



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Reducción de la carga orgánica en agua residual de etapa de  
remojo de la industria curtiembre con tecnología de cavitación  
hidrodinámica

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL:**

Ingeniera Ambiental

**AUTORAS:**

Rodriguez Leon, Leidy Yojaira ([orcid.org/0000-0002-3939-0072](https://orcid.org/0000-0002-3939-0072))

Rodriguez Llamoca, Yesenia ([orcid.org/0000-0002-4789-4836](https://orcid.org/0000-0002-4789-4836))

**ASESOR:**

Dr. Benites Alfaro, Elmer Gonzales ([orcid.org/0000-0003-1504-2089](https://orcid.org/0000-0003-1504-2089))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de los Residuos

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

**LIMA - PERÚ**

**2021**

## **Dedicatoria**

A Dios, por permitir lograr mis objetivos a mis padres Elva León Saldaña, Francisco Rodríguez Román, mi hija Dafne Mayo Rodríguez, y a toda mi familia, son mi razón de vivir y mi motivación para lograr alcanzar mis metas trazadas.

A mis padres y a mi hijo adorado Adriano quiénes me alentaron a continuar con mi crecimiento profesional y se convirtieron en mi motivación para demostrarles que, con esfuerzo y perseverancia, conseguiría lograr mis metas, muy a pesar de todas las adversidades puestas en mi camino. A Dios, porque sin su presencia en mi vida no lo hubiese logrado.

## Agradecimiento

A la Universidad César Vallejo por el conocimiento brindando en sus instalaciones a lo largo de nuestra carrera profesional. Al Ing. Carlos Gamarra, Dr. Benites Alfaro, por asesorarnos y guiarnos para la culminación de la tesis.



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, BENITES ALFARO ELMER GONZALES, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, asesor de Tesis titulada: "REDUCCIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA EN AGUA RESIDUAL DE ETAPA DE REMOJO DE LA INDUSTRIA CURTIEMBRE CON TECNOLOGÍA DE CAVITACIÓN HIDRODINÁMICA", cuyos autores son RODRIGUEZ LEON LEIDY YOJAIRA, RODRIGUEZ LLAMOCA YESENIA, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 18%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 19 de Julio del 2021

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
BENITES ALFARO ELMER GONZALES <b>DNI:</b> 07867259 <b>ORCID:</b> 0000-0003-1504-2089	Firmado electrónicamente por: ELBENITESALF el 24-06-2024 17:42:23

Código documento Trilce: TRI - 0136575



**Declaratoria de Originalidad de los Autores**

Nosotros, RODRIGUEZ LEON LEIDY YOJAIRA, RODRIGUEZ LLAMOCA YESENIA estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "REDUCCIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA EN AGUA RESIDUAL DE ETAPA DE REMOJO DE LA INDUSTRIA CURTIEMBRE CON TECNOLOGÍA DE CAVITACIÓN HIDRODINÁMICA", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Firma</b>
LEIDY YOJAIRA RODRIGUEZ LEON <b>DNI:</b> 47745533 <b>ORCID:</b> 0000-0002-3939-0072	Firmado electrónicamente por: RODRIGUEZLY el 19-07-2021 09:54:43
YESENIA RODRIGUEZ LLAMOCA <b>DNI:</b> 47712200 <b>ORCID:</b> 0000-0002-4789-4836	Firmado electrónicamente por: RLLAMOCAY el 19-07-2021 13:59:50

Código documento Trilce: TRI - 0136576

## Índice de contenidos

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Declaratoria de Originalidad .....	iv
Declaratoria de Autenticidad .....	v
Índice de contenidos.....	vi
Índice de tabla .....	vii
Índice de gráficos y figuras.....	ix
Resumen.....	xi
Abstract .....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	28
3.1 Tipo y diseño de investigación .....	28
3.2 Variables y operacionalización.....	28
3.3 Población, muestra y muestreo.....	29
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	29
3.5 Procedimientos .....	30
3.6 Método de análisis de datos.....	39
3.7 Aspectos éticos.....	39
IV. RESULTADOS .....	40
V. DISCUSIÓN.....	67
VI. CONCLUSIONES.....	70
VII. RECOMENDACIONES.....	71
REFERENCIAS.....	72
ANEXOS .....	79

## Índice de tabla

Tabla 1. Valoración de instrumentos .....	30
Tabla 2. Instrumentos de recolección de datos .....	30
Tabla 3. Ubicación de la unidad experimental.....	32
Tabla 4. Caracterización inicial del agua residual de remojo de curtiembre.....	40
Tabla 5. Parámetros físicos y químicos iniciales (Método potenciométrico) ....	41
Tabla 6. Sólidos totales iniciales .....	41
Tabla 7. Sólidos disueltos iniciales.....	41
Tabla 8. Sólidos suspendidos totales iniciales .....	41
Tabla 9. Oxígeno disuelto inicial.....	42
Tabla 10. Demanda química de oxígeno inicial.....	42
Tabla 11. Proceso de obtención de DBO5 .....	43
Tabla 12. Proceso de obtención de DBO5 .....	43
Tabla 13. Obtención del DBO5.....	43
Tabla 14. Datos de operación del sistema de cavitación hidrodinámica .....	45
Tabla 15. Análisis de parámetros después del tratamiento con cavitación hidrodinámica.....	46
Tabla 16. Comparación del porcentaje de reducción T1 .....	51
Tabla 17. Comparación del porcentaje de reducción T2 .....	52
Tabla 18. Comparación del porcentaje de reducción T3 .....	53
Tabla 19. Comparación del porcentaje de reducción .....	54
Tabla 20. Análisis de variancia para oxígeno disuelto.....	55
Tabla 21. Prueba de contraste de Tukey para oxígeno disuelto .....	55
Tabla 22. Análisis de variancia para la demanda química de oxígeno.....	56
Tabla 23. Prueba de contraste de Tukey para la demanda química de oxígeno .....	57
Tabla 24. Análisis de variancia para la demanda bioquímica de oxígeno .....	58
Tabla 25. Prueba de contraste de Tukey para la demanda bioquímica de oxígeno .....	58
Tabla 26. Análisis de variancia para sólidos suspendidos totales .....	59
Tabla 27. Prueba de contraste de Tukey para sólidos totales.....	60

Tabla 28. Análisis de variancia para sólidos disueltos .....	61
Tabla 29. Prueba de contraste de Tukey para sólidos disueltos .....	61
Tabla 30. Análisis de varianza de sólidos suspendidos totales .....	62
Tabla 31. Prueba de contraste Tukey para sólidos suspendidos totales.....	63
Tabla 32. Análisis de variancia para el potencial de hidrógeno.....	64
Tabla 33. Prueba de contraste de Tukey para el potencial de hidrógeno .....	64
Tabla 34. Análisis de variancia para conductividad eléctrica.....	65
Tabla 35. Prueba de contraste de Tukey para conductividad eléctrica .....	65



## Índice de gráficos y figuras

Figura 1. Flujograma del proceso productivo de la industria del cuero .....	26
Figura 2. Diagrama de flujo de desarrollo experimental .....	31
Figura 3. Planta piloto de un centro de investigación de la industria del cuero y calzado.....	32
Figura 4. Caracterización inicial de la muestra.....	33
Figura 5. Etiquetado y rotulado de envases .....	34
Figura 6. Equipo de cavitación hidrodinámica .....	36
Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de cavitación hidrodinámica.....	37
Figura 8. Resultados de los parámetros químicos. ....	42
Figura 9. Obtención del DBO <sub>5</sub> .....	44
Figura 10. Resultado del oxígeno disuelto en los 4 tratamientos .....	47
Figura 11. Resultado de la demanda química de oxígeno en los 4 tratamientos .....	47
Figura 12. Resultado de la demanda bioquímica de oxígeno en los 4 tratamientos .....	48
Figura 13. Resultados de los sólidos totales en los 4 tratamientos .....	49
Figura 14. Resultado de los sólidos totales disueltos en los 4 tratamientos.....	49
Figura 15. Resultado de los sólidos suspendidos totales en los 4 tratamientos.....	50
Figura 16. Porcentaje de reducción de los parámetros fisicoquímicos en 30 minutos.....	51
Figura 17. Porcentaje de reducción de los parámetros fisicoquímicos en 60 minutos.....	52
Figura 18. Porcentaje de reducción de los parámetros fisicoquímicos en 90 minutos.....	53
Figura 19. Porcentaje de reducción de los parámetros fisicoquímicos en 120 minutos.....	54
Figura 20. Efecto del tratamiento del oxígeno disuelto.....	56
Figura 21. Efecto del tratamiento sobre la demanda química de oxígeno.....	57
Figura 22. Efecto del tratamiento sobre la demanda bioquímica de oxígeno ...	59

Figura 23. Efecto del tratamiento sobre los sólidos totales .....	60
Figura 24. Efecto del tratamiento sobre los sólidos disueltos totales .....	62
Figura 25. Efecto del tratamiento de sólidos suspendidos totales.....	63
Figura 26. Efecto del tratamiento sobre el potencial de hidrógeno.....	64
Figura 27. Efecto del tratamiento de conductividad eléctrica .....	66

## Resumen

El objetivo del presente trabajo de investigación es determinar la reducción de la carga orgánica del agua residual de etapa de remojo del proceso de curtiembre, con tecnología de cavitación hidrodinámica, el diseño fue experimental, se utilizó para el tratamiento una muestra de 20 litros por tratamiento del agua residual de remojo de proceso de curtiembre y 6 litros de la muestra tratada para los análisis en laboratorio. En el tratamiento, se utilizó el equipo de cavitación hidrodinámica en 4 tiempos de tratamiento (T1: 30 minutos, T2: 60 minutos, T3: 90 minutos y T4: 120 minutos) y cada uno con 3 repeticiones. Los resultados encontrados, indicaron que se redujo la carga orgánica y mejoraron otros parámetros fisicoquímicos. Se corroboró estos resultados ya que hubo una diferencia estadística significativa ( $p > 0.05$ ), existiendo una influencia en los tratamientos, notándose que a medida que el tiempo aumenta la reducción de los contaminantes se reduce, por lo que el mejor tratamiento fue en el tiempo 4 a los 120 minutos en donde, la reducción para la conductividad eléctrica fue de 84.46% seguido por el DQO 76.34%, DBO<sub>5</sub> en 54.86%, sólidos disueltos en 52.51%, no varía la temperatura y el pH, concluyendo que el uso de la cavitación hidrodinámica para las aguas residuales de remojo de curtiembre es una tecnología prometedora con ventaja ambiental al no usar contaminantes en el tratamiento.

**Palabras clave:** Cavitación hidrodinámica, agua de curtiembre, carga orgánica, tratamiento, agua residual.

## **Abstract**

The objective of this work is to determine the reduction of the organic load of the residual water from the soaking stage of the tanning process, with hydrodynamic cavitation technology, the design was experimental, a 20-liter sample per treatment of the residual water from soaking from the tannery process and 6 liters of the treated sample for laboratory analysis. In the treatment, the hydrodynamic cavitation equipment was used in 4 treatment times (T1: 30 minutes, T2: 60 minutes, T3: 90 minutes and T4: 120 minutes) and each with 3 repetitions. The results found indicated that the organic load was reduced and other physicochemical parameters improved. These results were corroborated since there was a significant statistical difference ( $p > 0.05$ ), with an influence on the treatments, noting that as time increases, the reduction of pollutants is reduced, so the best treatment was in time 4 at 120 minutes where, the reduction for electrical conductivity was 84.46% followed by COD 76.34%, BOD5 in 54.86%, dissolved solids in 52.51%, the temperature and pH did not vary, concluding that the use of the Hydrodynamic cavitation for tannery soak wastewater is a promising technology with environmental advantage by not using pollutants in treatment.

**Keywords:** Hydrodynamic cavitation, tannery water, organic load, treatment, wastewater.

## **I. INTRODUCCIÓN**

Las aguas servidas de la industria del curtido presentan altos niveles de contaminantes orgánicos y tóxicos por el uso de metales pesados (cromo, aluminio y titanio), sólidos en suspensión, sales inorgánicas, sulfuros y alto niveles de material orgánico. Por ello, el tratamiento de estas aguas es complejo y, frecuentemente contienen grandes cantidades de lodos.

Las empresas peruanas dedicadas al rubro de la curtiembre son aproximadamente 60, tanto oficiales como no oficiales y se sitúan en su mayoría en Lima, Arequipa y Trujillo, de las cuales, el 20% se ubican en Lima. Asimismo, en las curtiembres se realizan operaciones de pelambre, teñido de pieles y curtido que es la etapa donde se transforma las pieles de animales en cuero, que posteriormente es derivado a la industria del calzado y automotriz, donde recibe el valor y uso adecuado.

En etapa de producción de la curtiembre se utiliza mucha agua, lo que genera conflictos medioambientales y de salud. Debido a este problema, tenemos leyes que alientan a estas industrias a reducir la carga de contaminantes mediante diversos tratamientos. Dichos efluentes deben compararse con el valor máximo admisible del D.S. N°021-2009 VIVIENDA, modificado por D.S. N° 001-2015, estos valores se especifican en los Anexos N° 01 y 02, los cuales prevén el uso de tecnologías limpias para compensar el alto nivel de contaminación ocasionado por las curtiembres.

En el proceso productivo de la curtiembre usan una elevada cantidad de recurso hídrico, mismos que al acabar su proceso, originan una problemática ambiental y sanitaria. Debido a esta problemática tenemos normas legales, que exhortan a estas industrias a disminuir el volumen de sus efluentes y que estos estén sometidos a un tratamiento adecuado. Este tipo de efluentes deben ser contrarrestadas con Los Valores Máximos Admisibles (VMA), según el D.S. N°021-2009 VIVIENDA, modificado mediante el D.S. N°001-2015, dichos valores son mostrados en los Anexos N°01 y 02, planteándose de esta manera la necesidad de aplicar tecnologías limpias para contrarrestar el elevado nivel de contaminación producido por curtiembres.

El estudio investigativo propone el tratamiento de agua residual de la actividad de remojo que realizan las curtiembres mediante métodos avanzados de cavitación hidrodinámica con la finalidad de reducir la carga orgánica. El proceso inicial para

obtención del cuero es la más contaminante, el de mayor uso del agua, conocido también como el tratamiento de ribera, en esta parte la piel recupera su estado inicial, con la finalidad de obtener una limpieza óptima, motivo por la cual esta agua residual tiene grasa, pelos, sangre, buscando la remoción de proteínas solubles en el agua.

La alta concentración de carga orgánica y de sulfuros en los efluentes del proceso, superan los límites máximos permisibles que rigen en la actualidad ya que en el mayor de los casos tienen un deficiente tratamiento antes de vértelos a cuerpos de agua o alcantarillas, donde tampoco realizan una decantación primaria.

La investigación tiene 6 fases donde se describe lo siguiente, en la primera fase, está relacionado al recojo de muestra, y aplicación de protocolo de toma de muestra. En la segunda fase, se realizó la caracterización inicial del agua de remojo. En la tercera fase, se diseñó el sistema de cavitación y se estableció la función que realizaría. En la cuarta fase, el tratamiento del agua de remojo con esta tecnología en tiempos diferentes. En la quinta fase, la evaluación del tratamiento en la remoción de carga orgánica del agua residual de remojo de la curtiembre, sexta fase, resultados del tratamiento.

En el Perú, las industrias de curtiembres emiten sus efluentes a los ríos, mares las que generan impactos ambientales en el suelo, agua y aire por los reactivos químicos que utilizan en la industria y la gran cantidad de agua que no es tratada para volver a reutilizar, las curtiembres que existen son altamente contaminantes por las descargas de agua residual con una carga orgánica muy alta que superan los límites máximos permisibles y los V.M.A, como es urgente un sistema para tratar esta agua entonces la investigación utilizo como tecnología nueva la cavitación hidrodinámica como limpia y viable.

Ante la problemática expuesta, se consideró como problema general: ¿En qué medida se reducirá la carga orgánica del agua residual de la etapa de remojo del proceso de curtiembre, con tecnología de cavitación hidrodinámica?, y como problemas específicos: ¿Cuáles son las características físicas, del agua residual de la etapa de remojo de la industria de curtiembre mediante cavitación hidrodinámica?; ¿Cuáles son las características químicas, del agua residual de la

etapa de remojo de la industria de curtiembre mediante cavitación hidrodinámica?; y ¿Cuál es la eficiencia de reducción de la carga orgánica del agua residual de la etapa de remojo de la industria de curtiembre mediante cavitación hidrodinámica?

Se justificó de manera ambiental, ya que la utilización del sistema de cavitación hidrodinámica es una opción positiva para reducir la contaminación ambiental que es generada con el agua de remojo de la industria de curtiembre que tanto perjuicio ocasiona de manera social, económica y ambiental, teniendo como relevancia la mejora del agua obtenida la que de acuerdo a su categorización podría verter en cuerpos de agua sin perjudicar al ecosistema acuático, como es la eutrofización del mismo por el elevado nivel de carga orgánica y la generación de bacterias, virus y patógenos que perjudican la salud humana. La mejora de manera viable ya que la tecnología es aplicable en cualquier zona donde exista una de estas industrias.

El objetivo general fue: determinar la reducción de la carga orgánica en agua residual de la etapa de remojo del proceso de curtiembre, con tecnología de cavitación hidrodinámica y como objetivos específicos son: determinar las características físicas, en agua residual de etapa de remojo de la industria de curtiembre mediante cavitación hidrodinámica; determinar las características químicas en agua residual de etapa de remojo de la industria de curtiembre mediante cavitación hidrodinámica y determinar la eficiencia de reducción de la carga orgánica en agua residual de la etapa de remojo de la industria de curtiembre mediante cavitación hidrodinámica.

Teniendo como hipótesis general: La reducción de la carga orgánica en agua residual de etapa de remojo de la industria curtiembre, mejorara con tecnología de cavitación hidrodinámica, y como hipótesis específicas: las características físicas, en agua residual de etapa de remojo de la industria de curtiembre mejorara mediante cavitación hidrodinámica, las características químicas, en agua residual de etapa de remojo de la industria de curtiembre mejorara mediante cavitación hidrodinámica; y por último la eficiencia de reducción de la carga orgánica en agua residual de etapa de remojo de la industria de curtiembre disminuirá mediante cavitación hidrodinámica.

## II. MARCO TEÓRICO

El sulfuro alojado en las aguas servidas derivadas de las curtidurías industriales es producto de depilado de la piel, en nivel que perjudica significativamente al sistema hídrico por su toxicidad, generando la mortalidad de flora y fauna, que conllevaban a producción de olores desagradables al cauce del río y disminuir el oxígeno disuelto en agua de la corriente receptora. Existe una investigación para la eliminación de sulfuro se evalúa mediante cavitación hidrodinámica (HC). Se analiza una tecnología avanzada mediante diferentes parámetros como el pH inicial y la presión de entrada, configurados en dos prototipos establecidos para su desarrollo en un periodo de 90 minutos. El diseño operativo basado en número y diámetro de huecos en la construcción se estiman en función del grado de degradación con el objetivo de conocer las mejores condiciones del reactor para el tratamiento de aguas residuales aplicando esta técnica. Se alcanzó un grado máximo de oxidación de sulfuro del 32,6% sin utilizar más reactivos. El análisis costo-beneficio había sido discutido en la presente investigación por la potenciación de la cavitación hidrodinámica se identifica un déficit de 198% relacionado con el tratamiento convencional. Por lo tanto, la cavitación hidrodinámica representa un sistema sostenible para las industrias de curtiembres (Agudelo *et al.*, 2019).

El tratamiento de aguas residuales de curtidurías es crucial debido a la alta carga contaminante que presentan estos efluentes, incluyendo compuestos orgánicos e inorgánicos tóxicos. Dos alternativas emergentes y eficaces son los Procesos de Oxidación Avanzada (POAs) y las tecnologías biotecnológicas. Los POAs son técnicas que generan especies oxidantes altamente reactivas, como los radicales hidroxilos ( $\bullet\text{OH}$ ), que pueden degradar una amplia gama de contaminantes orgánicos y algunos inorgánicos. Las tecnologías biotecnológicas utilizan organismos vivos o sus productos para degradar y remover contaminantes de las aguas residuales. El desarrollo y la implementación de POAs y tecnologías biotecnológicas ofrecen soluciones avanzadas y sostenibles para el manejo de aguas residuales de curtidurías. La elección de la tecnología adecuada debe basarse en una evaluación detallada de las características del agua residual, los objetivos de tratamiento y las condiciones económicas y ambientales (Urbina, Machuca, Barajas, 2021).



La cavitación hidrodinámica (HD) es un proceso que utiliza el colapso de burbujas en un fluido para generar intensas condiciones de temperatura y presión localizadas, promoviendo la descomposición de materiales orgánicos complejos. El uso de lixiviado de vertedero maduro (MLL) como portador en este proceso puede ofrecer varias ventajas, especialmente cuando se trata del tratamiento y valorización del grano gastado de la cervecería (BSG). En las pruebas de HD se utilizó una placa con un orificio concéntrico cónico de 3/10 mm de diámetro. La presión inicial fue de 7 bar y se ejecutó 30 pasadas de recirculación. La materia orgánica compleja se degradaba y solubilizaba al cavitarse la mezcla MLL y BSG. La DBO<sub>5</sub> aumentó 45% y la relación DBO<sub>5</sub>/DQO aumentó 69%, mientras que la DQO, los SST y la concentración de nutrientes disminuyeron notablemente. Esto parece indicar que MLL no podría considerarse un portador adecuado para la cavitación BSG (Lebiocka *et al.*, 2021).

En este contexto la cavitación hidrodinámica (HC) destaca como una tecnología de proceso que puede ser empleada en el ámbito ambiental, el procesamiento de alimentos y la producción de biocombustibles. El uso de fuentes energéticas obtenidas mediante cavitación para potenciar el tratamiento de la biomasa lignocelulosa es una relevante propuesta para la integración en biorrefinerías para la producción de bioproductos. También, se demostró que el uso de un proceso asistido por HC es una alternativa viable y eficiente en muchas aplicaciones industriales. Sin embargo, debe ser cuidadosamente gestionado para maximizar sus beneficios y minimizar sus riesgos ambientales y de seguridad. La investigación continua y la innovación en esta área pueden conducir a desarrollos aún más sostenibles y eficientes en el futuro (Fernández *et al.*, 2019).

El proceso de combinación de cavitación hidrodinámica con irradiaciones UV, peróxido de hidrógeno o el proceso Fenton representa una tecnología prometedora para el tratamiento avanzado de aguas residuales. Al aprovechar los efectos sinérgicos de estos métodos, se puede lograr una degradación más eficaz de los contaminantes, contribuyendo a un tratamiento de aguas más eficiente y sostenible. Además, mediante análisis de toxicidad, se obtuvo que las soluciones no contienen presencia de niveles de toxicidad. Inicialmente, se investigó el efecto de la

concentración inicial de MS en el rango de 20 a 75 ppm en una condición constante de 4 bar como presión de entrada. Se identificó 25% como la mayor degradación en una solución de 20 ppm con HC. Los enfoques se evaluaron posteriormente a 4 bar y pH 7 empleando una concentración inicial de 20 ppm. Se observó un aumento significativo en la degradación para las operaciones de combinación como HC + UV y HC + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> con un grado real de degradación del 30,8% y 72,5%, respectivamente (Thanekar *et al.*, 2020).

La evaluación de la intensidad de cavitación en un reactor de cavitación hidrodinámica (HCR) es crucial para optimizar los procesos de tratamiento de aguas residuales y otros fluidos industriales. La HC genera burbujas de vapor que, al colapsar, producen altas temperaturas y presiones localizadas, promoviendo la degradación de contaminantes. La evaluación de la intensidad de cavitación es lograda mediante la medición de parámetros acústicos basados en el uso de micrófonos hidroacústicos y análisis de frecuencia. Los micrófonos hidroacústicos, se utilizan permiten medir las ondas de choque generadas por el colapso de las burbujas de cavitación, proporcionando datos valiosos que pueden correlacionarse directamente con la intensidad de la cavitación. El análisis de las frecuencias, permite determinar las frecuencias a las que ocurren los colapsos de las burbujas y correlacionar la amplitud de las señales acústicas con la intensidad de los eventos de cavitación. Luego, se analiza la intensidad de la cavitación según la velocidad de rotación y tangencia, dando como resultado que existe una relación inversa entre la intensidad con la presión y directa con la velocidad de rotación. Pero, cuando la densidad excesiva de burbujas en una región de cavitación limita la energía de colapso de las burbujas debido a la interferencia mutua, la absorción de energía, y las restricciones espaciales y temporales. Estos factores reducen la eficiencia del colapso individual de las burbujas y, por ende, la energía total liberada en el proceso de cavitación. La optimización de la densidad de burbujas es crucial para maximizar la energía de colapso y la efectividad de los procesos de cavitación hidrodinámica (Hyunsoo *et al.*, 2019).

Otra de sus aplicaciones del sistema de cavitación hidrodinámica fue dada en el desarrollo de degradación de disolventes orgánicos la cual se investigó en detalle

utilizando una forma más nueva de dispositivo de cavitación: diodo de vórtice. Los resultados también se compararon con los del uso de un orificio de dispositivo de cavitación convencional. Se evaluó la eliminación de tres disolventes orgánicos (acetona, metiletilcetona (MEK) y tolueno) en un espacio de 1 m<sup>3</sup>/h. Asimismo, se evaluó los efectos surgidos a partir de la aplicación de parámetros iniciales como presión, concentración y tipología de reactor sobre la degradación del disolvente. Los principales resultados indican que la eficacia de eliminación de disolvente depende de las condiciones de funcionamiento y el origen del disolvente. Los mejores resultados muestran un 80% de degradación de tolueno (rendimiento cavitacional  $32,2 \times 10^{-3}$  mg/J), siendo mayor que la acetona y MEK. Se descubrió que el diodo de vórtice que funciona según el principio de generación de vórtice para la cavitación es muy superior al orificio del dispositivo de cavitación convencional; se podría obtener un rendimiento de cavitación hasta ocho veces mayor para el tolueno en comparación con el orificio. Los resultados de este estudio proporcionan información más reciente sobre la eliminación de disolventes mediante cavitación hidrodinámica y podrían influir en el proceso de mejora de las aguas servidas que concentran disolventes (Suryawanchi *et al.*, 2018).

Además, se comparó dos configuraciones de placas de orificio que se utilizaron como dispositivos de cavitación en el reactor para potenciar la eficiencia de la eliminación de contaminantes. El impacto de diversos parámetros: características hidráulicas (rango de flujo, velocidades de orificio y número de cavitación a diversas presiones de entrada); número de cavitación (rango de 5,76 a 0,35 para la placa 1 y 1,20 a 0,35 para la placa 2). También, se comparó la presión de entrada (2-8 bares) y el tiempo de reacción (de 0 a 60 minutos) en relación con la eliminación de la DQO y degradación del clorpirifos. La presión óptima fue de 5 bares en ambas placas para alcanzar la degradación. Se encuentra que la geometría de la placa de orificio desempeña un rol relevante para la minimización y/o erradicación de agentes contaminantes. Los resultados obtenidos confirmaron que la placa de orificio 1 con configuración de 1,5 mm 17 orificios; el número de cavidades de 1,54 se comportó mejor con aproximadamente un 60% de DQO y un 98% de eliminación de clorpirifos en comparación con la placa de orificio 2 que tiene una configuración

de un solo orificio de 2 mm; número de cavidades de 0,53 con 40% de DQO y 96% de clorpirifos en 2 h de duración (Randhavane, 2018).

Además, se debe tomar en cuenta las interacciones burbuja-burbuja. Para ello, se empleó modelamientos matemáticos para expresar la dinámica de un grupo de burbujas en la cavitación hidrodinámica. Incorporar la densidad numérica de burbujas en la ecuación de Keller-Miksis permite modelar de manera más precisa la dinámica de cavitación en sistemas con alta densidad de burbujas. Al ajustar los términos de presión, viscosidad y tensión superficial, se pueden tener en cuenta las interacciones entre burbujas y mejorar la predicción de la dinámica de cavitación en condiciones complejas. Con el aumento de la fuerza de interacción, se retrasa el tiempo de burbuja que alcanza los radios máximo y mínimo. Con la presencia de una mayor cantidad de burbujas existirá mayor retardo en el sistema. La energía interna máxima dentro de una burbuja es una función compleja de la tensión superficial, la energía térmica de las moléculas y las fuerzas intermoleculares. La fuerza de interacción, a su vez, influye directamente en estas contribuciones a la energía interna, estableciendo una relación intrínseca entre la energía interna y la fuerza de interacción dentro de la burbuja. Esta relación puede variar dependiendo de las condiciones específicas del sistema, como la temperatura, la presión, el tamaño de la burbuja y la naturaleza de las moléculas involucradas (Liang *et al.*, 2021).

Pero la permanencia de material orgánico de origen natural (NOM), alojado en el agua no presenta un riesgo directo para el ambiente y las personas. Sin embargo, pero su presencia, unido a otros agentes desencadena perjuicios y daños. La cavitación hidrodinámica (HC) comenzó a utilizarse a principios del siglo XXI como un proceso capaz de tratar el agua de suministro y las aguas servidas logrando la remoción de contaminantes y patógenos. La efectividad del proceso aumenta cuando se combina con agentes químicos, creando un proceso de oxidación avanzado (AOP). Aún no se ha desarrollado su aplicación para la eliminación de NOM del agua de suministro; convirtiéndose en una brecha en las investigaciones. La finalidad fue determinar el potencial de HC en la eliminación de NOM. Para ello, se desarrolló un sistema de cavitación hidrodinámica a escala de banco operado

en un modelo por lotes dentro de un período de tiempo de 15 minutos. También, se llevaron a cabo evaluaciones de decantación (durante 24 horas) para determinar cómo los HC afectaban las moléculas en el medio de reacción después de mezclar NOM al fenómeno. Una matriz de ácido húmico sintético (HA) a una concentración fija de 100 ppm produjo NOM. Se realizaron 16 evaluaciones, caracterizados por pares: pH (2,6, 3,0, 3,5 y 5,5) y peróxido de hidrógeno (0, 1, 5 y 30 mL). Los rangos de pH más ácidos (2,6-3,0) a una concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 15 mL alcanzaron eficiencias de 34-36% de eliminación. Los resultados revelan la existencia de 90% de eficiencia de eliminación de NOM posterior a la decantación bajo pH más ácidos. La cavitación hidrodinámica en solución ácida puede romper estructuras moleculares suspendidas en el medio líquido, facilitando la decantación. El estudio demostró que la cavitación hidrodinámica con adición de peróxido de hidrógeno tiene la capacidad de eliminar el NOM del agua (Neves *et al.*, 2020).

Por lo antes expuesto cabe resaltar que la tendencia a preservar los recursos hídricos y al uso racional de las aguas naturales promueve la búsqueda de nuevos métodos que mejoren las aguas servidas. Para mejorar los procesos de tratamiento, hemos sugerido saturar la zona de cavitación con una variedad de gases, como nitrógeno, oxígeno o una mezcla de ambos en una proporción de uno a uno. La naturaleza de estos gases burbujeados, tanto con o sin tratamiento ultrasónico, tiene un impacto en las variaciones en la DQO. Las constantes de velocidad efectiva calculadas con el objetivo de eliminar la presencia de compuestos orgánicos de aguas servidas de la destilería han demostrado que el valor más alto de  $1,2 \cdot 10^{-4} \text{ seg}^{-1}$  se logra mediante el burbujeo de nitrógeno en la zona de cavitación. El valor constante de velocidad efectiva con nitrógeno es de  $0,7 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ , mientras que con ultrasonido solo es de  $0,2 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ . El tratamiento del agua en condiciones de cavitación tiene el mayor grado de tratamiento (63%) en presencia de nitrógeno, mientras que el grado más bajo fue de 38,8%, y se obtuvo de la mezcla de nitrógeno y oxígeno en una proporción de uno a uno. Las diferencias en los efectos de varios gases burbujeados en aguas servidas de destilería se revelan según la energía de excitación electrónica de las moléculas del medio acuoso y las tasas que forman radicales H y HO que son oxidantes fuertes del proceso. Se ha descubierto que una ecuación cinética de primer orden

puede describir la eliminación de impurezas orgánicas en aguas residuales de destilería. Según la investigación, la combinación de cavitación y nitrógeno mejora la calidad del agua. El estudio ha demostrado que el dióxido de nitrógeno es el gas más eficiente en el proceso de cavitación de aguas residuales, aumentando la eficiencia en un 46 % en comparación con el uso de ultrasonido solo. Dado el creciente problema del inadecuado tratamiento de las aguas servidas industriales, el desarrollo de tecnologías innovadoras es particularmente importante. El objetivo de la tecnología de cavitación sugerida es disminuir o incluso eliminar por completo los efectos perjudiciales de los contaminantes en el medio ambiente (Falyk, et al., 2017).

No obstante, se han realizado investigaciones sobre el uso de la cavitación hidrodinámica para mejorar el índice de biodegradabilidad de las aguas residuales urbanas pretratadas mecánicamente. Los experimentos se llevaron a cabo a presiones constantes en la zona de entrada del dispositivo de cavitación de 3,5, 5 y 7 bar. Como resultado, se observaron concentraciones más altas de DBO y DQO solubles, lo que indica una descomposición y solubilización eficientes de la materia orgánica compleja. Esto fue acompañado por un aumento en la relación DBO5/DQO (también conocida como índice de biodegradabilidad) y una disminución significativa en el valor DQO (Lebiocka, 2020).

Además, es importante destacar que la cavitación hidrodinámica controlada es una tecnología que ahorra energía y productos químicos, y se está utilizando cada vez más en el saneamiento del agua y la remediación de aguas residuales porque puede descomponer contaminantes químicos y biológicos, incluidos los recalcitrantes, de manera mecánica, oxidativa y térmica. Al revisar los avances que han permitido que la hidrocavitación se consolide como una tecnología ambiental económica y técnicamente viable, hemos identificado los parámetros de diseño clave que determinan la eficacia de la hidrocavitación en la degradación de estos contaminantes. La cavitación hidrodinámica se convertirá en una tecnología prominente en nuestro camino hacia el futuro gracias al actual auge de la energía renovable, que reduce los costos de la electricidad en todo el mundo (Ciriminna et al., 2016).

La HC ha sido ampliamente estudiada para la oxidación avanzada de compuestos orgánicos en aguas contaminadas. Esto se debe a que crea un entorno oxidativo en condiciones ambientales. Este proceso es simple y económico porque puede llevarse a cabo a través de una restricción adecuadamente diseñada en una tubería, incluso en soluciones de última generación. Varios estudios experimentales han encontrado valores similares para las condiciones de operación ideales, particularmente con respecto a la presión de entrada. Hasta ahora, los modelos disponibles se basan en un enfoque de dinámica de burbuja única (SBD), pero no tienen en cuenta la configuración real del proceso ni el transporte de contaminantes en el entorno oxidante. Este estudio describe una variedad de resultados experimentales y utiliza un modelo matemático innovador basado en un enfoque de fenómenos de transporte. Este enfoque permite simular directamente el impacto de los HC en la degradación de contaminantes. El nuevo modelo propuesto reproduce bien una amplia gama de datos experimentales obtenidos en diferentes estímulos, con diferentes aparatos y diferentes moléculas, y permite interconectar tanto SBD, dinámica de fluidos y variables fisicoquímicas para estudiar en profundidad la interacción entre el transporte de contaminantes y el entorno reactivo. Este artículo recopila y discute una variedad de resultados experimentales, así como los principales parámetros del proceso relevantes. Incluye una descripción de un modelo innovador y su validación frente a los resultados experimentales mencionados para explicar el efecto de la presión de operación. También incluye un análisis de sensibilidad y un método de modelado sugerido para establecer el límite de rendimiento de la CH (Capocelli *et al.*, 2020).

Se ha observado un aumento significativo en la demanda de una amplia gama de productos de consumo durante el siglo XX. En miras hacia la mejora de la calidad y costo de los productos, las industrias se inclinan gradualmente hacia tecnologías de procesamiento más ecológicas. La cavitación es un fenómeno físico que ocurre cuando se generan burbujas de vapor en un líquido debido a una reducción de presión. Este fenómeno puede ser inducido por diferentes métodos, como la cavitación hidrodinámica, acústica (o ultrasonido) y óptica, entre otros. Las tecnologías basadas en cavitación se están utilizando cada vez más en el tratamiento de aguas residuales debido a su capacidad para mejorar la eficiencia

de los procesos de tratamiento y reducir los costos operativos. La investigación continua en el campo de la cavitación busca mejorar la eficiencia energética, desarrollar nuevos materiales para resistir el desgaste y optimizar las condiciones operativas para maximizar la degradación de contaminantes y la desinfección del agua. Los avances en la comprensión de los mecanismos de cavitación también están impulsando nuevas aplicaciones y mejorando las tecnologías existentes. En resumen, las tecnologías basadas en cavitación ofrecen un enfoque prometedor y versátil para el tratamiento de aguas residuales, con potencial para mejorar significativamente la eficiencia y la sostenibilidad de los procesos de tratamiento actuales (Panda, Saharan, Manickam, 2020).

A pesar que la industria de la curtiduría libera su efluente líquido al medio ambiente a través de tres corrientes (licor de remojo, cromo y receptor de aguas servidas). Principalmente, la tercera corriente imparte un gran conglomerado de contaminantes de origen orgánico e inorgánico. La investigación evaluó la opción más viable que es la técnica de cavitación para adecuar la calidad de agua mediante la eliminación de agentes contaminantes que son traídos de los efluentes de las actividades de curtiembres. La generación de OH nace a partir de la necesidad de erradicar reducir las cargas de contaminantes (Korpe & Rao, 2021).

Por lo tanto, se investigó la coagulación seguida de cavitación como una herramienta de pretratamiento para efluentes de residuos de curtiduría (TWE) para reducir su DQO, TOC, TSS y mejorar su biodegradabilidad para hacerlos aptos para la digestión anaeróbica. En un primer paso, los TWE se coagularon utilizando alumbre como coagulante. Se observó que el pH residual del efluente tratado estaba alrededor de 4.5, lo que resultó en la reducción más significativa de DQO y TSS en esas condiciones. En el pretratamiento, el efluente coagulado de desechos de curtiduría (CTWE) se sometió además a cavitación hidrodinámica (HC) y ultrasonidos (EE. UU.). Para el caso de la cavitación hidrodinámica (HC), se investigó primero cómo la presión de entrada y la dilución influyeron en el tratamiento de los efluentes de residuos de curtiduría tratados (CTWE). Se descubrió que el tratamiento de CTWE con HC con una presión de funcionamiento más baja (5 bar) mejoró el índice de biodegradabilidad (IB) de 0,14 a 0,57 en 120



minutos. Las muestras de CTWE cuando se sometieron a una dilución del 50%, el pretratamiento de HC mostraron un porcentaje y una reducción cuántica más altos en TOC y DQO. Por otro lado, el pretratamiento de TWE demostró que el BI del efluente se mejoró de 0,10 a 0,41 en 150 min. Se evaluó la eficiencia energética de todos los procesos en sus condiciones óptimas utilizando la cantidad real de DQO reducida por unidad de energía proporcionada al sistema. Para el pretratamiento de TWE, la coagulación seguida de cavitación hidrodinámica (HC) fue seis veces más eficiente energéticamente que la coagulación seguida de ultrasonidos (Shivendu *et al.*, 2018).

El rendimiento de biogás aumentó 11,8 veces cuando el TWE tratado con HC se mezcló con residuos de alimentos. Este estudio examina cómo funciona el pretratamiento de efluentes de curtiduría (TWE) mediante cavitación hidrodinámica (HC) antes de la digestión anaeróbica (DA). Durante dos horas, se utilizó un dispositivo de cavitación Venturi de hendidura a 5 bar de presión. El efecto HC provocó una desintegración y solubilización más rápida de moléculas orgánicas más grandes en moléculas más pequeñas, de modo que las células microbianas pudieran digerirlas fácilmente, lo que resultó en tasas de degradación más altas, menor tiempo de aclimatación, mayor reducción de DQO del TWE y mayor generación de biogás. En comparación con el TWE sin tratar, el TWE tratado con cavitación hidrodinámica (HC) produjo casi el doble de biogás y disminuyó el porcentaje de DQO. En un biorreactor de 2 L con una dosis de semilla del 10%, la digestión anaeróbica (DA) de TWE tratado con HC produjo un rendimiento de biogás de 68,57 ml/g de sólidos volátiles y una reducción de la DQO del 43,17%. El simulador 'AD' desarrollado en MATLAB representó el rendimiento de AD para alimentos TWE sin procesar y tratados con HC y pronosticó las concentraciones de polímeros orgánicos, monómeros, AGV y biogás producidos, en el que la optimización de los parámetros del modelo se realizó mediante validaciones utilizando datos de producción de metano de biorreactores (Shivendu, Virendra, Suja, 2019).

En la misma línea, se destaca un método novedoso para el postratamiento de aguas residuales tratadas biológicamente que provienen de una industria de

tableros de fibra de densidad media (MDF) que tiene una DQO de 448 mg/L, un TOC de 243 mg/L y un pH de 7.7. Este método combina procesos de cavitación hidrodinámica (HC) y  $\text{Fe}^{2+}$ /persulfato (PS). Basándose en la DQO y la eliminación de carbono orgánico total, así como en las tasas de consumo de PS, se evaluaron y compararon los procesos de tratamiento con cavitación hidrodinámica (HC) mejorada con  $\text{Fe}^{2+}$ /PS y solo  $\text{Fe}^{2+}$ /PS. En la primera parte del estudio, se realizaron experimentos de oxidación con  $\text{Fe}^{2+}$ /PS a diferentes concentraciones iniciales de PS (5, 10, 20 y 30 mM) en presencia de un catalizador de  $\text{Fe}^{2+}$  de 0,5 mM a un pH = 3. El proceso de  $\text{Fe}^{2+}$ /PS fue bastante ineficiente, resultando en remociones de DQO del 12% y 10% y reducciones de TOC del 12% y 9% después de 75 min de tratamiento para concentraciones iniciales de PS de 5 mM y 10 mM, respectivamente. El aumento de la concentración de PS no mejoró significativamente las eficiencias de eliminación de carbono orgánico, por lo tanto, se aplicó el proceso de HC para mejorar la eficacia del tratamiento para las concentraciones iniciales de PS seleccionadas (5 y 10 mM). En las condiciones de reacción investigadas, después de 75 min de tratamiento con HC mejorado con  $\text{Fe}^{2+}$ /PS, se lograron eliminaciones de aproximadamente el 60% de DQO y el 40% de TOC para una concentración inicial de PS 5 mM. Los valores del estado de oxidación promedio calculado (AOS) sugirieron que se formaron más intermedios orgánicos oxidados durante el tratamiento con HC mejorado con  $\text{Fe}^{2+}$ /PS de aguas residuales de MDF tratadas biológicamente (Khoei, et al., 2017).

Además, se investigó el uso de la cavitación hidrodinámica para destruir disolventes orgánicos mediante el uso del diodo de vórtice, un dispositivo de cavitación más reciente. Los resultados también se compararon con los del uso de un orificio de dispositivo de cavitación convencional. Se investigó la eliminación de tres disolventes orgánicos distintos: tolueno, acetona y metiletilcetona (MEK). Se examinaron minuciosamente los efectos de una variedad de operaciones, como la presión inicial, la concentración inicial y el tipo de reactor, sobre la degradación de los disolventes. La eficacia en la eliminación de los disolventes varía significativamente según las condiciones físicas de funcionamiento y la naturaleza del disolvente. Se demostró que la degradación del tolueno (con un rendimiento cavitacional de  $32,2 \times 10^{-3}$  mg/J) era significativamente superior a la de la acetona

y el MEK, lo que indica la influencia del peso molecular y la estructura en el proceso de degradación. Los hallazgos también demostraron que la oxidación química es el mecanismo predominante en la degradación. Se descubrió que el diodo de vórtice que funciona según el principio de generación de vórtice para la cavitación es muy superior al orificio del dispositivo de cavitación convencional; se podría obtener un rendimiento de cavitación hasta ocho veces mayor para el tolueno en comparación con el orificio. Los resultados de este estudio proporcionan información más reciente sobre la eliminación de solventes mediante cavitación hidrodinámica y tendrían relación con el agua tratada con contenido de solventes (Suryawanchi *et al.*, 2018).

Es necesario recalcar que la tecnología hidrodinámica basada en la cavitación es una tecnología innovadora que ha alcanzado óptimos niveles de eficiencia y rendimiento en las labores agroindustriales. Es un proceso que aprovecha el colapso de burbujas en un líquido para generar condiciones extremas que permiten llevar a cabo diversas aplicaciones, destacando por su eficiencia energética y operacional en comparación con otras tecnologías tradicionales. Este artículo demuestra que la cavitación hidrodinámica es una tecnología no convencional que se puede utilizar en diferentes áreas para el tratamiento de productos, subproductos y residuos. Se basa en el aumento de la velocidad del líquido y la formación e implosión de burbujas de vapor, lo que genera efectos térmicos, mecánicos y químicos que pueden ser aprovechados en diferentes aplicaciones. Los equipos y dispositivos utilizados para lograr la cavitación hidrodinámica incluyen platos perforados y de tipo Venturi, y se pueden utilizar en el pretratamiento de lodos, el tratamiento de aguas residuales y el procesamiento de alimentos (Gutiérrez, Arias, Cardona, 2019).

A causa de que el sulfuro presente en las aguas residuales de las curtidorías industriales es producto del pelambre en niveles elevados que perjudican significativamente al sistema hídrico por su toxicidad, generando la mortalidad de flora y fauna, e involucrando la presencia de olores desagradables en el cauce del río y disminuir el OD en el agua de la corriente receptora. En la presente investigación, la eliminación de sulfuro se evalúa mediante cavitación

hidrodinámica (HC). Se analiza una tecnología avanzada mediante diferentes parámetros como el pH en la solución inicial y la presión de entrada, configurados en dos prototipos establecidos durante el periodo de 90 minutos. Los número y diámetro de huecos en la constricción se estiman según el grado de degradación con la finalidad de conocer las mejores características del reactor durante el desarrollo del tratamiento de aguas residuales aplicando esta técnica. Se alcanzó un grado máximo de oxidación de sulfuro del 32,6% sin utilizar más reactivos; El análisis costo-beneficio había sido discutido en la presente investigación debido al aumento de la cavitación hidrodinámica alcanzada observándose un déficit del 198% relacionado con el tratamiento convencional, el HC se encontró como una tecnología sostenible para las industrias de curtiembres (Nieto, 2019).

Una etapa importante del tratamiento del agua es la desinfección, que tiene como objetivo eliminar los microorganismos patógenos. La desinfección a gran escala se logra mediante la cavitación hidrodinámica (HC), que no requiere el uso de nuevos productos químicos. El HC, que puede inducir eficazmente la sonoquímica por medios mecánicos, crea condiciones extraordinarias de presiones de ~ 1000 bar, puntos calientes locales con ~ 5000 K y alta oxidación (radicales hidroxilos) en el ambiente de la habitación. Estas condiciones pueden dañar gravemente a los microorganismos del agua. Además, la cavitación hidrodinámica (HC) mejora las reacciones químicas y las transferencias de masa, generando sinergia entre HC y desinfectantes u otros métodos de tratamiento físico. Los reactores de cavitación hidrodinámica (HCR) producen HC, por lo que su rendimiento determina en gran medida la efectividad, eficiencia económica y aplicabilidad de la desinfección con HC. Por lo tanto, la creación de HCR de alta calidad y la comprensión de los mecanismos de desinfección adecuados son aspectos críticos en la actualidad. Esta revisión proporciona un resumen de los principios fundamentales de HC y HCR, así como de los desarrollos más recientes en la desinfección mediante HC. Finalmente, basándose en el análisis de los estudios previos, se ofrecen sugerencias para el avance futuro. Se analiza la investigación más avanzada sobre la desinfección con HC. Se realizan evaluaciones cuantitativas de la eficacia y los costos de diferentes HCR. Se habla sobre los efectos de las condiciones de

tratamiento para varios tipos de HCR. Incluso a escala piloto, se encontró que la desinfección utilizando ARHCR es económicamente viable (Xun, 2020).

Dular (2016), en su investigación de cavitación hidrodinámica evaluó la importancia que adopta la temperatura en el tratamiento, el autor detalla que existe dos tipos de cavitación uno que es generado por ultrasonido, pero en investigaciones anteriores los resultados obtenidos por ultrasonidos la cavitación puede ser engañosa. Y el otro tipo de cavitación es la hidrodinámica con resultados más favorables en otras investigaciones, la cual el autor utilizó en su investigación así mismo inicio las pruebas en una sección de prueba de flujo radial, que puede generar un tipo de cavitación muy agresivo. El autor evidencia el rol relevante que adopta la temperatura en la agresividad de la cavitación - la máxima agresividad se encontró fue a 60 ° C. En la última parte del trabajo se obtuvo como resultado que el enfoque de micro-chorro predijo correctamente la tendencia, pero la influencia de la temperatura fue marginal. Por otro lado, la teoría del colapso de la burbuja esférica teniendo en cuenta los efectos termodinámicos de la cavitación producida un muy buen acuerdo con los experimentos.

Lebiocka (2020), desarrolla su investigación de cavitación hidrodinámica en búsqueda de la biodegradación las aguas servidas municipales pretratadas mecánicamente. Cada tratamiento se sometió a una presión de 3,5, 5 y 7 bar en la zona de entrada del dispositivo de cavitación. En consecuencia, se registró un aumento significativo de DBO5 (de 243 a 379,3 gramos por metro cúbico) y una gota de DQO (de 596 a 548,5 g/m<sup>3</sup>) durante una presión de 5 bar, lo que resultó en el valor más alto del índice de biodegradabilidad de 0,7. Se concluye que los resultados óptimos se obtuvieron cuando la presión de entrada fue a 5 bares.

Bandala y Rodríguez (2019), generaron cavitación hidrodinámica a baja presión (baja energía) y lo aplicaron en la producción de radicales hidroxilos. La presión, la velocidad de flujo, la temperatura y otras variables importantes que se utilizaron para eliminar contaminantes como un colorante y un antibiótico fueron las condiciones necesarias para iniciar el proceso de cavitación. Se utilizó N, N-dimetil-p-nitrosoanilina (pNDA) como captador de radicales hidroxilos para estimar la

cantidad de radicales hidroxilos producidos por el sistema. Usando rojo Congo y sulfametoxazol como contaminantes modelo, se evaluó la capacidad de la cavitación hidrodinámica para degradar los contaminantes. Tras el tratamiento con cavitación hidrodinámica en una variedad de condiciones de proceso (con presiones de 13,7 y 10,3 kPa y caudales de 0,14 a  $3,6 \times 10^{-4}$  m<sup>3</sup>/s) sin pNDA, el autor llegó a la conclusión de que el proceso es principalmente térmico en lugar de basado en radicales, lo que permite la degradación de contaminantes orgánicos incluso sin pNDA.

Pooja y Gogate (2018), se concentraron en las diferentes facetas de la cavitación hidrodinámica combinada con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, radiación ultravioleta, fotocátalisis y tratamiento de Fenton para eliminar contaminantes de soluciones acuosas. En comparación con los reactores ultrasónicos, los reactores de cavitación hidrodinámica tienen un potencial de escalado del cien por ciento para destruir contaminantes complejos. Se descubrió que combinar cavitación hidrodinámica con otros Procesos Avanzados de Oxidación (PAO) es más efectivo que usar solo técnicas porque genera más radicales OH, lo que intensifica la degradación. La presión, el pH y la temperatura son parámetros operativos de la cavitación hidrodinámica que determinan la efectividad del tratamiento y el grado de degradación alcanzado. Para reducir los costos adicionales de calefacción, los autores recomiendan realizar el tratamiento de cavitación hidrodinámica a la temperatura ambiental. Aunque las condiciones ácidas favorecen el tratamiento basado en cavitación, los beneficios del tratamiento deben compensarse por el costo operativo del proceso porque el ajuste del pH implica costos químicos adicionales.

Pooja *et al.* (2019), en su estudio mostraron una metodología más ecológica de cavitación hidrodinámica. utilizando flujos rotacionales para la desinfección del agua contaminadas con dos cepas microbianas modelo gran negativas (*Escherichia coli*) y grampositivas (*Staphylococcus aureus*). La eficacia de eliminación se cuantificó para dos reactores de cavitación diferentes. Se logró la eliminación prácticamente completa de *E. coli* (99%) en el proceso de cavitación

transcurrido 1 hora bajo una presión de 0.5 bar. Pero, la erradicación de *S. aureus* usando diodo de vórtice se observó que fue inferior al compararlo con lo erradicado de *E. coli* y 60% desinfectado. Los autores concluyen la gran eficiencia de esta metodología en la eliminación casi total de *Escherichia coli*.

Cadenas *et al.* (2020), en su investigación tuvo por objetivo remover sustancia nitrogenadas y orgánicas alojadas en superficies de aguas servidas provenientes de camales a través de la aplicación de ozono y cavitación hidrodinámica trabajando de forma conjunta, que incluyan el factor de temperatura respecto al enfriamiento. Los resultados proporcionaron que ambas tecnologías en conjunto logran reducción de 42.19, 61.17, 50.01, 4.88 y 3.49% de DBO, DQO, SST, STD y NH<sub>4</sub>-N respectivamente. En conclusión, las tecnologías empleadas en conjunto, adquieren mayor eficiencia para la remoción de cargas orgánicas y nitrogenadas que se alojan en efluentes.

Bockaj *et al.* (2018), en su trabajo de investigación aplicaron sistemas de tratamientos basados en la cavitación hidrodinámica sujeta a procesos de oxidación adicionales (O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Peroxono) que permiten la remoción de agentes contaminantes de efluentes de la industria de betunes. La revisión de investigaciones reveló que cavitación en conjunto con la ozonización permite remover el 40 y 50% de DQO y DBO respectivamente. Por otro lado, otras investigaciones basadas en trabajo en conjunto la cavitación hidrodinámica + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+ peroxono, alcanzan la remoción de DQO por 20, 25 y 13% y de DBO en 49, 32 y 18%, respectivamente. En términos finales, se comprende que los COV son eficientes para degradar contaminantes químicos.

Lopes (2019), desarrolla su investigación la comparación entre la eficiencia de eliminación de la DQO de un dispositivo Venturi con la de una placa de orificio. Para ello, se optimizó la presión de entrada en los dispositivos y se analizó la cinética de degradación. Preparó una solución de sacarosa y un efluente de una industria de refrescos a base de sacarosa. Los resultados mostraron que el dispositivo Venturi registró una eficiencia de eliminación de DQO del 90% después de tres minutos de tratamiento. Por otro lado, la placa de orificio eliminó DQO con una eficacia del 90%

después de 9 minutos. A excepción de la presión de entrada más alta en Venturi (7,3 bar), el orden de la reacción cinética de degradación fue de 3,5, lo que resultó en la coalescencia de cavidades y una disminución de la tasa de degradación. El coeficiente sinérgico ( $Sc$ ) fue de 185,20, lo que indica que el proceso híbrido (HC +  $H_2O_2$ ) funcionó mucho mejor que el proceso de cavitación aplicado por sí solo. La alta concentración de DQO en el efluente producido por la industria de refrescos (2,512.8 mg L<sup>-1</sup>) se redujo en un 72%. Por último, pero no menos importante, la combinación de cavitación y Venturi tiene un gran potencial para eliminar altas concentraciones de material orgánico en tiempos reducidos de tratamiento.

Liu *et al.* (2016), determinó la eficiencia de la cavitación hidrodinámica en el proceso de reducción de contaminantes orgánicos y microorganismos en medio acuoso. Los resultados en las condiciones experimentales, la eliminación de la coloración, DQO y contaminantes del petróleo fueron 80, 72.13 y 70%, respectivamente. Además, la remoción de *Escherichia coli* fue mayor del 99,99%. Concluyen que este nuevo tipo de tecnología de tratamiento de agua tiene características simples, operación viable, mínimo costo de mantenimiento, alto nivel de eficiencia y reducción de consumo de energía. Esta tecnología de tratamiento se puede usar no solo como un proceso de tratamiento de agua independiente, sino que también se puede usar junto con otros procesos de tratamiento de agua, así como para mejorar aún más el efecto del tratamiento.

Dular *et al.* (2016), aplicaron la cavitación hidrodinámica para lograr la erradicación de productos de tipología farmacéutica alojada en aguas servidas. Los resultados de cavitación hidrodinámica inducida por cizallamiento a diferentes temperaturas 20, 30 y 40 C arrojó que la remoción para la mayoría de los productos farmacéuticos fue entre (13-56%) mientras que aquellos experimentos que se desarrollaron a temperaturas entre 50 C y 60 C fueron más altos (48-82% y 63-95%, respectivamente). Un aumento adicional de la temperatura (a 68 °C) resultó en una disminución de la eficiencia de remoción. En conclusión, la temperatura influye directamente en el porcentaje de remoción durante la cavitación hidrodinámica.



Innocenzi, Prisciandaro & Veglio (2018), degradaron al hidróxido de tetrametilamonio (TMAH), presente en los desechos líquidos de la industria electrónica, por medio de la cavitación hidrodinámica. Para ello utilizaron un tubo Venturi que tenía un diámetro y convergente de 12 mm y 2 mm respectivamente. Los experimentos fueron realizados utilizando soluciones sintéticas con una concentración inicial de TMAH de 2 g / L. Los factores analizados fueron: pH de la solución (3 - 20) y tiempo (5 - 20 min). Los experimentos han sido realizados a una temperatura fija de 20 ° C y una presión de 4 bar. La presión de entrada de 4 bar se eligió como resultado de experimentos preliminares que demostraron que a este valor los rendimientos de degradación eran más altos que los obtenidos a otros valores de presión. Los autores tuvieron como resultados que los experimentos mostraron que la solución de pH era significativa con un negativo efecto. El rendimiento óptimo (alrededor del 44%) del proceso de degradación del hidróxido de tetrametilamonio se logró a pH = 3 después de 20 minutos.

La cavitación hidrodinámica es una aplicación prometedora que enfrenta directamente los perjuicios que viene causando las aguas servidas; para ello, emplean un modelado de presión, distribución en el reactor de cavitación y modelos de dinámica de burbujas junto con Se evalúan las reacciones químicas. Configuraciones experimentales con diferente cavitación. Los reactores y los parámetros de operación se comparan para degradar tipos específicos de contaminantes. Las direcciones de esfuerzo para las investigaciones tanto teóricas como experimentales se sugieren sobre la base de los contenidos revisados. Fácil operación a gran escala, combinación efectiva con estrategias intensificadas y capacidad para lidiar con Los compuestos biorrefractarios o tóxicos contribuyen al gran potencial de la cavitación hidrodinámica (Tao, et al., 2016).

Randhavane (2019), realizó la comparación de eficiencia de dos configuraciones de placa de orificio en la eliminación de contaminantes. Los resultados obtenidos confirmaron que la placa de orificio 1 con configuración de 1,5 mm 17 orificios; número cavitacional de 1,54 funcionó mejor con eliminación de aproximadamente 60% de DQO y 98% de clorpirifos en comparación con la placa de orificio 2 que tiene una configuración de orificio único de 2 mm; número cavitacional de 0,53 con

40% DQO y 96% de clorpirifos en 2 h de duración. El autor concluye que se debe establecer un número de cavitación óptimo, basado en las configuraciones de las placas de orificio. El estudio reveló que se obtienen números de cavitación de 1,54 y 0,53 a presiones de entrada de 5 bares para la placa 1 y la placa 2, respectivamente. El efecto del tiempo de reacción sugiere que, con el aumento del tiempo, la solución presenciará la actividad de cavitación durante cierto tiempo y, por lo tanto, ayudará a la degradación de contaminantes.

Pravin, Vinay & Vivek (2021), estudiaron la cavitación hidrodinámica removiéndole nitrógeno amoniacal de aguas servidas industriales. Para ello, se evaluaron dos geometrías de reactores para una mayor eficiencia en el orificio de eliminación y diodo de vórtice. Se evaluó el efecto del contenido de sal, el efecto de adición y aireación de peróxido de hidrógeno. Los resultados obtenidos arrojaron una eliminación 9-45% solo usando cavitación hidrodinámica dependiendo de la concentración inicial y la geometría del reactor, alta remoción usando diodo de vórtice para caída de presión de solo 0,5 bar. Curiosamente, una mejora significativa, hasta 8 veces, se puede obtener mediante la intensificación del proceso simple mediante burbujeo de aire u oxígeno y el grado total de eliminación de más del 80% podría lograrse. Concluyendo que existe superioridad del diodo de vórtice como reactor de cavitación sobre orificio de dispositivo convencional y demostrando orden de magnitud de aumento en el rendimiento cavitacional usando aireación.

Pavin & Garad (2016), realizaron su estudio con la finalidad de tratar aguas residuales por medio de la cavitación hidrodinámica. Para ello, llevaron a cabo un experimento el cual constaba en utilizar dos entradas diferentes a diferentes presiones, es decir entre, 2,5 bar y 6,5 bar. El resultado arrojó que si la presión aumenta que no hay ninguna reducción significativa de DQO. Ya que, a 2,5 bar, la reducción de DQO se convierte en 17 % y la reducción del carbono orgánico total se convierte en 18 % y cuando la presión aumentó hasta 6.5 bares no hubo ningún aumento en los parámetros analizados. Concluyendo que, 50 min es el tiempo de tratamiento óptimo para la reducción de DQO y del carbono orgánico total.

Asimismo, los resultados obtenidos a 6,5 bar no muestran ninguna reducción de DQO.

Chandra *et al.* (2019), detallan como la cavitación hidrodinámica viene siendo usada para la conservación de los cuerpos de agua. En este contexto la cavitación hidrodinámica por su reactor simple y gran capacidad de operación toma cada vez mayor importancia. El funcionamiento es simple: las burbujas de cavitación se forman cuando la presión local del fluido disminuye por debajo de la presión de vapor de saturación del entorno. Con el flujo del fluido, estas burbujas se mueven a áreas de alta presión donde colapsan rápidamente. Esta tecnología, que incluye el proceso de oxidación avanzada (AOP) para el tratamiento de aguas residuales, ha demostrado ser efectiva y adecuada contra una amplia gama de contaminantes y concentraciones. Además, tiene bajos costos operativos, equipos simples y no requiere reactivos.

Nieto *et al.* (2021), después de 60 minutos, con el objetivo de reducir la cantidad de contaminantes presentes y mejorar los parámetros físico-químicos de los efluentes: El pH disminuyó en un 23,95%, los sólidos en suspensión totales disminuyeron en un 82,82%, la DBO disminuyó en un 64,77%, la DQO disminuyó en un 63,05%, la presencia de aceites y grasas disminuyó en un 93%, y la presencia de *Escherichia coli* se eliminó por completo en los parámetros microbiológicos. En conclusión, el tratamiento demostró una alta eficiencia y a un costo muy reducido.

La tecnología basada en la cavitación hidrodinámica según Gutiérrez, Arias y Cardona (2019), es el fenómeno en el cual se generan y colapsan burbujas de vapor en un líquido debido a cambios rápidos en la presión. Este proceso se caracteriza por la formación intensa de burbujas de vapor, que se produce al aumentar la velocidad del líquido debido a una constricción y la subsecuente caída de presión. Este método es altamente eficiente desde el punto de vista energético y operacional, demostrando un mejor desempeño en comparación con tecnologías tradicionales.

Asimismo, se produce cuando el fluido pasa mediante una válvula de estrangulamiento, una placa de orificio o un Venturi, lo que hace que la presión local caiga por debajo de la presión de vapor del líquido, creando cavidades de alta intensidad de turbulencia a nivel micro. Este proceso se debe a la variación de la presión en un líquido que fluye debido a la variación de la velocidad en el sistema. Cuando la presión local cae por debajo de la presión de vapor del líquido, se crean burbujas de vapor que se mueven con el líquido hasta llegar a una región de alta presión, donde colapsan en forma súbita. La sobrepresión que surge como resultado de este fenómeno se propaga a través del fluido, lo que provoca la condensación de la siguiente burbuja y así sucesivamente (Lizardi *et al.*, 2016).

Por su parte, Moya (2018), define la carga orgánica como el tratamiento que permite la afectación de contaminantes derivado de efluentes, brindando eficiencia en los procesos biológicos utilizados en el tratamiento. El control de la carga orgánica es esencial para garantizar la eficiencia del sistema de tratamiento y la calidad del efluente final.

Según OEFA (2014), las aguas servidas son el resultado de aguas que previamente han sido utilizadas en un proceso de producción ya sean del ámbito minero, agrícola, curtiembre, etc. El uso que recibe el agua, transforma su carga física, química y microbiológica; por lo cual, requiere el sometimiento a un tratamiento previo a su vertimiento a los diversos sistemas de alcantarillados; a fin de lograr un ecosistema equilibrado que respete los LMP de las leyes peruanas.

Mientras tanto, en la industria de la curtiembre, utilizan técnicas en el proceso en de obtención de cuero. Dicho proceso desarrolla varias etapas en las cuales se utilizan productos químicos que van transformando la materia y el medio acuoso.

Según CITECCAL (2018), la primera etapa de tratamiento para la obtención del cuero es el remojo, que permite la hidratación de la piel, que previamente osteriormente recibirá la limpieza del curtido.

Si bien es cierto, la etapa de remojo, depende del estado de piel que se va trabajar. Pero siempre se ejecutan dos sub etapas: Limpieza y humectación. La segunda utiliza productos químicos durando dos días como tensoactivos, biocidas, enzimas, etc.

Para más detalle, se presenta en la *figura 1*, el proceso convencional, donde se muestran los productos químicos frecuentemente usados; así como, el sistema de procedimientos realizados para la obtención del cuero.

Descripción	<b>Piel Cruda</b> Recepción y adecuación de la piel fresca.	<b>Remojo</b> Humectación. Eliminación de suciedades y sust. proteicas	<b>Pelambre</b> Eliminación de epidermis y pelo. Hinchamiento del colágeno.	<b>Calero</b> Exposición a sust. alcalinas Ataque químico a grasa y proteína.	<b>Descarnado</b> Eliminación de pelo y de epidermis remanentes
Curtido	<b>Desencalado</b> Deshinchamiento y control del pH. Eliminación de la Cal.	<b>Piquelado</b> Disminuir pH para curtido empleando sales y ácidos.	<b>Curtido</b> Estabilización de las proteínas de la piel usando sales metálicas.	<b>Ecurrido</b> Reducurrido de la humedad y eliminación de las sales.	<b>Dividido</b> Corte de la piel para separar la parte interna de la exterior.
Recurtido	<b>Rebajado</b> Desbaste de la piel hasta darle el espesor deseado.	<b>Neutralizado</b> Eliminación de los ácidos libres formados, bajando el pH.	<b>Recurtido</b> Nuevo curtido para otorgar mayor suavidad y consistencia.	<b>Teñido</b> Otorgamiento del color deseado para el cuero.	<b>Engrase</b> Aplicación de grasa para volver el cuero suave y flexible.
Acabado	<b>Secado</b> Eliminación controlada del agua absorbida durante el teñido.	<b>Acondicionado</b> Homogenización de la humedad según el tipo de producto.	<b>Ablandado</b> Rotura de la adhesión de las fibras, dándoles flexibilidad.	<b>Otras</b> Secado recorte, clasificación, esmerilado.	<b>Expedición</b> Medición de área superficial, control de calidad y empaque.

Figura 1. *Flujograma del proceso productivo de la industria del cuero*

Dentro de los parámetros fisicoquímicos propios del agua, tenemos el **potencial de hidrógeno** que es medidor de acidez del agua que recuenta los iones libres de hidrógeno alojadas en una sustancia. Asimismo, la **conductividad eléctrica**, es el nivel de electricidad que puede conducir una sustancia, la **turbidez**, es el nivel de transparencia de una sustancia, que depende de la concentración de partículas en suspensión alojadas en la sustancia y el **potencial redox**, es un medio de medición de oxidación-reducción de la energía que pasa de un electrodo a energía eléctrica (López *et al.*, 2018).

Asimismo, los sólidos **suspendidos totales** (TSS), determina cuanto material particulado se encuentra en una corriente de agua superficial y los **sólidos disueltos** (SD), son sustancias orgánicas e inorgánicas que están disueltas en el agua. Solo logran ser removidas por medios físicos o químicos que las precipite y aglomere (Torres y Lozano, 2017).

El **oxígeno disuelto** (OD), un parámetro muy utilizado pues permite conocer cuanta vida puede existir o soportar el cuerpo de agua analizado, también se conoce como la concentración de OD en agua (Peña, 2007).

La DQO, permite identificar el nivel oxígeno necesario para lograr la oxidación de material orgánico presente en medios acuosos, la DBO<sub>5</sub>, permite conocer cuánto oxígeno requiere la materia orgánica para estabilizarse, estos niveles alcanzados a los 5 días permiten evaluar la sobrevivencia de los microorganismos (Chacón, 2019).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1 Tipo y diseño de investigación

El estudio fue de enfoque cuantitativo y tipología aplicada. Según CONCYTEC (2018), este tipo de investigación se desarrollada por medio del conocimiento científico que solventan una problemática identificada de manera específica.

El diseño fue experimental, basado en lo propuesto por Hernández *et al.* (2014), es un estudio que incluyen al menos dos variables (dependientes e independientes), que permiten establecer vinculaciones entre ellas, a partir de pre y post pruebas. En este caso el estudio puso a prueba la “Cavitación hidrodinámica” con el objetivo de minimizar la carga orgánica de efluentes de la industria de curtiembre.

#### 3.2 Variables y operacionalización

La variable independiente fue constituida por la tecnología de cavitación hidrodinámica y la variable dependiente fue representada por la carga orgánica en agua residual de etapa de remojo de la industria curtiembre, ambas son presentadas en el Anexo 1.



### 3.3 Población, muestra y muestreo

La población fueron la totalidad de aguas residuales industriales obtenidas del proceso de remojo y actividades del proceso de curtiembre realizadas en la planta piloto CITECCAL. La muestra seleccionada fue 90 litros de agua residual industrial extraída de la planta piloto.

El muestreo realizado fue aleatorio simple (Suarez, et al., 2016), que se caracteriza porque la muestra es homogénea y todas las unidades presentan la misma probabilidad de ser seleccionadas.

### 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La observación fue la técnica empleada en el estudio. Esta técnica nos permite evaluar de forma directa los cambios en el proceso de tratamiento con tecnología propuesta.

La validez del instrumento radica en el otorgamiento de calidad y seguridad para ser aplicada en las labores experimentales mediante la aprobación de un grupo de personas expertas en la temática investigativa. Esta validez permite poner en marcha las mediciones de eficiencia de las variables.

Validar un instrumento de recolección de datos debe acoplarse a la necesidad del estudio conforme a los objetivos propuesto como respuesta a la mejora de problemas encontrados (HURTADO, 2012). En esa línea de interpretación, la validez es brindada por especialistas en la materia, que a través de su juicio crítico emiten una valoración que permite considerar como recomendable el uso de los instrumentos (tabla 1 y tabla 2).

Tabla 1. Valoración de instrumentos

<b>Experto</b>	<b>Especialidad</b>	<b>CIP</b>	<b>Valoración</b>
Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto	Ingeniero	130267	90%
Dr. Ordoñez Gálvez, Juan Julio	Ingeniero	08447308	90%
Dr. Acosta Suasnabar Horacio	Ingeniero	25450	90%
Promedio de evaluación			90%

Tabla 2. Instrumentos de recolección de datos

Ficha1. Recolección de la muestra
Ficha2. Caracterización inicial de agua residual de etapa de remojo de la industria curtiembre
Ficha3. Datos de operación del sistema de cavitación hidrodinámica
Ficha4. Análisis de los parámetros después del tratamiento de agua residual de etapa de remojo de la industria curtiembre

### 3.5 Procedimientos

La reducción de la carga orgánica en la etapa de remojo de la curtiembre. En tal sentido, se consideró el siguiente diagrama de flujo, que es presentado en la figura 2.



Figura 2. Diagrama de flujo de desarrollo experimental

## Fase 1: Recolección de la muestra



Figura 3. Planta piloto de un centro de investigación de la industria del cuero y calzado

## Localización de la Unidad Experimental

En la figura 3 se observa que el desarrollo del estudio se ubicada en el distrito de San Martín de Porres, en coordenadas UTM, WGS84 y Zona 18L. Ver tabla 3.

Tabla 3. Ubicación de la unidad experimental

ESTE (X)	NORTE (Y)	ALTURA (m.s.n.m)
277486.91	8669138.68	22

## Fase 2: Caracterización inicial de la muestra



Figura 4. Caracterización inicial de la muestra

### Caracterización inicial de la muestra

En la figura 4, se observa la muestra inicial de agua residual de remojo que fue caracterizada por parámetros físicos: temperatura, ST, SD y SST y parámetros químicos: C.E., pH, OD, DQO, y DBO<sub>5</sub>.

La evaluación fue realizada con un multiparámetro calibrado inicialmente con buffer HANNA, en los niveles de pH 4,7 y 10.

Los parámetros que se midieron fueron: el *pH*, conductividad eléctrica, temperatura (°C) y potencial redox. Este procedimiento se realizó con la muestra inicial y luego también con la muestra tratada. El análisis de la caracterización se realizó en la empresa SGS certificada por INACAL.

Ver figura 5 del etiquetado y rotulado de envases.



Figura 5. Etiquetado y rotulado de envases

### **Oxígeno disuelto (Método Winkler)**

El oxígeno disuelto de acuerdo a su concentración puede perjudicar o ayudar a los ecosistemas acuáticos donde son vertidas estas aguas residuales de remojo de curtiembre.

Para su evaluación se utilizó un frasco estandarizado WINKLER, que para tomar la muestra fue introducido de manera invertida en un recipiente con la finalidad de que esta muestra no genere burbujas porque si esto sucediera el análisis no sería válido.

En la tabla 3, se utilizó la siguiente fórmula:

Fórmula: 1

$$\text{OD mgO}_2 / \text{L} = \frac{\text{Vol. Gasto en la muestra} * \text{N} * 8000 * \text{Vol. del Winkler}}{\text{Vol. de la muestra} * (\text{Vol. del Winkler} - 2)}$$

### **Demanda química de oxígeno (Método del dicromato de potasio)**

Este método se realiza para conocer la existencia de materia orgánica e inorgánica presentes en la muestra de agua residual de curtiembre, la cual nos va demostrar la carga orgánica existente debido a que el método es realizado con un oxidante fuerte dicromato de potasio siendo la reacción exotérmica debido al uso del ácido sulfúrico.

En la tabla 3 se utilizó la siguiente fórmula:

Fórmula: 2

$$D. Q. O. (mgO_2 /L) = \frac{(\text{Vol. gast. Blanco} - \text{Vol. gast. Muestra}) \times N \times 8000}{\text{Vol. m.}}$$

### **Demanda bioquímica del oxígeno (Método winkler)**

Representa la demanda de oxígeno que ocupan los microorganismos y es medido durando cinco días, bajo temperatura de 20 grados, donde finalmente se establece un cálculo diferencial entre la concentración inicial y final.

Se utilizó la siguiente fórmula:

Fórmula: 3

$$DBO5 (mgO2/L) = \frac{\text{OD. inicial} - \text{OD. final}}{\% \text{ Dilución}}$$

### **Parámetros físicos**

#### **Sólidos totales (ST) (Método gravimétrico)**

Los sólidos totales de la muestra se evalúan de manera que se homogeniza toda la muestra para luego tomar un volumen de 100 mL y llevarlo a una plancha hasta sequedad, seguidamente es colocado en una estufa a los 105°C, enfriarlo y pesarlo esto nos va indicar todos los sólidos totales.

Se utilizó la siguiente fórmula:

Fórmula: 4

$$S.T. (mg/L) = \frac{(W_{T+SS} - W_T) \times 1000}{V_{LITROS}}$$

### Sólidos disueltos (Método gravimétrico)

En esta etapa se filtró la muestra con un filtro WHATTMAN #40 para luego este filtrarlo y colocarlo a una plancha de digestión, evaporar la muestra y llevarlo seguidamente a una estufa a 105°C por 45 minutos, se enfría y se pesa.

Se utilizó la siguiente fórmula:

Fórmula: 5

$$S.D. (mg/L) = \frac{(W_{T+SS} - W_T) \times 1000}{V_{LITROS}}$$

### Fase 3: Diseño del tratamiento experimental



Figura 6. Equipo de cavitación hidrodinámica

El diseño del tratamiento experimental (figura 6), estuvo basado en un equipo de cavitación hidrodinámica, que constó de un recipiente donde ingresaba la muestra y estuvo unido a una bomba de agua, que bajo presión ascendió el agua y permitió medir en el primer manómetro la capacidad y flujo de la muestra, y en el segundo manómetro se encontró un venturi donde el ingreso fue alto. En esta zona donde se encuentra el canal del venturi se generó el tratamiento de la muestra, donde se desarrolló la evaporación (se formó el gas), pasó el agua y



se condensó, en la evaporación se generó una disociación con respecto al contaminante que quedó atrapado y solo pasó el agua. Luego, el agua vuelve en circuito cerrado al tanque y de manera continua se muestreó en 30, 60, 90 y 120 min. Ver figura 7.

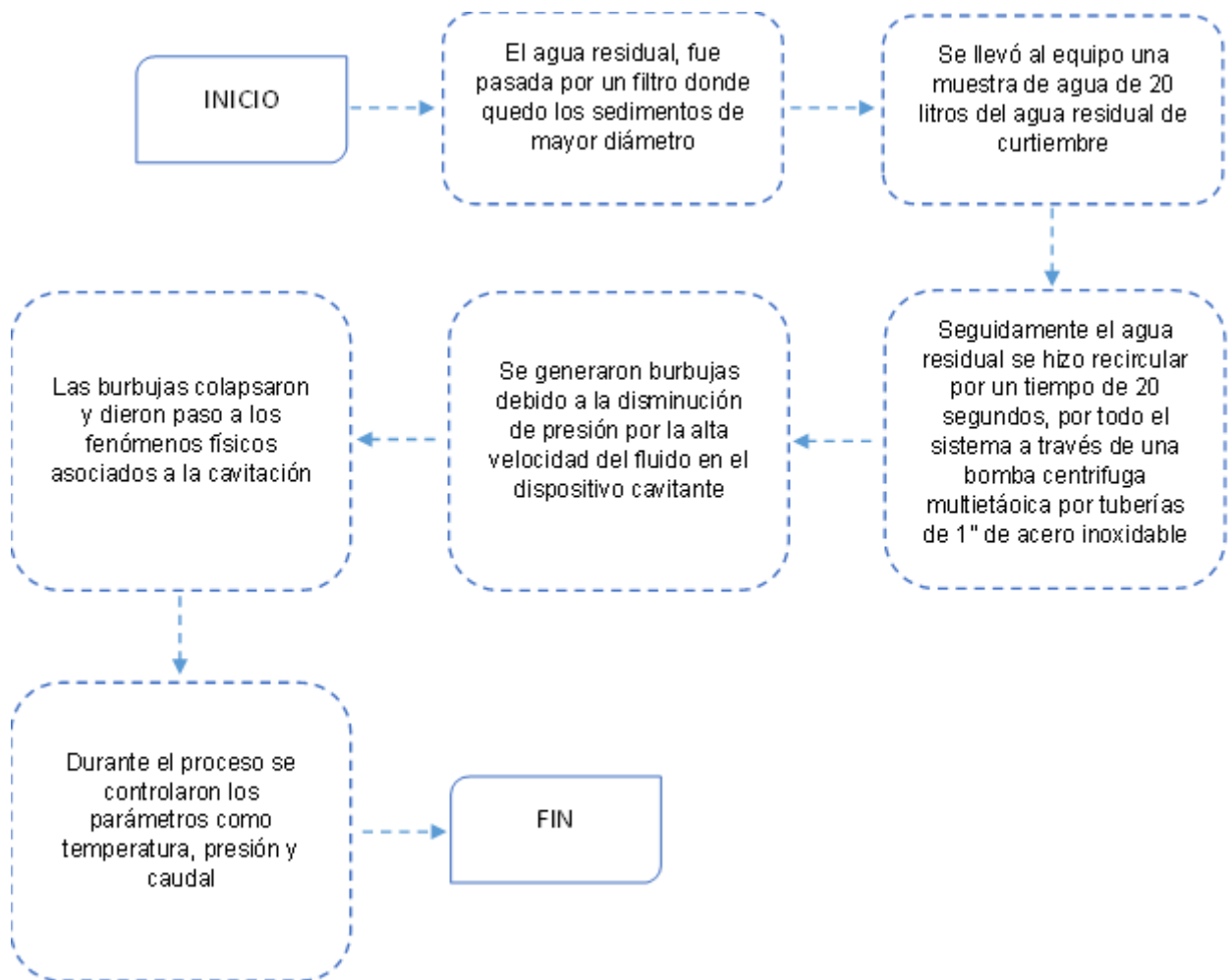


Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de cavitación hidrodinámica

#### Fase 4: Tratamiento de la muestra de agua del proceso de remojo de la industria curtiembre

##### Tiempo

Fue fundamental para la etapa de remojo ya que se trabajó con tiempos para tomar las muestras de estudio y poder verificar el tiempo óptimo y ver que ese tiempo tenga como objetivo la minimización de carga orgánica del agua con la finalidad que pueda tener como propósito para su reutilización o poder verter en

una alcantarilla sin perjudicar al medioambiente, evitando eutrofización dentro del canal por donde se desplaza a un PTAR.

El tiempo de tratamiento fue de 30, 60, 90 y 120 minutos.

### **Caudal**

El caudal es volumen que atraviesa una superficie en un tiempo dado:

Fórmula: 6

$$Q = \frac{V_{LITROS}}{T_{SEGUNDOS}}$$

Como el caudal fue medido en un tubo circular, donde el agua que circula es de forma de un cilindro con una sección igual al de la tubería.

Fórmula: 7

$$Q = S \cdot \frac{d}{t} = S \cdot V$$

Dónde:

Q: Caudal

V: Velocidad de circulación del agua en m/s

S: Sección del tubo

### **Volumen de análisis**

El volumen que se utilizó fue la unidad muestral de 20 litros para evaluar los parámetros del tratamiento del agua de remojo de curtiembre.

Las propiedades que se evaluaron fueron: temperatura, SST, sólidos disueltos y SST, OD, DQO, DBO, conductividad eléctrica y potencial de hidrógeno, para obtener resultados de carga orgánica presente en la muestra.

## **Fase 5: Evaluación del tratamiento**

En esta fase se realizó los ensayos con la intención de determinar los niveles de temperatura, ST, sólidos disueltos, SST, conductividad eléctrica, potencial de hidrógeno, OD, DQO, DBO de la muestra de agua.

### **3.6 Método de análisis de datos**

En el proceso de análisis inferencial, se utilizó el software SAS, que permite ejercer análisis de factores como la varianza y para ejecutar la contrastación de variables se empleó la prueba de Tukey; asimismo, esta prueba permitió la detección de tiempo óptimo en el proceso de tratamiento. Por último, se usó el microsoft excel para construir figuras y tablas.

### **3.7 Aspectos éticos**

El estudio presentado fue filtrado por el sistema de Turnitin, donde se reconoció la originalidad del documento. Asimismo, cada información considerada fue citada de forma correcta respetando la norma ISO-690. El estudio se acogió al reglamento de investigación científica de la resolución N°0313-2017/UCV.

Por otro lado, el estudio consideró los aspectos éticos establecidos en la resolución universitaria N°0126-2017/UCV. Además, los resultados obtenidos posterior a la ejecución de los tratamientos, fueron obtenidos y acreditados por laboratorios aprobados por INACAL.

#### IV. RESULTADOS

##### Caracterización inicial del agua residual de remojo de curtiembre

Tabla 4. Caracterización inicial del agua residual de remojo de curtiembre

Muestra	Parámetros físicos				Parámetros químicos					
	Temperatura °C	ST mg/L	Sólidos disueltos mg/L	SST mg/L	Conductividad eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$	Potencial redox mV	pH	OD mgO <sub>2</sub> /L	DQO mgO <sub>2</sub> /L	DBO mgO <sub>2</sub> /L
MI-C	20.3	19742	17938	1804	31.2	-620	8.79	0.4	1534	502.9

MI-C: Muestra inicial de curtiembre

En la tabla 4 se muestra los resultados de los parámetros iniciales del agua residual de remojo de curtiembre, con sus unidades de medida y sus valores tal como sale del proceso de curtiembre, observándose que son altos.

A continuación, se muestra las tablas y figuras de la caracterización.

Tabla 5. Parámetros físicos y químicos iniciales

Muestra	Temperatura °C	pH	Conductividad eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$	Potencial redox mv
MI-C	20.3	8.79	31,200	-620

MI-C: Muestra inicial de curtiembre

En la caracterización del agua residual de remojo de curtiembre se pudo observar que la conductividad eléctrica es alta 31.200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  lo que demuestra la existencia de cloruros en el agua residual por tal razón se puede ver que el potencial de hidrógeno es de 8.79 que se encuentra relacionado al potencial redox también alto por la relación con el potencial de hidrógeno lo que demuestra una capacidad de oxidación reducción, predominando la reducción por ese motivo tiene signo negativo -620 mV, como se observa en la tabla 5.

Tabla 6. Sólidos totales iniciales

Muestra	Peso del vaso seco (g)	Volumen (mL)	Peso del vaso seco + muestra a 105°C (g)	ST (mg/L)
MI-C	63.9439	100	65.9181	19742

MI-C: Muestra inicial de curtiembre

Tabla 7. Sólidos disueltos iniciales

Muestra	Peso del vaso seco (g)	Volumen (mL)	Peso del vaso seco + muestra a 105°C (g)	Sólidos disueltos (mg/L)
MI-C	63.6595	100	65.4533	17938

MI-C: Muestra inicial de curtiembre

Tabla 8. Sólidos suspendidos totales iniciales

Muestra	ST (mg/L)	Sólidos disueltos (mg/L)	Volumen (mL)	SST (mg/L)
MI-C	19742	17938	100	1804

MI-C: Muestra inicial de curtiembre

Los parámetros físicos de ST, sólidos disueltos y SST que se encuentran en las tablas 6,7 y 8 demuestran que la mayor concentración en los sólidos totales dándonos a conocer de que en el agua residual existe una composición de pelos, grasa, polvo que se origina en el remojo razón por la cual es alta, cuando se realizó la filtración se demuestra que existen sólidos disueltos en una alta concentración, claro está menor que los ST a diferencia de los SST que es mucho menor a los dos anteriores, ver tabla 6,7 y 8.

Tabla 9. Oxígeno disuelto inicial

Muestra	Volumen de muestra (mL)	Volumen de winker (mL)	Vol. gastado de tiosulfato (mL)	Normalidad del tiosulfato	OD (mgO <sub>2</sub> /L)
MI-C	100	300	0.2	0.025	0.40

MI-C: Muestra inicial de curtiembre

Tabla 10. Demanda química de oxígeno inicial

Muestra	Volumen de muestra (mL)	Volumen gastado en BK (mL)	Normalidad SF	Volumen gastado de SF (mL)	DQO (mgO <sub>2</sub> /L)
MI-C	3	3	0.25	0.7	1534

MI-C: Muestra inicial de curtiembre

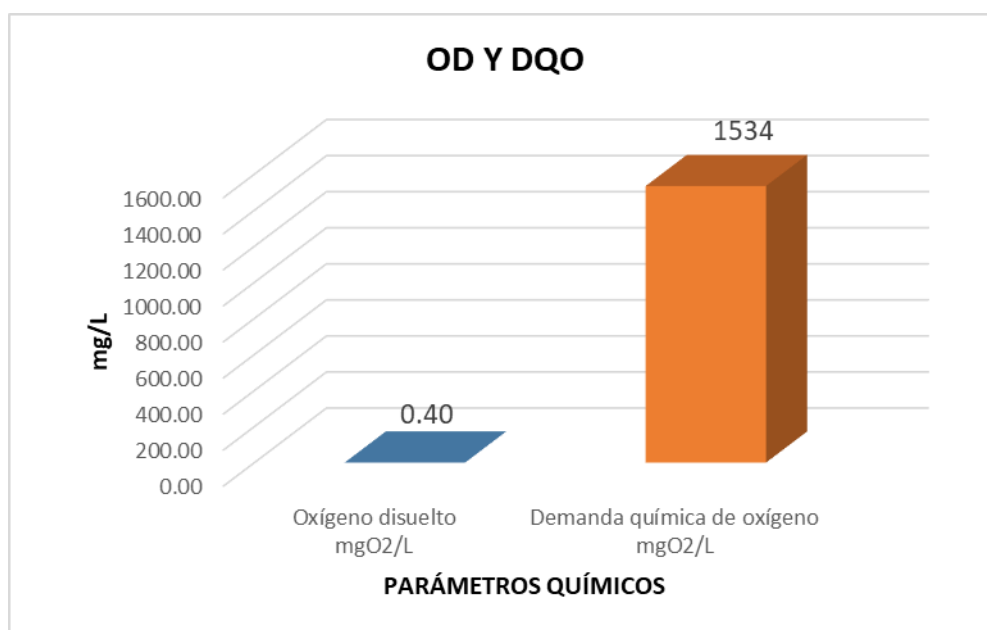


Figura 8. Resultados de los parámetros químicos.

En los parámetros químicos que fundamentan la carga orgánica existente se observa un oxígeno disuelto de 0.40 mgO<sub>2</sub>/L lo que hace demostrable en el DQO que es alta debido a que la materia orgánica consume una gran cantidad de oxígeno.

Tabla 11. Proceso de obtención de DBO5

Muestra	Volumen de muestra (mL)	Volumen del Winkler (mL)	Vol. gastado de tiosulfato (mL)	Normalidad del tiosulfato	OD (mgO <sub>2</sub> /L)
MI-C	100	300	2.6	0.025	5.23

MI-C: Muestra inicial de curtiembre

Tabla 12. Proceso de obtención de DBO5

Muestra	Volumen de muestra (mL)	Volumen del Winkler (mL)	Vol. gastado de tiosulfato (mL)	Normalidad del tiosulfato	OD (mgO <sub>2</sub> /L)
MI-C	100	300	0.1	0.025	0.201

MI-C: Muestra inicial de curtiembre

Tabla 13. Obtención del DBO5

Muestra	OD inicial	OD final	Dilución	DBO <sub>5</sub>
MI-C	5.23	0.201	1	502.9

MI-C: Muestra inicial de curtiembre

$$DQO/DBO_5 = 2.98$$

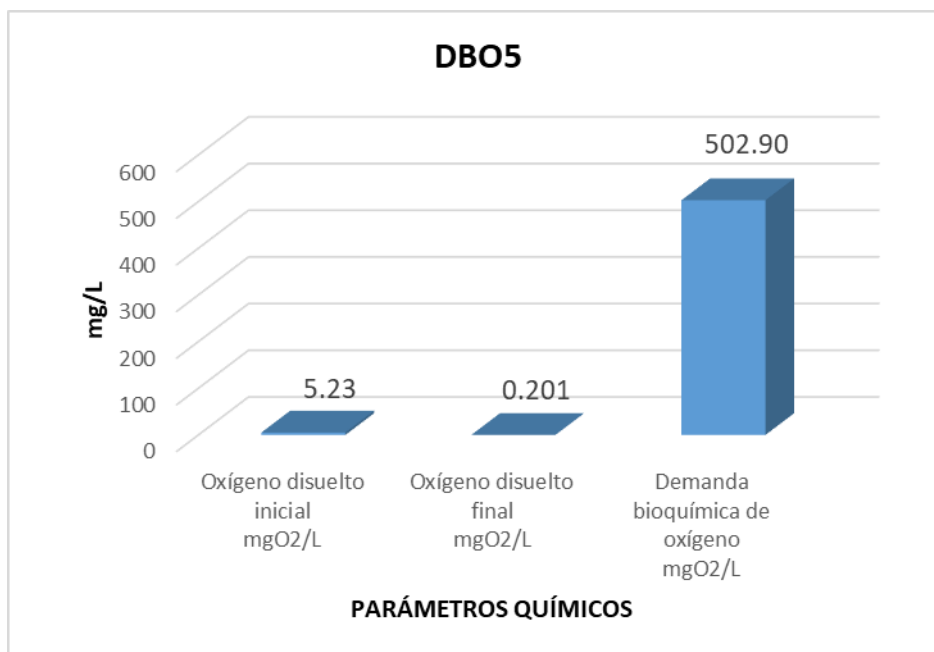


Figura 9. Obtención del DBO<sub>5</sub>

El proceso de DBO<sub>5</sub> se fundamenta de acuerdo a la DQO preparando un agua de dilución y determinando un % de la muestra para poder evaluar en 5 días en la tabla 11 y 12 se observa el proceso para obtener el DBO<sub>5</sub> donde el resultado final se encuentra en la tabla 13 y figura 11.



## Datos de operación del sistema de cavitación hidrodinámica

Tabla 14. Datos de operación del sistema de cavitación hidrodinámica

Tratamiento	Repetición	Temperatura de tanque (°C)	Presión de bomba (PSI)	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Presión de entrada (PSI)	Presión de salida (PSI)
T1: 30 minutos	R1	24.1	4.4	38	4.0	-1
	R2	28.9	4.4	38	4.0	-1
	R3	32.1	4.4	38	4.0	-1
<b>PROMEDIO</b>		<b>28.4</b>	<b>4.4</b>	<b>38</b>	<b>4.0</b>	<b>-1</b>
T2: 60 minutos	R1	35.9	4.4	37	3.9	-1
	R2	39.0	4.4	37	3.9	-1
	R3	41.9	4.4	37	3.9	-1
<b>PROMEDIO</b>		<b>38.9</b>	<b>4.4</b>	<b>37</b>	<b>3.9</b>	<b>-1</b>
T3: 90 minutos	R1	44.9	4.4	36	3.5	-1
	R2	47.3	4.4	36	3.5	-1
	R3	48.6	4.4	36	3.5	-1
<b>PROMEDIO</b>		<b>46.9</b>	<b>4.4</b>	<b>36</b>	<b>3.5</b>	<b>-1</b>
T4: 120 minutos	R1	49.8	4.4	35	3.6	-1
	R2	50.8	4.4	35	3.6	-1
	R3	51.9	4.4	35	3.6	-1
<b>PROMEDIO</b>		<b>50.8</b>	<b>4.4</b>	<b>35</b>	<b>3.6</b>	<b>-1</b>

## Análisis de parámetros después del tratamiento con cavitación hidrodinámica

Tabla 15. Análisis de parámetros después del tratamiento con cavitación hidrodinámica

Tratamiento	Repetición	Parámetros físicos				Parámetros químicos				
		Temperatura (°C)	Sólidos totales (mg/L)	Sólidos disueltos (mg/L)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Conductividad eléctrica (µS/cm)	Potencial de hidrógeno ácido/base	Oxígeno disuelto (mg/L)	Demanda química de oxígeno (mg/L)	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)
T1: 30 minutos	R1	20.2	19427	17724	1703	26975	8.43	0.261	1100	480
	R2	20.2	19227	17604	1623	26950	8.51	0.313	1033	470
	R3	20.2	19164	16724	2440	26900	8.88	0.348	1000	460
<b>Promedio</b>		<b>20.2</b>	<b>19273</b>	<b>17351</b>	<b>1922</b>	<b>26942</b>	<b>8.61</b>	<b>0.307</b>	<b>1044</b>	<b>470</b>
T2: 60 minutos	R1	20.2	19058	16445	2613	5629	8	0.347	966.6	216
	R2	20.2	19056	16388	2668	5034	8.01	0.521	900	213
	R3	20.2	19054	16138	2916	4929	8.02	0.695	866.6	202
<b>Promedio</b>		<b>20.2</b>	<b>19056</b>	<b>16324</b>	<b>2732</b>	<b>5197</b>	<b>8.01</b>	<b>0.521</b>	<b>911.1</b>	<b>210</b>
T3: 90 minutos	R1	20.2	18827	10436	8391	5546	8.64	0.52	766	248
	R2	20.2	18627	9646	8991	5058	8.01	0.86	733	235
	R3	20.2	18427	9346	9082	4829	8.02	1.04	400	223
<b>Promedio</b>		<b>20.2</b>	<b>18627</b>	<b>9809</b>	<b>8821</b>	<b>5144</b>	<b>8.22</b>	<b>0.81</b>	<b>633</b>	<b>235</b>
T4: 120 minutos	R1	20.2	17448	8808	8640	4995	8.68	1.74	387	239
	R2	20.2	17345	8514	8831	4823	8.56	2.08	367	228
	R3	20.2	17058	8234	8824	4729	7.82	2.78	334	213
<b>Promedio</b>		<b>20.2</b>	<b>17284</b>	<b>8519</b>	<b>8765</b>	<b>4849</b>	<b>8.35</b>	<b>1.91</b>	<b>363</b>	<b>227</b>

## Cavitación hidrodinámica

### - Oxígeno disuelto (OD):



Figura 10. Resultado del oxígeno disuelto en los 4 tratamientos

En la figura 10 se presenta los niveles de oxígeno disuelto, teniendo como mejor resultado el tratamiento (T4) de: 120 min en el tratamiento, esto a razón de que a mayor número de oxígeno disuelto es mejor la calidad del agua.

### - Demanda química de oxígeno (DQO):

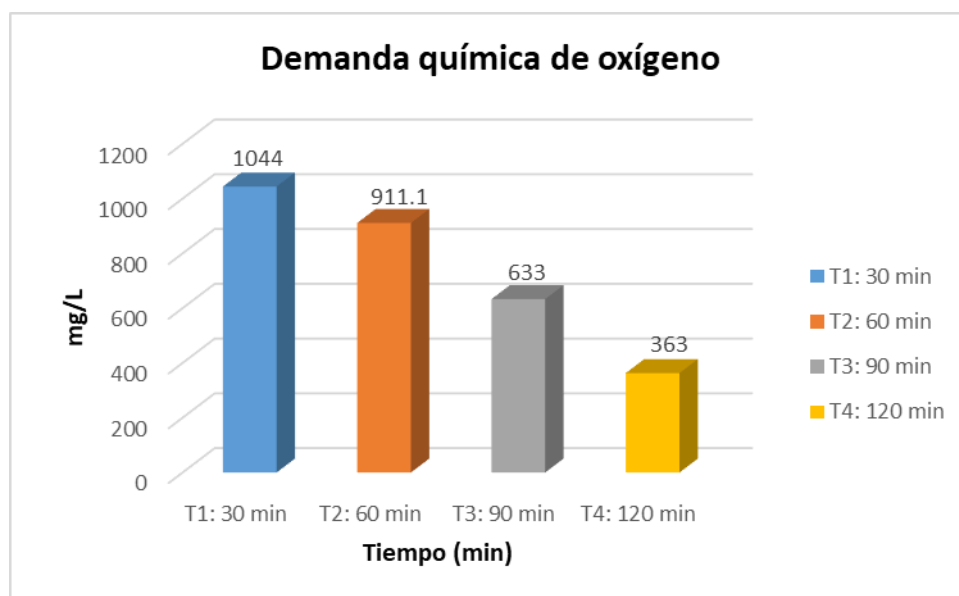


Figura 11. Resultado de la demanda química de oxígeno en los 4 tratamientos

En la figura 11 se observa el nivel de DQO, donde el tratamiento (T4) de: 120 min es mejor que los demás tratamientos, esto a razón de que a menor número de DQO, menor nivel de materia orgánica.

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>):**

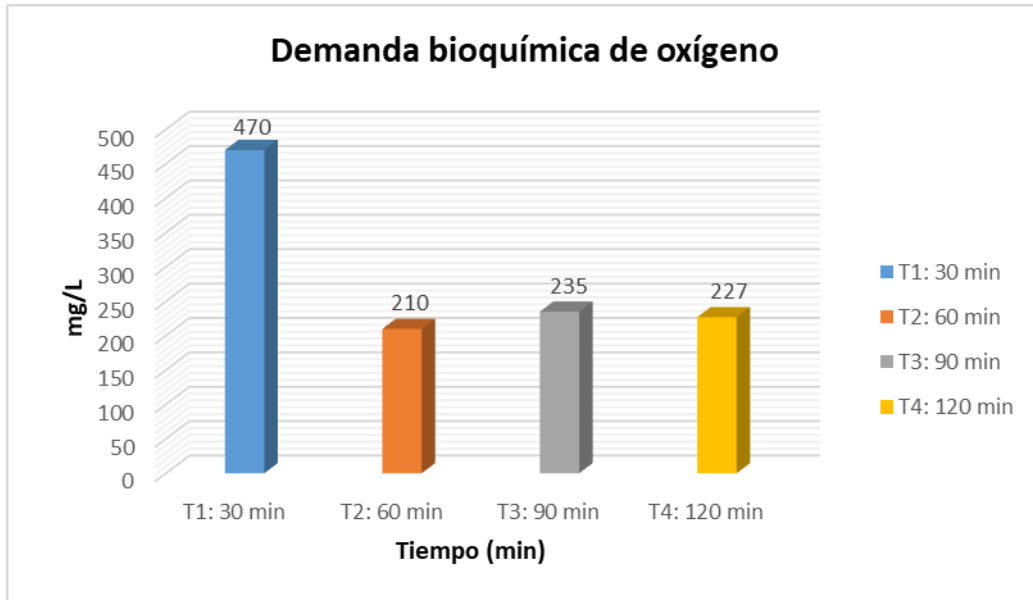


Figura 12. Resultado de la demanda bioquímica de oxígeno en los 4 tratamientos

En la figura 12 se observa los niveles de DBO<sub>5</sub>, donde el, T2, T3 y T4 de: 120 min es el mejor, que el tratamiento (T1) de cavitación hidrodinámica, esto a razón de que, a menor número de DBO<sub>5</sub>, menor cantidad de materia orgánica.

- **Sólidos totales:**

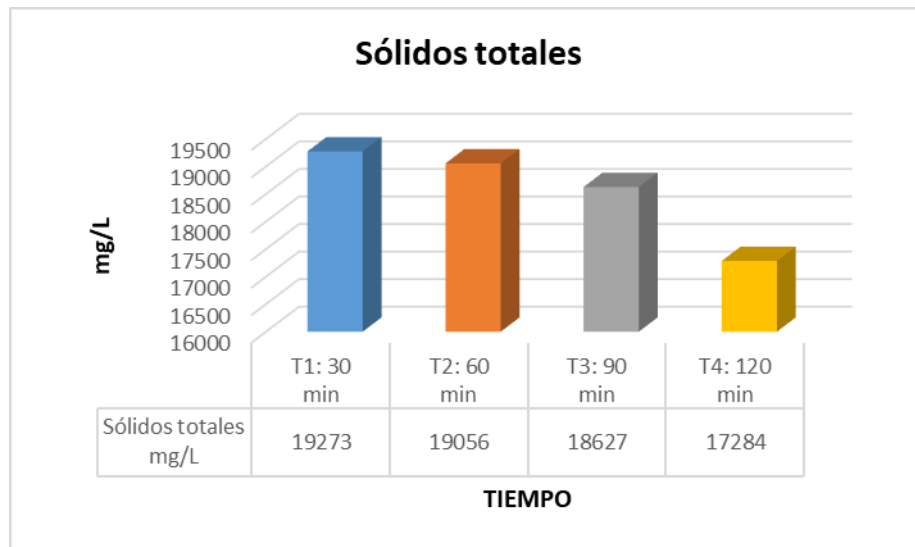


Figura 13. Resultados de los sólidos totales en los 4 tratamientos

En la figura 13 se presenta los niveles de ST, en el cual el tratamiento (T4) de 120 min, es mejor que el T1 de cavitación hidrodinámica, esto a razón de que, tiene menor nivel de ST en el agua.

- **Sólidos disueltos**

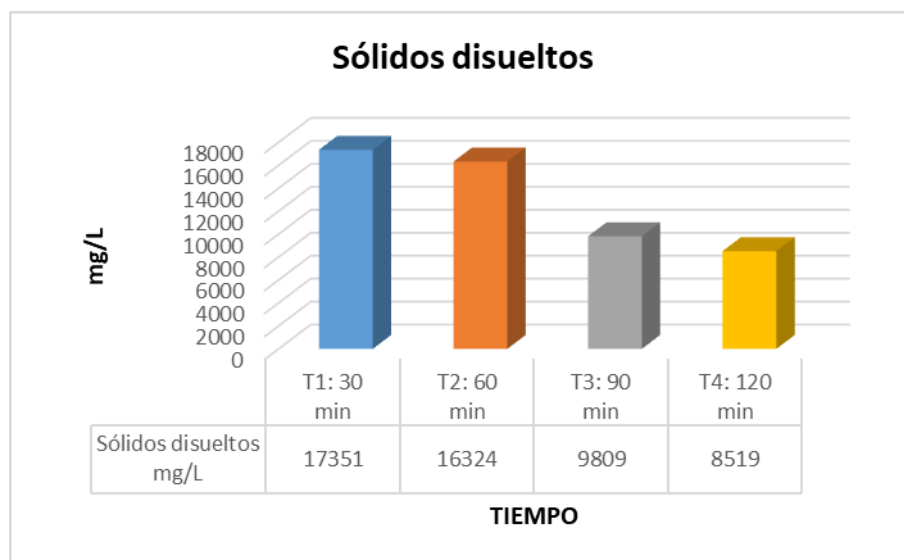


Figura 14. Resultado de los sólidos totales disueltos en los 4 tratamientos

En la figura 14 se presenta los niveles de sólidos disueltos, en el cual el T4 de 120 min, es mejor que los demás tratamientos, porque tiene menor nivel de sólidos totales en el agua.

- **Sólidos suspendidos totales**

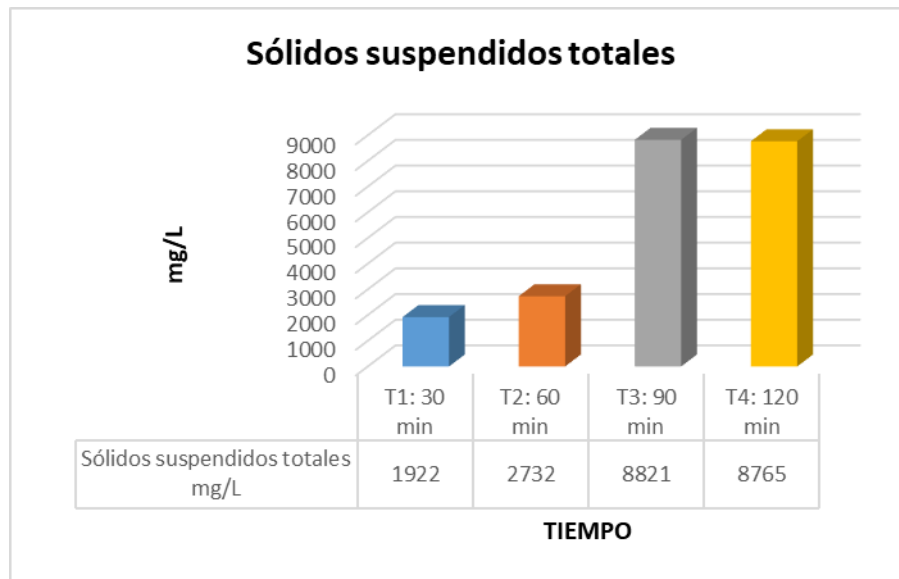


Figura 15. Resultado de los sólidos suspendidos totales en los 4 tratamientos

En la figura 15 se presenta los valores de SST, en el cual, en el T4 de 120 minutos.

**Porcentaje de reducción T1: 30min**

El porcentaje de reducción de los parámetros con el tratamiento T1: 30 minutos y con la caracterización de agua servida en la etapa de remojo de industria curtiembre. Ver tabla 16.

Tabla 16. Comparación del porcentaje de reducción T1

Parámetros	Unidad	Inicial	T1	%
ST	mg/L	19742	19273	2.4
Sólidos disueltos	mg/L	17938	17351	3
SST	mg/L	1804	1922	6
Conductividad eléctrica	μS/cm	31200	26942	14
Oxígeno disuelto	mgO <sub>2</sub> /L	0.40	0.397	0.8
DQO	mgO <sub>2</sub> /L	1534	1044	32
DBO <sub>5</sub>	mgO <sub>2</sub> /L	502.90	470	7

De la tabla 16 se observa que el mayor porcentaje de reducción del contaminante fue DQO en 32% seguido por la conductividad eléctrica de 14%, DBO<sub>5</sub> 7%, los SST 6%, los sólidos totales 2% y el OD 1% sin embargo, no varía la temperatura y el pH.

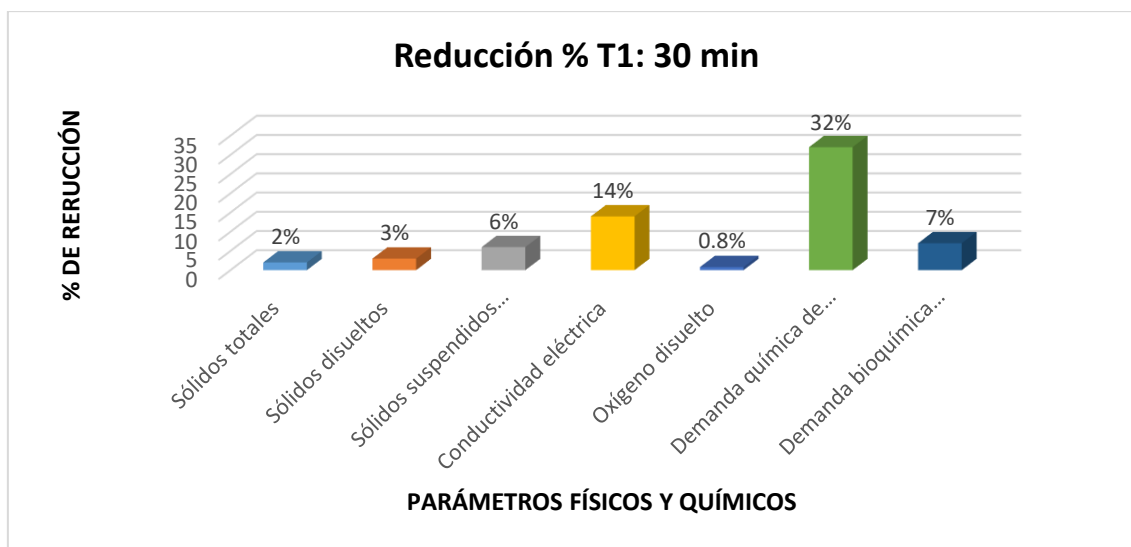


Figura 16. Porcentaje de reducción de los parámetros fisicoquímicos en 30 minutos

La figura 16 corrobora el cuadro en la diferencia del porcentaje de reducción de los contaminantes evaluados.

## Porcentaje de reducción T2: 60min

El porcentaje de reducción de los parámetros con el tratamiento T2: 60 minutos y con la caracterización inicial del agua residual de la etapa de remojo de industria curtiembre. Ver tabla 17.

Tabla 17. Comparación del porcentaje de reducción T2

Parámetros	Unidad	Inicial	T2	%
ST	mg/L	19742	19056	3
Sólidos disueltos	mg/L	17938	16324	9
SST	mg/L	1804	2732	34
Conductividad eléctrica	$\mu\text{S/cm}$	31200	4929	84
Oxígeno disuelto	$\text{mgO}_2/\text{L}$	0.40	0.521	23
DQO	$\text{mgO}_2/\text{L}$	1534	866.6	43
DBO <sub>5</sub>	$\text{mgO}_2/\text{L}$	502.90	210	58

De la tabla 17 se observa que el mayor porcentaje de reducción del contaminante fue la conductividad eléctrica en 84% seguido por la DBO<sub>5</sub> de 58%, DQO 43%, SST 34%, OD 23%, sólidos disueltos 9% y por último sólidos totales 3% sin embargo, no varía la temperatura y el pH.

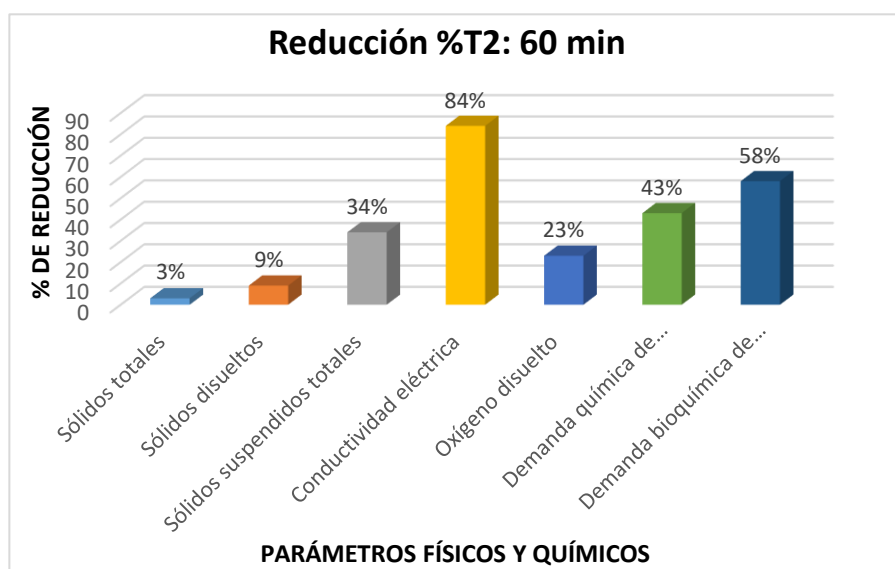


Figura 17. Porcentaje de reducción de los parámetros físico-químicos en 60 minutos

La figura 17 corrobora el cuadro en la diferencia del porcentaje de reducción de los contaminantes evaluados.



### Porcentaje de reducción T3: 90min

El porcentaje de reducción de los parámetros con el tratamiento T3: 90 minutos y con la caracterización inicial del agua residual de la etapa de remojo de industria curtiembre. Ver tabla 18.

Tabla 18. Comparación del porcentaje de reducción T3

Parámetros	Unidad	Inicial	T3	%
ST	mg/L	19742	18627	6
Sólidos disueltos	mg/L	17938	9809	45
SST	mg/L	1804	8821	79
Conductividad eléctrica	$\mu\text{S/cm}$	31200	5144	83
Oxígeno disuelto	$\text{mgO}_2/\text{L}$	0.40	0.81	50
DQO	$\text{mgO}_2/\text{L}$	1534	223	85
DBO <sub>5</sub>	$\text{mgO}_2/\text{L}$	502.90	223	55

De la tabla 18 se observa que el mayor porcentaje de reducción del contaminante fue de la DQO con 85% seguido de la conductividad eléctrica con 83%, SST con 79%, DBO<sub>5</sub> 55%, OD 50%, sólidos disueltos 45% y por último sólidos totales 6%, sin embargo, no varía la temperatura y el pH, ver figura 20.

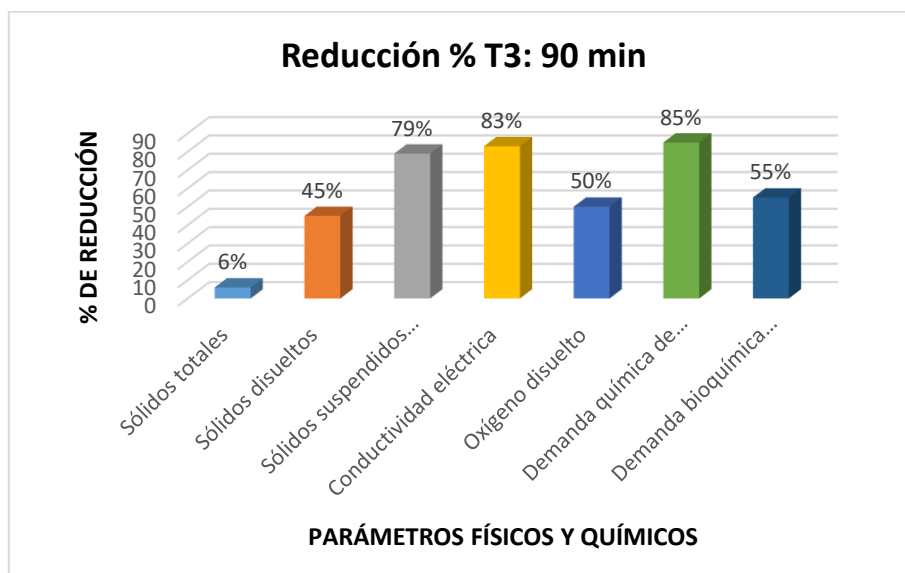


Figura 18. Porcentaje de reducción de los parámetros fisicoquímicos en 90 minutos

### Porcentaje de reducción T4: 120min

El porcentaje de reducción de los parámetros con el mejor tratamiento y con la caracterización inicial del agua de remojo de curtiembre. Ver tabla 19.

Tabla 19. Comparación del porcentaje de reducción

Parámetros	Unidad	Inicial	T4	%
ST	mg/L	19742	17283	13
Sólidos disueltos	mg/L	17938	8519	53
Conductividad eléctrica	$\mu\text{S/cm}$	31200	4849	85
Oxígeno disuelto	$\text{mgO}_2/\text{L}$	0.40	1.91	79
DQO	$\text{mgO}_2/\text{L}$	1534	363	76
DBO <sub>5</sub>	$\text{mgO}_2/\text{L}$	502.90	227	55

De la tabla 19 se observa que el mayor porcentaje de reducción del contaminante fue con la conductividad eléctrica en 85% seguido por el OD 79%, la DQO 76%, DBO<sub>5</sub> con 55%, sólidos disueltos en 53%, y por último ST 13% sin embargo, no varía la temperatura y el pH, ver figura 21.

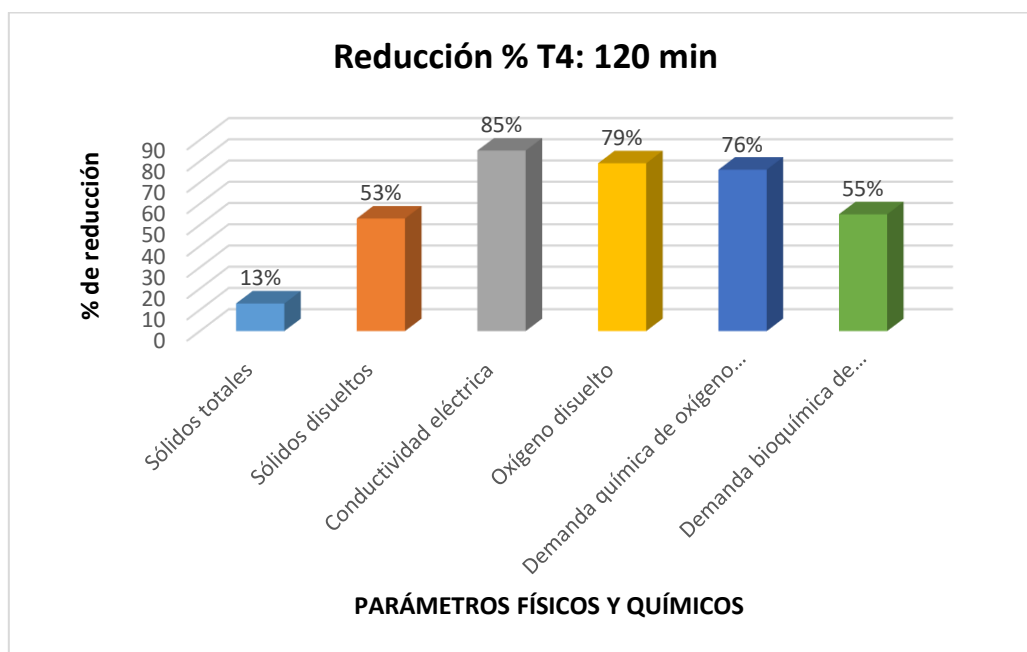


Figura 19. Porcentaje de reducción de los parámetros físicoquímicos en 120 minutos

La figura 19 corrobora el cuadro en la diferencia del porcentaje de reducción de los contaminantes evaluados.

## Estadística inferencial

### Para oxígeno disuelto (OD)

Se determinó que existe diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos (tabla 20), habiendo influencia en el tratamiento por tiempo de cavitación sobre el oxígeno disuelto. Además, el coeficiente de variación resultó 29.28% lo que significa que existió regular variación entre los resultados dentro de los tratamientos.

Tabla 20. Análisis de variancia para oxígeno disuelto

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F VALOR	Pr >F
ENTRE TRATAMIENTOS	3	6.53939892	2.17979964	22.76	0.0003
ERROR	8	0.76625133	0.09578142		
SUMA TOTAL	11	7.30565025			

CV=29.28

Tabla 21. Prueba de contraste de Tukey para oxígeno disuelto

SIGNIFICANCIA	PROMEDIO	TRATAMIENTOS
A	2.2	T4
B	0.8067	T3
B	0.521	T2
B	0.3073	T1

Para determinar cuál es el mejor tratamiento, se empleó la prueba de Tukey (tabla 21). Resultando que el tratamiento 4 es el mejor que los tratamientos 1, 2,3 y entre ellos son iguales entre sí, dado que el mayor valor es el mejor tratamiento, puesto que el OD es la medida del oxígeno en agua.

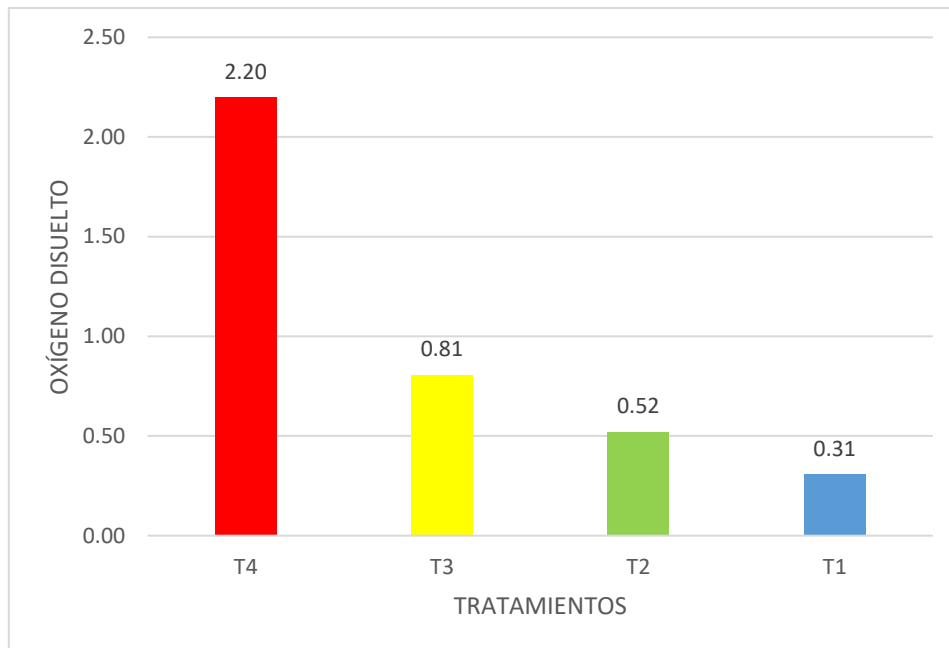


Figura 20. Efecto del tratamiento del oxígeno disuelto

De la figura 20 se comprueba lo que indica la prueba de contraste de Tukey, siendo el tratamiento 4 mejor que los tratamientos 1,2 y 3 e iguales entre ellos.

### Para demanda química de oxígeno (DQO)

Se determinó que para DQO, existe diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos (tabla 22), habiendo influencia en el tratamiento por tiempo de cavitación sobre la demanda química de oxígeno. Además, el coeficiente de variación resultó 14.68% lo que significa que no existió mucha variación entre los resultados dentro de los tratamientos.

Tabla 22. Análisis de variancia para la demanda química de oxígeno

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F VALOR	Pr > F
ENTRE TRATAMIENTOS	3	827076.2267	275692.0756	23.52	0.0003
ERROR	8	93787.04	11723.38		
SUMA TOTAL	11	920863.2667			

CV = 14.68%

Tabla 23. Prueba de contraste de Tukey para la demanda química de oxígeno

SIGNIFICANCIA	PROMEDIO	TRATAMIENTOS
A	1044.33	T1
BA	911.07	T2
BC	633	T3
C	362.67	T4

Para determinar cuál es el mejor tratamiento, se empleó la prueba de Tukey (tabla 23). Resultando que el tratamiento 3 y 4 son los mejores y los tratamientos 1 y 2 iguales entre sí, pero menores, dado que el menor valor es el mejor tratamiento, puesto que la DQO es la medida de la materia orgánica fermentable.

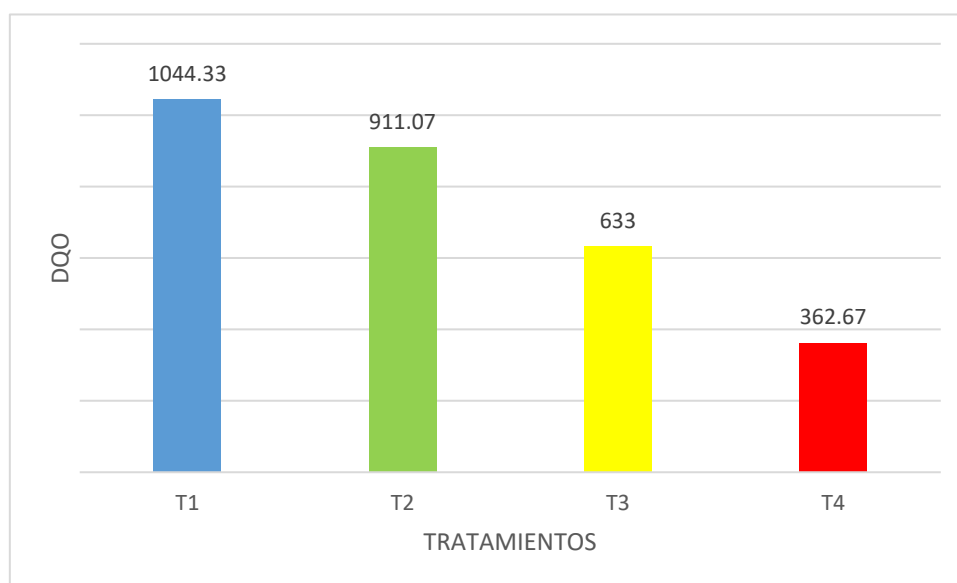


Figura 21. Efecto del tratamiento sobre la demanda química de oxígeno

De la figura 21 se comprueba lo que indica la prueba de contraste de Tukey, siendo los tratamientos 3 y 4 iguales pero mejores que los tratamientos 1 y 2.

### Para demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

Se determinó que, para la DBO<sub>5</sub>, existe diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos (tabla 24), habiendo influencia en el tratamiento por tiempo de cavitación sobre la DBO<sub>5</sub>.

Además, el coeficiente de variación resulto 3.84% lo que significa que no existió mucha variación entre los resultados dentro de los tratamientos

Ho = El proceso en todos sus tiempos son iguales

Ha = El proceso en todos sus tiempos son diferentes

Tabla 24. Análisis de variancia para la demanda bioquímica de oxígeno

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F VALOR	Pr > F
ENTRE TRATAMIENTOS	3	137004.9167	45668.3056	379.78	<.0001
ERROR	8	962	120.25		
SUMA TOTAL	11	137966.9167			

CV = 3.84%

Tabla 25. Prueba de contraste de Tukey para la demanda bioquímica de oxígeno

SIGNIFICANCIA	PROMEDIO	TRATAMIENTOS
A	470	T1
B	235.333	T3
B	226.667	T4
B	210.333	T2

Para determinar cuál es el mejor tratamiento, se empleó la prueba de Tukey (tabla 25). Resultando que el tratamiento 2, 3 y 4 resultaron mejores que el tratamiento 1, dado que el menor valor es el mejor tratamiento, puesto que la DBO<sub>5</sub> es la medida de materia orgánica fermentable.

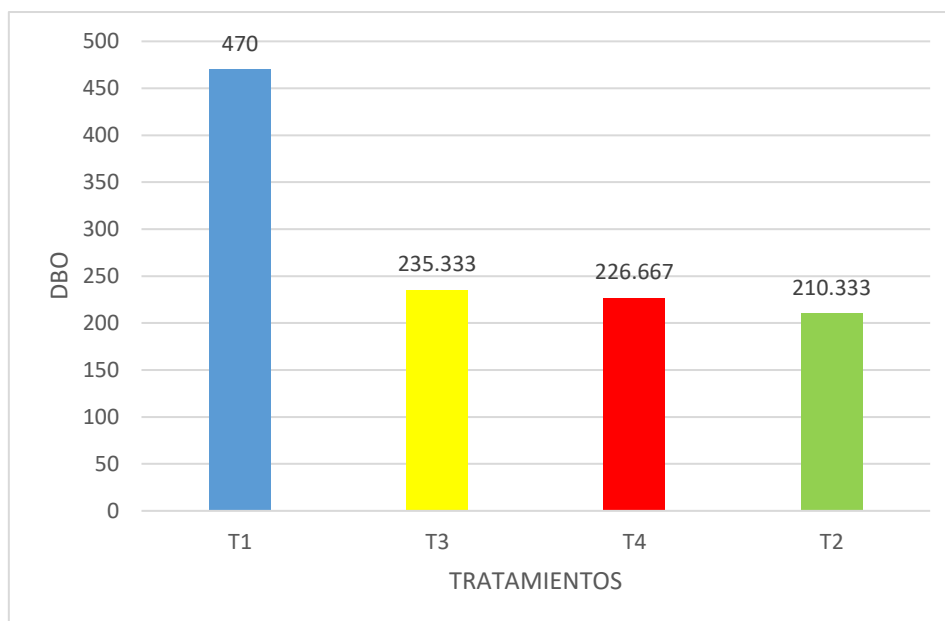


Figura 22. Efecto del tratamiento sobre la demanda bioquímica de oxígeno

La figura 22 se corrobora lo que indica la prueba de contraste de Tukey, siendo el tratamiento 2, 3 y 4 iguales pero mejores que el tratamiento 1.

### Para los sólidos totales

Se determinó que para sólidos totales, existe diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos (tabla 26), habiendo influencia en el tratamiento por tiempo de cavitación sobre los SST. Además, el coeficiente de variación resulto 0.85% lo que significa que no existió variación entre los resultados dentro de los tratamientos.

Tabla 26. Análisis de variancia para sólidos suspendidos totales

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F VALOR	Pr > F
ENTRE TRATAMIENTOS	3	7162276.333	2387425.444	95.78	<.0001
ERROR	8	199413.333	24926.667		
SUMA TOTAL	11	7361689.667			

CV = 0.85 %

Tabla 27. Prueba de contraste de Tukey para sólidos totales

SIGNIFICANCIA	PROMEDIO	TRATAMIENTOS
A	19272.7	T1
A	19056	T2
B	18627	T3
C	17283.7	T4

Para determinar cuál es el mejor tratamiento se empleó la prueba de Tukey (tabla 27). Resultando que el tratamiento 4 es el mejor que los tratamientos 1, 2 y 3, dado que el menor valor es el mejor tratamiento, puesto que los ST es la medida de los sólidos en el agua.

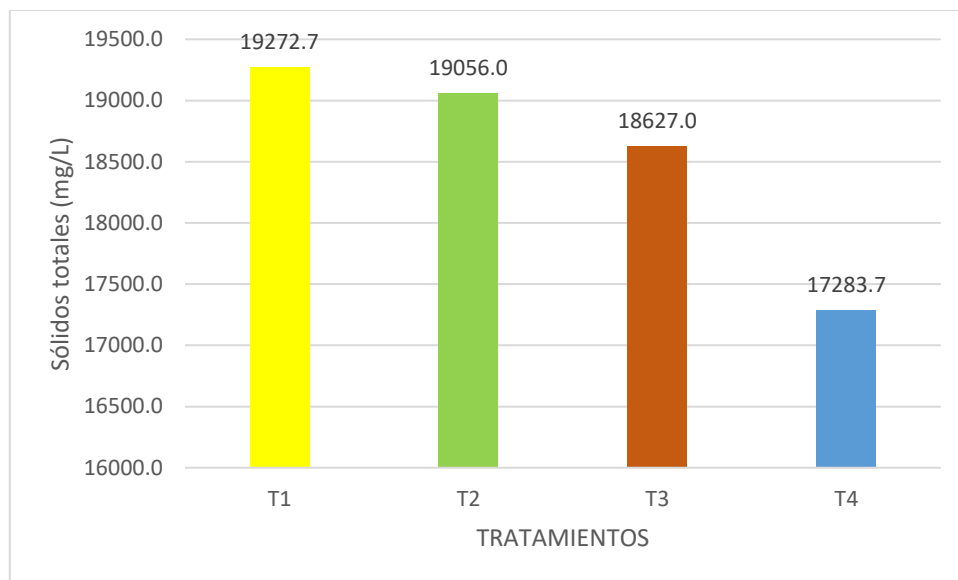


Figura 23. Efecto del tratamiento sobre los sólidos totales

En la figura 23 se comprueba lo que indica la prueba de contraste de Tukey, siendo el tratamiento 4 el mejor que los tratamientos 1,2 y 3.



### Para sólidos disueltos

Se determinó que, para los sólidos disueltos, existe diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos (tabla 28), habiendo influencia en el tratamiento por tiempo de cavitación sobre los sólidos disueltos. Además, el coeficiente de variación resultó 0.85% lo que significa que no existió variación entre los resultados dentro de los tratamientos.

Tabla 28. Análisis de variancia para sólidos disueltos

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F VALOR	Pr > F
ENTRE TRATAMIENTOS	3	180713284.3	60237761.4	332.7	<.0001
ERROR	8	1448436.7	181054.6		
SUMA TOTAL	11	182161720.9			

CV = 0.85 %

Tabla 29. Prueba de contraste de Tukey para sólidos disueltos

SIGNIFICANCIA	PROMEDIO	TRATAMIENTOS
A	17350.7	T1
A	16323.7	T2
B	9809.3	T3
C	8518.7	T4

Para determinar cuál es el mejor tratamiento, los promedios se sometieron a la prueba de contraste de Tukey, tabla 29, resultando que el tratamiento 4 es el mejor que los tratamientos 3, 2 y 1, dado que el menor valor es el mejor tratamiento, puesto que los sólidos disueltos es la medida de los sólidos diluidos en el agua.

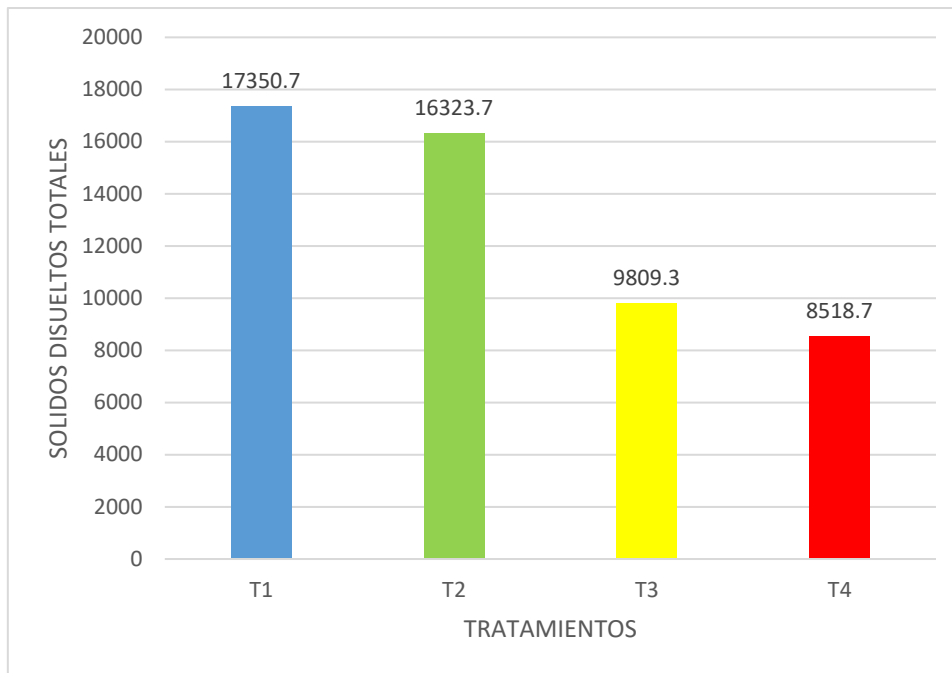


Figura 24. Efecto del tratamiento sobre los sólidos disueltos totales

En la figura 24 se comprueba lo que indica la prueba de contraste de Tukey, siendo el tratamiento 4 el mejor que los tratamientos 1,2 y 3.

### Para los sólidos suspendidos totales

Se determinó que, para sólidos totales, existe diferencia estadística significativa ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos (tabla 30), habiendo influencia en el tratamiento por tiempo de cavitación sobre los SST. Además, el coeficiente de variación resultó 5.55% lo que significa que no existió variación entre los resultados dentro de los tratamientos.

Tabla 30. Análisis de varianza de sólidos suspendidos totales

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F Value	Pr > F
ENTRE TRATAMIENTOS	3	126417188.3	42139062.8	441.72	<.01
ERROR	8	763181.3	95397.7		
SUMA TOTAL	11	127180369.7			

CV = 5.55

Tabla 31. Prueba de contraste Tukey para sólidos suspendidos totales

SIGNIFICANCIA	PROMEDIO	TRATAMIENTO
A	8821.3	T3
A	8765.0	T4
B	2732.3	T2
C	1922.0	T1

Para determinar cuál es el mejor tratamiento, se empleó la prueba de Tukey, tabla 31.

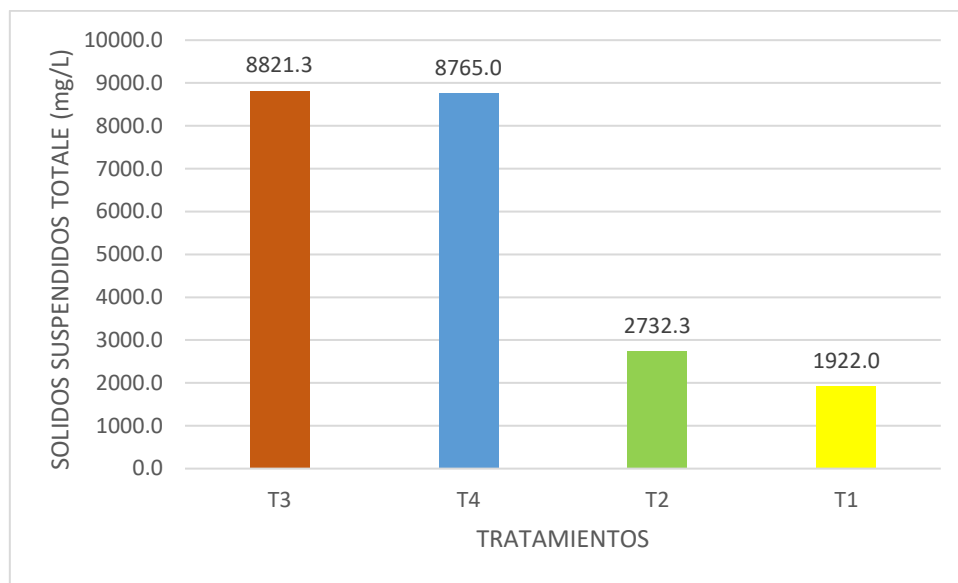


Figura 25. Efecto del tratamiento de sólidos suspendidos totales

### Para el potencial de hidrógeno (pH)

Al análisis de varianza para el Potencial de Hidrógenos, se observa que no hay diferencia estadística significativa ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos (tabla 32), no habiendo influencia en el tratamiento por tiempo de cavitación sobre el Potencial de Hidrógenos. Además, el coeficiente de variación resulto 2.58% lo que significa que no existió variación entre los resultados dentro de los tratamientos.

Tabla 32. Análisis de variancia para el potencial de hidrógeno

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F VALOR	Pr > F
ENTRE TRATAMIENTOS	3	0.56056667	0.18685556	1.85	0.2171
ERROR	8	0.8098	0.101225		
SUMA TOTAL	11	1.37036667			

CV= 3.83%

Tabla 33. Prueba de contraste de Tukey para el potencial de hidrógeno

SIGNIFICANCIA	PROMEDIO	TRATAMIENTOS
A	8.6067	T1
A	8.3533	T4
A	8.2233	T3
A	8.01	T2

Como salió no significativo entonces estadísticamente son iguales, pero se observa que el tratamiento 2 es el numéricamente el más bajo o se acerca a lo neutro pH 7. Ver tabla 33.

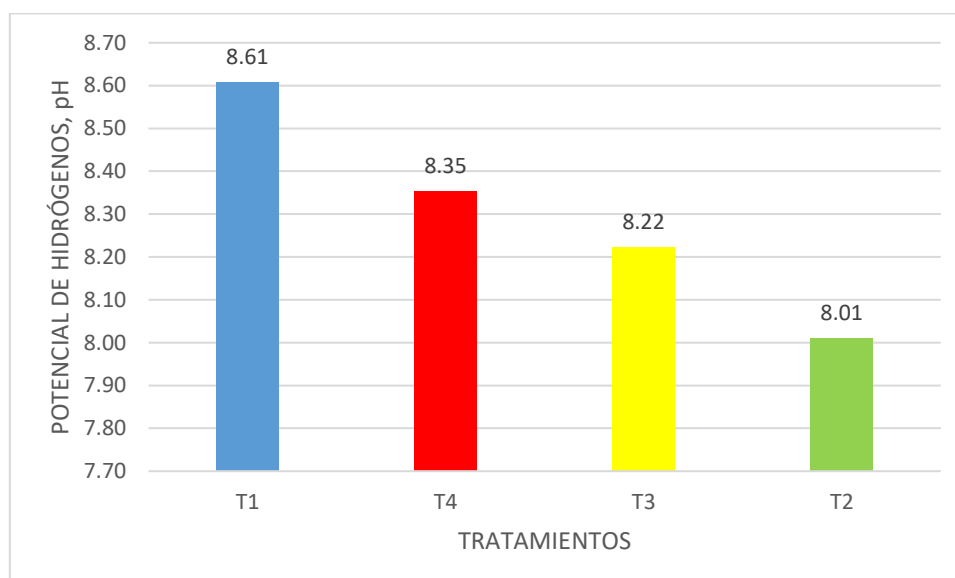


Figura 26. Efecto del tratamiento sobre el potencial de hidrógeno

La figura 26 se comprueba que el tratamiento 2 es que posee el mejor pH cercano al neutro.

### Para conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

Se determinó que, para conductividad eléctrica, existe diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos (tabla 34), habiendo influencia en el tratamiento por tiempo de cavitación sobre la conductividad eléctrica. Además, el coeficiente de variación resultó 2.58% lo que significa que no existió variación entre los resultados dentro de los tratamientos.

Tabla 34. Análisis de variancia para conductividad eléctrica

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F VALOR	Pr > F
ENTRE TRATAMIENTOS	3	1077177795	359059265	4847.65	<.0001
ERROR	8	592550	74069		
SUMA TOTAL	11	1077770345			

CV= 2.58 %

Tabla 35. Prueba de contraste de Tukey para conductividad eléctrica

SIGNIFICANCIA	PROMEDIO	TRATAMIENTOS
A	26941.7	T1
B	5197.3	T2
B	5144.3	T3
B	4849	T4

Para determinar cuál es el mejor tratamiento, se empleó la prueba de Tukey (tabla 35). Resultando que el tratamiento 4 es el mejor que los tratamientos 1, 2 y 3, dado que el menor valor es el mejor tratamiento, puesto que la conductividad eléctrica es la medida de las sales en el agua.

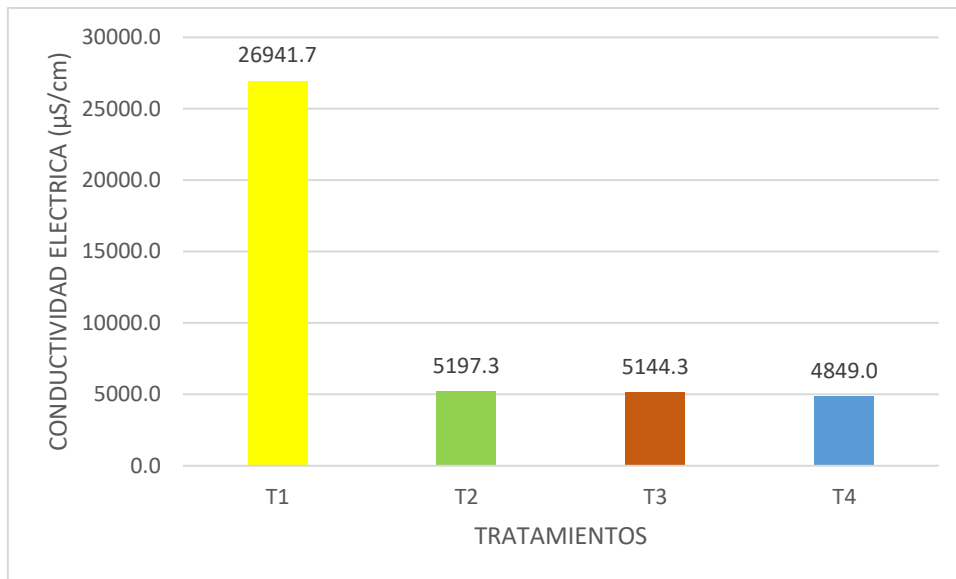


Figura 27. Efecto del tratamiento de conductividad eléctrica

## V. DISCUSIÓN

En el estudio se realizó el tratamiento del agua residual proveniente de las actividades de remojo de las curtiembres mediante cavitación hidrodinámica que es una técnica consiste en la formación de microburbujas de vapor que colapsan y generan ondas de choque que permitió la reducción de la carga orgánica. Al respecto, Gutiérrez, Arias y Cardona (2019), agregan que, en el proceso de implosión de las burbujas dada en los periodos de mili o microsegundos, se libera alto nivel de energía. Esta descarga energética, conlleva al surgimiento de altas presiones y temperaturas en el proceso; estos efectos favorecen la transformación de una gama de matrices de interés. Además, la carga orgánica según Moya (2018), en exceso en algún cuerpo de agua originada por vertimientos industriales o urbanos, genera la disminución del oxígeno disuelto. Este parámetro está definido por la DQO y la DBO<sub>5</sub>.

Por lo mencionado, lo establecido en el estudio se convierte en una metodología que permitirá aplicar acciones correctivas y preventivas para el cumplimiento de los VMA para efluentes de la industria de curtiembre establecidos en el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA y el Limite Máximo Permisible en el D.S. N° 003-2020-PRODUCE, logrando resultados favorables.

En el desarrollo experimental se realizaron cuatro tratamientos de diferentes tiempos cada uno con tres repeticiones (30, 60, 90 y 120 minutos) de agua residual de etapa de remojo de la industria curtiembre mediante cavitación hidrodinámica, los cuales tuvieron un tiempo de duración de 30 minutos cada uno. Por ello, diversos autores como Dular (2016), que demostró que existe dos tipos de cavitación; uno que es generado por ultrasonido y otra hidrodinámica para tratar aguas residuales con carga orgánica que se asemeja a lo aplicado en el estudio.

Los parámetros físicos como la temperatura se mantuvieron constante (20°C), se redujo el 13% de sólidos totales, 53% de sólidos disueltos y aumentó el 80% de sólidos suspendidos totales, manteniendo 120 minutos de tratamiento. Estos resultados fueron similares a lo reportado por Nieto (2021), quien utilizó la cavitación hidrodinámica logrando mantener la temperatura en niveles constantes y reducir los sólidos totales en suspensión en 82.82%, pero empleando sólo la mitad de tiempo en el tratamiento (60 minutos).

Los parámetros químicos como el potencial de hidrógeno no variaron considerablemente manteniéndose en nivel promedio de 8.35; sin embargo, se redujo la conductividad eléctrica en 85%, el oxígeno disuelto aumentó en 79% y la DQO se redujo al 76% y finalmente la DBO al 55%, lo que demuestra una eficiencia de reducción aceptable.

Estos valores son comparados con lo reportado por Pravin & Garad (2016), quienes utilizando cavitación hidrodinámica con una presión de 2,5 bar lograron reducir la DQO en 17% en un lapso de 50 minutos, mientras que la presente investigación utilizando la misma tecnología y mayor presión (4.4 bar) y tiempo (120 minutos) lograron mayor reducción (76%), siendo la metodología del estudio, más eficiente en comparación a los estudios previamente mencionados.

Asimismo, Nieto (2021), utilizó cavitación hidrodinámica para tratar la carga orgánica en aguas residuales provenientes de una curtiembre en dos tiempos logrando reducir la DQO en 63.94% que comparados al estudio (76%) fue inferior su nivel de eficiencia, pero en cambio al comparar el nivel de reducción en la DBO<sub>5</sub> logró 63.36%, siendo superior al estudio (55%).

Por otro lado, algunos estudios contrastan con la investigación, como es el caso de Lopes (2019), quien utilizó la misma metodología basada en la cavitación hidrodinámica que incluye un dispositivo Venturi con una placa de



orificio; sin embargo, logro mayor eficiencia de reducción (90% de DQO de aguas residuales), y empleando en el proceso sólo 3 minutos. Esta metodología es respaldada por Lizardi *et al.* (2016), quien sostiene que la cavitación hidrodinámica puede ser producida haciendo pasar fluido a través de una constricción, como una placa de orificio o un Venturi, de esta manera, cuando la presión local cae por debajo de la presión de vapor del líquido se crean cavidades de alta intensidad de turbulencia a nivel micro, siendo muy eficaz para eliminar la resistencia de transferencia de masa durante la reacción. Del mismo modo, Bockaj (2018), mediante cavitación hidrodinámica logro reducir la carga orgánica de las aguas residuales en 89.43% de DQO y 81.78% en el parámetro de DBO<sub>5</sub>, pero utilizó mayor tiempo de tratamiento (72 horas de tratamiento).

Según Gutiérrez *et al.* (2019), el pH es un factor importante en la eficiencia de la cavitación hidrodinámica, ya que el pH afecta la estabilidad de las burbujas de aire en el agua. Un pH más ácido o más básico puede afectar la estabilidad de las burbujas; por lo cual, sugiere que el pH se mantenga en un rango de 5 a 9. Esto concuerda con el pH aplicado en el estudio que fue de 8.35, lográndose la estabilidad de las burbujas.

Del mismo modo, la presión juega un rol relevante en el proceso de cavitación hidrodinámica, Vilarroig (2021), sostiene que la presión también es un factor clave en la cavitación hidrodinámica, ya que la presión afecta la estabilidad de las burbujas de aire en el agua. En conclusión, una presión más alta puede romper las burbujas de aire más rápidamente, lo que puede mejorar la eficiencia de la cavitación.

## VI. CONCLUSIONES

Se encontró que en los tratamientos que se realizaron en el tiempo (T4) de 120 minutos hubo una reducción de los siguientes parámetros físicos: 13% de sólidos totales, también se observó en los sólidos disueltos una reducción del 53%, a diferencia que los sólidos suspendidos totales que aumentaron en 80%; sin embargo, la temperatura se mantuvo constante en 20°C.

Se determinó que los parámetros químicos como el potencial de hidrógeno no variaron en el proceso considerablemente lo que fue de 8.35, sin embargo, reduciéndose la conductividad eléctrica en 85% en el tiempo (T4) de 120 minutos; además, se pudo observar que el oxígeno disuelto aumento en un 79% y la DQO fue de 76% y finalmente la DBO<sub>5</sub> tuvo un incremento de 55% lo que demuestra una eficiencia de reducción aceptable.

El proceso de cavitación hidrodinámica redujo la carga orgánica evaluada por el DQO, y la DBO<sub>5</sub>, en porcentajes considerables los que aceptan las hipótesis planteadas en la investigación siendo estas de 76% y 55%, se concluye que el proceso de cavitación hidrodinámica tuvo como aceptación la hipótesis alterna estadísticamente aprobando los resultados evaluados como diferentes en toda la investigación.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Utilizar un sistema de oxidación para que exista una mejor reducción de la DQO, y se obtenga unos mejores resultados y poder reutilizar el agua tratada.

Debe existir un sistema primario antes de poner la muestra en el equipo de cavitación hidrodinámica con la finalidad que no se obstruya el sistema de Venturi y puedan tener una buena presión de ingreso.

El agua debe tener un sistema de refrigeración apropiado cuando estas se van a pasar por el equipo y son guardados en un tiempo mayor a 24 horas porque son fáciles de descomponerse.

## REFERENCIAS

ABRAMOV, Vladimir. et al. "Flow-mode water treatment under simultaneous hydrodynamic cavitation and plasma." *Ultrasonics Sonochemistry*, Volume 70, 2021, 105323, ISSN 1350-4177, <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105323>.

AGUDELO, Rafael. *et al.* (2019). Remoción de sulfuros presentes en el agua residual del proceso de curtido mediante cavitación hidrodinámica. *Revista ION*, vol. 32, núm. 1, 2019. Universidad Industrial de Santander. DOI: [10.18273/revion.v32n1-2019002](https://doi.org/10.18273/revion.v32n1-2019002)

BANDALA, Erick. RODRIGUEZ, Oscar. "On the Nature of Hydrodynamic Cavitation Process and Its Application for the Removal of Water Pollutants". *Air, Soil and Water Research* Volume 12: 1–6. (2019). <https://doi.org/10.1177/1178622119880488>

BIS, M. "Application of hydrodynamic cavitation to improve the biodegradability of mature landfill leachate." *Ultrasonics Sonochemistry* Volume 26, 2015, Pages 378-387, ISSN 1350-4177, <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.03.003>.

Bockaj, P. Mako ś, A. Przyjazny, Application of dispersive liquid-liquid microextraction and gas chromatography with mass spectrometry for the determination of oxygenated volatile organic compounds in effluents from the production of petroleum bitumen, *J. Sep. Sci.* 39 (2016) 2604 – 2615. Disponible en <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.5028152> DOI: 10.1063/1.5028152

CADENAS, Carlos. et al. (2020). Ozono y cavitación hidrodinámica para disminución de la carga orgánica y nitrogenada en aguas residuales de camal, 2020. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/56568>

CAPOCELLI, Mauro. *et al.* (2020). A Transport-Phenomena Approach to Model Hydrodynamic Cavitation of Organic Pollutants. *Water* 12, no. 6: 1564. <https://doi.org/10.3390/w12061564>

CITECCAL (2018), III Congreso Nacional de Cuero y Calzado.  
<https://citeccal.itp.gob.pe/iii-congreso-nacional-de-cuero-y-calzado/>

CIRIMINNA, Rosaria, *et al.* (2016). Hydrogen Peroxide: A Key Chemical for Today's Sustainable Development. *ChemSusChem*, 9, 3374 – 3381. [DOI: 10.1002/cssc.201600895](https://doi.org/10.1002/cssc.201600895)

DULAR, Matevz. "Hydrodynamic cavitation damage in water at elevated temperatures." *Wear* (2016): 78-86. DOI:[10.1016/J.WEAR.2015.11.007](https://doi.org/10.1016/J.WEAR.2015.11.007)

DULAR, Matevz, *et al.* "Use of hydrodynamic cavitation in (waste)water treatment." *Ultrasonics Sonochemistry* 29 (2016) 577–588.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.10.010>

FALYK, Taras. *et al.* (2017). Research of the effects of various gases on cavitation-based removal of organic pollutants from distillery wastewater. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(10 (87), 56–62. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101708>

FERNANDEZ, Felipe. *et al.* (2019). Overcoming challenges in lignocellulosic biomass pretreatment for second-generation (2G) sugar production: emerging role of nano, biotechnological and promising approaches. *3 Biotech*. Jun;9(6):230. [DOI: 10.1007/s13205-019-1761-1.](https://doi.org/10.1007/s13205-019-1761-1)

GUTIÉRREZ, Fernando. ARIAS, Sebastián. CARDONA, Daniel. (2019). Cavitación hidrodinámica: un enfoque desde la ingeniería y la agroindustria. *Scientia et Technica*, 24(2), 283.  
<https://doi.org/10.22517/23447214.19921>

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. Metodología de la investigación. 6ª. ed. México: McGRAW-HILL, 2014.

HYUNSOO, Kim. *et al.* (2019). Experimental study of cavitation intensity using a novel hydrodynamic cavitation reactor. *Journal of Mechanical Science and Technology* 33, 4303–4310. <https://doi.org/10.1007/s12206-019-0826-8>

INNOCENZI, Valentina. PRISCIANDARO, Marina. VEGLIÒ, Francesco. “Effect of the Hydrodynamic Cavitation for the Treatment of Industrial Wastewater.” *Chemical engineering transactions* VOL. 67, 2018. ISBN 978-88-95608-64-8; ISSN 2283-9216. Disponibile en: <https://www.aidic.it/cisap8/papers/39innocenzi.pdf>

KHOEI, S. *et al* (2017). Treatment of medium density fiberboard wastewater by Fe<sup>2+</sup>/persulfate and Fe<sup>2+</sup>/persulfate enhanced hydrodynamic cavitation processes. *Fresenius Environmental Bulletin* 2017 Vol.26 No.1 pp.483-489 ref.39. ISSN : [1018-4619](http://www.prt-parlar.de/.../) URL : <http://www.prt-parlar.de/.../>

KORPE, Sneha.. RAO, Venkateswara. (2021). Application of advanced oxidation processes and cavitation techniques for treatment of tannery wastewater. A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(3). DOI: [10.1016/j.jece.2021.105234](https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105234)

LEBIOCKA, Magdalena. *et al* (2021). Mature Landfill Leachate as a Medium for Hydrodynamic Cavitation of Brewery Spent Grain. *Energies*. 14(4):1150. DOI:[10.3390/en14041150](https://doi.org/10.3390/en14041150)

LEBIOCKA, Magdalena. (2020). Application of Hydrodynamic Cavitation to Improve the Biodegradability of Municipal Wastewater. *Journal of Ecological Engineering*, 21(6), 155-160. <https://doi.org/10.12911/22998993/123163>

LIZARDI, Arturo. Et al (2016). Producción de biodiesel por cavitación hidrodinámica. *Revista de Sistemas Experimentales* 2016, 3-9: 16-23. <http://www.ecorfan.org/bolivia>

LIANG, Lv. *et al* (2021). The Numerical Investigation on Bubble Interaction Dynamics in Hydrodynamic Cavitation. *Mechanika*, 27 (2),

115. <https://link.gale.com/apps/doc/A661724967/AONE?u=anon~4a5d8efd&sid=googleScholar&xid=c608dfde>

LIU, Zhimeng. *et al.* "Pollutant and Microorganism Removal From Water by Hydrodynamic Cavitation." *The Open Biotechnology Journal*, 2016, 10, 258-264. <http://dx.doi.org/10.2174/1874070701610010258>

LOPES, Paulo. "COD removal from sucrose solution using hydrodynamic cavitation and hydrogen peroxide: a comparison between Venturi device and orifice plate". *Brazilian Journal of Water Resources*. V. 24, e12, 2019. ISSN 2318-0331. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.241920180147>

LÓPEZ, María, LÓPEZ, Gema, ROJANO Santiago. (2018). Uso de un simulador para facilitar el aprendizaje de las reacciones de óxido-reducción. estudio de caso en la universidad de Málaga. *Educación Química*. Vol. 29 | Núm. 3 | Págs. 79 – 98. DOI: [10.22201/fq.18708404e.2018.3.63728](https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2018.3.63728)

MOYA, Maria. (2018). Efecto de la carga orgánica en la eliminación de microcontaminantes, materia orgánica y nutrientes en un sistema uasb-mbr escala piloto para el tratamiento de aguas residuales de tipo urbano. España: Universidad de Alicante. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=230285>

NEVES, Matheus. *et al* (2020). Removal of natural organic matter in waters using hydrodynamic cavitation and hydrogen peroxide (HC-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). *Universidade Federal de Santa Maria*. Vol. 24, Ed. Especial, e29, 2020. DOI:<https://doi.org/10.5902/2236117062708>

NIETO, Silvia. (2019). Aplicación de la cavitación hidrodinámica para reducir los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los efluentes de la industria textil y de curtiembre, Lima: Universidad Cesar Vallejo. Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniera Ambiental. Disponible en: [file:///C:/Users/51994/Downloads/Nieto\\_ZSI-SD.pdf](file:///C:/Users/51994/Downloads/Nieto_ZSI-SD.pdf)

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA. (2014). La fiscalización ambiental en Elaborado por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)

PANDA, Debabrata. SAHARAN, Virendra. MANICKAM, Sivakumar. (2020). Controlled Hydrodynamic Cavitation: A Review of Recent Advances and Perspectives for Greener Processing. DOI:[10.3390/pr8020220](https://doi.org/10.3390/pr8020220)

PEÑA, Evelyn. (2007). Calidad de Agua. Escuela superior politécnica del litoral. Disponible en:

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/5/Investigacion.pdf>

POOJA, Thanekar. GOGATE, Parag. "Application of Hydrodynamic Cavitation Reactors for Treatment of Wastewater Containing Organic Pollutants: Intensification Using Hybrid Approaches" *Fluids* 3, no. 4: 98. (2018). <https://doi.org/10.3390/fluids3040098>

POOJA Jain, *et al.* "Hydrodynamic cavitation using vortex diode: An efficient approach for elimination of pathogenic bacteria from water." *Journal of Environmental Management*, Volume 242, 2019, Pages 210-219, ISSN 0301-4797. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.057>.

PRAVIN, Patil, VINAY, Bhandari, VIVEK, Ranade. "Improving efficiency for removal of ammoniacal nitrogen from wastewaters using hydrodynamic cavitation." *Ultrasonics Sonochemistry*, Volume 70, 2021, 105306, ISSN 1350-4177. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105306>.

PRAVIN, Gulve. GARAD. "Hydrodynamic Cavitation as a Novel Approach for Treatment of Wastewater." *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)* Vol-2, Issue-6, 2016 ISSN: 2454-1362, <http://www.onlinejournal.in>

RANDHAVANE, Shrikant. (2018). Comparing geometric parameters in treatment of pesticide effluent with hydrodynamic cavitation process. *Environmental Engineering Research*. 24. 10.4491/eer.2018.227. DOI:[10.4491/eer.2018.227](https://doi.org/10.4491/eer.2018.227)



SHARATH Chandra, *et al.* “A Review on Hydrodynamic Cavitation – A Promising Technology for Soil and Water Conservation in Inceptisol of North West IGP.” International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences ISSN: 2319-7706 Volume 8 Number 08 (2019). Journal homepage: <http://www.ijcmas.com>

SHIVENDU, Saxena. *et al.* (2018). An advanced pretreatment strategy involving hydrodynamic and acoustic cavitation along with alum coagulation for the mineralization and biodegradability enhancement of tannery waste effluent. Ultrasonics Sonochemistry, Volume 44, Pages 299-309, ISSN 1350-4177, <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.02.035>.

SHIVENDU, Saxena. VIRENDRA, Kumar. SUJA, George. (2019). Modeling & simulation studies on batch anaerobic digestion of hydrodynamically cavitated tannery waste effluent for higher biogas yield. Ultrasonics Sonochemistry, 58, N.PAG. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104692>

SUAREZ, Néstor; *et al.* Elementos esenciales del diseño de la investigación. Sus características Revista científica Dominio de Ciencias, Vol. 2, núm. esp., dic., 2016, pp. 72-85, ISSN: 2477-8818.

SURYAWANCHI Pravin. *et al.* (2018). Solvent degradation studies using hydrodynamic cavitation. Environmental Progress and Sustainable Energy, 37(1), 295-304. <https://doi.org/10.1002/ep.12674>

TAO, Yuequn. *et al.* “ Application of Hydrodynamic Cavitation to Wastewater Treatment.” Chemical Engineering Technology. 2016, 39, No. 8, 1363–1376. DOI: [10.1002/ceat.201500362](https://doi.org/10.1002/ceat.201500362)

TORRES, Gerardo. LOZANO, Edith. (2017). disminución de sólidos de aguas grises mediante un proceso de aireación. Ra Ximhai, vol. 13, núm. 3, julio-diciembre, pp. 393-404. Universidad Autónoma Indígena de México. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46154070023>

THANEKAR, Pooja. *et al.* (2020). Degradation of dimethoate using combined approaches based on hydrodynamic cavitation and advanced oxidation processes. *Process Safety and Environmental Protection*, Vol.143, 222-230. ISSN 0957-5820. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.07.002>.

URBINA, Nestor. MACHUCA Fiderman. BARAJAS Andres. (2021). Advanced Oxidation Processes and Biotechnological Alternatives for the Treatment of Tannery Wastewater. *Molecules* (Basel, Switzerland). 2021 May;26(11). DOI: [10.3390/molecules26113222](https://doi.org/10.3390/molecules26113222).

VILARROIG, Jose (2021). Diseño y análisis de un sistema de cavitación hidrodinámica mediante el uso de técnicas CFD para su utilización en sistemas de pretratamiento de fangos en las estaciones de aguas residuales. España: Universidad Jaume I. Tesis para optar el grado de Doctor en Tecnologías Industriales y Materiales. Disponible en <https://www.tdx.cat/handle/10803/672635?locale-attribute=es>

VILLASIS, Miguel. *et al.* (2018). El protocolo de investigación VII. Validez y confiabilidad de las mediciones. *Rev Alerg Mex.* 2018;65(4):414-42. <http://www.revistaalergia.mx/>


XUN, Su. (2020). Experimental and numerical studies on the cavitation in an advanced rotational hydrodynamic cavitation reactor for water treatment. *Ultrason Sonochem.* 2021 Jan; 70: 105311. Published online 2020 Aug 19. doi: [10.1016/j.ultsonch.2020.105311](https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105311)

## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicador	Escala de medición
<b>Variable Independiente: Cavitación Hidrodinámica</b>	Lizardi, López, Terres y Resendiz (2016), cavitación hidrodinámica es un proceso de cambio de fase de líquido a vapor que ocurre siempre que la presión local es menor que la presión de vapor. Las burbujas de vapor que se forman se mueven con el líquido hasta llegar a una región de alta presión, donde colapsan en forma súbita	La cavitación hidrodinámica fue evaluada teniendo en cuenta los parámetros de operación y tiempo del tratamiento	Parámetros de Operación	Temperatura	°C
				Presión	Bar
				Tiempo	min
				Caudal	m3/h
			Tiempos del tratamiento	30	minutos
				60	minutos
				90	minutos
120	minutos				
<b>Variable Dependiente: Carga orgánica en agua residual de etapa de remojo de la industria curtiembre</b>	Moya (2018), define la carga orgánica como un parámetro directamente relacionado con la cantidad de materia orgánica biodegradable retenida en el agua residual. Este exceso de la carga orgánica en algún cuerpo de agua se puede originar por vertimientos industriales o urbanos, trayendo consigo la disminución del oxígeno disuelto	Seguidamente la reducción de la carga orgánica tuvo que ver con las características físicas y químicas del agua residual de la etapa de remojo de la industria de curtiembre, donde se determinó la eficiencia de reducción de la misma	Características físicas del agua residual de la etapa de remojo de la industria curtiembre	Temperatura	°C
				Sólidos totales	mg/L
				Sólidos disueltos	mg/L
				Sólidos suspendidos totales	mg/L
			Características químicas del agua residual de la etapa de remojo de la industria curtiembre	Potencial de hidrógeno	ácido/base
				Conductividad eléctrica	μS/cm
				Potencial redox	Mv
				Oxígeno disuelto	mgO <sub>2</sub> /L
				Demanda química de oxígeno	mgO <sub>2</sub> /L
				Demanda bioquímica de oxígeno	mgO <sub>2</sub> /L
			Turbidez	NTU	
			Eficiencia de reducción	$C_{inicial} - C_{final} / C_{inicial} * 100$	%

## Anexo 2. Instrumentos de recolección de datos

	<b>Recolección de la Muestra</b>	<b>Ficha N° 01</b>
<b>TITULO</b>	Reducción de la carga orgánica en agua residual de etapa de remojo de la Industria Curtiembre con Tecnología Cavitación Hidrodinámica	
<b>FACULTAD</b>	Ingeniería y Arquitectura	
<b>AUTORES</b>	Rodriguez Leon, Leidy Yojaira	
	Rodriguez Llamoca, Yesenia	
<b>ASESOR</b>	Dr. Benites Alfaro, Elmer Gonzales	

Lugar de ubicación				
<b>DIRECCIÓN</b>	Av. Caquetá, Rímac 15094			
<b>DISTRITO</b>	Rímac			
<b>PROVINCIA</b>	Lima			
<b>DEPARTAMENTO</b>	Lima			
<b>COORDENADAS GEOGRÁFICAS UTM- WGS</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Altura</b>	<b>Código de punto</b>

  
**Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivares**  
 DOCENTE E INVESTIGADOR  
 CIP: 130267  
 RENACYT: P0078275

  
**Juan Julio Pacheco**  
 DNI: 08447308

  
**Dr. Eusebio Horacio Acosta Sausnabar**  
 CIP N° 25450



Caracterización inicial de la muestra

Ficha N° 02

<b>TITULO</b>	Reducción de la carga orgánica en agua residual de etapa de remojo de la Industria Curtiembre con Tecnología Cavitación Hidrodinámica								
<b>FACULTAD</b>	Ingeniería y Arquitectura								
<b>AUTORES</b>	Rodriguez Leon, Leidy Yojaira								
	Rodriguez Llamoca, Yesenia								
<b>ASESOR</b>	Dr. Benites Alfaro, Elmer Gonzales								
<b>FECHA</b>									
<b>MUESTRA</b>									
<b>Muestra</b>	<b>Parámetros físicos</b>				<b>Parámetros químicos</b>				
	Temperatura °C	Sólidos totales mg/L	Sólidos disueltos mg/L	Sólidos suspendidos totales mg/L	Conductividad eléctrica $\mu$ S/cm	Potencial de hidrógeno ácido/base	Oxígeno disuelto mgO <sub>2</sub> /L	Demanda química de oxígeno mgO <sub>2</sub> /L	Demanda bioquímica de oxígeno mgO <sub>2</sub> /L
MI-C									

  
Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera  
DOCENTE E INVESTIGADOR  
CIP: 130267  
RENACYT: P0078275

  
Juan Julio Benites Alfaro  
DNI: 06447304

  
Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnavar  
CIP N° 25450



Datos de operación del sistema de cavitación hidrodinámica

Ficha N° 03

TITULO	Reducción de la carga orgánica en agua residual de etapa de remojo de la Industria Curtiembre con Tecnología Cavitación Hidrodinámica					
FACULTAD	Ingeniería y Arquitectura					
AUTORES	Rodriguez Leon, Leidy Yojaira Rodriguez Llamoca, Yesenia					
ASESOR	Dr. Benites Alfaro, Elmer Gonzales					
Tratamiento	Repeticion	Temperatura de tanque °C	Presión de bomba PSI	Caudal m³/h	Presión de entrada	Presión de salida
T1: 30 minutos	R1					
	R2					
	R3					
<b>PROMEDIO</b>						
T2: 60 minutos	R1					
	R2					
	R3					
<b>PROMEDIO</b>						
T3: 90 minutos	R1					
	R2					
	R3					
<b>PROMEDIO</b>						
T4: 120 minutos	R1					
	R2					
	R3					
<b>PROMEDIO</b>						

  
Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivares  
DOCENTE E INVESTIGADOR  
CIP: 130267  
RENACYT: P0078275

  
Juan Julio Chorroza Galvez  
DNI: 06417308

  
Dr. Eusebio Horacio Acosta Suasnavar  
CIP N° 25450



**Análisis de los parámetros después del tratamiento de agua residual de etapa de remojo de la industria de curtiembre**

**Ficha N° 04**

TITULO	Reducción de la carga orgánica en agua residual de etapa de remojo de la Industria Curtiembre con Tecnología Cavitación Hidrodinámica									
FACULTAD	Ingeniería y Arquitectura									
AUTORES	Rodríguez Leon, Leidy Yojaira Rodríguez Llamoca, Yesenia									
ASESOR	Dr. Benites Alfaro, Elmer Gonzales									
Tratamiento	Repetición	Parámetros físicos				Parámetros químicos				
		Temperatura °C	Sólidos totales mg/L	Sólidos disueltos mg/L	Sólidos suspendidos totales mg/L	Conductividad eléctrica µS/cm	Potencial de hidrógeno ácido/base	Oxígeno disuelto mgO <sub>2</sub> /L	Demanda química de oxígeno mgO <sub>2</sub> /L	Demanda bioquímica de oxígeno mgO <sub>2</sub> /L
T1: 30 minutos	R1									
	R2									
	R3									
Promedio										
T2: 60 minutos	R1									
	R2									
	R3									
Promedio										
T3: 90 minutos	R1									
	R2									
	R3									
Promedio										
T4: 120 minutos	R1									
	R2									
	R3									
Promedio										

  
**Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera**  
 DOCENTE E INVESTIGADOR  
 CIP: 130267  
 RENACYT: P0078275

  
 Dr. Benites Alfaro, Elmer Gonzales  
 DNI: 0647308

  
 Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar  
 CIP N° 25450

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO 01

### I. DATOS GENERALES

Apellidos y Nombres: **Dr. CARLOS ALBERTO CASTAÑEDA**

- 1.1. Cargo e institución donde labora: **Docente e Investigador / UCV Lima Norte**
- 1.2. Especialidad o línea de investigación: **Tecnología Mineral y Ambiental**
- 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha 1, Ficha 2, Ficha 3 y Ficha 4**
- 1.4. Autor (A) de Instrumento: **Leidy Yojaira Rodríguez Leon  
Yesenia Rodríguez Llamoca**

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación SI
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90

Lima, 30 de junio del 2021

  
**Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera**  
 DOCENTE E INVESTIGADOR  
 CIP: 130267  
 RENACYT: P0076275



## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO 01

### I. DATOS GENERALES

Apellidos y Nombres: **Dr. Ordoñez Gálvez Juan Julio**

- 1.1. Cargo e institución donde labora: **Docente e Investigador / UCV Lima Norte**
- 1.2. Especialidad o línea de investigación: **Medio ambiente y Recursos Hídricos**
- 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha 1, Ficha 2, Ficha 3 y Ficha 4**
- 1.4. Autor (A) de Instrumento: **Leidy Yojaira Rodríguez Leon**  
**Yesenia Rodríguez Llamoca**

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

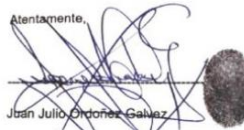
- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación SI
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90

Lima, 30 de junio del 2021

Atentamente,  
  
 Juan Julio Ordoñez Gálvez  
 DNI: 08447308

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO 03

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Acosta Suasbanar Horacio**  
 1.2. Cargo e institución donde labora: **Ing. Químico**  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Doctor en Ingeniería Ambiental**  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha 1, Ficha 2 , Ficha 3 y Ficha 4**  
 1.5. Autor (A) de Instrumento: **Leidy Yojaira Rodriguez Leon**  
**Yesenia Rodriguez Llamoca**

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación SI
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

<b>90</b>
-----------

Lima, 30 de junio del 2021

  
 Dr. Eusebio Horacio Acosta Suasbanar  
 CIP N° 25450

## Anexo 3. Resultados de laboratorio



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



### **INFORME DE ENSAYO MA2112041 Rev. 0**

---

CLIENTE: YESENIA RODRIGUEZ LLAMOCA

ENV / LB-348083-002

PROCEDENCIA : Lima

---

Fecha de Recepción SGS : 28-05-2021

Fecha de Ejecución : Del 29-05-2021 al 11-06-2021

Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
T1
T2
T3
T4

Emitido por **SGS del Perú S.A.C.**

Impreso el 30-06-2021

**Frank M. Julcamoro Quispe**

C.Q.P. 1033

Coordinador de Laboratorio

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Página 1 de 4



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



**INFORME DE ENSAYO  
MA2112041 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					T1 R1 28/05/2021 10:10:00 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	T1 R2 28/05/2021 10:20:00 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	T1 R3 28/05/2021 10:30 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO CATEGORIA SUB CATEGORIA							
Análisis Generales							
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1	2.6	480	470	460
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO <sub>2</sub> /L	1.8	4.5	1100	1033	1000

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					T2 R1 28/05/2021 10:50:00 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	T2 R2 28/05/2021 11:00:00 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	T2 R3 28/05/2021 11:10:00 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO CATEGORIA SUB CATEGORIA							
Análisis Generales							
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1	2.6	216	213	202
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO <sub>2</sub> /L	1.8	4.5	966.6	900.0	866.6

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema de 24 horas.

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



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



**INFORME DE ENSAYO  
MA2112041 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					T3 R1 28/05/2021 11:40:00 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	T3 R2 28/05/2021 11:50:00 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	T3 R3 28/05/2021 12:00 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO CATEGORIA SUB CATEGORIA							
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
Análisis Generales							
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1	2.6	248	235	223
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO <sub>2</sub> /L	1.8	4.5	766	733	400

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					T4 R1 28/05/2021 12:20:00 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	T4 R2 28/05/2021 12:30:00 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	T4 R3 28/05/2021 12:40 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO CATEGORIA SUB CATEGORIA							
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
Análisis Generales							
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1	2.6	239	228	213
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO <sub>2</sub> /L	1.8	4.5	387	367	334

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema de 24 horas.

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



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



INFORME DE ENSAYO  
MA2112041 Rev. 0

CONTROL DE CALIDAD

LC: Límite de cuantificación  
MB: Blanco del proceso.  
LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.  
MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.  
MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.  
Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery	MS %Recovery	MSD %RPD
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	2.6	<2.6		99 - 102%		
Demanda Química de Oxígeno	mgO <sub>2</sub> /L	4.5	<4.5		96 - 102%	99%	8 - 11%

Anexo 4. Fotos del proceso de cavitación hidrodinámica





X

