir del software MINITAB 18.

Se realizó el análisis de los datos que se observan en la tabla, en donde se encontró un coeficiente de correlación r^2 de 0.95, lo que significa que el modelo estadístico propuesto explica el 95.67% de la variabilidad de la proporción de

remoción de Sólidos suspendidos totales (SST), lo cual indica un buen ajuste del modelo a los datos recolectados. Para $p < 0.05$ con el factor tiempo, turbidez y caudal fueron significativos en la remoción de SST.

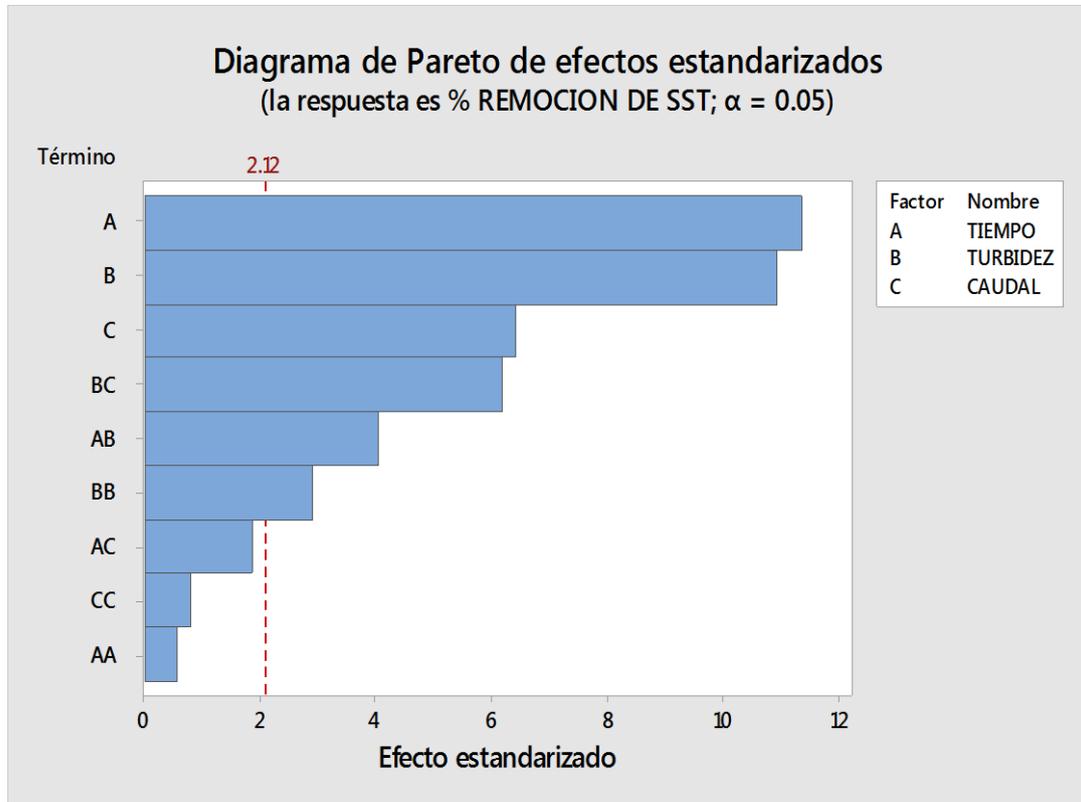


Figura 16. Diagrama de Pareto para el porcentaje de remoción de SST

Fuente: Obtenido a partir del software MINITAB 18.

En estos resultados, los tres efectos principales tiempo (A), Turbidez (B) y caudal (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 (A) porque es el que más se extiende. El efecto para la interacción tiempo (A) por tiempo (A) es el más pequeño porque es el que menos se extiende.

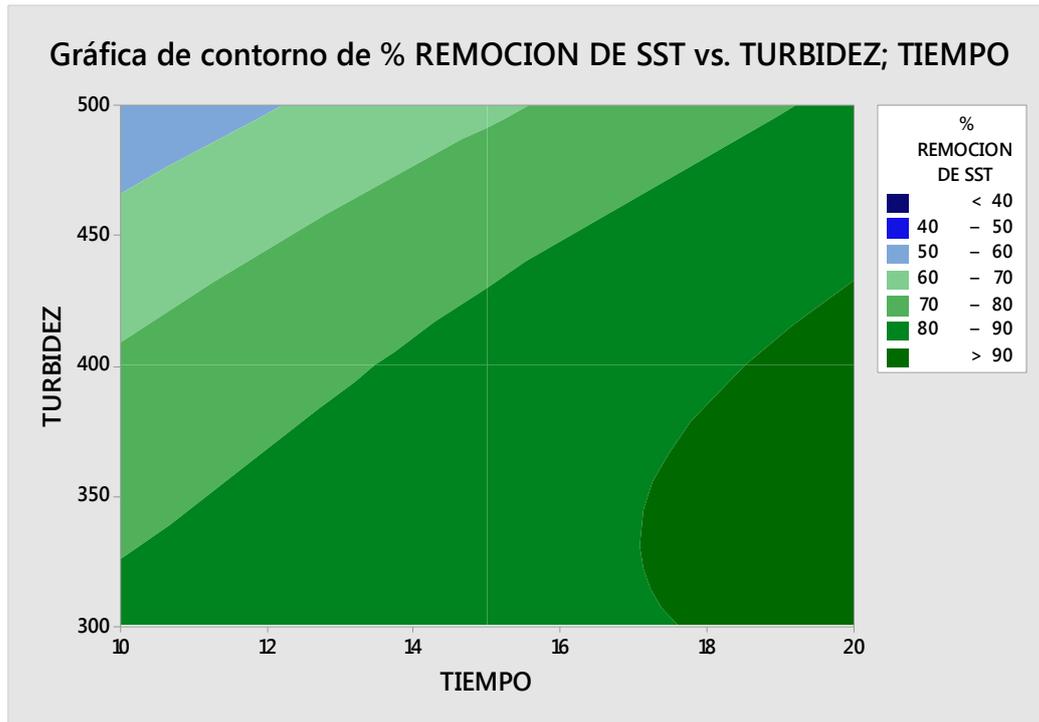


Figura 17. Gráfica de contorno para el porcentaje de remoción de SST vs turbidez y tiempo.

Fuente: Obtenido a partir del software MINITAB 18.

Los valores más altos para el porcentaje de remoción de SST se encuentran en la esquina inferior derecha de la gráfica, que coincide con los valores altos de tiempo (A) y valores bajos en la turbidez (B).

Los valores más bajos de calificación para el porcentaje de remoción de SST se encuentran en la esquina superior izquierda de la gráfica, que coincide con los valores altos en turbidez (B) y valores bajos en tiempo (A).

El tercer efecto, caudal (C) no aparecen en la gráfica, Minitab fija el valor de 2 L/min al calcular los valores ajustados de respuesta del porcentaje de remoción de SST.

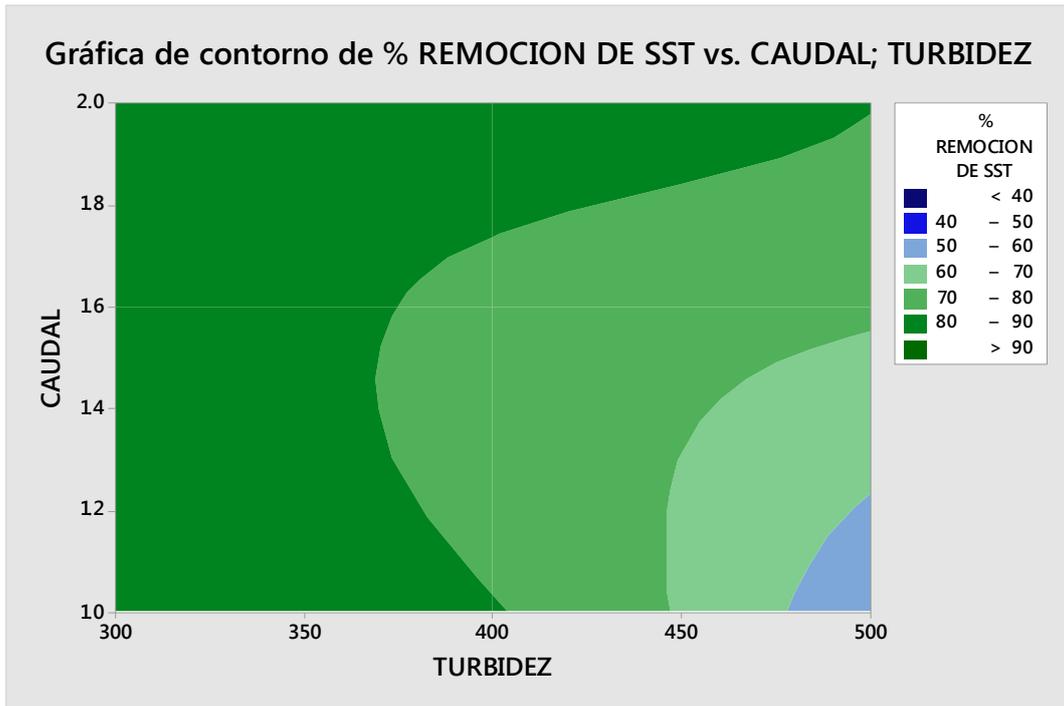


Figura 18. Gráfica de contorno para el porcentaje de remoción de SST vs caudal y turbidez.

Fuente: Obtenido a partir del software MINITAB 18

Los valores más altos para el porcentaje de remoción de SST se encuentran en la parte izquierda de la gráfica, que coincide con los valores altos de caudal (C) y valores bajos de turbidez(B).

Los valores más bajos de calificación para el porcentaje de remoción de DQO se encuentran en la esquina inferior derecha de la gráfica, que coincide con todos los valores bajos en caudal (C) y los valores altos en turbidez (B).

El tercer efecto, tiempo(A) no aparecen en la gráfica. Minitab fija el valor de 20 minutos al calcular los valores ajustados de respuesta del porcentaje de remoción de SST.

5.5. Resultados de los valores para los parámetros óptimos encontrados.

Tabla 19

Condiciones óptimas de los parámetros operacionales en el proceso de oxidación avanzada.

PARAMETROS OPTIMOS	VALORES
Turbidez	400 NTU
Tiempo de exposición	20 min
Caudal	2 L/min.

Fuente: Obtenido a partir de los análisis estadísticos.

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

- Dosificación de ozono:

Donde:

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

Caudal del efluente óptimo: 2 L/min

$$\frac{1.66 * 10^{-2} \text{g/min} * \text{min de tratamiento}}{2 \text{ L/min} * \text{min de tratamiento}} = 8.3 * 10^{-3} \text{g/min.}$$

- Dosis de UV:

Donde:

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

Caudal del efluente óptimo: 2 L/min

$$\frac{6 * 10^{-3} \text{Kw/min}}{2 \text{ L/min}} = 3 * 10^{-3} \text{Kw/L.}$$

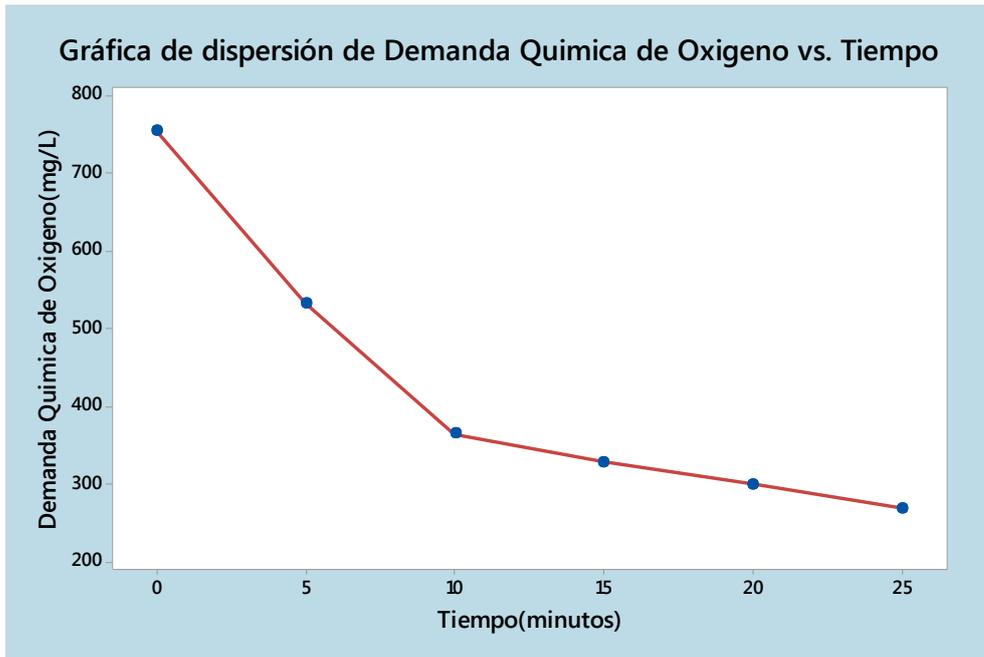


Figura 19. Curva DQO VS tiempo en el tiempo con los parámetros óptimos

Fuente propia.

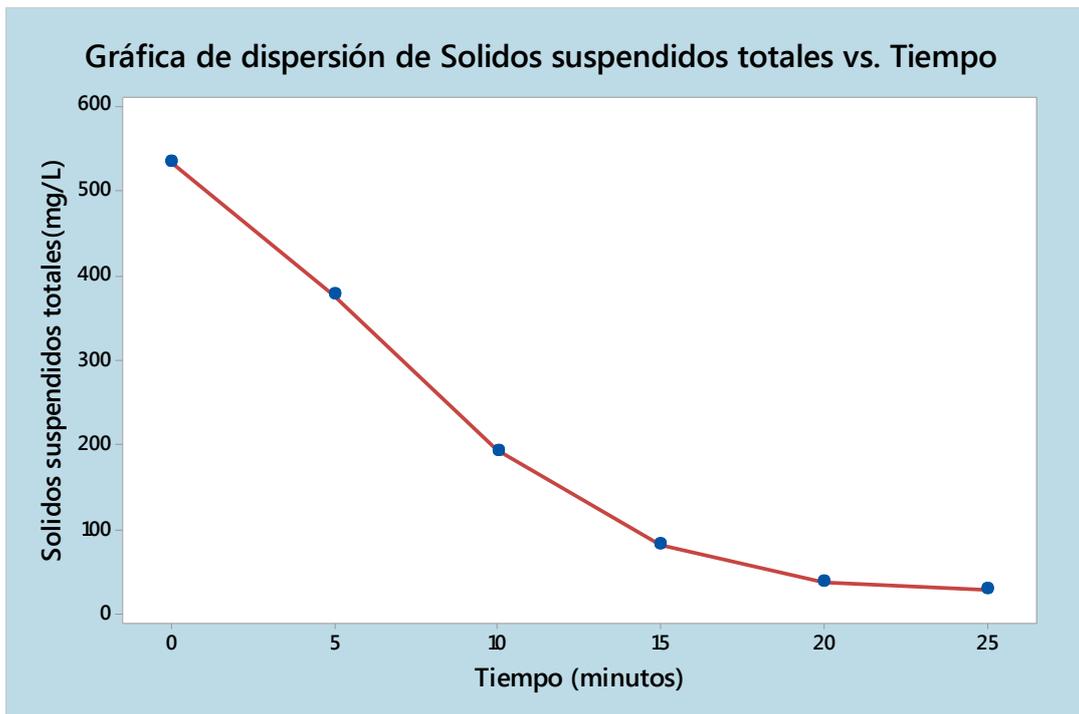


Figura 20. Curva SST VS tiempo en el tiempo con los parámetros óptimos

Fuente propia.

5.6. Resultados de las características fisicoquímicas del agua residual del camal de porcinos después del tratamiento óptimo.

Tabla 20

Características fisicoquímicas del agua residual del camal de porcinos después del tratamiento óptimo.

Parámetro	Unidad	Expresion	Resultados	VMA para descargas al sistema de alcantarillado
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	DBO ₅	185.6 mg/l	500
Demanda química de oxígeno	mg/L	DQO	324 mg/l	1000
Solidos suspendidos totales	mg/L	S.S.T.	38 mg/l	500
Aceites y grasas	mg/L	A y G	9.8 mg/l	100

Fuente: Resultados de laboratorio y propios.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación de las hipótesis con los resultados obtenidos.

La optimización de los parámetros operacionales en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de un matadero de porcinos, empleando el proceso de oxidación avanzada permitió obtener un mayor porcentaje de remoción de los VMA, ello se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 21

Resultados comparativos de la muestra problema y la muestra final.

Determinación	Resultados Muestra inicial	Resultados Muestra Final	% Reducción
DQO	1714	299	82.56
SST	982.5	38	96.13

Fuente propia.

Según estos resultados podemos concluir que la optimización de los parámetros operacionales del proceso de oxidación avanzada en el tratamiento del agua residual de un camal de porcinos permitió obtener un mayor porcentaje de remoción de los Valores Máximos Admisibles.

6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares.

Para Gerald, R. & et al. (1994). Estudiaron varios procesos de oxidación avanzada (UV-O₃, UV-H₂O₂, UV-TiO₂ y foto-Fenton), reportando un grado de mineralización aproximadamente el 75% el cual se alcanzó después de 90 minutos con la reacción foto-Fenton y después de 150 minutos con O₃/UV, comparándola con nuestra investigación, el tiempo de contacto máximo planteado fue de 20 minutos y una con una producción generada de ozono de 1000 mg/h logró una remoción de 82.56 % de materia orgánica siendo mayor eficiente nuestro proceso de oxidación avanzada O₃/UV

En comparación con el autor Wu, J., & Doan, H. (2005). En su trabajo “Disinfection of recycled red-meat-processing waste water by ozone”; nuestro trabajo con la combinación de O₃/UV a parte del 87.5% de remoción de

DQO logramos remover los SST a un 96.13% y decolorar por completo nuestras muestras de matadero de porcinos.

La investigación realizada se apoya con el trabajo de Calderón, S. (2016) quién a través de su tesis titulada **“Reducción del DQO5 en la degradación del colorante negro directo 22, en una solución acuosa sintética, mediante procesos oxidativos avanzados (O₃/UV)”**, sostuvo que se puede reducir un 90% de DBO₅, ante ello en su proceso usó un equipo UV de 254nm. y un sistema continuo de agua de 2 y 3 litros por minuto. Consiguientemente el presente trabajo logró una reducción del 80.19% de DBO₅.

El autor Sánchez, Y. (2016), en su tesis de titulación **“Eficiencia de fotocátalisis homogénea en la remoción de materia orgánica de las aguas residuales de un frigorífico cárnicos, llevando acabo con H₂O₂ y dosis de FeSO₄ logro obtener un 92% de remoción de demanda química de oxígeno, consiguientemente nuestro trabajo logro una reducción del 82.56 % de DQO solo utilizando el proceso de oxidación avanzada O₃/UV, una tecnología limpia y eficiente.**

Se encuentra una similitud con Mounteeret al, (2005) en su trabajo **“Efluentes del proceso de blanqueamiento de una industria de celulosa y papel”** donde su producción de O₃ fue de 3-20 mg/min trabajaron a un pH neutro, mientras que el de nosotros fue 16,6 mg/min a un pH alcalino, donde ambos coincidimos en la disminución del valor de DQO. En comparación al tiempo como como parte de la optimización de la variables en el proceso O₃/UV; Siqueira y Amaral, (2015). **Degradation of Caffeine by Advanced Oxidative Processes: O₃ and O₃/UV.** Encontró tiempo de reacción óptimo de 30 minutos en un pH alcalino, mientras que en nuestro trabajo el tiempo de reacción óptimo fue de 20 minutos en un pH alcalino.

CONCLUSIONES

- a.** Se optimizó los parámetros operacionales del proceso de oxidación avanzada para el tratamiento de aguas residuales provenientes de un camal de porcinos encontrándose que las condiciones óptimas para el proceso son las siguientes: un caudal de 2 L/min., una turbidez de agua residual de 400NTU y un tiempo de exposición de 20 minutos. El cual verifica el cumplimiento de los VMA.
- b.** Se determinó que las aguas residuales provenientes de un camal de porcinos tiene las siguientes características fisicoquímicas: DBO₅ (625.9 mg/L), DQO (1965 mg/L), SST (978.3 mg/L) y aceites y grasas (354 mg/L).
- c.** Se determinó que los parámetros operacionales: caudal, turbidez del agua residual y tiempo de exposición influyen significativamente en el tratamiento del agua residual de camal mediante el proceso de oxidación avanzada.
- d.** Los VMA de las aguas residuales provenientes de un camal de porcinos después del proceso de oxidación avanzada, da como resultado: DBO₅ (185.6 mg/L), DQO (324 mg/L), SST (38 mg/L) y aceites y grasas (9.8 mg/L) los cuales se encuentran dentro de los límites permisibles.

RECOMENDACIONES

- Asegurarse que el pH y la temperatura se encuentren del rango establecido para llevar a cabo el proceso de oxidación avanzada.
- Extender el estudio del proceso de oxidación avanzada ya puede ser aplicado a otros tipos de aguas residuales de las cuales no se tenga mucha información bibliográfica.
- Se recomienda un realizar tratamientos previos en aguas residuales cargadas con partículas en suspensión apreciables para evitar la obstrucción en el sistema de tubería o en cualquiera de los accesorios pertenecientes al equipo de oxidación avanzada.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Arslan, A., Topkaya, E., Bing, D. (2017). "La eliminación de dodecil sulfato de sodio tensioactivo aniónico a partir de soluciones acuosas por $O_3/UV/H_2O_2$ proceso de oxidación avanzada". Optimización de procesos con enfoque de la metodología de superficie de respuesta. Artículo de investigación científica, Instituto de Ingeniería de China Ambiental, Taiwán.
- Barraza, F., Javier, A., & Palpa Chávez, G. (2011). "Comparación de eficiencias en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de un camal utilizando en forma independiente reactores UASB y filtros contenedores a escala piloto". Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Sanitaria.
- Bes, Silva y Bengoa. (s.f). "Procesos de Oxidación Avanzada aplicados en el tratamiento de aguas de la industria". Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales. Red de Tratamiento y reciclaje de aguas industriales mediante soluciones sostenibles fundamentadas en procesos biológicos.
- Calderón, S. (2016). Reducción del DQO en la degradación del colorante negro directo 22, en una solución acuosa sintética, mediante procesos oxidativos avanzados (O_3/UV).
- Forero, J. E., Ortiz, O. P., & Ríos, F. (2005). "Aplicación de procesos de oxidación avanzada como tratamiento de fenol en aguas residuales industriales de refinería". CT&F-Ciencia, tecnología y futuro, 3(1), 97-109.
- García, Díez, Jose A. (2006). "Bienestar Animal en los Mataderos, Bienestar Animal. Anapore /MAPA". Madrid.

- Gonzales, Vilela, F. A., Wachapa, A., & Norma, J. (2017). *“Situación Sanitaria, Técnica y Administrativa de los Camales del Departamento de Lambayeque”*.
- Hai, F.I., Yamamoto, K., & Fukushi, K. (2007). Hybrid treatment systems for dye wastewater. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 37(4), 315-377.
- Hill, V. R., Kantardjieff, A., Sobsey, M. D., & Westerman, P. W. (2002). *“Reduction of enteric microbes in flushed swine wastewater treated by a biological aerated filter and UV irradiation”*. *Water Environment Research*, 74(1), 91-99.
- Kargi F., Catalkaya E. C.; (2007). *“Efluentes secundarios de una industria de pulpa y papel”*. Color, TOC and AOX removals from Pulp Mill Effluent by Advanced Oxidation Process: A comparative study. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 139. pp.244-253.
- Kazuakil., JianW., NishimaW., (1998). *“Comparison of Ozonation and AOPs Combined with Biodegradation for Removal of THM precursors in Treated Sewage Effluents”*. *Water Science and Technology*. Vol. 38. 1998. pp. 179-186.
- Koprivanac N., usic H., ozic A., *“Minimization of Organic Pollutant Content in Aqueous Solution by means of AOPs: UV- and Ozone –Based Technologies”*. *Chemical Engineering Journal*. Vol.123. 2006. pp.127- 137.
- Kreetachat T., Damrongsri M., Punsuwon V., Vaithanomsat P., Chiemchaisri C., Chomsurin C. (2007). *“Derivados de la lignina presentes en efluentes de la industria de papel y celulosa. (n-alcanos, ácidos grasos, ester)”*. Effects of Ozonation Process on Lignin-derived Compounds in Pulp and Paper Mill Effluents. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 142. pp.250-257
- Kusic, H., Koprivanac, N., & Bozic, A. L. (2006). *“Minimization of organic pollutant content in aqueous solution by means of AOPs: UV-and*

- ozone-based technologies*". Chemical Engineering Journal, 123(3), 127-137.
- Ledakowicz S., Soleck M, Zylla R.(2001). "*Agua residual sintética simulando efluentes de industria de papel y celulosa*". Biodegradation, Decolourisation and Detoxification of Textile wastewater enhanced by Advanced Oxidation Processes. Journal of Biotechnology. Vol. 89. pp. 175-184.
- Lovato, M. E. (2010). "*Cinética de la descomposición del ozono y de su aplicación a la degradación de un compuesto modelo utilizando ozono y radiación ultravioleta*" (Doctoral dissertation).
- Luna Chávez, C. M. "*Influencia del pH en la coagulación-sedimentación primaria de aguas residuales de un camal*"; Universidad Nacional del Callao, Facultad de Ingeniería Química, Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería química, 2017.
- Mafla Tapia Telmo Ignacio. "*Funcionamiento del camal municipal de rastro, propuestas para el mejoramiento en la higiene y salubridad*". Trabajo de grado previa la obtención del título de Tecnólogo en saneamiento ambiental, Universidad Técnica del Norte, 2008.
- Mounteer A., Mokfienski J., Amorim F. ;(2005). "*Efluentes del proceso de blanqueamiento de una industria de celulosa y papel*". Remoção de Matéria Orgânica Recalcitrante de Efluentes de CeluloseKraft de Branqueamento por Ozonólise. Pag. 66. pp. 64-70.
- Muñoz Muñoz Deyanire, Sistema de Tratamiento de aguas Residuales de Mataderos: para una Población Menor de 2000 Habitantes, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad del Cauca, Popayán. Grupo de Investigación en Diseño, Proceso y Energía. M. Sc. en Ingeniería con énfasis en Ing. Sanitaria y Ambiental.
- Muñoz B. Florinella y Paredes B. Anael. "Descontaminación de fenoles en el efluente de una refinería ecuatoriana, mediante el uso de ozono y combinaciones con peróxido de hidrógeno". Escuela Politécnica

- Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria Quito, Ecuador. Revista EPN, Vol. 34, NO. 1, octubre de 2014.
- Niño, Seclen, C. (2015). "*Propuesta De Un Sistema De Gestión Ambiental Basado en la Norma ISO 14001:2004 para el Matadero Municipal de la Ciudad de Lambayeque*". Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
- Oré Asparrin, Adolf. "Influencia del sulfato de aluminio y pH en la remoción de la materia orgánica para el tratamiento del agua residual del camal municipal de Chupaca". Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico, Universidad Nacional del centro del Perú, Huancayo, 2017.
- Pabón, S., & Suarez, J. (2009). "*Arranque y operación a escala real de un sistema de tratamiento de lodos activos para aguas residuales de matadero*". Ingeniería e Investigación, 29(2), 53-58.
- Pérez Calvo, María del Mar. (2017) "*Ahorrar agua en lavanderías industriales*" Cosemar-Ozono. Madrid
- Primo, O. (2008). "*Mejoras en el tratamiento de lixiviados de vertederos de RSU mediante procesos de oxidación avanzada*". Tesis doctoral, Universidad de Cantabria, Departamento de Ingeniería química y química inorgánica, Cantabria - España.
- Ramallo, R. S. (1996). "*Tratamiento de aguas residuales*"; Ed. Reverte. Barcelona.
- Rodie, B. (2014). E. & Hardenberg. (1987). "*Ingeniería Sanitaria*." Ed. Continental SA de CV México.
- Salas, G., & Condorhuamán, C. (2008). "*Tratamiento de las aguas residuales de un centro de beneficio o matadero de ganado*". Revista Peruana de Química e Ingeniería Química, 11(1), 29-35.
- Sánchez, Y. (2016). "Eficiencia de fotocátalisis homogénea en la remoción de materia orgánica de las aguas residuales del frigorífico cárnico del Centro SAC Fricacen". Distrito de Concepción-Junín-Perú.

- Siqueira Souza Fernanda y Amaral Féris Liliana; (2015). *“Degradation of Caffeine by Advanced Oxidative Processes: O3 and O3/UV”*. Ozone: Science & Engineering, University of Nebraska, Lincoln.Vol. 37:4, pag.379-384.
- Terán Solíz, M. C. (2016). *“Estudio de la aplicación de procesos de oxidación avanzada a aguas contaminadas”*. (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Top Ozono. (2014-2017). Ingeniería Medioambiental para la desinfección definitiva y ecológica del aire y del agua, sitio web: <http://www.topozono.com/es/Quienes%20somos.html>, Barcelona, España.
- Yonar, T. y Azbar, N. (2005). Decolorisation of Textile effluent using homogeneous Photo chemical oxidation processes. *Coloration Technology*. 121: 258 – 264.
- Wu, J., & Doan, H. (2005). Disinfection of recycled red-meat-processing wastewater by ozone” *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 80(7), 828-833.

ANEXOS

- Matriz de consistencia

“OPTIMIZACION DE LOS PARAMETROS OPERACIONALES DEL PROCESO DE OXIDACION AVANZADA EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE UN MATADERO DE PORCINOS”

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOS
Problema general	Objetivo General	Hipótesis General	Variables Independientes		
¿Cuáles son los parámetros óptimos operacionales del proceso de oxidación avanzada en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de un matadero de porcinos?	Optimizar los parámetros operacionales del proceso de oxidación avanzada en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de un matadero de porcinos.	La optimización de los parámetros operacionales en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de un matadero de porcinos, empleando el proceso de oxidación avanzada nos permitirá obtener un mayor porcentaje de remoción de los VMA.	Y= optimización de los parámetros operacionales	% de remoción de los VMA.	Proceso de oxidación avanzada : O ₃ /UV
Problema específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variable dependiente	INDICADORES	
¿Qué características presentan las aguas residuales provenientes del matadero de porcinos?	Definir las características fisicoquímicas de las aguas residuales provenientes del matadero de porcinos.	Al definir las características fisicoquímicas de las aguas residuales proveniente del matadero de porcinos, los resultados obtenidos superar los VMA.	X ₁ : Características fisicoquímicas de las aguas residuales provenientes de un matadero de porcinos.	DQO DBO SST A y G.	Método de Oxidación Método de Wrinkler NMX-AA-034-SCFI Método extracción gravimetría.
¿Cuáles serán los parámetros y niveles de operación en el proceso de oxidación avanzada O ₃ /UV?	Identificar los parámetros de operación del proceso de oxidación avanzada O ₃ /UV	El caudal, tiempo de exposición y la turbidez de las aguas residuales influyen significativamente en el proceso de oxidación avanzada para el tratamiento de aguas residuales proveniente del matadero de porcinos	X ₂ : Parámetros operacionales del proceso de oxidación avanzada.	Caudal Turbidez Tiempo de exposición	
¿Qué características presentan las aguas residuales provenientes del matadero de porcinos después del tratamiento de oxidación avanzada O ₃ /UV?	Determinar las características fisicoquímicas que presenta el agua residual de un matadero de porcinos después del tratamiento con oxidación avanzada.	Los VMA de las aguas residuales provenientes del matadero de porcino, logran mayor reducción mediante el proceso de oxidación avanzada.	X ₃ : Características fisicoquímicas del agua procedente del tratamiento de oxidación avanzada O ₃ /UV.	DQO DBO SST A y G.	Método de Oxidación Método de Wrinkler NMX-AA-034-SCFI Método extracción gravimetría.

- EQUIPO DE PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA OZONO- UV

El equipo de trabajo cuenta con tanque de alimentación de una capacidad de 5 litros en el cual se almacenará el agua residual a tratar este impulsado por una bomba pasa por un filtro para la retención de posibles solidos seguido 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 a un tanque mezclador el cual contiene en su interior un tubo de acero inoxidable con pequeños orificios que el cual con la presión que llega el agua genera burbujas permitiendo una mayor interacción entre el agua, el ozono y el UV para luego retornar nuevamente al tanque de alimentación y seguir con el mismo procedimiento recirculando hasta alcanzar el máximo resultado en su tratamiento.

PARTES DEL EQUIPO POA	ESPECIFICACIÓN	IMAGEN
BOMBA	DRAIN PUMP ITEM MODEL: PX7-40 220V 60Hz Class A, 35W MADE IN CHINA	
GENERADOR DE OZONO	OZONE GENERAT OZONE OUTPUT: 1 g/h VOLTAGE INPUT: B 220/50Hz POWER: 20W MADE IN CHINA	

LAMPARA UV-C	<p>UV STERILIZER MARCA: BALLAST Model SSE-00GPM 110V 50/60Hz Reactor: UV LAMPAR: TUV 6W Lamp power: 6w</p>	
FILTRO PARA AGUA:	<p>MARCA: ETERNIT COLOR: NEGRO DIAMETRO DE ENTRADA 1'' DIAMETRO DE SALIDA: 1'' PRESION DE TRABAJO: 2040lbs/pulg TEMPERATURA DE TRABAJO: 60°C PROCEDENCIA: NACIONAL</p>	

- DETERMINACION DE SST:

Determinar el contenido de sólidos suspendidos totales presentes en una muestra de agua.

1. Equipos y materiales:

- Equipo de filtración.
- Filtros para análisis gravimétrico: AP40 Millipore o equivalente (como GF 1822047 ó 934AH Whatman)
- Estufa.
- Desecador con sílica azul como indicador colorimétrico de humedad.
- Balanza analítica.
- Agitador magnético o bagueta.
- Probeta de 100ml

2. Procedimiento:

- Esperar a que la muestra se encuentre a temperatura ambiente.
- En función del aspecto de la muestra, seleccionar el volumen a filtrar (ver nota).
- Coger el filtro previamente acondicionado y tarado del desecador (peso A), llevarlo al equipo de filtración e iniciar la succión.
- Agitar la muestra adecuadamente y depositar el volumen seleccionado sobre el filtro.
- Una vez que la muestra haya terminado de filtrar, lavar 3 veces sucesivas con volúmenes de 10 mL de agua destilada dejando secar entre lavados.
- Retirar el filtro y llevarlo al papel de aluminio (al mismo donde se guardó en el desecador) y secarlo en la estufa a 103-105°C durante una hora. A criterio del analista, el secado puede extenderse (incluida toda la noche), cuando la apariencia física de la muestra denote presencia de grasa o alto contenido de sales.
- Enfriar en desecador, pesar el filtro y registrar los datos. (peso B).

3. Cálculos de resultados:

$$\text{mg sólidos suspendidos totales/L} = \frac{[(B - A) \times 1000]}{\text{volumen muestra (mL)}}$$

Dónde:

A: peso del papel filtro acondicionado antes de la filtración (en mg)

B: peso del papel filtro + residuo seco (en mg)

- DETERMINACION DE DQO:

1. Preparación de las soluciones

- a. Solución Stock de Biftalato de Potasio: Disolver 425 mg de biftalato de potasio (previamente secado a 110 °C) en 1 L de agua destilada. Guardar en botella oscura en refrigeración.
- b. Reactivo Ácido Sulfúrico: Disolver 5,06g de sulfato de plata en 500ml de H₂SO₄ (cc). Guardar en botella oscura a temperatura ambiente.
- c. Solución digestora:
 - Rango Alto: Disolver a cerca de 500ml de agua destilada 10,216g de K₂Cr₂O₇ (grado estándar primario previamente secado a 150°C por 2h),

luego 167ml de H_2SO_4 (cc) y 33,3g de $HgSO_4$ disolver, enfriar y diluir a 1000ml. Guardar en botella oscura a temperatura ambiente

- Rango Bajo: Disolver a cerca de 500ml de agua destilada 1,022g de $K_2Cr_2O_7$ (grado estándar primario previamente secado a $150^\circ C$ por 2h), luego 167ml de H_2SO_4 (cc) y 33,3g de $HgSO_4$ disolver, enfriar y diluir a 1000ml. Guardar en botella oscura a temperatura ambiente.

2. Tomar 2,5 ml de muestra (agua residuales del matadero de porcinos) y trasvasar a un tubo de digestión. Agregar 1,5ml de solución de digestión luego 3,5ml de reactivo ácido sulfúrico y mezcle completamente. En el análisis de aguas residuales con alta DQO deben hacerse diluciones preliminares, para reducir el error inherente en la medida de pequeños volúmenes de muestra.



3. Se lleva a una estufa por dos horas a $150^\circ C$ para la digestión.
4. Retirar de la estufa y llevar a un recipiente con agua para reducir a la temperatura ambiental.
5. Dar lectura en el espectrofotómetro.(antes de leer los viales , debemos de calibrar el equipo con un patrón, un vial con agua destilada)



- DETERMINACIÓN DE ACEITES Y GRASAS

a) Materiales, equipos e insumos

- Embudo de separación

- Embudo de vidrio
- Probeta graduada
- Papel filtro
- Matraz Erlenmeyer o fiola aforada.
- Varilla de agitación
- Aro metálico y soporte universal.
- Equipos: balanza analítica, campana extractora de gases, estufa
- Reactivos: Cloroformo, sulfato de sodio

b) Procedimiento

- **Preparación de la muestra:** medir con una probeta graduada 150mL de la muestra de agua residual, luego proceder a filtrar la muestra para eliminar los sólidos suspendidos que pueda contener y así evitar la formación de emulsiones y pérdida del analito.
- **Extracción:** Luego de trasvasar la muestra de agua residual al embudo de separación, adicionar 5mL de cloroformo agitando vigorosamente por 5min aproximadamente retirando la tapa para liberar cada cierto tiempo la presión dentro del embudo provocada por la agitación del disolvente volátil.
- Realizar la separación de las fases dejando reposar por aproximadamente 10min. Haciendo uso del embudo de vidrio filtrar el extracto orgánico con el papel filtro humedecido con sulfato de sodio, luego recogerlo en un matraz Erlenmeyer previamente pesado e ir adicionando 5mL de cloroformo hasta completar la adición de 15mL de cloroformo.
- Seguido se procede a llevar a estufa a 105°C hasta peso constante. Dejar enfriar y pesar.

Cálculos de resultados

$$\text{Grasas y aceites (mg /L)} = \frac{[(B - A) \times 1000]}{\text{volumen muestra (mL)}}$$

Dónde:

A: peso del matraz Erlenmeyer acondicionado (en mg)

B: peso del matraz Erlenmeyer + residuo seco (en mg)



Figura 21. Análisis de aceites y grasas en el agua residual de canal de porcinos.

Fuente propia



Figura 22. Fotografía del asesor orientándonos en la construcción del equipo.

Fuente propia.



Figura 23. Muestras después de la prueba experimental acondicionadas

Fuente propia.

INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR		INVESTIGACIÓN		FECHA DE	
LABORATORIO DE QUÍMICA		CONTROL DE USO DE LABORATORIOS PARA INVESTIGACIÓN		Revisión: 01	
Sede:		Código: JEN DE LAE-0001		Fe: Abril 2017	
				Página 1 de 1	
N°	APellidos y Nombres (Solicitantes)	N° Teléfono	CORREO ELECTRÓNICO	FIRMA	
1.	Nieto Ugarte Roli	982587702	rolieugarte@univalle.edu.pe		
2.	Ordóñez Rojas Jonathan	992072243	jonathan.ordonez.rojas@univalle.edu.pe		
3.	Castillo Velázquez Emilia	992425266	Castillo.Velazquez.Emilia@univalle.edu.pe		
4.					
5.					
TEMA DE INVESTIGACIÓN: <i>Caracterización de parámetros espectroscópicos del Al³⁺ en agua de consumo y contaminación de alimentos en la zona de Arequipa.</i>					
PROFESOR ASESOR:			FIRMA:		
<i>José Juan Medina</i>					
LABORATORIO QUE SOLICITA:			AUTORIZACIÓN Y FIRMA DEL COORDINADOR DEL LABORATORIO:		
<i>Laboratorio de Investigación</i>					
FECHA Y HORA	MATERIALES A UTILIZAR	EQUIPOS UTILIZADOS			
<i>18/04/17 10:00 AM 10:00 PM</i>	-	<i>- Equipo de Espectrofotometría UV</i>			
ATENDIDO:	<i>Tanya Chacabaza Walter</i>	FIRMA:			FECHA: <i>18/04/17</i>
FECHA DE PRESENTACIÓN:	AUTORIZACIÓN DE LA JEFATURA:				

Los alumnos solicitantes del laboratorio son COMPROMETIDOS

1. Uso obligatorio del manual
2. Observar y cumplir ESTRICTAMENTE las indicaciones dadas por el profesor coordinador del respectivo laboratorio
3. Mantener pulcramente el ORDEN y LIMPIEZA del LABORATORIO durante y después de la práctica.
4. A ser responsables solidarios en caso de que los materiales y/o equipos sufran daños, correspondientes a su MANTENIMIENTO Y/O REPOSICIÓN DEL BIEN, según sea el caso.

Firma	Firma	Firma	Firma
Nombre y Apellido:	Nombre y Apellido:	Nombre y Apellido:	Nombre y Apellido:
<i>Rolie Nieto Ugarte</i>	<i>Jonathan Ordóñez Rojas</i>	<i>Emilia Castillo Velázquez</i>	
Código: <i>10612493</i>	Código: <i>0928566</i>	Código: <i>0926770</i>	Código:

LAB-110_UMAC Av. JUAN PABLO II 316 BELLAVISTA CALLAO TELF. 01-4531578

Figura 24. Muestra el documento para el permiso y uso de las instalaciones del laboratorio de investigación y desarrollo.

Fuente propia.

M ³ / hora	Litros / hora	Litros / segundo	Producción de Ozono
2 m ³ /h	2000 l/h	0,56 l/s	2 g/h
5 m ³ /h	5000 l/h	0,39 l/s	5 g/h
10 m ³ /h	10.000 l/h	2,78 l/s	10 g/h
20 m ³ /h	20.000 l/h	5,56 l/s	20 g/h
30 m ³ /h	30.000 l/h	8,33 l/s	30 g/h
50 m ³ /h	50.000 l/h	13,89 l/s	50 g/h
100 m ³ /h	100.000 l/h	27,78 l/s	100 g/h
200 m ³ /h	200.000 l/h	55,56 l/s	200 g/h
400 m ³ /h	400.000 l/h	111,12 l/s	400 g/h

Para conseguir diluir 1 ppm de Ozono en agua, será necesario generar, como mínimo, 1 mg de Ozono por cada litro de agua.

Por tanto, 1 g de O₃ = 1 m³ a 1 ppm

Figura 25: conversiones de flujo de ozono

型号	L--50A 型	L--50B 型	L--450 型	L-- 600 型	L--1000 型
外型尺寸	143 X 59 X 36		200 X 95 X 45	150 X 115 X62	210 X116 X55
使用电源	220V 50 HZ				
臭氧发生量g/h	50	50	450	600	1000
工作方式	开式	开式	臭氧气可输送	臭氧气可输送	臭氧气可输送
结构	一体	一体	带气源一体化防噪声设计	外配气泵防噪声设计	带气源一体化防噪声设计
外壳材料	塑料				
适用于	适用于小型消毒	适用于中、小型消毒	广泛适用于小、中、大型消毒柜。饮水机上纯净水设备的二次消毒。桑拿房、按摩浴缸消毒。		
说明	均可用于空气净化消毒杀菌，根据空间大小，循环大小要求等选择使用，如医院，无菌车间，桑拿浴场消毒，公共场所等，L--450型被许多家庭桑拿房设备生产厂家选为消毒配件。		上述臭氧发生器采用国际先进的晶闸逆变技术，采用非真空放电管由陡变电场放电产生氧气，工作寿命长，防潮性能好，省电，电耗小于18kwh/kgO ₃ ，（陶瓷片为40kwh/kgO ₃ ）		
备注	可以根据用户要求设计不同产量，不同用途的臭氧发生器。				

Figura 26: ficha técnica del generador de ozono

Fuente: <http://www.simeiyuan.com/readzp.asp?id=198>

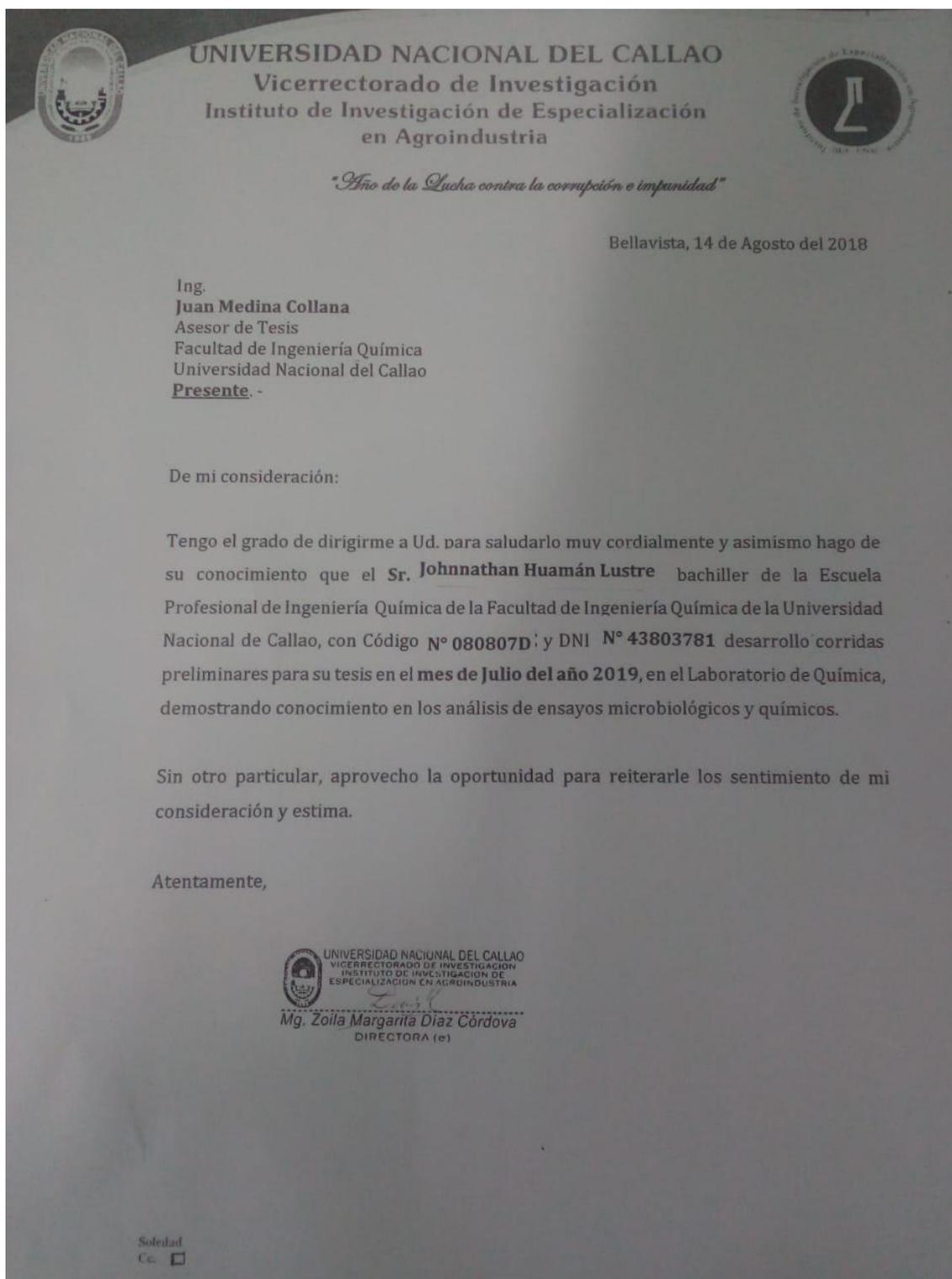


Figura 27: Solicitud de permiso para uso de las instalaciones del CET, UNAC.

Quinta.- Asistencia Técnica

Sin perjuicio de las funciones que realicen las entidades e instituciones con competencias reconocidas en materia de saneamiento, el Organismo Técnico de la Administración de los Servicios de Saneamiento (OTASS), en el marco de sus funciones y competencias, brinda asistencia técnica a los prestadores de servicios de saneamiento del ámbito urbano, para el adecuado cumplimiento del presente Reglamento.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS**Primera.- Plazo para el Registro de UND**

Los prestadores de los servicios de saneamiento tienen un plazo máximo de un (1) año, contados desde el día siguiente de la publicación del presente Reglamento en el Diario Oficial El Peruano, para registrar y/o actualizar a la totalidad de sus UND que se encuentren dentro de su ámbito de responsabilidad.

Segunda.- Implementación del punto de toma de muestra del UND

Los prestadores de los servicios de saneamiento, en un plazo no mayor de dos (2) años, contados a partir del día siguiente de publicado el presente Reglamento en el Diario Oficial El Peruano, realizan las acciones necesarias para implementar, bajo responsabilidad, que todos los UND cuenten con una caja de registro o dispositivo similar como conexión domiciliar en la parte externa de su predio, acorde con las características y especificaciones técnicas establecidas en la normativa sectorial.

Tercera.- Procedimiento para identificar y determinar el punto de toma de muestra temporal del UND

En tanto se implemente la instalación del punto de toma de muestra o conexión domiciliar mencionada en la Segunda Disposición Complementaria Transitoria, a efectos de aplicar lo dispuesto en el presente Reglamento, los prestadores de los servicios de saneamiento, identifican y determinan el punto de toma de muestra temporal del UND, el cual en todos los casos debe estar ubicado antes de la red de alcantarillado sanitario. Para dicho fin, se debe cumplir con el procedimiento siguiente:

1. El prestador de los servicios de saneamiento, notifica al UND, precisando el día y hora en que se lleva a cabo la visita a sus instalaciones, a fin de realizar la verificación y determinación del punto de toma de muestra temporal, el cual puede contar con la presencia del UND o su representante, persona encargada o con la persona que se encuentre en las instalaciones. Dicha notificación se realiza con cinco (5) días previos a la inspección a las instalaciones del UND.

2. El prestador de los servicios de saneamiento se apersona a las instalaciones del UND a efectos de proceder con lo señalado en el numeral precedente, previa verificación de que la notificación realizada al UND, cumple con las disposiciones establecidas en el artículo 21 del Texto Único Ordenado de la Ley N° 27444, Ley del Procedimiento Administrativo General (TUO de la Ley N° 27444), aprobado por el Decreto Supremo N° 006-2017-JUS, para lo cual procede a levantar el Acta de inspección, según el formato aprobado en el Anexo N° 3 del presente Reglamento.

3. Durante la diligencia, el personal del prestador de los servicios de saneamiento solicita, bajo responsabilidad, al UND o su representante, la presentación del diagrama de flujo y balance hídrico a aquellos UND cuyos volúmenes y concentraciones de descarga de aguas residuales no domésticas afecten significativamente el sistema de alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales. La no presentación de la documentación antes mencionada no invalida la diligencia ni el Acta de inspección. Sin perjuicio de ello, el prestador de los servicios de saneamiento, puede otorgar un plazo máximo de treinta (30) días hábiles, a partir del día siguiente de realizada la diligencia, a efectos que el UND cumpla con presentarlos. El incumplimiento de este plazo determina la suspensión temporal establecida en el artículo 15 del presente Reglamento.

4. En el Acta de inspección debe constar la determinación del punto de toma de muestra temporal. La suscripción del Acta por parte del UND o su representante no es obligatoria, por lo que si este se niega a suscribirlo, no la invalida, sin perjuicio de que consigne dicha circunstancia en el Acta. Una copia del Acta debe ser entregada al UND o su representante.

5. Si el UND o su representante no permite el ingreso a sus instalaciones u obstaculiza las labores del personal del prestador de los servicios de saneamiento debidamente identificado, este procede a consignar dicha circunstancia en el Acta de inspección, y a suspender temporalmente el servicio de agua potable y alcantarillado sanitario, hasta la efectiva realización de la inspección. El Acta de inspección es notificada al UND o su representante en el momento de la diligencia, cumpliendo con las disposiciones establecidas en los párrafos 21.1, 21.3 y 21.4 del artículo 21 del TUO de la Ley N° 27444.

6. Suspendidos temporalmente los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario, el prestador de los servicios de saneamiento reprograma la visita a las instalaciones del UND, a solicitud de este, para lo cual debe restablecer los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario, de acuerdo a las disposiciones que para dicho fin apruebe la Sunass.

ANEXO N° 1

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	DOO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	S.S.T.	500
Aceites y Grasas	mg/l	A y G	100

ANEXO N° 2

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Aluminio	mg/l	Al	10
Arsénico	mg/l	As	0.5
Boro	mg/l	B	4
Cadmio	mg/l	Cd	0.2
Cianuro	mg/l	CN-	1
Cobre	mg/l	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/l	Cr ⁶⁺	0.5
Cromo total	mg/l	Cr	10
Manganeso	mg/l	Mn	4
Mercurio	mg/l	Hg	0.02
Níquel	mg/l	Ni	4
Plomo	mg/l	Pb	0.5
Sulfatos	mg/l	SO ₄ ²⁻	1000
Sulfuros	mg/l	S ²⁻	5
Zinc	mg/l	Zn	10
Nitrógeno Amónico	mg/l	NH ⁺	80
Potencial Hidrógeno	unidad	pH	6-9
Sólidos Sedimentables	ml/h	S.S.	8.5
Temperatura	°C	T	<35

(1) La aplicación de estos parámetros a cada actividad económica por procesos productivos, es la precisada en el presente Reglamento tomando como referencia el código CIIU. Aquellas actividades que no estén incluidas en este código, deben cumplir con los parámetros indicados en el presente Anexo. Los parámetros establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 del presente Reglamento, son determinados a partir del análisis de muestras puntuales.

(2) Las concentraciones de los parámetros establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 deben ser determinadas a partir del análisis de muestras puntuales.