



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

**Oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica para el  
tratamiento de aguas residuales de la industria de la curtiembre,  
Lima - 2021**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniería Ambiental

**AUTORES:**

Yachachin Huaman, Gema Ingrid (ORCID: 0000-0003-2297-807X)

Yaricahua Esteban, Wini Katusca (ORCID: 0000-0002-2525-7000)

**ASESOR:**

DR. Ordoñez Galvez, Juan Julio (ORCID: 0000-0002-3419-7361)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Calidad y gestión de los recursos naturales

LIMA - PERÚ

2021

## DEDICATORIA

Primero a Dios por brindarnos la oportunidad de aprender nuevas cosas en esta vida. A nuestros padres, hermanos por el apoyo económico, moral y emocional, haciendo mención a mi motivo de salir adelante, mi amado hijo.

## AGRADECIMIENTO

Agradecer a la Universidad Cesar Vallejo por todo el tiempo brindado como casa de estudio, a nuestros padres, hermanos e hijo, a mis amistades por el apoyo incondicional y al Dr. Juan Julio Ordóñez Gálvez, por sabernos guiar en todo este proceso, también al ing. Carlos Gamarra Flores, por su apoyo en la realización de los ensayos y a ti Joel, por tu apoyo moral día a día, una vez más, gracias!

## INDICE DE CONTENIDOS

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
<b>III. METODOLOGÍA</b> .....	<b>22</b>
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	22
3.2. Variable y Operacionalización .....	22
3.3. Población, muestra y muestreo .....	25
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	28
3.4.1. Técnica de recolección de datos .....	28
3.4.2. Instrumento de recolección de datos.....	28
3.4.3. Ficha de registro de lo sucedido en campo .....	29
3.5. Procedimientos.....	30
3.5.1. Ubicación .....	30
3.5.2. Materiales y equipos .....	31
3.5.3. Obtención de datos .....	34
3.5.4. Procedimiento de obtención de datos a nivel de campo.....	34
3.5.5. Procedimiento de obtención de datos a nivel de gabinete.....	37
3.6. Método de análisis de datos .....	38
3.7. Aspectos éticos .....	38
<b>IV. RESULTADOS</b> .....	<b>39</b>
<b>V. DISCUSIÓN</b> .....	<b>77</b>
<b>VI. CONCLUSIONES</b> .....	<b>81</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>82</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>83</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>91</b>
Anexo 01: Matriz de operacionalización de variables.....	92

Anexo 02: Instrumentos de recolección de datos.....	93
Anexo 03: Validación de instrumentos .....	96
Anexo 04: Resultados de laboratorio SGS.....	105
Anexo 05: Pantallazo de turnitin .....	109
Anexo 06: Declaratoria de originalidad del autor .....	110
Anexo 07: Declaratoria de autenticidad del asesor .....	111
Anexo 08: Acta de sustentación del trabajo de tesis .....	112
Anexo 09: Autenticidad de publicación en repositorio institucional.....	113

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Valores Máximos Admisibles, Anexo 1 el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA	18
<b>Tabla 2.</b> Valores Máximos Admisibles, Anexo 2 el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA	18
<b>Tabla 3.</b> Matriz de operacionalización de variables.....	24
<b>Tabla 4.</b> Codificación de muestras de campo .....	26
<b>Tabla 5.</b> Codificación de muestras de gabinete .....	28
<b>Tabla 6.</b> Medidas descriptivas de las características de los parámetros físicos químicos de las aguas residuales de la industria de la curtiembre, antes y después de la aplicación de a oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica. ....	40
<b>Tabla 7.</b> Comparación del promedio de los parámetros fisicoquímicos obtenidos antes del tratamiento con los VMA (valores máximos admisibles) del Anexo 1 y 2 el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA .....	44
<b>Tabla 8.</b> Comparación del promedio de los parámetros fisicoquímicos obtenidos después del tratamiento con los VMA (valores máximos admisibles) del Anexo 1 y 2 el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA.....	45
<b>Tabla 9.</b> Prueba de normalidad de los valores de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales. ....	47
<b>Tabla 10.</b> Prueba de comparación de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales antes y después de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica. ....	49
<b>Tabla 11.</b> Medidas descriptivas de los parámetros físicos de las aguas residuales. ....	55
<b>Tabla 12.</b> Prueba de comparación de los parámetros físicos de las aguas residuales según dispositivos cavitantes.....	57
<b>Tabla 13.</b> Prueba de comparación de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales según concentración. ....	61
<b>Tabla 14.</b> Prueba de comparación de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica según concentraciones. ....	63
<b>Tabla 15.</b> Prueba de comparación de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica según dispositivos cavitantes.....	66

<b>Tabla 16.</b> Porcentaje de variación de los parámetros fisicoquímicos según concentraciones del dispositivo cavitante tubo Venturi.....	68
<b>Tabla 17.</b> Porcentaje de variación de los parámetros fisicoquímicos según concentraciones del dispositivo cavitante placa orificio. ....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa del distrito de San Martín de Porres.....	31
<b>Figura 2.</b> Equipo de Multiparámetro .....	32
<b>Figura 3.</b> Vaso de precipitado.....	32
<b>Figura 4.</b> Reactivo químico ácido sulfúrico .....	33
<b>Figura 5.</b> Tamiz de madera .....	34
<b>Figura 6.</b> Filtrado del agua residual utilizando un tamiz. ....	35
<b>Figura 7.</b> Toma de muestra a nivel de campo.....	36
<b>Figura 8.</b> Prototipo del dispositivo cavitante.....	36
<b>Figura 9.</b> Comparación de la conductividad eléctrica en aguas residuales antes y después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica. ....	50
<b>Figura 10.</b> Comparación de la salinidad en aguas residuales antes y después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica. ....	51
<b>Figura 11.</b> Comparación de SST en aguas residuales antes y después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica. ....	52
<b>Figura 12.</b> Comparación de DQO en aguas residuales antes y después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica. ....	53
<b>Figura 13.</b> Comparación de DQOS en aguas residuales antes y después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica. ....	54
<b>Figura 14.</b> Comparación de la presión de la bomba en aguas residuales según dispositivos cavitantes. ....	58
<b>Figura 15.</b> Comparación de la presión de entrada en aguas residuales según dispositivos cavitantes. ....	59
<b>Figura 16.</b> Comparación de la presión de salida en aguas residuales según dispositivos cavitantes. ....	60
<b>Figura 17.</b> Comparación del caudal en aguas residuales según concentración...	62
<b>Figura 18.</b> Comparación de la conductividad eléctrica de las aguas residuales después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica según concentraciones. ....	65
<b>Figura 19.</b> Porcentaje de variación de la conductividad eléctrica por concentraciones y dispositivos cavitantes. ....	70

<b>Figura 20.</b> Porcentaje de variación del potencial de hidrógeno (pH) por concentraciones y dispositivos cavitantes. ....	71
<b>Figura 21.</b> Porcentaje de variación de la salinidad por concentraciones y dispositivos cavitantes. ....	72
<b>Figura 22.</b> Porcentaje de variación de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) por concentraciones y dispositivos cavitantes. ....	73
<b>Figura 23.</b> Porcentaje de variación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) por concentraciones y dispositivos cavitantes. ....	74
<b>Figura 24.</b> Porcentaje de variación de la Demanda Química de Oxígeno Soluble (DQOS) por concentraciones y dispositivos cavitantes. ....	75
<b>Figura 25.</b> Porcentaje de variación de la temperatura por concentraciones y dispositivos cavitantes. ....	76

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo reducir los parámetros fisicoquímicos mediante la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica para el tratamiento de aguas residuales de la industria de la curtiembre así como, analizar el antes y el después de las características de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales de la industria de la curtiembre, comparar los dispositivos cavitantes (tubo Venturi y placa orificio) para la reducción de los parámetros fisicoquímicos, determinar el grado de eficiencia del sistema en distintas concentraciones de las aguas residuales de la industria de la curtiembre. La presente investigación es de tipo aplicada, el diseño es experimental y tiene un enfoque de tipo descriptivo. La aplicación de cavitación hidrodinámica se realizó con dos dispositivos, tubo Venturi y placa orificio asimismo los efluentes se encontraban en distintas concentraciones (15%, 30%, 45%) cada corrida tenía una duración de 60 min en los cuales se tomaron muestras para analizar los parámetros. Como resultado de la comparación de los dos dispositivos para una reducción de los parámetros se determinó que con respecto al dispositivo de placa orificio tiene resultados superiores en los parámetros del caudal, la presión de salida y la temperatura. Mientras que el tubo Venturi, presenta resultados superiores para la presión de entrada y presión de la bomba. Se determinó que, la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica en concentraciones de 15%, 30% y 45% es eficiente, siendo las concentraciones de 30% y 45% las que presentan los mejores resultados en la reducción de los parámetros de pH, SST, DQO, DQOS, mientras que, los parámetros de conductividad eléctrica y salinidad, muestran un incremento positivo en sus resultados.

**Palabras claves:** Cavitación Hidrodinámica, Oxidación avanzada, desinfección.

## ABSTRACT

The present research aims to reduce the physicochemical parameters by means of advanced oxidation with hydrodynamic cavitation for the treatment of wastewater from the tannery industry as well as to analyze the before and after characteristics of the physicochemical parameters of the wastewater from the tannery industry, to compare the cavitating devices (Venturi tube and orifice plate) for the reduction of physicochemical parameters, to determine the degree of efficiency of the system in different concentrations of wastewater from the tannery industry. The present research is of applied type, the design is experimental and has a descriptive approach. The application of hydrodynamic cavitation was carried out with two devices, Venturi tube and orifice plate, also the effluents were in different concentrations (15%, 30%, 45%), each run had a duration of 60 min in which samples were taken to analyze the parameters. As a result of the comparison of the two devices for a reduction of the parameters, it was determined that the orifice plate device has superior results in the parameters of flow rate, outlet pressure and temperature. While the Venturi tube, presents superior results for inlet pressure and pump pressure. It was determined that, the advanced oxidation with hydrodynamic cavitation at concentrations of 15%, 30% and 45% is efficient, being the concentrations of 30% and 45% the ones that present the best results in the reduction of the parameters of pH, SST, DQO, DQOS, while, the parameters of electrical conductivity and salinity, show a positive increase in their results.

**Keywords:** Hydrodynamic cavitation, advanced oxidation, disinfection.

## I. INTRODUCCIÓN

La industria de la curtiembre ha sido denominada como una de las industrias que mayor contaminación genera, debido a que sus vertidos contienen abundante carga orgánica y metales pesados, en la actualidad se busca alternativas de solución para disminuir el grado de contaminación de sus aguas residuales ya que de ser vertidas al alcantarillado sin tratamiento es perjudicial para la salud. Los efectos perjudiciales generados por la industria de la curtiembre son enormemente peligrosos para el medio ambiente, es por esta razón trascendental tener conciencia de los daños que genera (Produce, 2018).

La problemática de verter aguas residuales a un drenaje alcantarillado, es que se va a producir incrustaciones de carbonato de calcio y gran cantidad de acumulación de sólidos en las tuberías. Cuando se percibe la aparición de sulfuros y sulfatos agilizan la degradación de materiales de concreto o cemento. Si hay presencia de sustancias tóxicas como el cromo en la carga contaminante puede obstaculizar el proceso biológico de la planta (Castillo y López, 2018).

La cavitación hidrodinámica es originada por la variación en la presión del flujo de líquidos en una tubería acondicionado con un tubo Venturi, el colapso de la cavidad provoca zonas calientes, en el cual se libera radicales libres altamente reactivos, ocasionado por la separación térmica de las moléculas y al incremento en las tasas de transferencia de masa (Medina, 2020). Actualmente la cavitación hidrodinámica es utilizada por distintas industrias ya que mejora la calidad del agua residual reduciendo la carga contaminante, acelerando su degradación y demostrando ser muy eficaz.

El proceso de oxidación avanzada es un proceso que involucra reacciones de agentes oxidantes fuertes, este proceso mineraliza y hace que las moléculas de citrante se recuperen como compuestos biodegradables, estos radicales reaccionan rápidamente con los orgánicos principalmente por deshidrogenación o hidroxilación (Abdul y Abu, 2018).

Asimismo, la placa orificio, el cual, es un dispositivo que reduce la presión y restringe el flujo, es uno de los más utilizados, dicho orificio está diseñado para generar un flujo presurizado especificado, este ocurre debido al cambio repentino de diámetro de la tubería, la intensidad del colapso de la burbuja producido en un orificio, dichas burbujas se generan en el borde del orificio, la separación de la capa límite ocurre durante el paso del líquido y se pierde una gran cantidad de energía en forma de caída de presión permanente. La caída de presión depende principalmente de la geometría de constricción y las condiciones de flujo del líquido y la magnitud de la caída de presión, lo cual influye en gran medida en la intensidad de la turbulencia en la constricción (Zheng 2021).

Tomando en cuenta la realidad problemática, el presente trabajo de investigación tiene como **problema general** ¿Cómo se logró reducir los parámetros fisicoquímicos mediante la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica para el tratamiento de aguas residuales de la industria de la curtiembre, Lima 2021?; con los **problemas específicos**: ¿Cuáles son las características de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales de la industria de la curtiembre, antes y después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica, Lima 2021?; ¿Cómo comparar los dispositivos cavitantes (tubo Venturi y placa orificio) para la reducción de los parámetros físicos de las aguas residuales de la industria de la curtiembre, mediante la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica, Lima 2021?; ¿Cómo determinar el grado de eficiencia del sistema en distintas concentraciones de las aguas residuales de la industria de la curtiembre, mediante la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica, Lima 2021?.

Se debe de justificar la presente investigación de manera social y económica, haciendo mención que la industria de la curtiembre, en la actualidad demanda una alta tasa de efluentes que como residuo final terminan en los drenes de alcantarillado, todo esto posterior a los procesos productivos del lavado del cuero; se debe añadir también que dichos efluentes no pasan por el proceso de tratamiento adecuado, ya que desde el punto de vista económico, evitan realizar gastos, obviando tratamientos convencionales a dichos efluentes; se suma un

factor contribuyente como es el tratamiento de efluentes con el método de cavitación hidrodinámica a bajo costo, donde se puede sugerir como parte del proceso final del proceso de elaboración de cuero a diferentes industrias.

Por otra parte, dentro de la justificación ambiental del trabajo de investigación se añade la posibilidad de contrarrestar todos los acontecimientos degenerativos por parte de la industria del cuero, se logra introducir el método de cavitación hidrodinámica como alternativa para el tratamiento de efluentes con una alta tasa de sostenibilidad y afable con el medio ambiente, se debe hacer mención que la factibilidad de dicho método ha sido comprobado con compuestos orgánicos que persisten en cuerpos de agua con altos niveles de toxicidad, dentro de este contexto se le ha atribuido un alto nivel de eficacia en procesos de tratamientos secundarios (Gutiérrez, Arias y Cardona, 2019). A todo esto, se añade que el proceso de oxidación avanzada es parte fundamental de la cavitación hidrodinámica, así, mediante un seguimiento se darán cambios de dosificación en el proceso, comprobando la reducción de contaminantes encontrados en los efluentes de las industrias de la curtiembre. Y desde el nivel tecnológico la cavitación hidrodinámica ha demostrado ser un proceso limpio, siendo una tecnología recientemente usada y estudiada para el mejoramiento de la eficiencia del desempeño en los procesos del tratamiento de aguas industriales.

Es por consiguiente, el presente proyecto de investigación, tiene como **objetivo general**: Determinar la reducción de los parámetros fisicoquímicos, mediante la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica en el tratamiento de aguas residuales de la industria de la curtiembre, Lima 2021. También se planteó los **siguientes objetivos específicos**: Analizar las características de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales de la industria de la curtiembre, antes y después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica, Lima 2021; Comparar los dispositivos cavitantes (tubo Venturi y placa orificio) para la reducción de los parámetros físicos de las aguas residuales de la industria curtiembre, mediante la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica, Lima 2021; Determinar el grado de eficiencia del sistema en distintas

concentraciones de las aguas residuales de la industria curtiembre, mediante la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica, Lima 2021.

Asimismo, tenemos como **hipótesis general**, la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica es eficiente para reducir los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales de la industria de la curtiembre, Lima 2021. También se plantearon las siguientes **hipótesis específicas** dentro de su orden respectivo; Los parámetros físicos químicos son diferentes antes y después de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica, Lima 2021; Los parámetros físicos de las aguas residuales de la industria de la curtiembre luego de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica, difieren según los dispositivos cavitantes (tubo Venturi y placa orificio), Lima 2021; El grado de eficiencia del sistema para la reducción de los parámetros fisicoquímicos después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica en las aguas residuales difieren según las concentraciones, Lima 2021,

## II. MARCO TEÓRICO

La investigación realizada aborda la problemática de la contaminación que genera la industria de la curtiembre y la relaciona con la eficiencia de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica, apoyándose de sustentos teórico prácticos elaborados en el marco internacional, nacional y local; dentro de este contexto, tomamos los siguientes antecedentes internacionales:

Gujar S. et al. (2021) Así también el siguiente artículo presenta como objetivo fusionar los procesos de cavitación hidrodinámica y la oxidación con la finalidad de comparar otros métodos y evaluar la eficiencia diferencial de estos en la purificación y tratamiento de aguas industriales. La cavitación hidrodinámica está direccionada a disminuir el DQO y en paralelo demostrar la eficiencia que puede demostrar en la adhesión de los STD. La comparación se realizó con el método de tratamiento de efluentes por ultrasonidos con un equipo ultrasónico de potencial oscilante entre 120 W – 130 W, adicionalmente se empleó el reactivo Fenton (oxidante) más el coagulante de cal obteniendo así un 92% de eficiencia en la reducción de DQO y un 31% de eficiencia en la reducción de STD. Contrastando estos resultados con el método de cavitación hidrodinámica y con el mismo reactivo Fenton (oxidante) más el coagulante de cal obteniendo así un 86% de eficiencia en la reducción de DQO y un 47% de eficiencia en la reducción de STD, cabe añadir que el resultado de la última prueba fue muy óptima debido a que poseía además de altas disminuciones en DQO y STD una apariencia incolora favorable.

Por su parte, Ranade et al. (2021); en su artículo científico, presenta como objetivo, capturar la dependencia que se genera de biometano de acuerdo al número de pasadas realizadas en el tratamiento, la variable que entra al modelo es el mismo número de pases, el biometano que se produce es de acuerdo al tiempo. Esta investigación cuenta con una metodología sistemática, ya que la disposición de datos es limitada. El resultado obtenido con la aplicación de cavitación hidrodinámica en el primer caso nos da un reporte de los datos de la influencia de la escala del reactor de HC al generar el metano a partir del bagazo. Los resultados

de la producción de biometano de acuerdo al número de pasadas fueron fuertes con la comprensión intuitiva.

Asimismo, Lebiocka (2020), en su artículo presenta como objetivo analizar el beneficio de aplicar cavitación hidrodinámica de aguas residuales pre tratadas mecánicamente para optimizar su biodegradabilidad. La investigación es de diseño experimental. La muestra estuvo conformada por 9 envases de 35 litros cada una, se trabajó con tres diferentes presiones 3.5, 5.0, 7.0 bar. Los resultados obtenidos para el parámetro DQO (demanda química de oxígeno) con la presión de 5 bar paso de 596 a 548,5 g/m<sup>3</sup> y para el Ph antes del tratamiento tenía un valor de 7.43, una vez realizado la cavitación hidrodinámica tuvo un resultado 8.28, lo cual indica la oxidación de la materia orgánica. Cuya conclusión fue La cavitación hidrodinámica de las aguas residuales pre tratadas mecánicamente aseguró un crecimiento revelador tanto en el valor de DBO5 como en la relación DBO5 y DQO, lo que hace que este medio sea más utilizable para tratamientos biológicos posteriores.

Asimismo, Ribeiro, P. et al. (2020), en su artículo que tiene como objetivo optimizar las variables presión, tiempo de reacción y proporción molar de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> para la degradación de BTB (bromothymol blue) usando cavitación hidrodinámica. La muestra estuvo conformada por el azul de bromotimol (C<sub>27</sub>H<sub>28</sub>Br<sub>2</sub>O<sub>5</sub>S, 99,98%) se adquirió de Química Moderna Industria e Comercio EIRELI y se utiliza sin desinfectar. Se preparó una solución saturada de 250 L de colorante azul de bromotimol (concentración = 180.51 mg L<sup>-1</sup> y DQO = 650 mg L<sup>-1</sup>), con agua corriente sin purificar previamente. Los resultados obtenidos demostraron que las remociones máximas de DQO (demanda química de oxígeno) fueron 93,42% y de color rojo 93,28%, se trabajó con una presión de entrada de 4,0 bar, con un período de procedimiento de 25 minutos y una relación molar H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y efluente (colorante) de 30:1. El método de cavitación hidrodinámica y peróxido de hidrógeno tiene un gran potencial para eliminar contaminantes orgánicos normalmente recalcitrantes. Los reactores Venturi se pueden utilizar como una solución prometedora para el tratamiento de efluentes industriales y como un tratamiento eficaz aplicado a los residuos que son difíciles de descomponer.

Asimismo, Panda, Saharan y Manickam (2020), en su artículo de investigación el cual tuvo como objetivo reducir los parámetros DQO y COT de las muestras de aguas residuales para mejorar su biodegradabilidad de las aguas contaminadas. Los resultados obtenidos después del tratamiento demuestran que para la eficiencia del biogás y el parámetro DQO se duplicó cuando se utilizó C.H. como unidad de pretratamiento. Se registró que la cavitación hidrodinámica por sí sola provocó un 14,46% de disminución de DQO del TWE (tratamiento de curtiduría efluentes residuales) muestras en una presión de entrada óptima de 5 bar en 120 min. Asimismo, se concluyó que se ha demostrado que la cavitación hidrodinámica es más eficiente para la remediación de aguas residuales que otros métodos más avanzados.

Según Fosso, Pandey y Sinha (2020), en su estudio, el cual tuvo como objetivo presentar novedades fotocatalizadores y biocatalizadores sostenibles y ecológicos fácilmente disponibles para una solución simple, rentable y respetuosa con el medio ambiente para el tratamiento de aguas residuales, explica que los trabajos de redes neuronales para constantes cinéticas experimentales dieron un resultado un 90% de confianza nivel, en los datos experimentales, eliminaron 71.5% TOC (carbono orgánico total), 82.1% DQO (Demanda Química de Oxígeno) y 94% BDO-5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) en 120 min. Informaron 5,8 moles de peróxido de hidrógeno en el agua revelada.

Silampaa M. (2020) conecto los ideales de su publicación con la interacción de los efluentes industriales que conllevan una alteración degenerativo – progresiva en los cuerpos de agua receptores, es decir, la materia orgánica presente en el agua tiene alta tasa de biodegradación en el proceso de AOP lo cual posteriormente al tratamiento disminuye las altas concentraciones de contaminantes en el medio. Por lo tanto, en la aplicación de los AOP se refieren con normalidad el trabajo mediante radicales hidroxilos, conocidos por su alta eficiencia y potencia en procesos de oxidación química y/o electroquímica alcanzando un valor de (2.80 V), cabe aclarar que esta metodología más compleja es el plan paralelo con mayor eficacia ante la aplicación de oxidantes básicos como el cloro, ozono y oxígeno, añadiendo a esto que la aplicación de radicales hidroxilos facilita la disminución de procesos para el

tratamiento de los efluentes, es decir, no serán necesarios más tratamientos al agua debido a que ya se logró degradar los compuestos complejos a CO<sub>2</sub> e iones inorgánicos.

Rodríguez M. y Barrera C. (2020) Las actualizaciones dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales son constantes, por ende, las tecnologías deben circular de forma progresiva y acorde a las necesidades medioambientales; así es como se equipan constantemente los métodos de AOP, buscando con normalidad un alto indicador de eficiencia. Para adicionar, una opción diferente a la aplicación directa de los métodos de oxidación, es trabajar con efluentes que previamente hayan recibido algún tipo de tratamientos primarios, así también se podrán consignar datos referentes a la actuación de reactivo fenólico en base al tiempo y características de su actuación, intentando disminuir los indicadores de tiempo, costo y espacio de retención; desapareciendo de tal manera mucho más de los conocidos porcentajes de contaminación de efluentes industriales oscilantes entre 10 % y 15 %; puesto que así se logrará un 4% a 6% de afecciones respectivamente.

En su investigación Wang et al. (2020) en su artículo aplicó el tratamiento de cavitación hidrodinámica en combinación del ozono, en el caso de las aguas residuales textiles, la tasas de descarte de HC+O<sub>3</sub> en DQO, TOC, UV 254 y el color fueron 36%, 23%, 71% y 90% en 30 min, que fue más alto que el único tratamiento de aguas residuales textiles por el método de cavitación hidrodinámica y el reactor HC sea investigado con la mezcla de aire y ozono ,en cuanto a la mineralización se considera mejor por HC más ozono, lo que nos infiere que los colorantes y las sustancias macromoleculares disminuyeron eficientemente y se concluye que los contaminantes e degradaron eficazmente.

Según Doltade, S. et al. (2019), en su investigación utilizaron aguas residuales de una refinería de petróleo para el tratamiento de la cavitación hidrodinámica, en el cual se utilizó un reactor con tres formas geométricas diferentes, siendo el orificio (C0N) y el Venturi con distintos diámetros de garganta (CN1 y CN5), Asimismo se tomó en cuenta la carga microbiana y el parámetro DQO. Los resultados que se obtuvieron después del tratamiento son para C0N el porcentaje de reducción para

la reducción bacteriana fue después de 50 pasadas 32.4%, 38,66% y 24.32% a presiones de 3, 5, 7 bar, el resultado para el parámetro DQO después de 50 pasadas a presiones de 3,5 y 7 bar la reducción fue 37, 39%, 29,41% y 1,11%, para el reactor CN1 los resultados fueron para DQO y para la carga microbiana a las mismas presiones de 3, 5 y 7 bar fue para la reducción de bacterias 47%, 18% y 7% y para DQO de 5%, 9% y 54%, y para el reactor CN5 el resultado de disminución fue 51.24%, 61.43% y 42.15%, para DQO fue de 35.62%, 51.49% y 22.05%, llegando a concluir que se encontró que para el reactor CN5 a una presión de 5 bar es óptima ya que la reducción bacteriana fue de un 70% y para DQO fue de un 30%.

Según Zuluaga (2019), cuya investigación tuvo como objetivo valorar el nivel de eliminación de carga orgánica de los lixiviados de dos rellenos sanitarios mediante el curso de la cavitación hidrodinámica. Dicha investigación fue de diseño experimental. La muestra estuvo conformada 280 litros en envases de 20 y 40 litros cada uno. Asimismo, los resultados obtenidos de los parámetros examinados arrojaron que en los primeros 30 minutos en la demanda química de oxígeno se obtuvo una remoción de 53,20% y para los sólidos suspendidos totales se obtuvo una remoción de 98,67%. Se llegó a la conclusión que mediante la aplicación del proceso de cavitación hidrodinámica se logró establecer un parámetro óptimo de evolución, como el tiempo de cavitación, también se determinó el uso de un agente oxidante, en el cual se verificó su cantidad óptima para realizar la cavitación hidrodinámica de los lixiviados.

Según Gutierrez, Arias y Cardona (2019), el cual nos indica que la cavitación hidrodinámica el cual es un proceso dinámico, en el cual las variables de velocidad, caída de presión, tiempo de ciclo cobran una gran importancia. El número adimensional de cavitación, que contribuye en la velocidad y la presión al fenómeno de cavitación ocurre durante la operación, se considera como el principal factor a tener en cuenta para el control del proceso. Los parámetros geométricos del equipo de cavitación afectan directamente el rendimiento y los efectos producidos por la cavitación. Los reactores de la placa orificio suelen ser más eficientes para aplicaciones de carácter químico, pues ofrecen colapsos más drásticos y puntos

calientes de mayor temperatura. Asimismo, los dispositivos venturi son recomendados para transformaciones de tipo físico, debido a que favorecen el crecimiento de un mayor número de burbujas, donde su imposición menos abrupta da lugar a chorros de presión y ondas de choque más uniformes al interior del líquido.

Según De La Cruz Ocaña D. y Máiquez, E. (2019). El cual tuvo como objetivo diseñar y construir un cavitador para la desinfección del agua proveniente de un pozo. Su estructura simplificada Bernoulli ocasiona que a través de un tubo Venturi modificado genere una caída de gran presión, su mecanismo produce la liberación de ondas el cual en su punto alto desprende chorros de energía capaz de debilitar y destruir los microorganismos, en 52 minutos se logró reducir 95% de desinfección con un nivel de confianza de un 95 %. Se logró reducir un 99.9% con un porcentaje del 50% de cavitación en una hora.

Por otro lado, Sharath, R. et al. (2019), en el artículo de revisión cuyo objetivo es demostrar el potencial de la cavitación hidrodinámica para el proceso de oxidación ante la gran problemática de contaminantes presentes en el agua, suelo y aguas residuales, como alternativa de bajos costos sin depender de reactivos, además es una tecnología que ayuda al medio ambiente, minimizando el uso de químicos y su alto costo. Cabe resaltar que los métodos convencionales en extracción y oxidación química tienden a ser limitados en aplicabilidad. Por último, es una tecnología que es considerada como “tecnología sin residuos” generando degradación de orgánicos peligrosos cuyos componentes son inflexibles a los métodos convencionales de supresión.

Korpe S. et. al. (2019) el objetivo principal del siguiente artículo fue degradar la presencia de todo tipo de contaminantes orgánicos que yacen en los efluentes emergentes de una industria de curtiembre. Para esto se tomaron en cuenta dos combinaciones, ambas con apoyo de los AOP, en este sentido se logró comparar la efectividad de la cavitación hidrodinámica con la de un proceso de agitación magnética; así se consignaron los parámetros de análisis más importantes para poder igualarlos; de tal manera que se registraron datos de pH, actuación del  $H_2O_2$

(dosificación) y por último la exposición de los cuerpos de agua ante la irradiación de ultrasonido. Por ende, después de la experimentación y análisis de datos se llegó a la conclusión de que la efectividad mayor era presentada por el método de cavitación hidrodinámica puesto que se evidenció la alta tasa de remoción del carbono suspendido en los cuerpos de agua provenientes de los efluentes industriales proveniente de la curtiduría.

Según Incytu (2019) Una de nuestras variables es el Tratamiento de aguas residuales, este es definida como un proceso en el que se limpiará y eliminará la mayoría de los contaminantes presentes en el agua con el fin de reincorporar a los distintos cuerpos de agua naturales sin que afecten o alteren de manera negativa su composición. Actualmente existen distintos tipos de tratamiento para estas aguas las cuales pueden ser clasificadas por la cantidad y tipo de contaminante que eliminan. Debido a que algunos de estos tratamientos son costosos, muchas industrias están buscando nuevos tipos de tratamiento que no impliquen una exagerada inversión, es por eso que actualmente la cavitación hidrodinámica está siendo empleada por muchas industrias para tratar sus aguas residuales.

Ahora bien, Jawale and Gogate (2019) Investiga el uso de un reciente enfoque de tratamiento de la cavitación hidrodinámica en conjunto con la oxidación química y el catalizador para la disminución de tiocianato de potasio. El objetivo del presente estudio es controlar el tamaño de partícula, la eficacia de eliminación se mantuvo en un rango del Ph de 5,8 a 7,8 y en cuanto al tiempo debe ser de 15 minutos. Asimismo, al haber aplicado varios tipos de combinaciones de cavitación hidrodinámica mediante los procesos de oxidación química y catalizador para la disminución de KSCN, el cual se mostró eficientemente con un volumen de 4 litros.

Según Agudelo, Ovalle, Rodríguez, Camargo y Almonacid (2019), El pH inicial en la muestra es muy importante para la degradación de contaminantes químicos en el agua, en especial cuando dicho contaminante tiene presencia en el medio acuoso en tres formas solubles, Sulfuro de hidrógeno, ion bisulfuro e ion sulfuro. El pH de la solución indica el equilibrio de las especies de sulfuro en el agua residual, para pH menor de 7,5 en el fluido sobresale la especie sulfuro de hidrógeno el cual es

capaz de pasar de estado acuoso a fase gaseosa liberándose en la atmósfera, el cual causa olores fuertes y desagradables a la vez de dañar la salud humana, es por ello que se debe evitar el tratamiento de este tipo de agua residual, pH ácido o menor de 7,5. Los ensayos se realizaron con un pH característico con el agua residual de pelambre. Después de 90 minutos de realizar Cavitación Hidrodinámica se percibió que ha pH 14,0, el porcentaje de remoción de sulfuros es mayor 29,4% en el tratamiento del primer procedimiento y 32,6% para el segundo procedimiento, al igualar a los ensayos realizados a pH de 10,0 para el cual los porcentajes de remoción de sulfuro para el primer y segundo procedimiento fueron de 10,7% y 30,1% respectivamente, lo cual indica que la remoción de sulfuro presenta una evidente dependencia del pH del agua residual el cual favorece la oxidación de sulfuro a pH alto, el cual se apreció en los dos prototipos.

Gil A., Galeano L. y Vicente M. (2019) La empleabilidad de los AOP han sido determinantes para la innovación de métodos eficaces con respecto a los tratamientos de efluentes. Tanto así, que con la implementación de prácticas oxidantes se debe traer consigo diversos análisis fisicoquímicos capaces de comprobar las hipótesis de eficiencia, por ende, se han adicionado métodos cuantitativos para evaluar los niveles toxicidad, predecir y monitorear la calidad ambiental y composición interna de los cuerpos receptores. Pueda que existan deficiencia en los métodos de análisis, pero las técnicas de determinación de presencia son eficaces, como, por ejemplo, la aplicación de la espectrofotometría e incluso la evaluación de analitos; Para lograr esto se deben tener en cuenta los métodos multivalentes y la calibración adecuada de los equipos empleados para la mayor proximidad al resultado acertado, puesto que de esta manera se reconocerán los niveles de eficiencia de los AOP.

Según Gutiérrez, M. et al. (2018), en su artículo de revisión muestra un análisis holístico de la cavitación hidrodinámica en diferentes residuos agroindustriales, así mismo comparan el dispositivo plato perforado y un reactor tipo Venturi llegando a la conclusión; los reactores de plato orificio son más eficientes de carácter químico, debido a que son más riguroso en puntos calientes en donde hay mayor temperatura, en el dispositivo tipo Venturi son sugeridos para cambios de tipo físico,

ya que ayuda al crecimiento de más cantidades de burbujas, debido a que la implosión es menos abrupto ando lugar a chorros de presión y ondas de choque más uniformes dentro del líquido.

Según RAJORIYA, S. et al. (2018), quienes tuvieron el objetivo de mejorar la cavitación hidrodinámica cambiando reactivos oxidativos, para disminuir el color de una industria textil de tintes químico sintético, en el cual mencionan que la presión de entrada y el número de cavitación son parámetros principales que predominan en la eficiencia de la HC, asimismo mencionan que la presión óptima fue de 5 bar debido a que hay una reducción porcentual de TOC y DQO y de color de casi 17% 12% y 25% en 120 minutos y para una presión de 10 bar la reducción para los parámetros TOC y DQO solo fue de 9.3% y 3.5%, por otra parte la combinación de HC+Fenton picos máximos de reducción de DQO en 60 minutos 97.7% y para la reducción de color HC+ozono en un tiempo de 120 minutos hubo reducción de hasta 88.1%.

Boczka, G. et al (2018), atribuye sobre el uso de la cavitación hidrodinámica ayudada por el proceso de oxidación adicionales (O<sub>3</sub>/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/ peroxona), para la reducción de contaminantes de aguas residuales de la producción del betún, los resultados obtenidos para el O<sub>3</sub> a las 6 horas del tratamiento con una presión de entrada de 8 bar y un caudal de 520 L h<sup>-1</sup> fue de un 40% de reducción y el pH no vario fue de 10.5. Asimismo, los otros procesos estudiados (cavitación hidrodinámica + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y la cavitación sola) redujo un 20%,25% y 13% de DQO y una reducción de 49%,32%, y 18% de DBO, respectivamente.

Según Saxena, Saharan y George (2018). El cual tuvo como objetivo estudiar el impacto de diferentes reactores de cavitación hidrodinámica para el tratamiento del agua contaminada con aguas residuales, analizando la microbiología de la contaminación y parámetros fisicoquímicos. La muestra estuvo conformada por un tanque con una capacidad de 1.500 L para reservar agua, una bomba de pistón de alta presión con una potencia de 1,1 kW y un tanque de almacenamiento de 20 L de capacidad con una camisa de refrigeración. Los resultados alcanzados se tomaron en un tiempo de 120 minutos con una presión óptima de 5 bar y fueron que

para el pH aumentó de 7.35 a 7.54, el DQO presentó un 14.46% de reducción, los SST presentaron una reducción de 34.82%, el DBO aumentó de 3200 a 3600 mg/L; para el caso de la muestra diluida con HC, obtuvo en DQO un 18.84% de reducción, HC más *O3* alcanzó la reducción de 26.81%, HC más *H2O2* fue de 34.35% y HC más Fenton fue 50.20%. Los resultados obtenidos de los reactores mostraron una reducción en los parámetros químicos principalmente en nitritos, nitratos, bicarbonatos y dureza total. Llegando a la conclusión que manteniéndose constantes la temperatura de ebullición del agua tratada, reduce significativamente las concentraciones de diversos parámetros físico-químicos.

Randhavane, S (2018) el cual empleó el dispositivo de cavitación hidrodinámica obteniendo una eficiencia de 58% en el mismo lapso de tiempo por lo cual se identificó que el porcentaje de eficiencia es mayor en el autor en mención ya que su nivel de presión es más alto.

Solís, Zuñiga y Mora. (2018), La conductividad eléctrica (CE) del agua es una medida de la capacidad de la misma para transportar la corriente eléctrica. En el Sistema Internacional de Unidades la CE se expresa como siemens por metro (S/m), pero por simplicidad se utiliza  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a una temperatura de 25°C. La conductividad del agua está relacionada con la concentración de las sales en disolución, cuya disociación genera iones capaces de transportar la corriente eléctrica. La solubilidad de las sales en el agua depende de la temperatura, por lo que la conductividad varía en conformidad con la temperatura del agua.

Según Gutiérrez y Moreno, (2018), como uno de nuestros indicadores tenemos a la demanda química de oxígeno (DQO) la cual es utilizada para identificar concentraciones de fracciones biodegradables como las no biodegradables de la materia orgánica, también se utiliza para determinar el material carbónico presente en las aguas residuales. La DQO se relaciona con la DBO en el análisis de distintas muestras, normalmente la DQO siempre tendrá un mayor valor que el DBO ya que muchos compuestos de origen orgánico pueden llegar a ser oxidados de manera química pero no biológica.

Lafuente y López (2018), nos dicen que la cavitación Hidrodinámica con el dispositivo Venturi ha demostrado ser una técnica prometedora para la desinfección del agua. Lo mencionado es un proceso energéticamente eficiente y viable, es por ello que puede considerarse como una técnica potencial para un esquema de tratamiento de agua a gran escala. Se confirmó la aplicabilidad del fenómeno de cavitación hidrodinámica con el dispositivo venturi como un proceso bactericida, se tomó una muestra del río Santa Clara y se sometió a un tratamiento a distintas presiones, de 64 minutos, al tratar el agua durante el tiempo mencionado a distintas presiones de descarga se identificó que cuando la presión aumenta, el grado de eficiencia de desinfección también aumenta.; es por ello que para una presión de descarga de 2 bar se alcanzó una desinfección de 72.8% mientras que para una presión de 3 bar se alcanzó el 99.5% de desinfección.

Stefan I. (2018) sumando importancia, el alcance de los elementos químicos en presentaciones reducidas (nanoelementos), infiere que estos poseerán actuaciones en los contaminantes con resultados en materia de análisis con posibles beneficios ante los cuerpos receptores; adyacentemente a esto se debe agregar que la intención de nuevas metodologías de purificación dan cabida a mejoras constantes en los procesos de industrialización de materia prima donde existen vertimientos de agua; se debe tener en cuenta la factibilidad para aplicar la nanotecnología con la finalidad de erradicar los contaminantes, para esto el método de oxidación ha demostrado eficiencia en base a la reducción de tiempos para su actuación en cuerpos de agua contaminados, este proceso además puede ser complementado con la ayuda de compuestos como el cromato y/o permanganato, claramente por delante el óxido de hierro (III) en el proceso como coagulante con bajos niveles de toxicidad, obteniendo así un proceso de tratamiento de aguas residuales amigable y compatible con el medio ambiente.

Ameta S. y Ameta R. (2018) constituyeron su libro con el objetivo de aumentar la capacidad de respuesta con diversos tratamientos hacia el medio ante la demanda continua del ser humano y la continua afección que esto ocasiona en contra del medio ambiente, por otra parte una metodología particular que presentan los autores está enfocada hacia la mitigación de las altas afecciones de la

industrialización y su evidente relación con la degradación ambiental tanto apreciable de manera sencilla como no apreciable a vista común, es decir, se logró desarrollar un método capaz de lograr una purificación con alta eficiencia en vertimientos directos de agua luego de finalizar los procesos operativos dentro de las industrias. Este tratamiento fue denominado como oxidación, su óptima aplicación es capaz de reducir las altas cargas de tóxicos, contaminantes orgánicos e inorgánicos (tintes y pesticidas), incluso la destrucción completa de estos en el medio.

Según Picquart (2017), nos dice que la temperatura es una magnitud física que nos permite medir el grado de calor. La importancia de medir la temperatura en el ámbito físico como médico llevó al hombre a crear el termómetro el cual mide la temperatura atmosférica como las corporales, lo que da respuestas a numerosas inquietudes científicas.

Según Tran, D. (2016), el cual tuvo como objetivo analizar y optimizar como pretratamiento para la EA de FW (Residuos de alimentos). Dicho artículo es de diseño experimental. La muestra estuvo conformada por FW (Residuos de alimentos). Las pruebas mostraron que se logró un impacto suficiente de la cavitación hidrodinámica mediante 20 ciclos de cavitación. Debido al pretratamiento, la solubilización de los residuos alimentarios aumentó, incluso en un 400% y un 48% en términos de turbidez y mediciones de SCOTT. En conclusión, la turbidez se vio afectada significativamente por los C.H, donde se observó un incremento de hasta 400% y 61%.

Montusiewicz A. et. Al. (2016). Este estudio titulado "Hydrodynamic cavitation of brewery spent grain diluted by wastewater" examinó la influencia de la cavitación hidrodinámica en la biodegradabilidad y la composición de las aguas residuales de la cervecería tratadas mecánicamente en una placa de orificios con agujero céntrico cónico (3/10 con un diámetro de entrada / salida), se usó como la constricción en el dispositivo de cavitación; el número de cavitación correspondiente fue de 0.036, presión de entrada de 7 bar, manteniendo 30 pases de recirculación a través de la zona de cavitación. Como resultado, la concentración de compuestos orgánicos

solubles los valores de DBO y DQO aumenta de 0.047 a 0.091 mg/L, lo que indica una mayor biodegradabilidad de la fábrica de cerveza. Además, la solución de hidratos de carbono se produjo, como confirmado por la eliminación de la hemicelulosa con una relación de liberación de 87%. Por otro lado, el valor de la DQO y las concentraciones de ambos sólidos totales y sólidos volátiles disminuyeron significativamente, revelando la destrucción efectiva de compuestos orgánicos volátiles disminuyeron significativamente.

En el siguiente contexto se tomarán fundamentos básicos del suceso nacional:

Asimismo, Agudelo, R. et. al. (2019), en su artículo de investigación “Remoción de sulfuros presentes en el agua residual del proceso de curtido mediante cavitación hidrodinámica”, tuvo como objetivo determinar la calidad óptima del reactor para tratamiento de aguas residuales. Así mismo dicha investigación es experimental. La muestra estuvo conformada por 50 litros de agua para el primer prototipo y 600 litros para el segundo prototipo. Llegó a la conclusión que usando únicamente la cavitación hidrodinámica en la remoción de los sulfuros del agua residual es efectiva para estos tipos de tratamientos, a medida que se eleva es más eficaz en la oxidación del sulfuro y una excelente opción en comparación con los tratamientos convencionales que usan las industrias.

Según INACAL (2019) El Decreto Supremo 010-2019-VIVIENDA, aprobó el mencionado Decreto Supremo, que prohíbe el vertido de sustancias o elementos extraños a la red de alcantarillado sanitario, lo que contraviene las leyes y normativas vigentes en materia de calidad de alcantarillado, y por tanto prohíbe que los servicios de recolección de aguas residuales descarguen más que eso en el sistema. Aguas residuales no domésticas con el valor máximo permitido del parámetro establecido por la agencia de gestión, excepto por el parámetro que los usuarios no domésticos pagan extra por concentración excesiva; está determinado por reglamentos departamentales y reglamentos nacionales de supervisión del servicio de salud. La concentración o el incumplimiento de esta regla resultará en la suspensión de los servicios de salud, tal como se muestras en la Tabla 1 y 2.

**Tabla 1.** Valores Máximos Admisibles, Anexo 1 el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	DBO5	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	S.S.T.	500
Aceites y Grasas	mg/l	A y G	100

Fuente: D.S. N° 010-2019-VIVIENDA - Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

**Tabla 2.** Valores Máximos Admisibles, Anexo 2 el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA

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

Fuente: D.S. N° 010-2019-VIVIENDA - Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

Según Lazo (2017) en su trabajo de investigación: Evaluación de la contaminación ambiental generada por efluentes industriales en el proceso productivo en una curtiembre de mediana capacidad del parque industrial de Río Seco, Arequipa, planteó como objetivo analizar la contaminación a lo largo del proceso productivo en una curtiembre. Por otra parte, se monitorea los efluentes según los protocolos establecidos a nivel nacional para la calidad del agua, lo cual permitió analizar de manera durante el proceso productivo al trabajar las pieles, ya que estas producen alta contaminación de cromo y sulfuros excediendo un 6515% y 1946.7% los inorgánicos. Los resultados del monitoreo en el transcurso del proceso productivo demostraron un aumento de cromo del 1359% y 2189.3% de sulfuro al pasar los años, lo cual genera un impacto negativo para el ecosistema y la salud de los seres vivos.

Y finalmente en el área local y espacial del estudio los siguientes antecedentes locales:

Macassi, G. (2017). En su investigación plantean el empleo de nanoburbujas por el método de Venturi para tratar aguas residuales, asimismo se tomó como principal indicador la DQO, la evaluación de nano burbujeo se realizó en tiempos de inyección 2, 4, 6, 8 y 10 horas con un flujo de agua residual controlado, a las 2 horas de inyección de aire la remoción de DQO fue 0.87%, a las 8 horas de inyección de aire con un caudal de 0,0347 L/s, se llegó a una remoción de 79.92%. Finalmente, la remoción se debe a la implosión del oxígeno del aire dentro de la burbuja.

Según Nieto, S. (2019). Su objetivo fue determinar la eficacia de la cavitación hidrodinámica para los parámetros físico químicos. Asimismo, indica que el tipo de diseño de la investigación fue aplicada, dicha investigación presenta un porcentaje de reducción en los parámetros físico químicos mediante la aplicación de la cavitación hidrodinámica, de acuerdo a los parámetros evaluados se logró determinar que hay una gran eficiencia y reducción, teniendo como resultado la reducción más alta en ph fue de 27,79% , por otro lado Los sólidos suspendidos totales lograron alcanzar su pico máximo de reducción 82,82%, la demanda biológica de oxígeno logró reducir 75,40%, y por último la demanda química de

oxígeno tuvo como reducción máxima 70,08%, lo cual demuestra que la cavitación hidrodinámica es eficaz debido a que reduce los niveles de contaminación de las aguas residuales de dicha industria.

Según Tafur (2019). Utilizando el método de Cavitación Hidrodinámica, utilizando un dispositivo de orificio el cual contaba con 17 orificios de 1.5 mm con un grosor de 2 mm se llegó a procesar su muestra de la industria de la curtiembre, cuya muestra tuvieron como resultado una mejora para la calidad de aguas residuales, debido a que estas se determina el nivel con el indicador de eficiencia. Se trabajó con una presión de 3 bar y el tratamiento duró 120 minutos, de los cuales cuatro parámetros lograron eficiencia y fueron los sólidos suspendidos totales (SST) que obtuvieron valores de eficiencia entre 59.84 y 69.85%, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) presentó valores entre 59.72 y 61.35%, la demanda química de oxígeno (DQO) obtuvo como eficiencia 67.36 y 68.44% y los aceites y grasas (A y G) obtuvieron valores de eficiencia entre 72.51 y 86.24%. Una vez pasado los 30 minutos y antes de 120 minutos aplicando la cavitación hidrodinámica, el pH obtuvo un valor eficiente entre 1.33 y 4.66% y para finalizar se comprobó que la presión es un factor muy importante en dicho proceso, la cual fue constante en todo el proceso por la cual a medida que iba pasando el tiempo la temperatura va en aumento.

Según Cadenas y Santos (2020) en su investigación llamada "Ozono y cavitación hidrodinámica para disminución de la carga orgánica y nitrogenada en aguas residuales del camal, 2020" el cual nos indica que en su proceso de Cavitación Hidrodinámica, para el parámetro de DQO en la primera repetición se redujo de 210.2 mg/L a 201.7 mg/L, mientras que en la segunda repetición disminuyó de 527.1 mg/L a 398.8 mg/L, por otra parte, en la tercera repetición de 515.3 mg/L a 332.8 mg/L. Concluyendo que en promedio hubo una reducción de 417.53 mg/L a 311.10 mg/L de la DQO. Asimismo, para el parámetro de SST se redujo en la primera repetición de 103 mg/L a 7 mg/L, mientras que en la segunda repetición disminuyó de 103 mg/L a 54 mg/L, por otra parte, en la tercera repetición de 56 mg/L a 38 mg/L. Se concluyó que hubo una reducción en promedio de 87.33 mg/L a 33 mg/L de los SST y finalmente en el parámetro de pH en la primera repetición tuvo un aumento de 7.5 de pH a 7.83 de pH, mientras que en la segunda repetición

se redujo de 7.48 de pH a 7.38 de pH, por otra parte, en la tercera repetición aumentó de 7.46 de pH a 7.83 de pH. Se concluyó que hubo un aumento en promedio de 7.48 de pH a 7.68 de pH.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

##### **Tipo de investigación**

El tipo de investigación fue aplicada ya que se busca determinar la reducción de los parámetros fisicoquímicos mediante la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica en el tratamiento de aguas residuales de la industria de la curtiembre. La investigación aplicada genera conocimientos que podrían ser aplicados en la solución de problemas prácticos, es utilizada como punto de partida y sustento, sus resultados son utilizados de manera inmediata a corto o mediano plazo (Fidias, 2017).

##### **Diseño de investigación**

El diseño de la investigación fue experimental de tipo descriptivo y transversal, debido a que se describieron, manipularon instrumentos y los resultados son producto de un corte de análisis en el tiempo. El diseño experimental descriptivo es una técnica se emplea para calcular información de manera independiente o agrupación referente a las variables; asimismo, es transversal, debido a que se juntan datos en el momento (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

#### **3.2. Variable y Operacionalización**

En toda investigación es de disposición importante que se establezca cada una de las variables a estudiar. Asimismo, estas variables se clasifican en cuatro tipos: dependiente, independiente, de confusión y universal. La variable dependiente ajustará al avance (Villasís y Miranda, 2016).

**Variable independiente:** Cavitación Hidrodinámica

**Variable dependiente:** Tratamiento de aguas residuales

Asimismo, en la tabla 3, se presentan las variables dependientes e independientes en una matriz de operacionalización de variables para la clasificación de cada una de ellas.

**Tabla 3. Matriz de operacionalización de variables**

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
<b>V1: Cavitación Hidrodinámica</b>	La cavitación hidrodinámica en la actualidad se ha convertido en un método novedoso para diversas industrias ya que está comprobado que dicho método genera buenos resultados para tratamientos biológicos, Lebiocka (2020).	Para probar que tan eficiente es la cavitación hidrodinámica será medida tomando en cuenta los indicadores al realizar las corridas con las aguas residuales de la industria de la curtiembre	Comparación del sistema (tubo Venturi y placa orificio)	Tiempo	min
				Caudal	L/min
				Presión	bar
			Eficiencia del sistema	Concentración 1 (15%)	%
				Concentración 2 (30%)	%
				Concentración 3 (45%)	%
<b>V2: Tratamiento de aguas residuales</b>	El objetivo de tratar las aguas residuales es proteger el medio ambiente y a la vez promover el bienestar de todo ser vivo, asimismo, existen otros conceptos que nos dicen que el objetivo de dichas aguas es modificar las características del agua de tal manera que se cumplan con los requisitos establecidos por el estado para que así no tenga impactos negativos hacia los seres vivos, (Arocutipa, 2013).	El tratamiento de aguas residuales será medido considerando los indicadores; asimismo, se tomará en cuenta los valores máximos admisibles establecidos en el D.S. 010-2019-VIVIENDA	Parámetros fisicoquímicos antes y después de la aplicación de la cavitación hidrodinámica	Temperatura	°C
				SST	mg/L
				Conductividad eléctrica	uS/cm
				pH	unidad de pH
				Salinidad	g/l
				DQO	mg/L
				DQOS	mg/L

### **3.3. Población, muestra y muestreo**

#### **Población**

La población del presente trabajo de investigación, fue el agua residual recolectada de la industria de la curtiembre. La población de estudio es un conjunto de casos, definido, limitado y accesible, que se elaborará el referente para la denominación de la muestra que cumple con una sucesión de criterios predeterminados (Arias. J, et al., 2016).

#### **Muestra**

Se trabaja con una muestra cuando no es dable ni convincente realizar un censo, reúne cualidades de la población que son importantes para la investigación (Espinoza, 2016).

La muestra total fue de 54 litros de aguas residuales de la industria de la curtiembre de las etapas de pelambre, lavado, curtido.

#### **Muestreo**

La muestra fue tomada a criterio de las investigadoras. La muestra del proyecto de investigación es un muestreo no probabilístico, debido a que se aplica cuando es de difícil acceso a la población, se desconoce la probabilidad que contiene los diferentes componentes de la población (Figuroa M. et al. 2019).

Con la finalidad de determinar el grado de eficiencia del sistema en distintas concentraciones de las aguas residuales de la industria curtiembre mediante la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica, la muestra se dividió en tres partes:

- Una primera parte con una concentración al 15%, constituida de la siguiente manera: 1.5 litros de lavado + 6 litros de pelambre + 1.5 litros de curtido + 51 litros de agua.

- Una segunda parte con una concentración al 30%, constituida de la siguiente manera: 4.5 litros de lavado + 9 litros de pelambre + 4.5 litros de curtido + 42 litros de agua.
- Una tercera parte con una concentración al 45%, constituida de la siguiente manera: 7.5 litros de lavado + 9 litros de pelambre + 7.5 litros de curtido + 36 litros de agua.

Las muestras fueron codificadas como se muestra en las Tablas 4 y 5:

**Tabla 4.** Codificación de muestras de campo

TIPO DE DISPOSITIVO	CONCENTRACIÓN	CODIFICACIÓN DE MUESTRAS
Dispositivo cavitante Tubo Venturi	15%	VEN1501
		VEN1502
		VEN1503
		VEN1504
		VEN1505
		VEN1506
		VEN1507
	30%	VEN3001
		VEN3002
		VEN3003
		VEN3004
		VEN3005
		VEN3006
		VEN3007
45%	VEN4501	
	VEN4502	
	VEN4503	
	VEN4504	

		VEN4505
		VEN4506
		VEN4507
		ORI1501
		ORI1502
		ORI1503
	<b>15%</b>	ORI1504
		ORI1505
		ORI1506
		ORI1507
		ORI3001
		ORI3002
		ORI3003
<b>Dispositivo cavitante Placa Orificio</b>	<b>30%</b>	ORI3004
		ORI3005
		ORI3006
		ORI3007
		ORI4501
		ORI4502
		ORI4503
	<b>45%</b>	ORI4504
		ORI4505
		ORI4506
		ORI4507

**Tabla 5.** Codificación de muestras de gabinete

TIPO DE MUESTRA	CODIFICACIÓN DE MUESTRAS
<b>MUESTRA 1 (15%)</b>	E-1
	SV-1
	SO-1
<b>MUESTRA 2 (30%)</b>	E-2
	SV-2
	SO-2
<b>MUESTRA 3 (45%)</b>	E-3
	SV-3
	SO-3

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.4.1. Técnica de recolección de datos**

La técnica que se utilizó en la presente investigación fue la observación experimental, debido a que los datos fueron utilizados y dirigidos por el investigador según sus variables. Los instrumentos de recolección de datos son medios que se utilizan para juntar información en una investigación, lo cual pueden ser directas, como las entrevistas y observaciones o indirectas, que se basan en cuestionarios, inventarios y los test (Sánchez, H. Reyes, C. et al., 2018).

#### **3.4.2. Instrumento de recolección de datos**

Para la recolección de datos se utilizó el registro de datos de campo, como agentes físicos para obtener los datos de los parámetros fisicoquímicos anteriores y posteriores al proceso de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica en el tratamiento de aguas residuales de la industria de la curtiembre; seguidamente se presenta la estructura de cada uno de ellos, el cual evidencia su aporte para alcanzar los objetivos.

### 3.4.3. Ficha de registro de lo sucedido en campo

- Nombre:** Hoja de cadena de custodia
- Autores:** Yachachin y Yaricahua (2021)
- Objetivo:** Registro los datos de manera ordenada durante el proceso de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica en el tratamiento de aguas residuales de la industria de la curtiembre, Lima - 2021.
- Tiempo:** El tiempo de aplicación fue de 1 semana, la cual dura el análisis de la muestra en el laboratorio designado SGS
- Tipificación:** Las muestras del agua residual de la industria de la curtiembre se tomaron antes y después del proceso de cavitación hidrodinámica.
- Descripción:** El instrumento de cadena de custodia se encuentra constituido con 17 ítems, dicho documento se rellena de manera in situ en el momento que se realizan las corridas con el agua residual de la curtiembre, los parámetros a observar son: SST, DQO, DQOT, Salinidad, entre otros, este documento tiene como exclusividad los parámetros mencionados ya que se presenta al laboratorio SGS para los análisis correspondientes.
- 
- Nombre:** Registro de datos de campo
- Autores:** Yachachin y Yaricahua (2021)
- Objetivo:** Registrar los datos obtenidos en campo de manera ordenada al procesar oxidación avanzada con Cavitación Hidrodinámica en el tratamiento de aguas residuales de la industria de la curtiembre, Lima 2021.
- Tiempo:** El tiempo de aplicación fue de 1 semana la cual dura la investigación en el laboratorio designado SGS
- Tipificación:** Las muestras del agua residual de la industria de la curtiembre se tomarán antes y después del proceso de cavitación Hidrodinámica.
- Descripción:** El instrumento de registro de datos de campo cuenta con 12 ítems, el cual se rellena de manera in situ, los parámetros a

registrar son, tiempo, caudal, presión, conductividad eléctrica, temperatura, pH, dicho documento permanecerá con los autores para después ser analizados y comparados.

- Nombre:** Registro de resultados
- Autores:** Yachachin y Yaricahua (2021)
- Objetivo:** Registrar los datos de los resultados de todos los análisis obtenidos en el proceso oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica en el tratamiento de aguas residuales de la industria de la curtiembre, Lima - 2021
- Tiempo:** El tiempo de aplicación fue de 1 semana la cual dura la investigación en el laboratorio designado SGS
- Tipificación:** Las muestras del agua residual de la industria de la curtiembre se tomarán antes y después del proceso de cavitación hidrodinámica.
- Descripción:** El instrumento de registro de resultado se encuentra constituido con 15 ítems los cuales son todos los parámetros a observar en nuestro proyecto de investigación, dicho documento recogerá todos los datos de manera in situ, asimismo será completado con los resultados de laboratorio para así evaluar, analizar comparar y llegar a una conclusión determinada.

### **3.5. Procedimientos**

#### **3.5.1. Ubicación**

La presente investigación se llevó a cabo en un taller electromecánico, donde se encontraba el prototipo, ubicado en el distrito de San Martín de Porres, provincia y departamento de Lima, en las coordenadas 11°59'22.2" y 77°06'19.1", con una superficie de 36,91 km<sup>2</sup> y una altitud de 123 msnm.

El distrito de San Martín de Porres está situado entre el río Rímac y el río Chillón y es el segundo distrito más poblado de Lima. Los veranos en dicho

distrito son cálidos, bochornosos, áridos y nublados y los inviernos son largos, ventosos y mayormente despejados (Figura 1)



**Figura 1.** Mapa del distrito de San Martín de Porres

### 3.5.2. Materiales y equipos

- **Multiparámetro**

Es un Instrumento a prueba de agua el cual realiza mediciones de diferentes parámetros como pH, salinidad, conductividad, temperatura y oxígeno disuelto. En la Figura N°2 se muestra el multímetro que se utilizó para realizar los análisis.



**Figura 2.** Equipo de Multiparámetro

- **Vaso Precipitado**

Es un recipiente cilíndrico de vidrio borosilicato fino, es muy común utilizar este tipo de vaso ya que resiste a altas temperaturas. En la Figura 3, se puede observar el vaso precipitado de 250 ml que se utilizó en el muestreo de los parámetros.



**Figura 3.** Vaso de precipitado

- **Reactivo Químico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**

El Ácido Sulfúrico es soluble en agua y tiene un gran efecto deshidratante, es un compuesto altamente corrosivo, es el compuesto químico que más se produce en el mundo. En la Figura 4, se puede observar la botella de ácido sulfúrico que nos dio el laboratorio SGS, el cual se introdujo 10 gotas por cada frasco.



**Figura 4.** *Reactivo químico ácido sulfúrico*

- **Tamiz**

Es un utensilio de laboratorio está formado por un material de madera y una rejilla con orificios pequeños. En la Figura 5 se observa que lo utilizamos para separar alguna impureza o un material que pueda obstruir en el proceso de cavitación.



**Figura 5.** Tamiz de madera

### **3.5.3. Obtención de datos**

Para la recolección y análisis de los datos, se tuvo en cuenta una serie de pasos, que están divididos en fases para distinguir cada una de las etapas realizadas.

### **3.5.4. Procedimiento de obtención de datos a nivel de campo**

**FASE I:** Lo primero que se realizó, es la toma de muestras de los efluentes de la industria de la curtiembre y se identificó que las muestras obtenidas provienen de las etapas de lavado, pelambre y curtido. Se procedió tomando en cuenta la R.M. N°026-2000-ITINCI-DM, la cual, nos indica que aprueba los Protocolos de Monitoreo de Efluentes Líquidos y Emisiones Atmosféricas.

**FASE II:** Se procedió a separar el agua en tres recipientes, en el primer recipiente se tuvo 9 litros de agua de curtiembre, pelambre y lavado, en el segundo recipiente se tuvo 18 litros de agua entre curtiembre, pelambre y lavado y por último en el tercer recipiente se tuvo 27 litros de agua entre curtiembre, pelambre y lavado.

**FASE III:** En cada recipiente se aumentó agua para llegar a los 60 litros. Se aumentaron 51 litros para la muestra de agua residual al 15%, 42 litros para la muestra de agua residual al 30%, 33 litros para la muestra de agua residual al 45%. Luego se procedió a realizar un filtrado del agua residual utilizando un tamiz de 6  $\mu\text{m}$  y un envase de 1000 ml, tal como se muestra en la Figura 6.



**Figura 6.** Filtrado del agua residual utilizando un tamiz.

**FASE IV:** Se procedió a realizar muestreos a nivel de campo para determinar los parámetros fisicoquímicos iniciales de temperatura, pH, conductividad eléctrica y salinidad, para lo cual, se tomó una muestra de 250 ml en un vaso de precipitado y fue analizado con un equipo multiparámetro. Asimismo, se tomaron 02 muestras de 120 ml. para determinar DQO y DQOS a las cuales, se les agregó 0.5 mL o 10 gotas de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (ácido sulfúrico) para preservar la muestra y 01 muestra de 1000 ml. para determinar SST. Las muestras tomadas se enviaron a analizar al Laboratorio SGS, como se aprecia en la Figura 7.



**Figura 7.** Toma de muestra a nivel de campo

**FASE V:** Se procedió a colocar el agua en el tanque del prototipo, se eliminó el aire que contiene, una vez eliminado el aire se procedió a encender el prototipo para dar inicio con el tratamiento del agua residual, aplicando la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica (Figura 8).



**Figura 8.** Prototipo del dispositivo cavitante.

**FASE VI:** Una vez que se inició con el tratamiento se apuntó los datos iniciales, los cuales son: Presión de la bomba, caudal (se visualizó en el rotámetro), temperatura de entrada del dispositivo, presión de entrada y presión de salida del dispositivo, también la temperatura del agua del tanque. Dicho proceso se monitorea durante 60 minutos y se tomaron los mismos datos cada 10 minutos, para ver las variaciones durante el proceso.

**FASE VII:** Para determinar los parámetros fisicoquímicos luego del tratamiento con el dispositivo, después de 60 minutos se procedió a volver a tomar muestras de las aguas residuales. Se tomaron 02 muestras de 120 ml. para determinar DQO y DQOS a las cuales, se les agregó 0.5 mL o 10 gotas de  $H_2SO_4$  (ácido sulfúrico) para preservar la muestra y 01 muestra de 1000 ml. para determinar SST. Las muestras tomadas se enviaron a analizar al Laboratorio SGS

### **3.5.5. Procedimiento de obtención de datos a nivel de gabinete**

**FASE I:** Se procedió a escoger el software IBM SPSS 25 para procesar los datos obtenidos en campo.

**FASE II:** Se realizó una revisión de todos los datos registrados en campo, dichas revisiones fueron de los parámetros de, pH, salinidad, conductividad eléctrica, tiempo, caudal, presión, temperatura, SST, DQO, DQOS, en las diferentes concentraciones (15%, 30%, 45%), los cuáles serán comparados antes y después del tratamiento de oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica.

**FASE III:** Pasada una semana el Laboratorio SGS entregó el INFORME DE ENSAYO MA2122141 Rev. 0, en el cual se reportan los resultados de las mediciones de los parámetros fisicoquímicos (DQO, DQOS y SST) antes y después del tratamiento de las aguas residuales, para seguidamente realizar las comparaciones correspondientes.

**FASE IV:** Finalmente, se procedió a realizar el análisis de los parámetros fisicoquímicos de acuerdo a los objetivos planteados, los cuales serán comparados con la información de diversas tesis y artículos científicos, para así llegar a una conclusión final.

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

Se empleó el Software IBM SPSS Statistics 25 para el procesamiento de datos obtenidos antes, durante y después del procesamiento de las muestras, comparándolos entre dispositivos cavitantes y concentraciones. Asimismo, se esquematizan en gráficos, los cuales indicarán la diferencia de los datos.

### **3.7. Aspectos éticos**

La presente investigación está establecida alineada a los principios del código ético N° 0083-2016-UCV en investigación de la Universidad César Vallejo, la cual establece las normas para la realización de las actividades y garantiza el bienestar y autonomía de los participantes en la presente investigación. Asimismo, esto contribuirá a tener una visión de responsabilidad y honestidad al manejar cualquier tipo de información para que con responsabilidad y confiabilidad pueda ser interpretada y pueda ser publicada al finalizar la investigación. De igual manera, la presente investigación pasó por el software “turnitin”, para identificar cualquier tipo de similitud o plagio que pueda haber presentado la presente investigación.

Asimismo, es importante mencionar que la indagación y recolección de información es de fuentes confiables y recomendados; también nos apoyamos en sustentos teóricos y prácticos para así evitar errores y alteraciones de los resultados. Finalmente, los autores de esta presente investigación son los responsables en asumir cualquier inconveniente que se pueda presentar en el transcurso de la validación.

## **IV. RESULTADOS**

Los resultados obtenidos se presentan de acuerdo a los objetivos planteados:

### **4.1. Características de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales de la industria de la curtiembre, antes y después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica, Lima 2021.**

En la Tabla 6, se analizó las características de los parámetros fisicoquímicos (Conductividad eléctrica, PH, Salinidad, SST, DQO y DQOS) de las aguas residuales de la industria de la curtiembre antes y después de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica por dispositivo cavitante y concentraciones propuestas.

**Tabla 6.** Medidas descriptivas de las características de los parámetros físicos químicos de las aguas residuales de la industria de la curtiembre, antes y después de la aplicación de a oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica.

Parámetros Físicos Químicos	Dispositivos cavitantes				Concentración						
	Venturi		Orificio		15%		30%		45%		
	Media	SD	Media	SD	Media	SD	Media	SD	Media	SD	
Antes	Conductividad eléctrica	49.9	15.9	49.9	15.9	33.1	0.0	52.1	0.0	64.6	0.0
	PH (unidad de pH)	9.1	0.7	9.1	0.7	9.9	0.0	8.7	0.0	8.8	0.0
	Salinidad (g/l)	0.3	0.1	0.3	0.1	0.2	0.0	0.3	0.0	0.4	0.0
	SST	633	174	633	174	500	0.0	830	0	570	0.0
	DQO	4,576.4	1,314.2	4,576.4	1,314.2	3,085.3	0.0	5,078.3	0.0	5,565.7	0.0
	DQOS	2,705	274	2,705	274	2,389	0.0	2,856	0	2,871	0.0
Después	Conductividad eléctrica	66.1	29.1	65.9	21.9	40.2	6.5	66.7	3.4	91.1	3.5
	PH (unidad de pH)	8.9	0.4	8.9	0.3	9.3	0.0	8.9	.1	8.6	0.1
	Salinidad (g/l)	0.4	0.2	0.4	0.2	0.2	0.0	0.4	0.0	0.5	0.0
	SST	336	135	257	159	425	7	149	44	315	130
	DQO	3,359.3	468.9	3,525.4	487.5	3,008.9	0.2	3,383.5	291.4	3,934.8	60.6
	DQOS	2,293	93	2,555	247	2,277	79	2,610	299	2,385	177

Los resultados promedios del parámetro de la conductividad eléctrica, fueron:

- Para el tubo Venturi, antes del tratamiento fue: 49.9 uS/cm y después del tratamiento fue: 66.1 uS/cm.
- Para placa orificio, antes del tratamiento fue: 49.9 uS/cm y después del tratamiento fue: 65.9 uS/cm.
- Para la concentración de 15%, antes del tratamiento fue: 33.1 uS/cm y después del tratamiento fue: 40.2 uS/cm.
- Para la concentración de 30%, antes del tratamiento fue: 52.1 uS/cm y después del tratamiento fue: 66.7 uS/cm.
- Para la concentración de 45%, antes del tratamiento fue: 64.6 uS/cm y después del tratamiento fue: 91.1 uS/cm.

Los resultados promedios del parámetro del potencial de hidrógeno (pH), fueron:

- Para el tubo Venturi, antes del tratamiento fue: 9.1 unidades de pH y después del tratamiento fue: 8.9 unidades de pH.
- Para placa orificio, antes del tratamiento fue: 9.1 unidades de pH y después del tratamiento fue: 8.9 unidades de pH.
- Para la concentración de 15%, antes del tratamiento fue: 9.9 unidades de pH y después del tratamiento fue: 9.3 unidades de pH.
- Para la concentración de 30%, antes del tratamiento fue: 8.7 unidades de pH y después del tratamiento fue: 8.9 unidades de pH.
- Para la concentración de 45%, antes del tratamiento fue: 8.8 unidades de pH y después del tratamiento fue: 8.6 unidades de pH.

Los resultados promedios del parámetro de la salinidad, fueron:

- Para el tubo Venturi, antes del tratamiento fue: 0.3 g/l y después del tratamiento fue: 0.4 g/l.
- Para placa orificio, antes del tratamiento fue: 0.3 g/l y después del tratamiento fue: 0.4 g/l.
- Para la concentración de 15%, antes del tratamiento fue: 0.2 g/l y después del tratamiento fue: 0.2 g/l.

- Para la concentración de 30%, antes del tratamiento fue: 0.3 g/l y después del tratamiento fue: 0.4 g/l.
- Para la concentración de 45%, antes del tratamiento fue: 0.4 g/l y después del tratamiento fue: 0.5 g/l.

Los resultados promedios del parámetro de los Sólidos Suspendidos Totales (SST), fueron:

- Para el tubo Venturi, antes del tratamiento fue: 633 mg/L y después del tratamiento fue: 336 mg/L.
- Para placa orificio, antes del tratamiento fue: 633 mg/L y después del tratamiento fue: 257 mg/L.
- Para la concentración de 15%, antes del tratamiento fue: 500 mg/L y después del tratamiento fue: 425 mg/L.
- Para la concentración de 30%, antes del tratamiento fue: 830 mg/L y después del tratamiento fue: 149 mg/L.
- Para la concentración de 45%, antes del tratamiento fue: 570 mg/L y después del tratamiento fue: 315 mg/L.

Los resultados promedios del parámetro de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), fueron:

- Para el tubo Venturi, antes del tratamiento fue: 4,576.4 mg/L. y después del tratamiento fue: 3,359.3 mg/L.
- Para placa orificio, antes del tratamiento fue: 4,576.4 mg/L. y después del tratamiento fue: 3,525.4 mg/L.
- Para la concentración de 15%, antes del tratamiento fue: 3,085.3 mg/L. y después del tratamiento fue: 3,008.9 mg/L.
- Para la concentración de 30%, antes del tratamiento fue: 5,078.3 mg/L. y después del tratamiento fue: 3,383.5 mg/L.
- Para la concentración de 45%, antes del tratamiento fue: 5,565.7 mg/L. y después del tratamiento fue: 3,934.8 mg/L.

Los resultados promedios del parámetro de la Demanda Química de Oxígeno Soluble (DQOS), fueron:

- Para el tubo Venturi, antes del tratamiento fue: 2,705 mg/L. y después del tratamiento fue: 2,293 mg/L.
- Para placa orificio, antes del tratamiento fue: 2,705 mg/L. y después del tratamiento fue: 2,555 mg/L.
- Para la concentración de 15%, antes del tratamiento fue: 2,389 mg/L. y después del tratamiento fue: 2,277 mg/L.
- Para la concentración de 30%, antes del tratamiento fue: 2,856 mg/L. y después del tratamiento fue: 2,610 mg/L.
- Para la concentración de 45%, antes del tratamiento fue: 2,871 mg/L. y después del tratamiento fue: 2,385 mg/L.

**Comparación de los parámetros físico químicos obtenidos antes y después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica, con los VMA (valores máximos admisibles) del Anexo 1 y 2 el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA**

**Tabla 7.** Comparación del promedio de los parámetros fisicoquímicos obtenidos antes del tratamiento con los VMA (valores máximos admisibles) del Anexo 1 y 2 el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA

Parámetros fisicoquímicos	VMA	Dispositivos cavitantes		Concentración		
		Tubo Venturi	Placa orificio	15%	30%	45%
SST	500 mg/l	633	633	500	830	570
DQO	1000 mg/l	4,576.4	4,576.4	3,085.3	5,078.3	5,565.7
T°	<35 °C	22.5	20.7	22.4	19.8	22.7
pH	6-9	9.1	9.1	9.9	8.7	8.8

En la Tabla 7, comparamos el promedio de los valores de los parámetros fisicoquímicos obtenidos antes de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica y los valores máximos admisibles (VMA) para descargas al sistema de alcantarillado estipulados en el Anexo 1 y 2 el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, teniendo los siguientes resultados:

- Con respecto a los Sólidos Suspendidos Totales (SST), observamos que los valores obtenidos para el tubo Venturi y placa orificio exceden en un 26.6% los VMA; mientras que la concentración de 15% es igual a los VMA; la concentración de 30% fue un 66% mayor y la concentración de 45% resulto un 14% mayor.
- Con respecto a la Demanda Química de Oxígeno (DQO), observamos que los valores obtenidos para el tubo Venturi y la placa orificio exceden en un 357.6% los VMA; mientras que para la concentración de 15% excede en un 208.5%, para la concentración de 30% excede en 407.8% y para la concentración de 45%, excede en 456.6%.
- Con respecto a la Temperatura (T°), observamos que los valores obtenidos para el tubo Venturi es un 35.7% menor que los VMA y la placa orificio es un 40.9% menor; mientras que para la concentración de 15% es un 36% menor,

para la concentración de 30% es un 43.4% menor y para la concentración de 45% es un 35.1% menor que los VMA.

- Con respecto al Potencial de Hidrógeno (pH), observamos que los valores obtenidos para el tubo Venturi y la placa orificio exceden en un 1.1% los VMA; mientras que para la concentración de 15% es un 10% mayor que los VMA, y las concentraciones de 30% y 45% se encuentran dentro del rango de los VMA.
- Además, se determinó los parámetros fisicoquímicos de conductividad eléctrica, salinidad, Demanda Química de Oxígeno Soluble (DQOS), antes de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica, los cuales no figuran en los VMA para descargas al sistema de alcantarillado estipulados en el Anexo 1 y 2 el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA. Por lo cual, los valores obtenidos, serán datos referenciales que se utilizarán para hacer los comparativos.

**Tabla 8.** Comparación del promedio de los parámetros fisicoquímicos obtenidos después del tratamiento con los VMA (valores máximos admisibles) del Anexo 1 y 2 el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA

Parámetros fisicoquímicos	VMA	Dispositivos cavitantes		Concentración		
		Tubo Venturi	Placa orificio	15%	30%	45%
SST	500 mg/l	336	257	425	149	315
DQO	1000 mg/l	3,359.3	3,525.4	3,008.9	3,383.5	3,934.8
T°	<35 °C	55.3	56.4	54.3	56.8	56.5
pH	6-9	8.9	8.9	9.3	8.9	8.6

En la Tabla 8, comparamos el promedio de los valores de los parámetros fisicoquímicos obtenidos después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica y los valores máximos admisibles (VMA) para descargas al sistema de alcantarillado estipulados en el Anexo 1 y 2 el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, teniendo los siguientes resultados:

- Con respecto a los Sólidos Suspendidos Totales (SST), observamos que los valores obtenidos para el tubo Venturi son un 32.8% menor que los VMA y para la placa orificio un 48.6% menor; mientras que, para la concentración de

15% son un 15% menor; para la concentración de 30% son un 70.2% menor y para la concentración de 45% son un 37% menor que los VMA.

- Con respecto a la Demanda Química de Oxígeno (DQO), observamos que los valores obtenidos para el tubo Venturi son un 235.9% mayor que las VMA y para la placa orificio son un 252.5%; mientras que para la concentración de 15% son un 200.9% mayor, para la concentración de 30% son un 238.4% mayor y para la concentración de 45%, son un 293.5% los VMA.
- Con respecto a la Temperatura ( $T^{\circ}$ ), observamos que los valores obtenidos para el tubo Venturi son un 58% mayor que los VMA y la placa orificio son un 61.1% mayor; mientras que, para la concentración de 15% son un 55.1% mayor, para la concentración de 30% son un 62.3% mayor y para la concentración de 45% son un 61.4% mayor que los VMA.
- Con respecto al Potencial de Hidrógeno (pH), observamos que los valores obtenidos para el tubo Venturi y la placa orificio se encuentran dentro del rango de los VMA; mientras que, la concentración de 15% es un 3.3% mayor que los VMA, y las concentraciones de 30% y 45% se encuentran dentro del rango de los VMA.
- Además, se determinó los parámetros fisicoquímicos de conductividad eléctrica, salinidad, Demanda Química de Oxígeno Soluble (DQOS) después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica, los cuales no figuran en los VMA para descargas al sistema de alcantarillado estipulados en el Anexo 1 y 2 el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA. Por lo cual, los valores obtenidos, serán datos referenciales, que se utilizarán para hacer los comparativos.

## ANÁLISIS INFERENCIA

**Tabla 9.** Prueba de normalidad de los valores de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales.

Parámetros Físicos Químicos	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Tiempo (min)	.433	41	.000
Caudal (l/min)	.837	41	.000
Presión de la Bomba (bar)	.865	41	.000
Presión de Entrada (bar)	.832	41	.000
Presión de Salida (bar)	.901	41	.002
Temperatura (°C)	.952	41	.081
Conductividad eléctrica	.841	6	.134
Antes PH (unidad de pH)	.693	6	.005
Salinidad (g/l)	.853	6	.167
Conductividad eléctrica	.941	6	.665
Después PH (unidad de pH)	.905	6	.407
Salinidad (g/l)	.823	6	.093
SST	.768	6	.030
Antes DQO	.760	6	.025
DQOS	.660	6	.002
SST	.840	6	.131
Después DQO	.861	6	.191
DQOS	.880	6	.271

En la Tabla 9, se observa los resultados de la prueba de normalidad de los valores de parámetros fisicoquímicos. Se encontró que la temperatura ( $p=0.081$ ) tiene distribución normal; además, en la medición antes de los tratamientos, los parámetros conductividad eléctrica ( $p=0.134$ ) y salinidad ( $p=0.167$ ) tienen distribución normal; asimismo, en la medición después del tratamiento de las aguas residuales, los parámetros con distribución normal son conductividad eléctrica ( $p=0.665$ ), PH ( $p=0.407$ ), salinidad ( $p=0.093$ ), SST ( $p=0.131$ ), DQO ( $p=0.191$ ) y DQOS ( $p=0.271$ ).

El resto de los parámetros no tienen distribución normal ( $p<0.05$ ).

En el caso de los parámetros con distribución normal se aplicaron pruebas paramétricas para la comparación según dispositivos cavitantes y concentraciones; mientras que, para los parámetros que no tienen distribución normal se aplicaron pruebas no paramétricas.

## Comparación de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales de la industria de la curtiembre, antes y después de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica

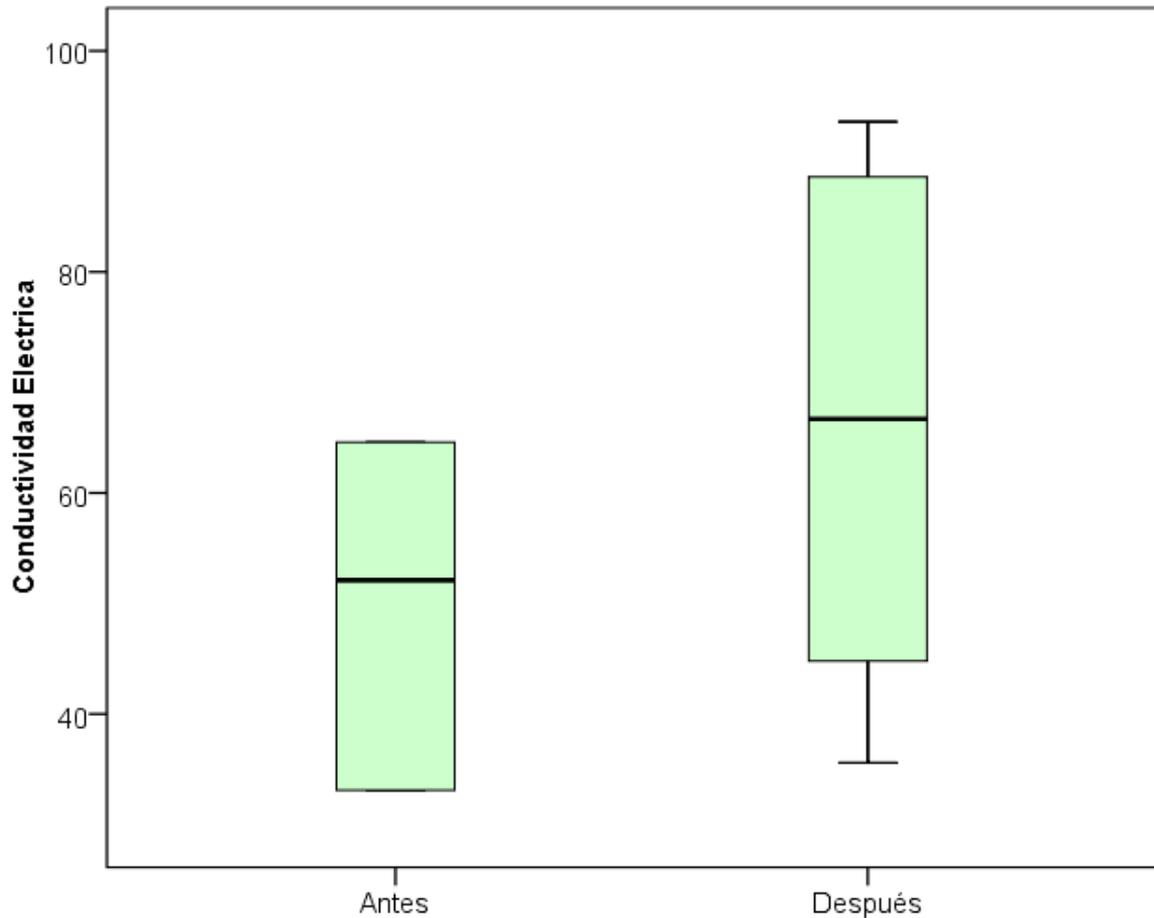
- Ho: Los parámetros fisicoquímicos son iguales antes y después de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica
- H1: Los parámetros fisicoquímicos son diferentes antes y después de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica

**Tabla 10.** Prueba de comparación de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales antes y después de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica.

Parámetros Físicos Químicos		N	Media	Prueba de comparación			
				t*	p	Z**	p
Conductividad eléctrica	Antes	6	49.9	-4.152	0.009		
	Después	6	66.0				
PH (unidad de pH)	Antes	6	9.1			-1,265	0.206
	Después	6	8.9				
Salinidad (g/l)	Antes	6	0.3	-3.162	0.025		
	Después	6	0.4				
SST	Antes	6	633.3			-2,201	0.028
	Después	6	296.3				
DQO	Antes	6	4,576.4			-2,201	0.028
	Después	6	3,442.4				
DQOS	Antes	6	2,705.3			-2,201	0.028
	Después	6	2,423.7				

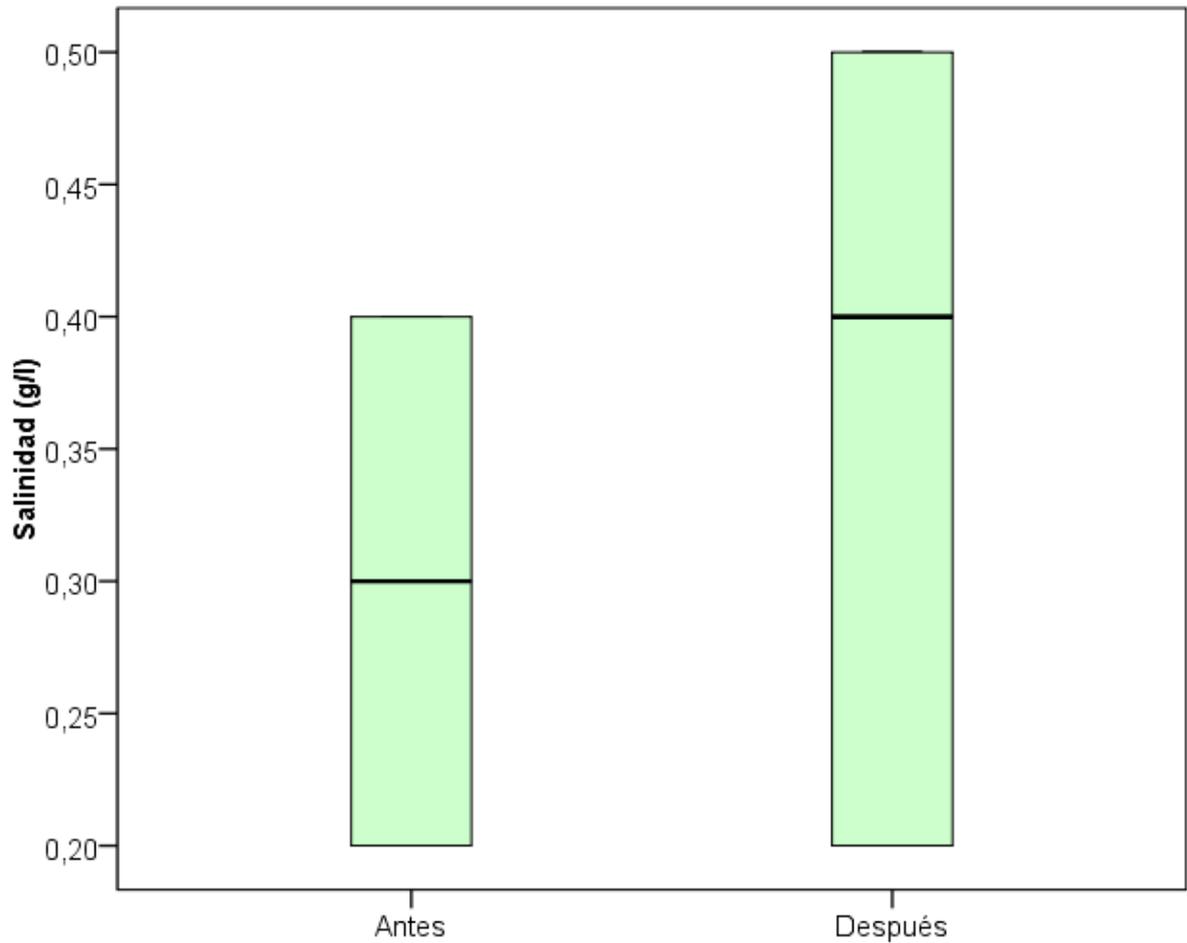
\* Prueba t Student. \*\* Prueba de Wilcoxon.

En la Tabla 10, se observa que los parámetros fisicoquímicos que difieren significativamente antes y después de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica son: conductividad eléctrica ( $p=0.009<0.05$ ), salinidad ( $p=0.025<0.05$ ), SST ( $p=0.028<0.05$ ), DQO ( $p=0.028<0.05$ ) y DQOS ( $p=0.028<0.05$ ).



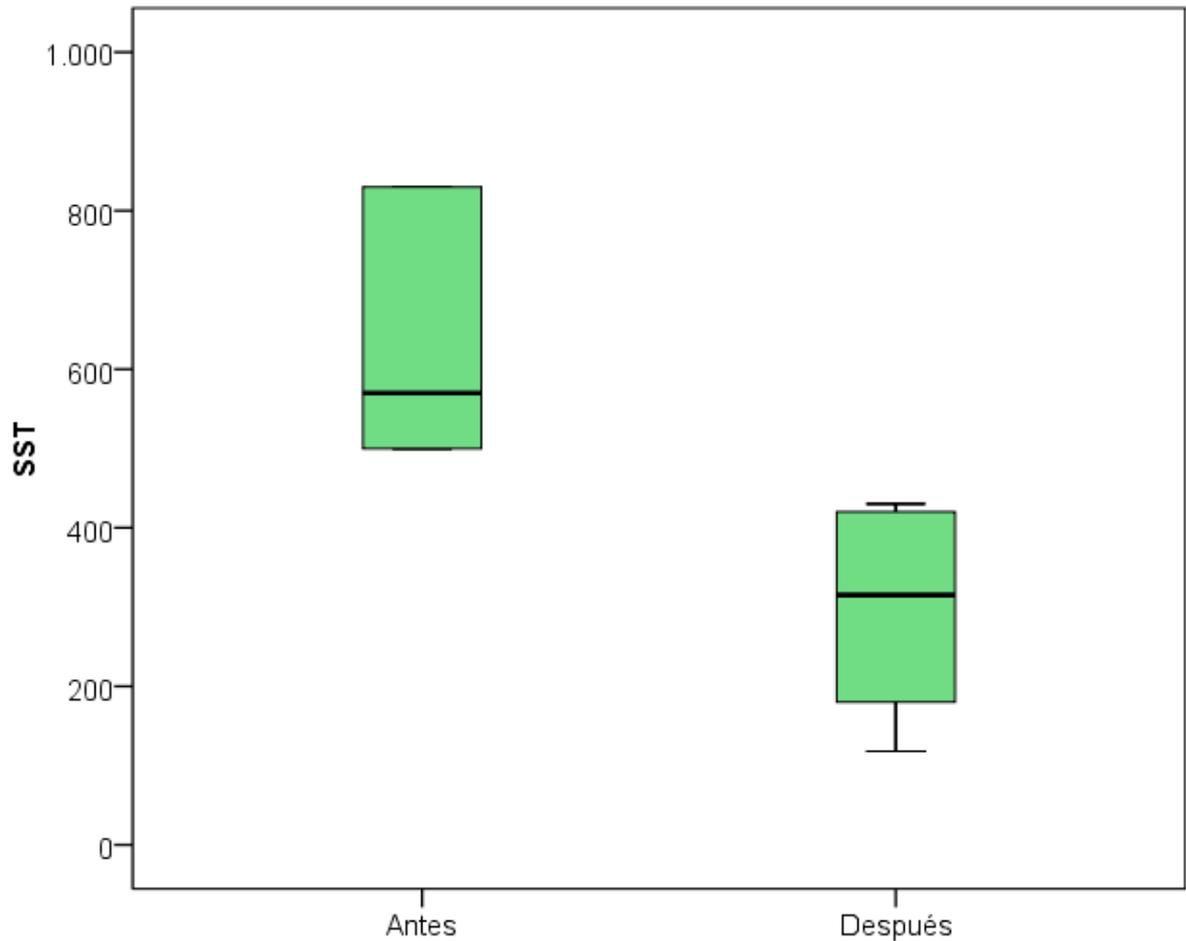
**Figura 9.** Comparación de la conductividad eléctrica en aguas residuales antes y después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica.

En la Figura 9, comparamos el parámetro de la conductividad eléctrica y se puede visualizar que el valor obtenido después de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica es superior en un 32.3% que el valor obtenido antes.



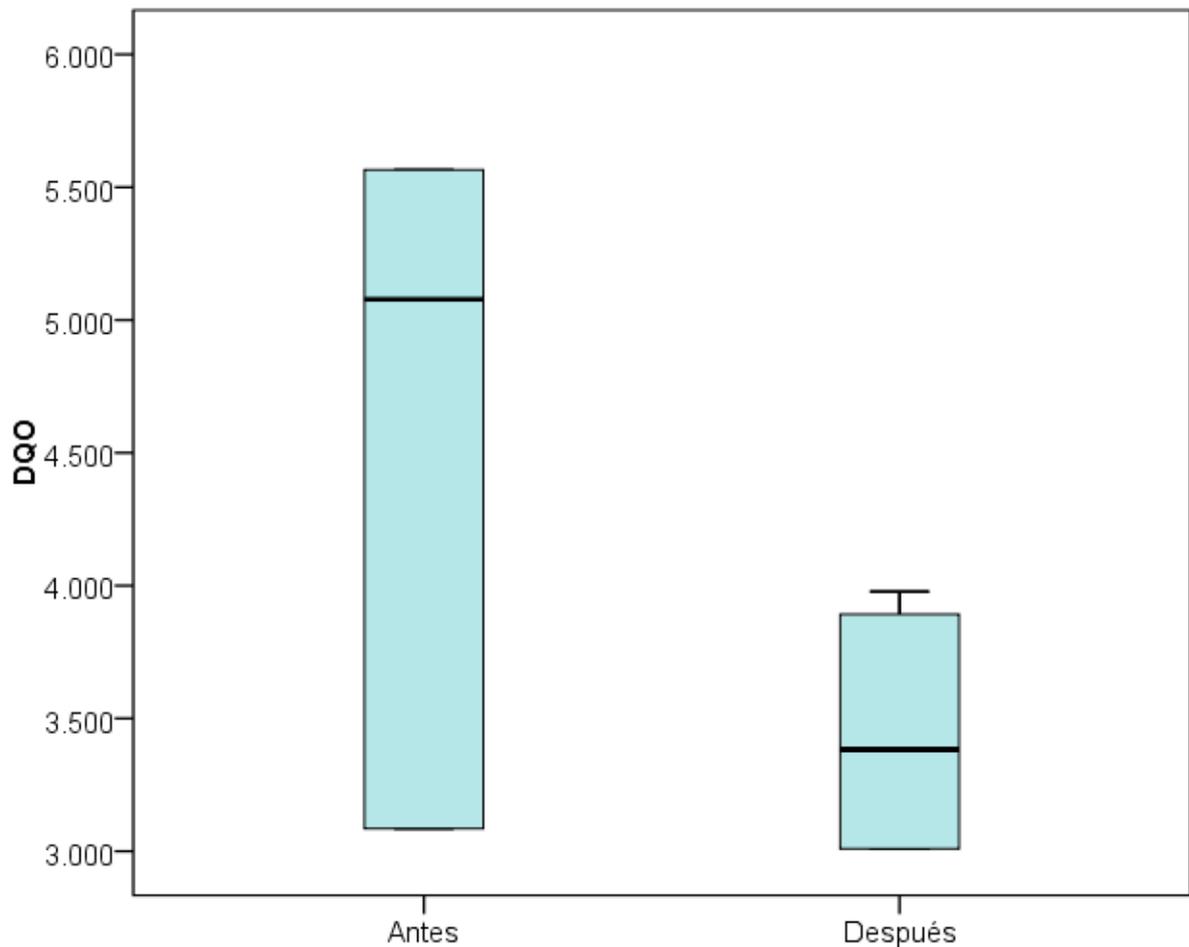
**Figura 10.** Comparación de la salinidad en aguas residuales antes y después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica.

En la Figura 10, comparamos el parámetro fisicoquímico de salinidad y se puede apreciar que el valor obtenido después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica es un 26.7% superior que el valor promedio obtenido antes.



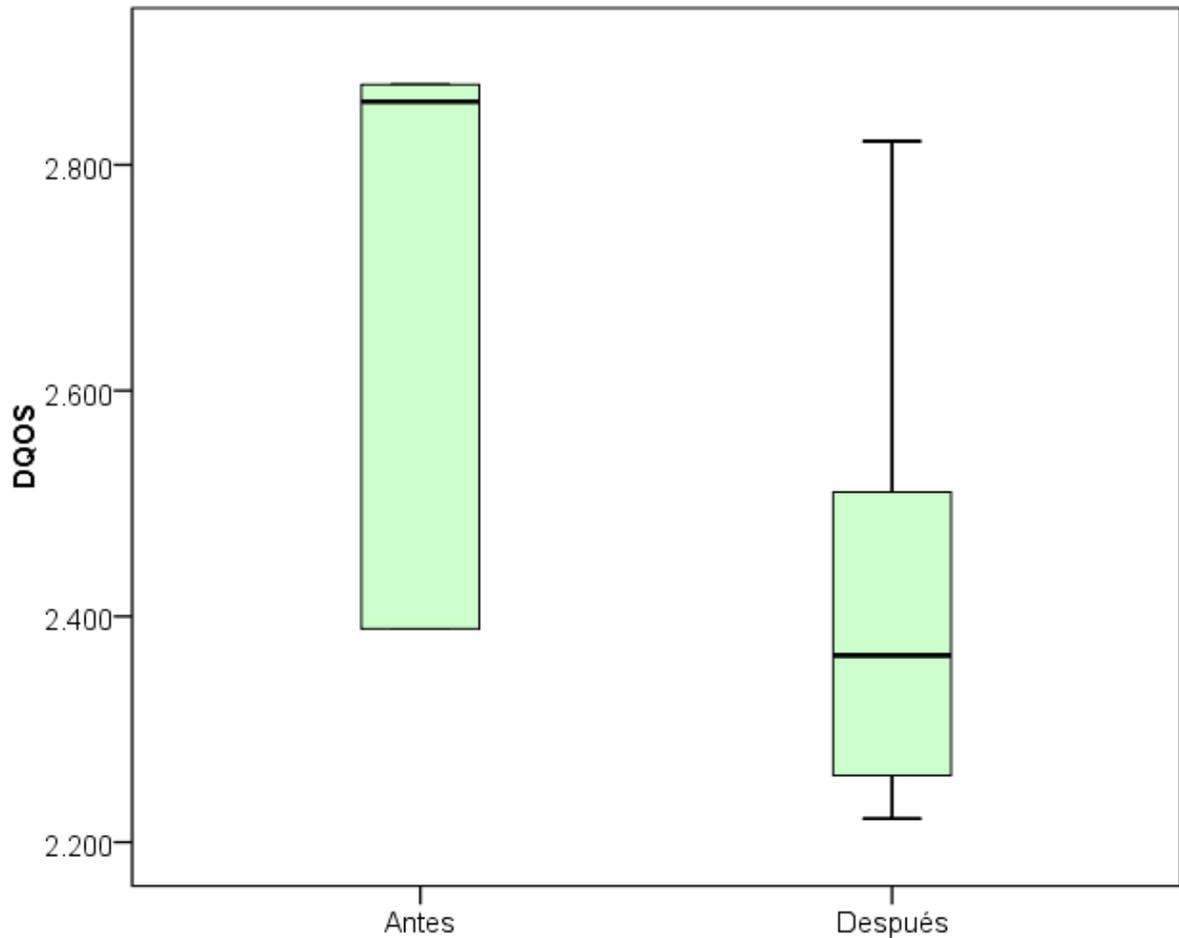
**Figura 11.** Comparación de SST en aguas residuales antes y después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica.

En la Figura 11, comparamos el parámetro fisicoquímico de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y podemos apreciar que el valor obtenido después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica, tiene una reducción del 53.2% con respecto al valor obtenido antes.



**Figura 12.** Comparación de DQO en aguas residuales antes y después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica.

En la Figura 12, comparamos el parámetro fisicoquímico de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), y podemos observar que el valor obtenido después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica se ha reducido en un 24.8% con respecto al valor obtenido antes.



**Figura 13.** Comparación de DQOS en aguas residuales antes y después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica.

En la Figura 13, comparamos el parámetro fisicoquímico de la Demanda Química de Oxígeno Soluble (DQOS), en el cual observamos que el valor obtenido después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica se ha reducido en un 10.4%, en relación con el valor obtenido antes.

**4.2. Comparación de los dispositivos cavitantes (tubo Venturi y placa orificio) para la reducción de los parámetros físicos de las aguas residuales de la industria curtiembre, mediante la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica, Lima 2021.**

**Tabla 11.** Medidas descriptivas de los parámetros físicos de las aguas residuales.

Parámetros Físicos Químicos	Dispositivos cavitantes				Concentración					
	Venturi		Orificio		15%		30%		45%	
	Media	SD	Media	SD	Media	SD	Media	SD	Media	SD
Tiempo (min)	30	20.5	30	20.5	30	20.5	30	20.5	30	20.5
Caudal (l/min)	79	2	96	22	95	15	96	18	72	7
Presión de la Bomba (bar)	8.6	0.2	7.0	0.6	7.5	1.3	8.0	0.8	8.0	0.5
Presión de Entrada (bar)	8.5	0.1	6.8	0.5	7.4	1.3	7.7	0.8	7.9	0.6
Presión de Salida (bar)	-0.5	0.2	-0.1	0.1	-0.2	0.3	-0.3	0.2	-0.3	0.2
Temperatura (°C)	41.1	11.7	41.7	12.7	41.3	11.5	41.1	13.4	41.9	12.2

En la Tabla 11, se observa las medidas descriptivas de los parámetros físicos según los dispositivos cavitantes y concentración, obteniéndose los siguientes resultados promedios:

- En el caso del tiempo, el promedio del tiempo que duró el proceso, es igual para ambos dispositivos cavitantes y diferentes concentraciones.
- Con respecto al caudal, se ha determinado que con el dispositivo cavitante placa orificio se requiere un 21.5% más de volumen de agua que el tubo Venturi. Mientras que para las concentraciones de 30% fue superior en 1% que la registrada en la concentración al 15% y superior en 25% en comparación con la concentración de 45%.
- Con respecto a la presión de la bomba, se observa que, la placa orificio registra una presión 18.6% inferior que la registrada en el tubo Venturi; mientras que, para las concentraciones de 30% y 45% se registra una presión superior en 6.7%, con relación a la registrada para la concentración de 15%.

- Con respecto a la presión de entrada, se observa que, la placa orificio registra una presión 20% inferior que la registrada en el tubo Venturi; mientras que, la presión de entrada de la concentración de 45% es un 6.8% mayor que la concentración de 15% y 2.6% mayor que la concentración 30%.
- Con respecto a la presión de salida, se observa que, la registrada en la placa orificio es un 80% mayor que la registrada en el tubo Venturi; mientras que, la presión de salida de la concentración de 30% y 45% es un 50% menor que la presión de salida de la concentración de 15%.
- Con respecto a la temperatura, se observa que la temperatura de la placa orificio es 1.5% mayor que la registrada en la placa orificio; mientras que, la temperatura de la concentración de 45% es un 1.5% que la registrada en la concentración de 15% y 1.9% mayor que la registrada en la concentración de 30%.

## Comparación de los parámetros físicos según dispositivos cavitantes

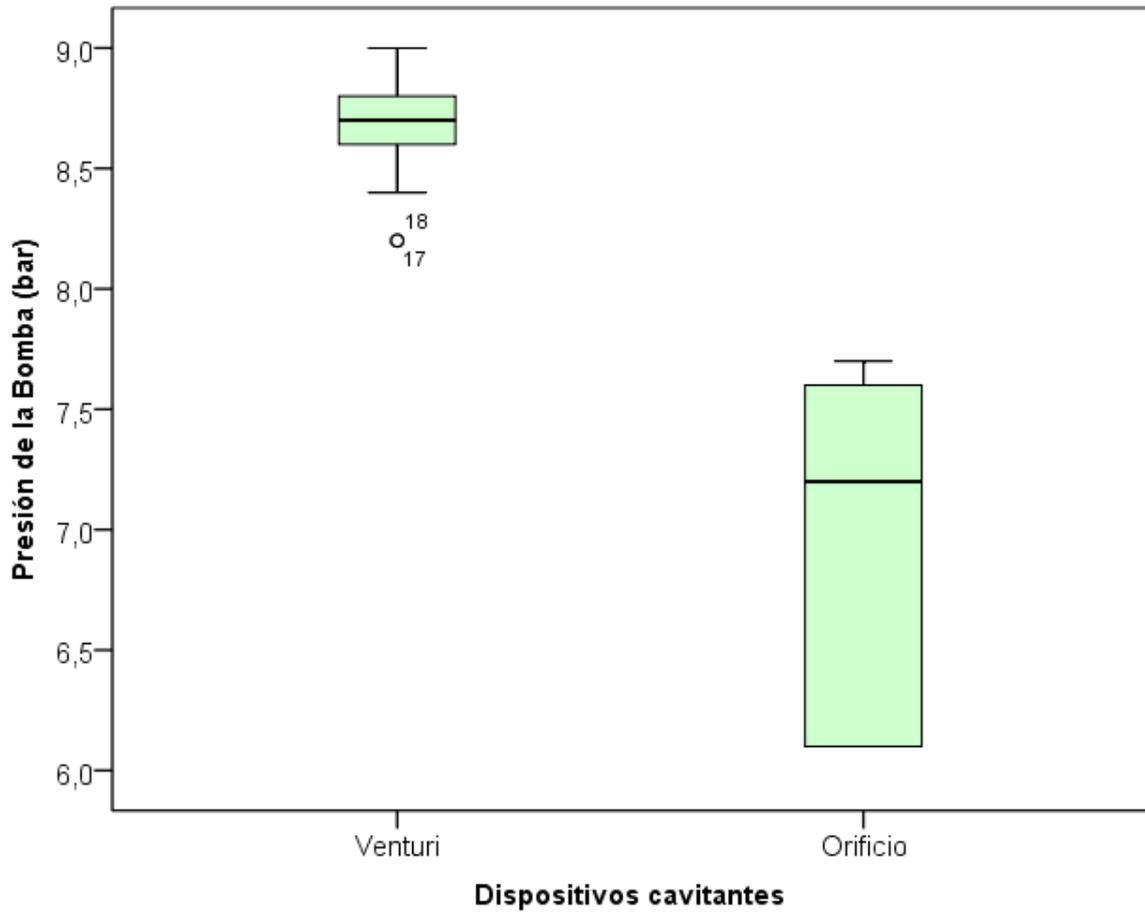
- Ho: Los parámetros físicos no difieren según los dispositivos cavitantes.
- H1: Los parámetros físicos difieren según los dispositivos cavitantes.

**Tabla 12.** Prueba de comparación de los parámetros físicos de las aguas residuales según dispositivos cavitantes.

Parámetros Físicos Químicos	Dispositivos cavitantes	N	Media	Prueba de comparación			
				Z*	p	t**	p
Tiempo (min)	Venturi	21	30.0	-1.736	0.083		
	Orificio	21	30.0				
Caudal (l/min)	Venturi	21	79.3	-1.938	0.053		
	Orificio	21	96.2				
Presión de la Bomba (bar)	Venturi	21	8.6	-5.576	0.000		
	Orificio	21	7.0				
Presión de Entrada (bar)	Venturi	21	8.5	-5.590	0.000		
	Orificio	21	6.8				
Presión de Salida (bar)	Venturi	21	-0.5	-5.242	0.000		
	Orificio	21	-0.1				
Temperatura (°C)	Venturi	21	41.1			-0.175	0.862
	Orificio	21	41.7				

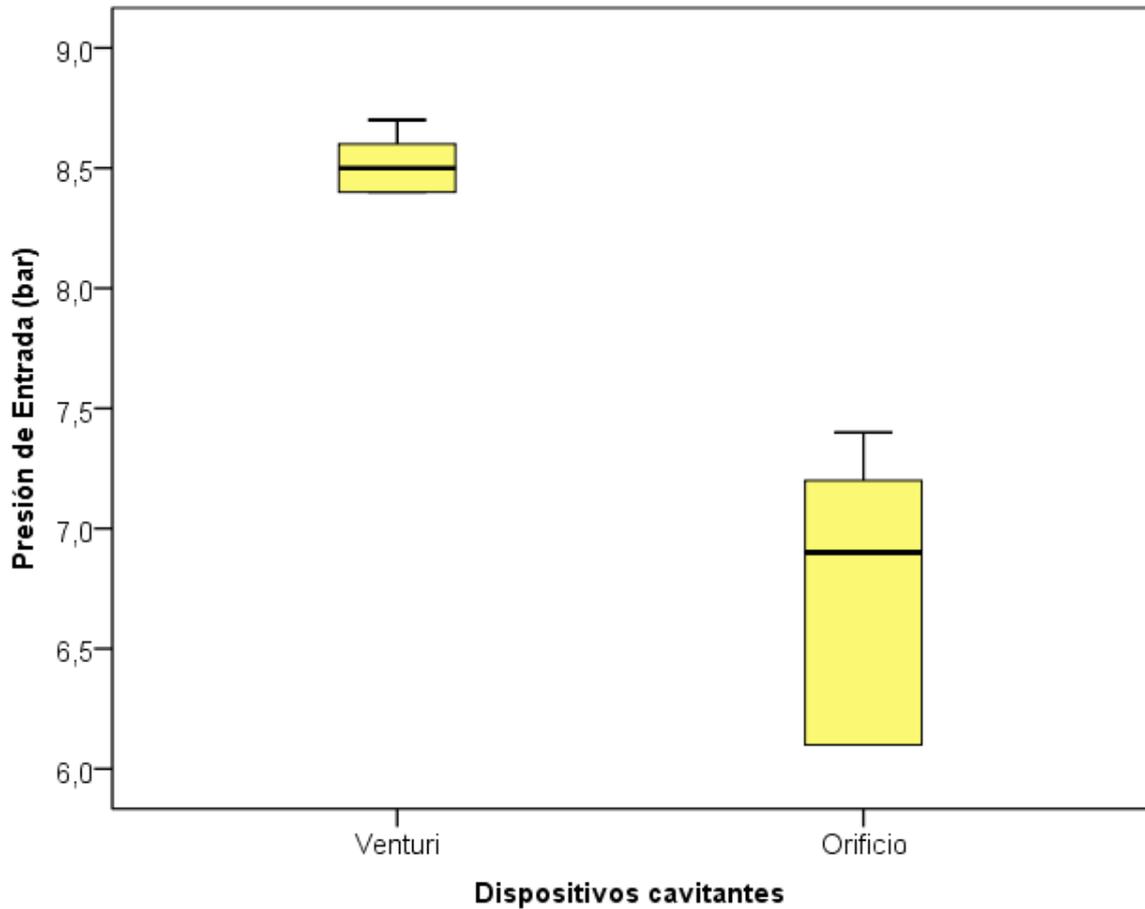
\* Prueba U de Mann-Whitney. \*\* Prueba t Student.

En la Tabla 12, se observa que, luego de la prueba de comparación, los parámetros físicos que difieren significativamente según los dispositivos cavitantes son: presión de la bomba ( $p < 0.05$ ), presión de entrada ( $p < 0.05$ ) y presión de salida ( $p < 0.05$ ).



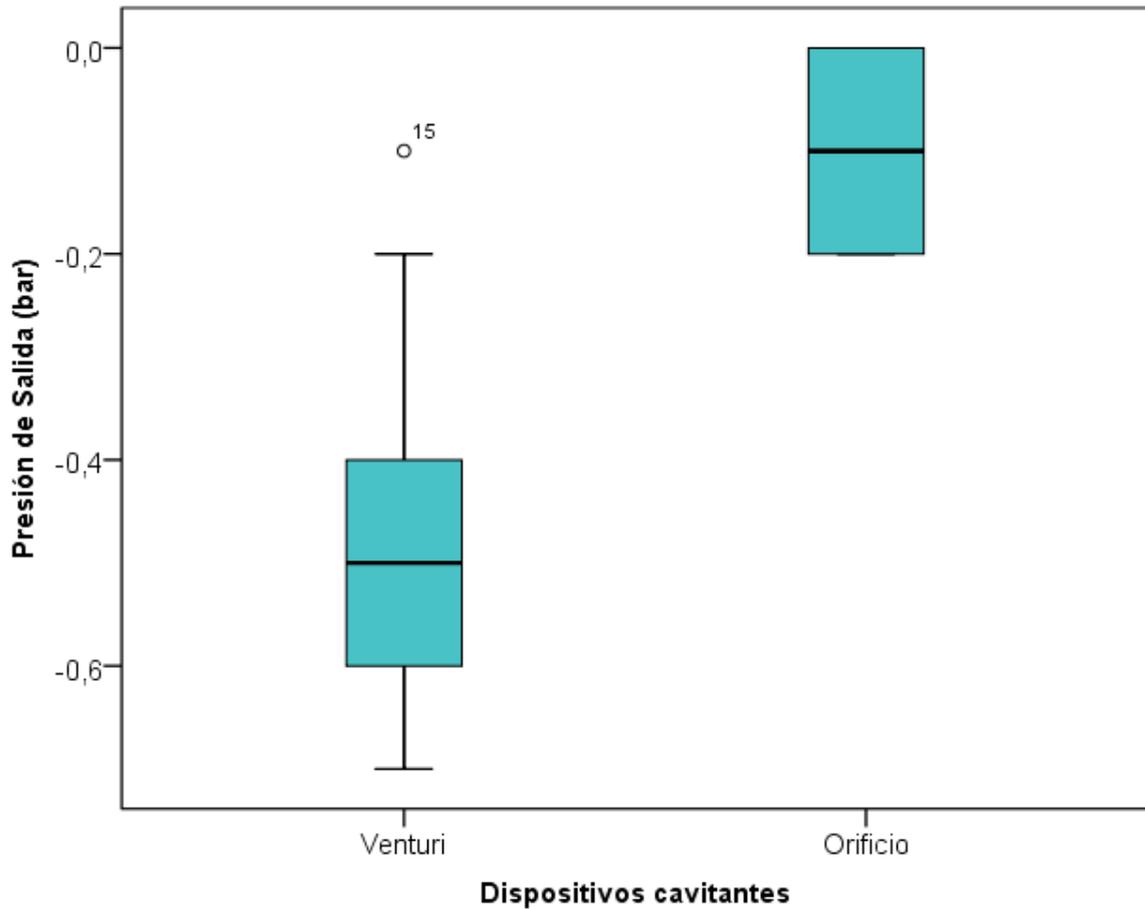
**Figura 14.** Comparación de la presión de la bomba en aguas residuales según dispositivos cavitantes.

En la Figura 14, se observa que, al comparar los valores promedios de la presión de la bomba entre dispositivos cavitantes, los resultados del tubo Venturi son superiores en un 22.9%, con respecto a los resultados de la placa orificio.



**Figura 15.** Comparación de la presión de entrada en aguas residuales según dispositivos cavitantes.

En la Figura 15, se observa que, al comparar los valores promedios de la presión de entrada entre dispositivos cavitantes, los resultados del tubo Venturi son superiores en un 25%, con respecto a los resultados de la placa orificio.



**Figura 16.** Comparación de la presión de salida en aguas residuales según dispositivos cavitantes.

En la Figura 16, se observa que, al comparar los valores promedios de la presión de salida entre dispositivos cavitantes, los resultados de la placa orificio son superiores en un 80% con respecto al tubo Venturi.

## Comparación de los parámetros físicos según concentraciones

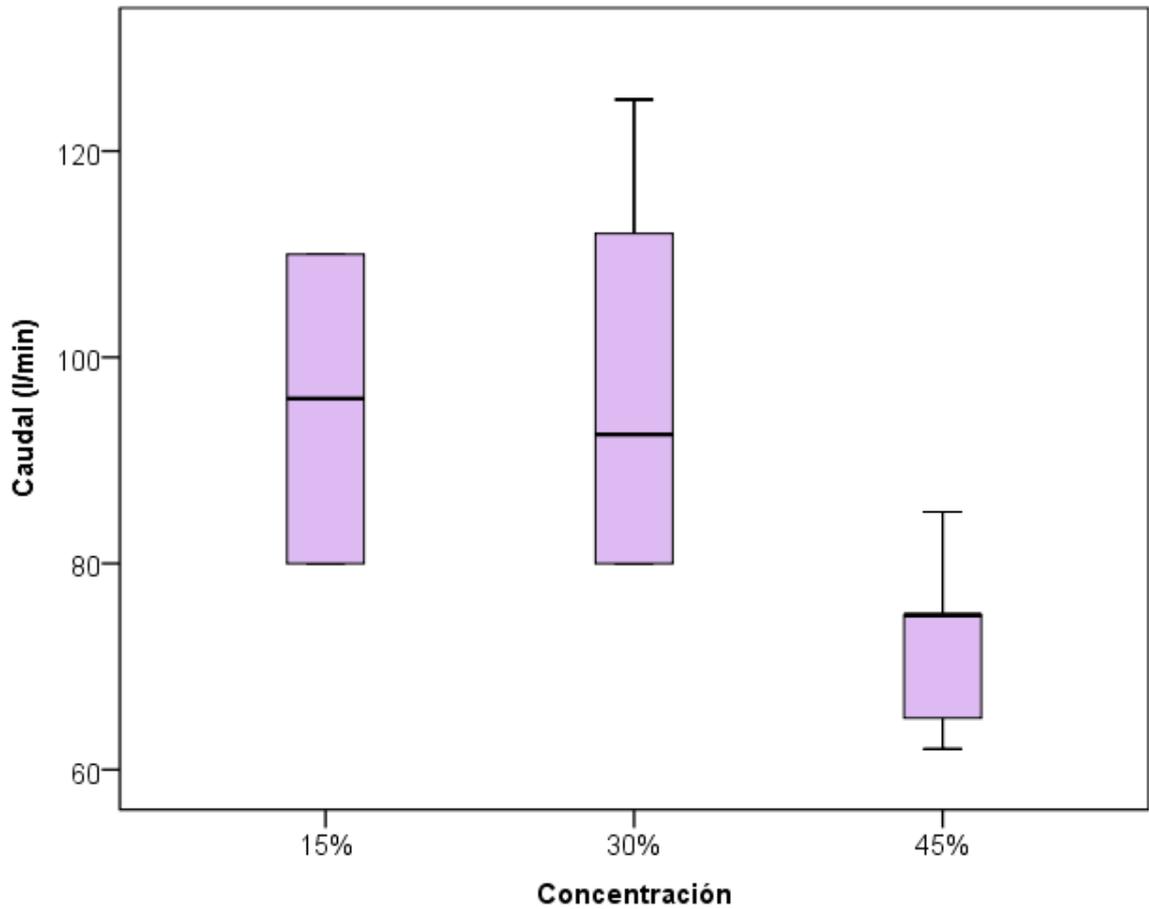
- Ho: Los parámetros físicos no difieren según las concentraciones.
- H1: Los parámetros físicos difieren según las concentraciones.

**Tabla 13.** Prueba de comparación de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales según concentración.

Parámetros fisicoquímicos	Concentración	N	Media	Prueba de comparación			
				H*	p	F**	p
Tiempo (min)	15%	14	30.0	6.028	0.049		
	30%	14	30.0				
	45%	14	30.0				
Caudal (l/min)	15%	14	95.2	22.962	0.000		
	30%	14	96.3				
	45%	14	71.8				
Presión de la Bomba (bar)	15%	14	7.5	0.197	0.906		
	30%	14	8.0				
	45%	14	8.0				
Presión de Entrada (bar)	15%	14	7.4	0.384	0.826		
	30%	14	7.7				
	45%	14	7.9				
Presión de Salida (bar)	15%	14	-0.2	1.158	0.560		
	30%	14	-0.3				
	45%	14	-0.3				
Temperatura (°C)	15%	14	41.3			0.018	0.982
	30%	14	41.1				
	45%	14	41.9				

\* Prueba de Kruskal-Wallis. \*\* ANOVA de un factor.

En la Tabla 13, luego de realizar la prueba de comparación, se observa que el parámetro físico que difiere significativamente según las concentraciones es el caudal ( $p < 0.05$ ).



**Figura 17.** Comparación del caudal en aguas residuales según concentración.

En la Figura 17, se observa que, al comparar los valores promedio del caudal, observamos que, para la concentración de 30%, se requiere un 34.1% más caudal que la concentración de 45%, y para la concentración de 15% se requiere un 32.6% más que la concentración de 45%.

**4.3. Determinación del grado de eficiencia del sistema en distintas concentraciones de las aguas residuales de la industria de la curtiembre, mediante la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica, Lima 2021.**

- Ho: Los parámetros fisicoquímicos después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica en las aguas residuales no difieren según las concentraciones.
- H1: Los parámetros fisicoquímicos después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica en las aguas residuales difieren según las concentraciones.

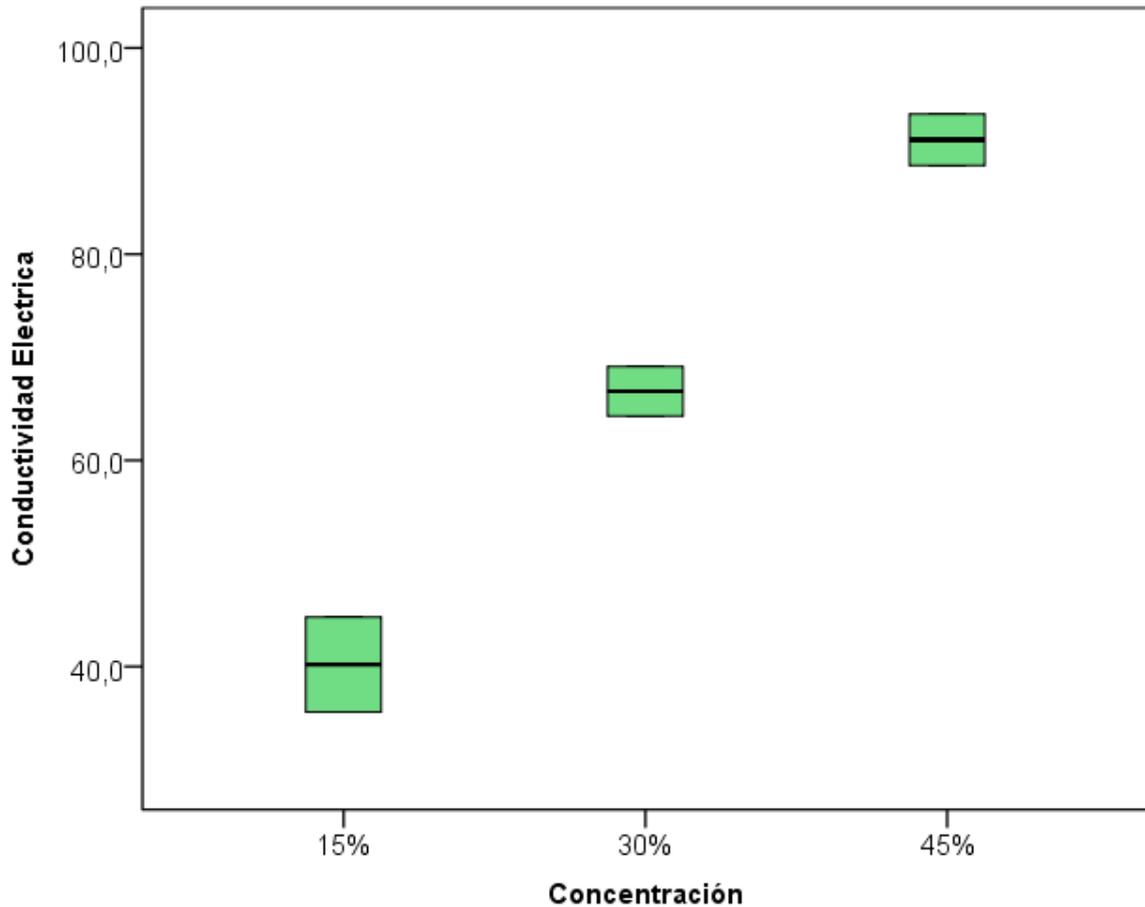
**Tabla 14.** Prueba de comparación de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica según concentraciones.

Parámetros fisicoquímicos	Concentraciones	N	Media	Prueba de comparación			
				H*	p	F**	p
Conductividad eléctrica (uS/cm)	15%	2	40.2				
	30%	2	66.7			58.614	0.004
	45%	2	91.1				
PH (unidad de pH)	15%	2	9.3				
	30%	2	8.9	4.706	0.095		
	45%	2	8.6				
Salinidad (g/l)	15%	2	0.2				
	30%	2	0.4			---	---
	45%	2	0.5				
SST (mg/L)	15%	2	425				
	30%	2	149	4.571	0.102		
	45%	2	315				
DQO (mg/L)	15%	2	3,008.9				
	30%	2	3,383.5	4.571	0.102		

	45%	2	3,934.8		
	15%	2	2,277		
DQOS (mg/L)	30%	2	2,610	2.571	0.276
	45%	2	2,385		

\* Prueba de Kruskal-Wallis. \*\* ANOVA de un factor.

En la Tabla 14, luego de realizar la prueba de comparación, se observa que después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica el parámetro que difiere significativamente, es la conductividad eléctrica, donde el valor de probabilidad  $p=0.004$  ( $<0.05$ ).



**Figura 18.** Comparación de la conductividad eléctrica de las aguas residuales después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica según concentraciones.

En la Figura 18, comparamos los valores promedio del parámetro de la conductividad eléctrica según concentraciones, observando que los resultados de la concentración de 30% es superior en un 65.9% con respecto a la concentración de 15%, y la concentración de 45% es superior en un 126.6% que la concentración de 15%.

**Comparación de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica, según dispositivos cavitantes.**

- Ho: Los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica no difieren según los dispositivos cavitantes.
- H1: Los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica difieren según los dispositivos cavitantes.

**Tabla 15.** Prueba de comparación de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica según dispositivos cavitantes.

Parámetros fisicoquímicos	Dispositivos cavitantes	N	Media	Prueba de comparación			
				t**	p	Z*	p
Conductividad eléctrica	Venturi	3	66.1	0.010	0.993		
	Orificio	3	65.9				
PH (unidad de pH)	Venturi	3	8.9			0.000	1.000
	Orificio	3	8.9				
Salinidad (g/l)	Venturi	3	0.4	0.000	1.000		
	Orificio	3	0.4				
SST	Venturi	3	336			-0.218	0.827
	Orificio	3	257				
DQO	Venturi	3	3,359.3			-0.655	0.513
	Orificio	3	3,525.4				
DQOS	Venturi	3	2,293			-1.528	0.127
	Orificio	3	2,555				

\* Prueba t Student. \*\* Prueba U de Mann-Whitney.

En la Tabla 12, al realizar la prueba de comparación, observamos que, todos los valores de probabilidad (p) de los parámetros fisicoquímicos de las aguas

residuales después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica según dispositivos cavitantes, son mayores a 0.05; esto indica que los parámetros medidos no tienen diferencias significativas según los dispositivos cavitantes.

**Porcentaje de variación de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales después de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica, según concentraciones y dispositivos cavitantes.**

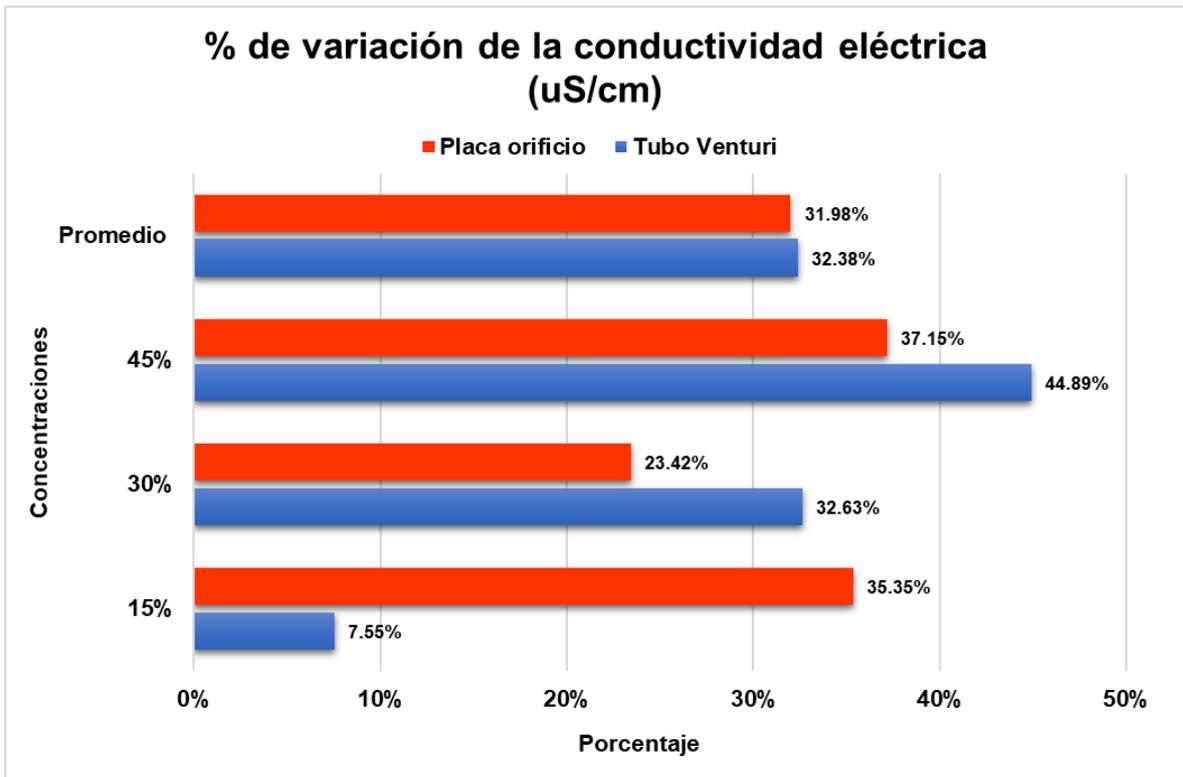
En las Tablas 16 y 17, se muestran los porcentajes de la variación de los valores de los parámetros fisicoquímicos de las aguas tratando mediante el proceso de cavitación hidrodinámica y dispositivos cavitante.

**Tabla 16.** Porcentaje de variación de los parámetros fisicoquímicos según concentraciones del dispositivo cavitante tubo Venturi.

Parámetros fisicoquímicos	Dispositivo cavitante tubo Venturi											
	Concentración al 15%			Concentración al 30%			Concentración al 45%			Promedio		
	Antes	Después	% de reducción	Antes	Después	% de reducción	Antes	Después	% de reducción	Antes	Después	% de reducción
<b>Conductividad Eléctrica (uS/cm)</b>	33.10	35.60	<b>7.55%</b>	52.10	69.10	<b>32.63%</b>	64.60	93.60	<b>44.89%</b>	49.93	66.10	<b>32.38%</b>
<b>PH (unidad de pH)</b>	9.90	9.30	<b>-6.06%</b>	8.70	8.90	<b>2.30%</b>	8.80	8.50	<b>-3.41%</b>	9.13	8.90	<b>-2.55%</b>
<b>Salinidad (g/l)</b>	0.20	0.20	<b>0.00%</b>	0.30	0.40	<b>33.33%</b>	0.40	0.50	<b>25.00%</b>	0.30	0.37	<b>22.22%</b>
<b>SST (mg/L)</b>	500.00	420.00	<b>-16.00%</b>	830.00	180.00	<b>-78.31%</b>	570.00	407.00	<b>-28.60%</b>	633.33	335.67	<b>-47.00%</b>
<b>DQO (mg/L)</b>	3085.30	3008.70	<b>-2.48%</b>	5078.30	3177.40	<b>-37.43%</b>	5565.70	3891.90	<b>-30.07%</b>	4576.43	3359.33	<b>-26.59%</b>
<b>DQOS (mg/L)</b>	2389.00	2221.00	<b>-7.03%</b>	2856.00	2398.00	<b>-16.04%</b>	2871.00	2259.00	<b>-21.32%</b>	2705.33	2292.67	<b>-15.25%</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	22.40	51.10	<b>128.13%</b>	20.80	54.90	<b>163.94%</b>	24.20	59.90	<b>147.52%</b>	22.47	55.30	<b>146.14%</b>

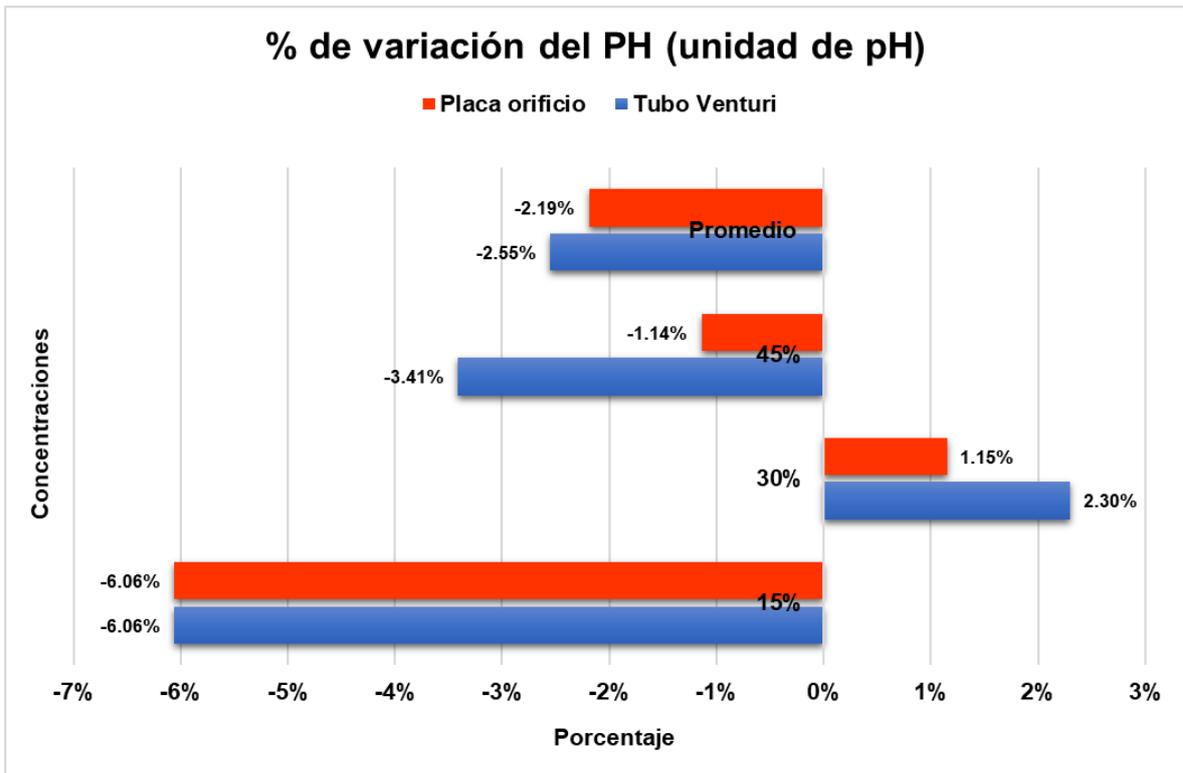
**Tabla 17.** Porcentaje de variación de los parámetros fisicoquímicos según concentraciones del dispositivo cavitante placa orificio.

Parámetros fisicoquímicos	Dispositivo cavitante placa orificio											
	Concentración al 15%			Concentración al 30%			Concentración al 45%			Promedio		
	Antes	Después	% de reducción	Antes	Después	% de reducción	Antes	Después	% de reducción	Antes	Después	% de reducción
<b>Conductividad Eléctrica (uS/cm)</b>	33.10	44.80	<b>35.35%</b>	52.10	64.30	<b>23.42%</b>	64.60	88.60	<b>37.15%</b>	49.93	65.90	<b>31.98%</b>
<b>PH (unidad de pH)</b>	9.90	9.30	<b>-6.06%</b>	8.70	8.80	<b>1.15%</b>	8.80	8.70	<b>-1.14%</b>	9.13	8.93	<b>-2.19%</b>
<b>Salinidad (g/l)</b>	0.20	0.20	<b>0.00%</b>	0.30	0.40	<b>33.33%</b>	0.40	0.50	<b>25.00%</b>	0.30	0.37	<b>22.22%</b>
<b>SST (mg/L)</b>	500.00	430.00	<b>-14.00%</b>	830.00	118.00	<b>-85.78%</b>	570.00	223.00	<b>-60.88%</b>	633.33	257.00	<b>-59.42%</b>
<b>DQO (mg/L)</b>	3085.30	3009.00	<b>-2.47%</b>	5078.30	3589.50	<b>-29.32%</b>	5565.70	3977.60	<b>-28.53%</b>	4576.43	3525.37	<b>-22.97%</b>
<b>DQOS (mg/L)</b>	2389.00	2333.00	<b>-2.34%</b>	2856.00	2821.00	<b>-1.23%</b>	2871.00	2510.00	<b>-12.57%</b>	2705.33	2554.67	<b>-5.57%</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	22.40	57.40	<b>156.25%</b>	18.70	58.60	<b>213.37%</b>	21.10	53.10	<b>151.66%</b>	20.73	56.37	<b>171.86%</b>



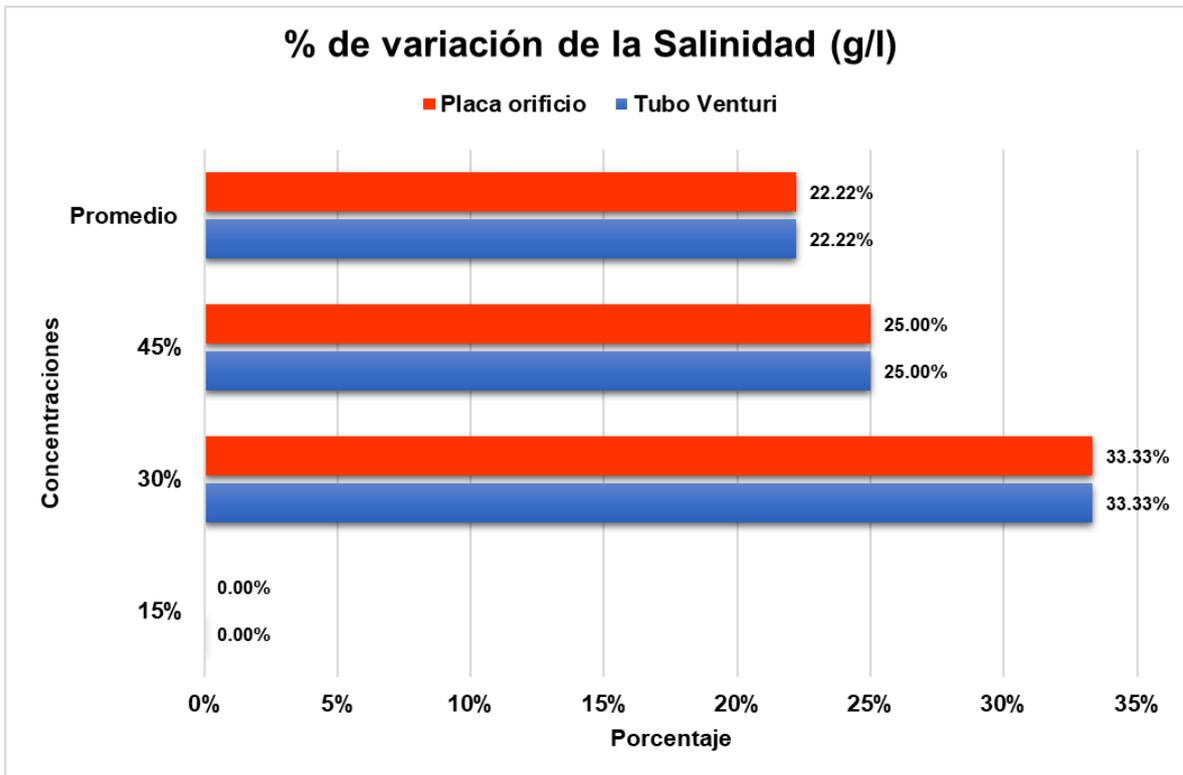
**Figura 19.** Porcentaje de variación de la conductividad eléctrica por concentraciones y dispositivos cavitantes.

En la Figura 19, observamos un incremento de la conductividad eléctrica en ambos dispositivos cavitantes, el cual es mayor para el tubo Venturi en las concentraciones de 30% y 45%.



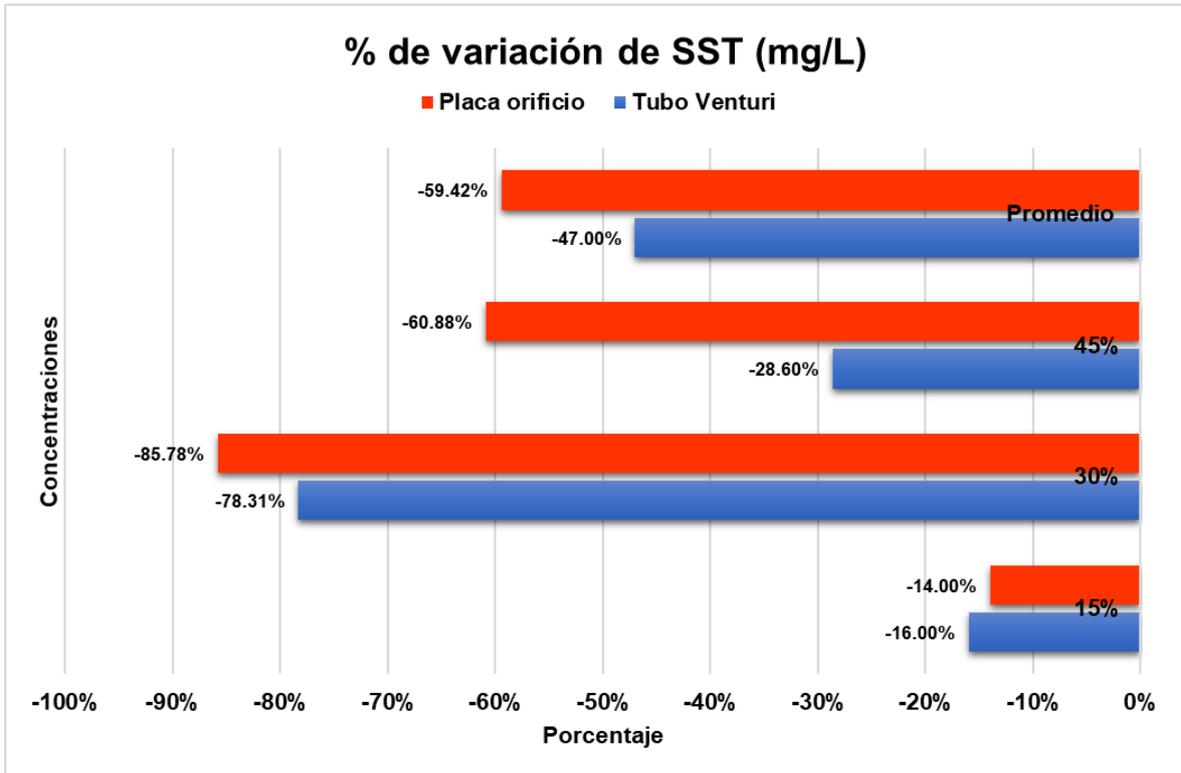
**Figura 20.** Porcentaje de variación del potencial de hidrógeno (pH) por concentraciones y dispositivos cavitantes.

En la Figura 20, observamos una reducción del potencial de hidrógeno (pH) en ambos dispositivos cavitantes en las concentraciones de 15% y 45%, mientras que para la concentración de 30% se observa un incremento en ambos dispositivos cavitantes.



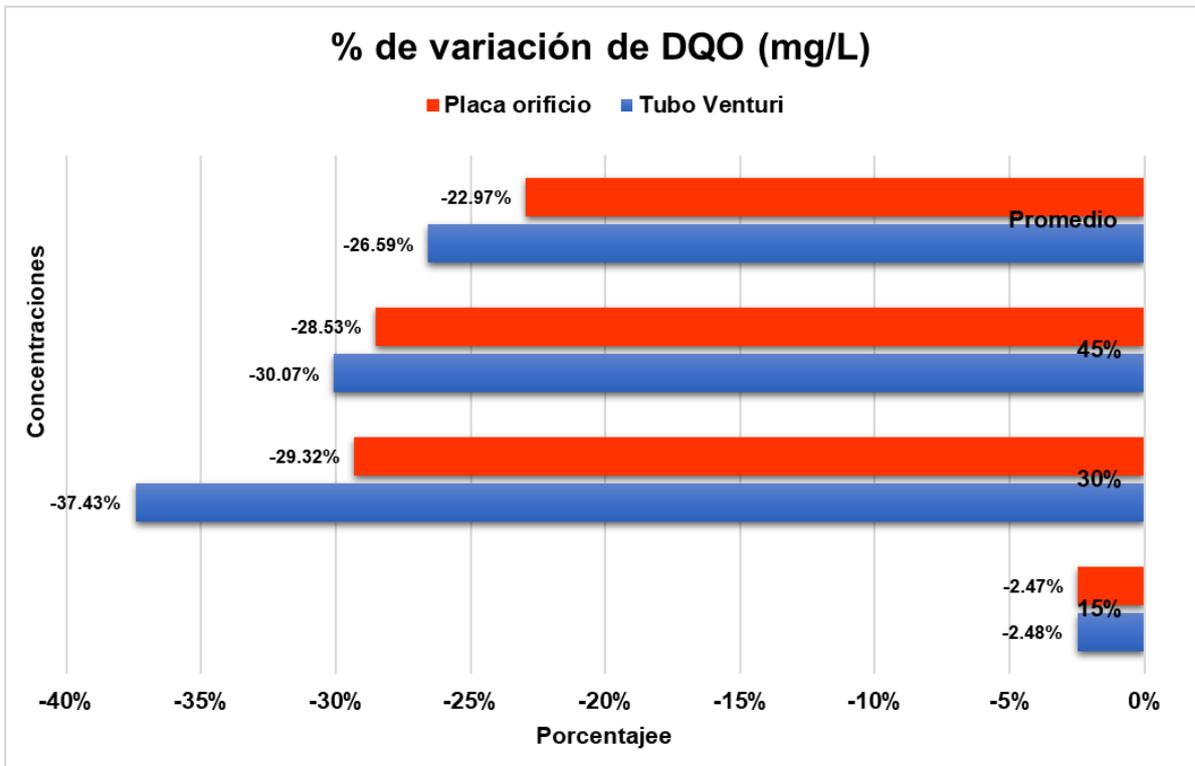
**Figura 21.** Porcentaje de variación de la salinidad por concentraciones y dispositivos cavitantes.

En la Figura 21, observamos un incremento de la salinidad en ambos dispositivos cavitantes en las concentraciones de 30% y 45%, mientras que para la concentración de 15% no se observa ninguna variación en ambos dispositivos cavitantes.



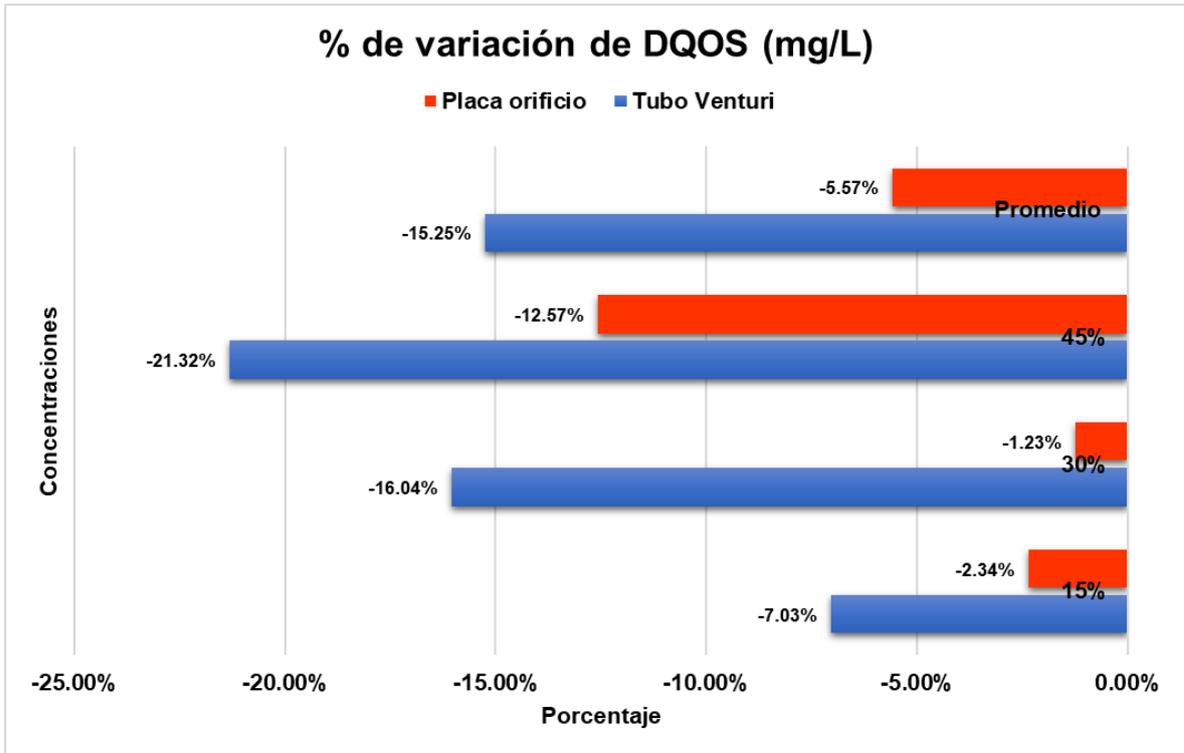
**Figura 22.** Porcentaje de variación de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) por concentraciones y dispositivos cavitantes.

En la Figura 22, observamos una reducción de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) en ambos dispositivos cavitantes y concentraciones, evidenciándose una mayor reducción con la placa orificio.



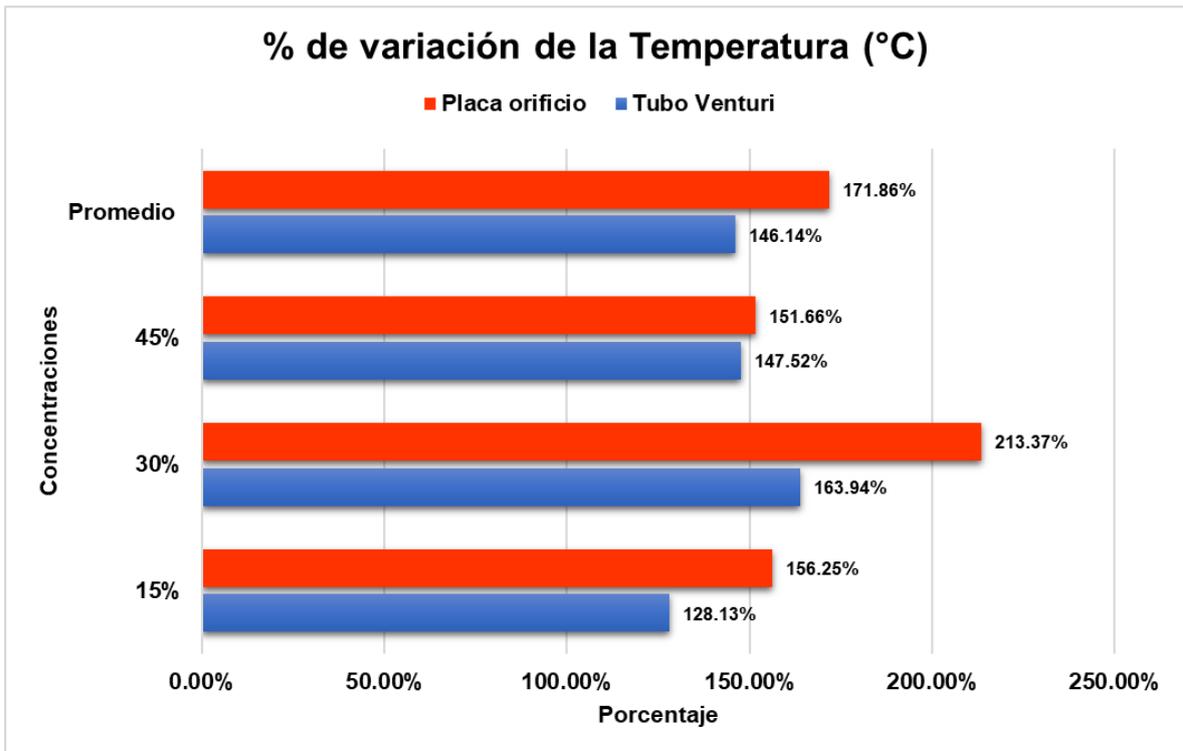
**Figura 23.** Porcentaje de variación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) por concentraciones y dispositivos cavitantes.

En la Figura 23, observamos una reducción la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en ambos dispositivos cavitantes y concentraciones, evidenciándose una mayor reducción con el tubo Venturi.



**Figura 24.** Porcentaje de variación de la Demanda Química de Oxígeno Soluble (DQOS) por concentraciones y dispositivos cavitantes.

En la Figura 24, observamos una reducción la Demanda Química de Oxígeno Soluble (DQOS) en ambos dispositivos cavitantes y concentraciones, evidenciándose una mayor reducción con el tubo Venturi.



**Figura 25.** *Porcentaje de variación de la temperatura por concentraciones y dispositivos cavitantes.*

En la Figura 25, observamos un incremento de la temperatura en ambos dispositivos cavitantes y concentraciones, evidenciándose un mayor incremento con la placa.

## V. DISCUSIÓN

La presente investigación tuvo como finalidad determinar la reducción de los parámetros fisicoquímicos, mediante la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica en el tratamiento de aguas residuales de la industria de la curtiembre. Asimismo, planteamos analizar las características de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales de la industria de la curtiembre; comparar los dispositivos cavitantes (tubo Venturi y placa orificio) para la reducción de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales de la industria curtiembre; y determinar el grado de eficiencia del sistema en distintas concentraciones de las aguas residuales de la industria curtiembre (15%, 30% y 45%).

Se analizaron las características de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales de la industria de la curtiembre, antes y después de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica, determinándose que, antes del tratamiento los resultados obtenidos de SST, DQO y pH, exceden los valores máximos admisibles (VMA) para descargas al sistema de alcantarillado, y después del tratamiento se encuentran dentro de los VMA los Sólidos Suspendidos Totales (SST), mientras que la DQO, la temperatura y el pH excedieron los VMA. Los demás parámetros analizados no cuentan con VMA para descargas al sistema de alcantarillado, por lo cual, los resultados obtenidos son referenciales. Resultados similares fueron obtenidos por (Nieto, S. 2019). quien determinó la eficacia de la cavitación hidrodinámica para los parámetros físicoquímicos, logró determinar que hay una gran eficiencia y reducción, teniendo como resultado la reducción más alta en ph fue de 27,79% , los sólidos suspendidos totales lograron alcanzar su pico máximo de reducción de 82,82%, la demanda biológica de oxígeno logró reducir 75,40%,y por último la demanda química de oxígeno tuvo como reducción máxima 70,08%, lo cual demuestra que la cavitación hidrodinámica es eficaz debido a que reduce los niveles de contaminación de las aguas residuales de dicha industria. Asimismo, (Cadenas y Santos, 2020) en su investigación llamada "Ozono y cavitación hidrodinámica para disminución de la carga orgánica y nitrogenada en aguas residuales del camal, 2020", nos indica que en su proceso de Cavitación Hidrodinámica, para el parámetro de DQO en la primera repetición se redujo de

210.2 mg/L a 201.7 mg/L, mientras que en la segunda repetición disminuyó de 527.1 mg/L a 398.8 mg/L, por otra parte, en la tercera repetición de 515.3 mg/L a 332.8 mg/L. Concluyendo que en promedio hubo una reducción de 417.53 mg/L a 311.10 mg/L de la DQO. Asimismo, para el parámetro de SST se redujo en la primera repetición de 103 mg/L a 7 mg/L, mientras que en la segunda repetición disminuyó de 103 mg/L a 54 mg/L, por otra parte, en la tercera repetición de 56 mg/L a 38 mg/L. Se concluyó que hubo una reducción en promedio de 87.33 mg/L a 33 mg/L de los STT y finalmente en el parámetro de pH en la primera repetición tuvo un aumento de 7.5 de pH a 7.83 de pH, mientras que en la segunda repetición se redujo de 7.48 de pH a 7.38 de pH, por otra parte, en la tercera repetición aumentó de 7.46 de pH a 7.83 de pH. Se concluyó que hubo un aumento en promedio de 7.48 de pH a 7.68 de pH.

Durante la operatividad de los dispositivos cavitantes, tubo Venturi y placa orificio se compararon los parámetros físicos: tiempo, caudal, presión de la bomba, presión de entrada, presión de salida y temperatura, donde se observó que el tubo Venturi presenta mayores niveles de presión de la bomba y presión de entrada, con respecto a la placa orificio, mientras que esta última presenta una mayor presión de salida, caudal y temperatura. Mientras que las concentraciones de 15% y 30% requirieron un mayor caudal que la concentración de 45%. Contrastando con (RAJORIYA, S. et al. 2018), quienes tuvieron el objetivo de mejorar la cavitación hidrodinámica cambiando reactivos oxidativos, para disminuir el color de una industria textil de tintes químico sintético, mencionan que la presión de entrada y el número de cavitación son parámetros principales que predominan en la eficiencia de la cavitación hidrodinámica, asimismo mencionan que la presión óptima fue de 5 bar debido a que hay una reducción porcentual de TOC y DQO y de color de casi 17% 12% y 25% en 120 minutos y para una presión de 10 bar la reducción para los parámetros TOC y DQO solo fue de 9.3% y 3.5%. Asimismo, (Boczka, G. et al 2018), atribuye sobre el uso de la cavitación hidrodinámica ayudada por el proceso de oxidación adicionales ( $O_3$ /  $H_2O_2$ / peroxona), para la reducción de contaminantes de aguas residuales de la producción del betún, obteniendo como resultado para el  $O_3$  a las 6 horas del tratamiento con una presión de entrada de 8 bar y un caudal de 520 L h<sup>-1</sup>, un 40% de reducción y el pH no vario fue de 10.5. Asimismo, los

otros procesos estudiados (cavitación hidrodinámica + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y la cavitación sola) redujo un 20%,25% y 13% de DQO y una reducción de 49%,32%, y 18% de DBO, respectivamente.

Se determinó la eficiencia de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica para las concentraciones de 15%, 30% y 45%, en ambos dispositivos cavitantes determinándose que los parámetros de pH, SST, DQO, DQOS, muestran una reducción de los valores iniciales, mientras que, los parámetros de conductividad eléctrica, salinidad y temperatura, muestran un incremento en sus valores iniciales, variaciones consideradas positivas y que determinan la eficiencia del sistema, en concentraciones de 30% y 45%. Resultados que concuerdan con (Panda, Saharan y Manickam, 2020), quienes tenían como objetivo reducir los parámetros DQO y COT de las muestras de aguas residuales para mejorar su biodegradabilidad obtuvieron resultados después del tratamiento cuando se utilizó C.H. como unidad de pretratamiento, se registró que la cavitación hidrodinámica por sí sola provocó un 14,46% de disminución de DQO del TWE (tratamiento de curtiduría efluentes residuales). Asimismo, (Saxena, Saharan y George, 2018), tuvo como objetivo estudiar el impacto de diferentes reactores de cavitación hidrodinámica para el tratamiento del agua contaminada con aguas residuales, analizando la microbiología de la contaminación y parámetros fisicoquímicos, obtuvo resultados en un tiempo de 120 minutos con una presión óptima de 5 bar determinaron que el pH aumentó de 7.35 a 7.54, el DQO presentó un 14.46% de reducción, los SST presentaron una reducción de 34.82%, el DBO aumentó de 3200 a 3600 mg/L; para el caso de la muestra diluida con HC, obtuvo en DQO un 18.84% de reducción, HC más O<sub>3</sub> alcanzó la reducción de 26.81%, HC más H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> fue de 34.35% y HC más Fenton fue 50.20%. Los resultados obtenidos de los reactores mostraron una reducción en los parámetros químicos principalmente en nitritos, nitratos, bicarbonatos y dureza total. Llegando a la conclusión que manteniéndose constantes la temperatura de ebullición del agua tratada, reduce significativamente las concentraciones de diversos parámetros fisicoquímicos. Adicionalmente, Tafur, 2019), Utilizando el método de Cavitación Hidrodinámica, con un dispositivo de orificio el cual contaba con 17 orificios de 1.5 mm con un grosor de 2 mm tuvo resultados que confirman la eficiencia en la reducción de sólidos suspendidos

totales (SST) que obtuvieron valores de eficiencia entre 59.84 y 69.85%, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) presentó valores entre 59.72 y 61.35%, la demanda química de oxígeno (DQO) obtuvo como eficiencia 67.36 y 68.44% y los aceites y grasas (A y G) obtuvieron valores de eficiencia entre 72.51 y 86.24%. Una vez pasado los 30 minutos y antes de 120 minutos aplicando la cavitación hidrodinámica, el pH obtuvo un valor eficiente entre 1.33 y 4.66% y para finalizar se comprobó que la presión es un factor muy importante en dicho proceso, la cual fue constante en todo el proceso por la cual a medida que iba pasando el tiempo la temperatura va en aumento.

## **VI. CONCLUSIONES**

Se determinó que los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales de la industria de la curtiembre, antes de la aplicación de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica superan los valores máximos admisibles (VMA) para descargas al sistema de alcantarillado, estipulados en el Anexo 1 y 2 el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA. Asimismo, después del tratamiento con los dispositivos cavitantes se reducen y los SST se encuentran dentro de los VMA. Los parámetros fisicoquímicos que no se encuentran dentro de los VMA mostraron variaciones positivas.

Al comparar los dispositivos cavitantes tubo Venturi y placa orificio, se determinó que la placa orificio presenta resultados superiores en el caudal, la presión de salida y la temperatura. Mientras que el tubo Venturi, presenta mayores resultados para la presión de entrada y presión de la bomba.

Se determinó la eficiencia de la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica para las concentraciones de 15%, 30% y 45%, siendo, las concentraciones de 30% y 45% las que presentan los mejores resultados en la reducción de los parámetros de pH, SST, DQO, DQOS. Mientras que, los parámetros de conductividad eléctrica y salinidad, muestran un incremento positivo en sus resultados.

A la luz de la presente investigación concluimos que la oxidación avanzada con cavitación hidrodinámica es eficiente para reducir los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales de la industria de la curtiembre.

## **VII. RECOMENDACIONES**

En la presente investigación se propuso determinar el grado de eficiencia en la reducción de los parámetros fisicoquímicos utilizando los dispositivos cavitantes, tubo Venturi y placa orificio en distintas concentraciones de las aguas residuales de la industria de la curtiembre. Por lo tanto, se propone aplicar la metodología desarrollada en otros tipos de muestras de aguas residuales provenientes de otras actividades industriales.

Se propone aplicar la metodología desarrollada en concentraciones diferentes a las probadas en la presente investigación.

Se propone aplicar la metodología desarrollada con diferentes escalas de tiempo a las utilizadas en la presente investigación.

Realizar tratamientos previos como el primario y secundario para que la cavitación hidrodinámica sea más eficiente y las aguas residuales tratadas puedan cumplir con los VMA para descargas al sistema de alcantarillado estipulados en la normatividad vigente.

## REFERENCIAS

AMETA, Suresh C.; AMETA, Rakshit (ed.). *Advanced oxidation processes for wastewater treatment: emerging green chemical technology*[en línea]. Academic press, 2018. [Fecha de consulta : 10 de mayo].

Disponible en: [https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=hyk0DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Ameta+S.+y+Ameta+R.+\(&ots=1PW\\_xc0HnW&sig=On3lxBt0MQTSdrxEb0V9GbykS2o#v=onepage&q=Ameta%20S.%20y%20Ameta%20R.%20\(&f=false](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=hyk0DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Ameta+S.+y+Ameta+R.+(&ots=1PW_xc0HnW&sig=On3lxBt0MQTSdrxEb0V9GbykS2o#v=onepage&q=Ameta%20S.%20y%20Ameta%20R.%20(&f=false)

AGUDELO-VALENCIA, Rafael Nikolay, et al. Remoción de sulfuros presentes en el agua residual del proceso de curtido mediante cavitación hidrodinámica [en línea]. *Revista Ion*, 2019, vol. 32, no 1, p. 21-33.[Fecha de consulta: 15 de mayo]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rion/v32n1/2145-8480-rion-32-01-21.pdf>

ARANA, Martha. La educación científico-tecnológica desde los estudios de la ciencia, tecnología, sociedad e innovación. *Revista de Humanidades Tabula Rasa* [en línea]. Enero-diciembre 2005, 3, 293-313. [Fecha de consulta: 7 de mayo de 2019]. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=39600315> ISSN 1794-2489

ARIAS, Fidas. Efectividad y eficiencia de la investigación tecnológica en la universidad [en línea]. *Revista Electrónica de Ciencia y Tecnología del Instituto Universitario de Tecnología de Maracaibo*, 2017, vol. 3, no 1, p. 64-83 [Fecha de consulta: 10 de mayo]. Disponible en :[https://www.researchgate.net/profile/Fidas-Arias-Odon/publication/320130761\\_Efectividad\\_y\\_eficiencia\\_de\\_la\\_investigacion\\_tecnologica\\_en\\_la\\_universidad/links/59cf973a4585150177ee1be5/Efectividad-y-eficiencia-de-la-investigacion-tecnologica-en-la-universidad.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Fidas-Arias-Odon/publication/320130761_Efectividad_y_eficiencia_de_la_investigacion_tecnologica_en_la_universidad/links/59cf973a4585150177ee1be5/Efectividad-y-eficiencia-de-la-investigacion-tecnologica-en-la-universidad.pdf)

ARIAS-GÓMEZ, Jesús; VILLASÍS-KEEVER, Miguel Ángel; NOVALES, María Guadalupe Miranda. El protocolo de investigación III: la población de estudio [en

línea]. *Revista Alergia México*, 2016, vol. 63, no 2, p. 201-206 [Fecha de consulta: 10 de mayo]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4867/486755023011.pdf>.

Boczka, P. Makoś, 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.

CHARCA NOBLEGA, Jhonatan Edward. Determinación de una dieta de consumo de anchoveta para el mejor efecto en el perfil lipídico de socias de los comedores populares de la ciudad de Puno, 2013[en línea]. 2015 [Fecha de consulta: 14 de mayo]. Disponible en: [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4882/Charca\\_Noblega\\_Jhonatan\\_Edward.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4882/Charca_Noblega_Jhonatan_Edward.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

DECRETO SUPREMO N°010-2019-VIVIENDA, por medio del cual expide que aprueba el reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para la descarga de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. 2019. Perú

DE LA CRUZ OCAÑA, Daysi Krupscaya; MÁIQUEZ NAVAS, Ernesto Dario. *Diseño y construcción de un Cavitador para desinfección del agua*[en línea]. 2019. Tesis de Licenciatura. Quito: UCE [Fecha de consulta : 12 de mayo]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/19238/1/T-UC-0017-IQU-046.pdf>

DOLTADE, Sarjerao et al. Hydrodynamic cavitation as an imperative technology for the treatment of petroleum refinery effluent. *Revista de Ingeniería de Procesos de Agua* [en línea]. 2019, 29. [Fecha de consulta: 15 de junio de 2019]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714418307529> DOI: 10.1016/j.jwpe.2019.02.008

ESPINOZA, Iván. Tipos de muestreo. Unidad de Investigación Científica Facultad de Ciencias Médicas [en línea]. 2016 [Fecha de consulta: 10 de mayo]. Disponible en: <http://www.bvs.hn/Honduras/Embarazo/Tipos.de.Muestreo.Marzo.2016.pdf>

FOSSO-KANKEU, Elvis; PANDEY, Sadanand; RAY, Suprakas Sinha (ed.). *Photocatalysts in Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment*. Wiley-Scrivener [en línea]. marzo 2020, [fecha de consulta:14 de mayo]. Disponible en:<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9781119631422.fmatter>

GIL, Antonio; GALEANO, Luis Alejandro; VICENTE, Miguel Ángel (ed.). *Applications of advanced oxidation processes (AOPs) in drinking water treatment*. Springer International Publishing, 2019. Disponible en: <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-76882-3>

GUJAR, Swapnil K., GOGATE, Parag R., KANTHALE, Parag, PANDEY, Ramendra, THAKRE, Shirish and AGRAWAL, Mukul, 2021. Combined oxidation processes based on ultrasound, hydrodynamic cavitation and chemical oxidants for treatment of real industrial wastewater from cellulosic fiber manufacturing sector [online]. Elsevier B.V. ISBN 1700018000. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117888>

GUTIÉRREZ, C.M. y MORENO, J.D., 2018. Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional. *Ingeniería Hidráulica Y Ambiental*, vol. XXXIX, no. 3, pp. 97-107.

GUTIÉRREZ, M. et al. Cavitación Hidrodinámica: un Enfoque desde la Ingeniería y la Agroindustria. *Scientia et technica*, 2019, vol. 24, no 2, p. 283-304. [fecha de consulta: 20 de Julio]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/849/84961237015/html/>

INCYTU, 2019. Incytu\_19-028. Oficina de información científica y tecnológica para el congreso de la unión [en línea], vol. 52, no. 028, pp. 1-6. Disponible en: [https://www.foroconsultivo.org.mx/INCyTU/documentos/Completa/INCYTU\\_19-028.pdf](https://www.foroconsultivo.org.mx/INCyTU/documentos/Completa/INCYTU_19-028.pdf).

JAWALE, Rajashree H. and GOGATE, Parag R., 2019. Novel approaches based on hydrodynamic cavitation for treatment of wastewater containing potassium

thiocyanate. *Ultrasonics Sonochemistry* [online]. 2019. Vol. 52, no. September 2018, p. 214–223. DOI 10.1016/j.ultsonch.2018.11.019. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.11.019>

KORPE, S., BETHI, Bhaskar, SONAWANE, Shirish H. and JAYAKUMAR, K. V., 2019. Tannery wastewater treatment by cavitation combined with advanced oxidation process (AOP). *Ultrasonics Sonochemistry* [online]. 2019. Vol. 59, no. August, p. 104723. DOI 10.1016/j.ultsonch.2019.104723. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104723>

LAFUENTE, Esteban y LÓPEZ, Hector. Desinfección bacteriana de aguas residuales utilizando cavitación hidrodinámica a través de un tubo Venturi [En línea]. *Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE*, 13(1), 77–80, 2018. [Fecha de consulta: 20 de enero del 2021]. Disponible en <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/cienciaytecnologia/article/view/808>

LAZO Cuentas Estefania. Evaluación de la contaminación ambiental generada por efluentes industriales en el proceso productivo de una curtiembre de mediana capacidad del Parque Industrial de Rio Seco, Arequipa, 2017. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín Arequipa, 2017. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/241>

LEBIOCKA, Magdalena, 2020. Application of hydrodynamic cavitation to improve the biodegradability of municipal wastewater. *Journal of Ecological Engineering*[en línea]. 2020. Vol. 21, no. 6, p. 155–160. DOI 10.12911/22998993/123163

MONTUSIEWICZ, A. Hydrodynamic cavitation of brewery spent grain diluted by wastewater. *Revista Chemical engineering journal* [en línea]. Abril 2017, 313, 946-956. [Fecha de consulta: 09 de junio de 2019]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894716315418>

NIETO Zapata, Silvia. Aplicación de la cavitación hidrodinámica para reducir los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los efluentes de la industria textil y

de curtiembre, Lima 2019. Tesis (Título de Ingeniera Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, 2019. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/46661>

PANDA, Debabrata and MANICKAM, Sivakumar, 2019. Hydrodynamic cavitation assisted degradation of persistent endocrine-disrupting organochlorine pesticide Dicofol: Optimization of operating parameters and investigations on the mechanism of intensification. *Ultrasonics Sonochemistry* [online]. 2019. Vol. 51, no. May 2018, p. 526–532. DOI 10.1016/j.ultsonch.2018.04.003. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.04.003>

PICQUART, Michel y CARRASCO, Izayana. De la temperatura y su medición. *Revista Latinoamericana de Educación Física* [en línea]. Marzo 2017, 11(1). [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2019]. Disponible en [http://www.lajpe.org/mar17/1310\\_Picquart\\_2017.pdf](http://www.lajpe.org/mar17/1310_Picquart_2017.pdf)

POLYANE RIBEIRO MACHADO, THIAGO VINÍCIUS RIBEIRO SOEIRA, FAUSTO DE SOUZA PAGAN, GEOFFROY ROGER POINTER MALPASS, JULIO CESAR DE SOUZA INÁCIO GONÇALVES, Deusmaque Carneiro Ferreira, 2014. Synergistic bromothymol blue dye degradation with hydrodynamic cavitation and hydrogen peroxide (HC-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). *Revista Ambiente e Agua*. 2014. Vol. 9, no. 3, p. 445–458. DOI 10.4136/1980-993X.

RAJORIYA, Sunil. Hydrodynamic cavitation: an advanced oxidation process for the degradation of bio-refractory pollutants. *Revista Revisión en Ingeniería Química* [en línea]. Enero 2016, 32(4). [Fecha de consulta: 8 de junio de 2019]. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/299444672\\_Hydrodynamic\\_cavitation\\_An\\_advanced\\_oxidation\\_process\\_for\\_the\\_degradation\\_of\\_bio-refractory\\_pollutants](https://www.researchgate.net/publication/299444672_Hydrodynamic_cavitation_An_advanced_oxidation_process_for_the_degradation_of_bio-refractory_pollutants) DOI 10.1515/revce-2015-0075

RANADE, Nanda V., et al. ANN based modelling of hydrodynamic cavitation processes: Biomass pre-treatment and wastewater treatment [en línea]. *Ultrasonics*

*sonochemistry*, 2021, vol. 72, p. 105428.[Fecha de consulta: 12 de mayo].  
Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417720317326>

RODRÍGUEZ PEÑA, Mayra, et al. Procesos de oxidación avanzada en el tratamiento de agua [en línea].México :Universidad Autónoma del Estado de México,2020. [fecha de consulta:15 de mayo].Disponible en :[http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/109361/Procesos\\_Oxidacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/109361/Procesos_Oxidacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

SÁNCHEZ CARLESSI, Hugo; REYES ROMERO, Carlos; MEJÍA SÁENZ, Katia. Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística [en línea].Junio 2018.[Fecha de consulta:10 de mayo].Disponible en:<https://www.urp.edu.pe/pdf/id/13350/n/libro-manual-de-terminos-en-investigacion>.

Sharath Chandra, M., R.K. Naresh, N.C. Mahajan, Rajendra Kumar, Arvind Kumar, S.P. Singh, Yogesh Kumar and Rahul Indar Navsare. 2019. A Review on Hydrodynamic Cavitation – A Promising Technology for Soil and Water Conservation in Inceptisol of North West IGP. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 8(08): 739-753. Disponible en: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.808.084>

SAXENA, Shivendu, SAHARAN, Virendra Kumar and GEORGE, Suja, 2018. Enhanced synergistic degradation efficiency using hybrid hydrodynamic cavitation for treatment of tannery waste effluent. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. 2018. Vol. 198, p. 1406–1421. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.07.135 [Fecha de consulta:14 de mayo]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.135>

SILLANPAA, Mika (ed.). *Advanced Water Treatment: Advanced Oxidation Processes*. Elsevier, 2020.Disponible en:[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=tmbIDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Advanced+Water+Treatment+Advanced+Oxidation+Processes&ots=28gLVpYTyY&sig=A\\_3ubDAEL1c5Wae\\_ta4pZGy-](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=tmbIDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Advanced+Water+Treatment+Advanced+Oxidation+Processes&ots=28gLVpYTyY&sig=A_3ubDAEL1c5Wae_ta4pZGy-)

[aWY#v=onepage&q=Advanced%20Water%20Treatment%20Advanced%20Oxidation%20Processes&f=false](https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v31n1/0379-3982-tem-31-01-35.pdf)

SOLÍS, Yuliana, ZÚÑIGA, Luis y MORA, Darner. La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha* [en línea]. Enero-marzo 2018, 31. [Fecha de consulta: 09 de junio de 2019]. Disponible en <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v31n1/0379-3982-tem-31-01-35.pdf>

STEFAN, Mihaela I. (ed.). *Advanced oxidation processes for water treatment: fundamentals and applications*[en línea]. IWA publishing, 2017.[Fecha de consulta: 13 de mayo]. Disponible en:<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=e208DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Advanced+Oxidation+Processes+for++Water+Treatment+Fundamentals+and+Applications&ots=tfDTiWCrhA&sig=EZtvx7AXwRilhoZjd68S3nZRPc8#v=onepage&q=Advanced%20Oxidation%20Processes%20for%20%20Water%20Treatment%20Fundamentals%20and%20Applications&f=false>

TAFUR Rivera, Lorena. *Tecnologías de cavitación hidrodinámica y nanopartículas de plata para la mejora de la calidad de aguas residuales industriales*, Lima, 2019. Tesis (Título de Ingeniera Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, 2019. Disponible en: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/48454/Tafur\\_RL-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/48454/Tafur_RL-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=)

TRAN, David. *Hydrodynamic cavitation applied to food waste anaerobic digestion*[en línea].2016.[fecha de consulta: 1 de mayo].Disponible en :<https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A930482&dswid=3213>

VILLASÍS-KEEVER, Miguel Ángel; MIRANDA-NOVALES, María Guadalupe. El protocolo de investigación IV: las variables de estudio [en línea]. *Revista Alergia*

México, 2016, vol. 63, no 3, p. 303-310 [Fecha de consulta:14 de mayo]. Disponible en: [revistaalergia.mx/ojs/index.php/ram/article/view/199](http://revistaalergia.mx/ojs/index.php/ram/article/view/199)

WANG, Jihong, CHEN, Huilun, YUAN, Rongfang, WANG, Fei, MA, Fangshu and ZHOU, Beihai, 2020. Intensified degradation of textile wastewater using a novel treatment of hydrodynamic cavitation with the combination of ozone. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [online]. 2020. Vol. 8, no. 4, p. 103959. DOI 10.1016/j.jece.2020.103959. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103959>

ZULUAGA Meza, Alejandro. Evaluación del tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios mediante cavitación hidrodinámica, Manizales, 2019. Universidad Nacional de Colombia, 2019. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/76583/1053780456.2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## **ANEXOS**

## Anexo 01: Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	
<b>V1: Cavitación Hidrodinámica</b>	La cavitación hidrodinámica en la actualidad se ha convertido en un método novedoso para diversas industrias ya que está comprobado que dicho método genera buenos resultados para tratamientos biológicos, Lebiocka (2020).	Para probar que tan eficiente es la cavitación hidrodinámica será medida tomando en cuenta los indicadores al realizar las corridas con las aguas residuales de la industria de la curtiembre	Comparación del sistema (tubo Venturi y placa orificio)	Tiempo	min	
				Caudal	L/min	
				Presión	bar	
				Concentración 1 (15%)	%	
				Eficiencia del sistema	Concentración 2 (30%)	%
				Concentración 3 (45%)	%	
<b>V2: Tratamiento de aguas residuales</b>	El objetivo de tratar las aguas residuales es proteger el medio ambiente y a la vez promover el bienestar de todo ser vivo, asimismo, existen otros conceptos que nos dicen que el objetivo de dichas aguas es modificar las características del agua de tal manera que se cumplan con los requisitos establecidos por el estado para que así no tenga impactos negativos hacia los seres vivos, (Arocutipa, 2013).	El tratamiento de aguas residuales será medido considerando los indicadores; asimismo, se tomará en cuenta los valores máximos admisibles establecidos en el D.S. 010-2019-VIVIENDA	Parámetros fisicoquímicos antes y después de la aplicación de la cavitación hidrodinámica	Temperatura	°C	
				SST	mg/L	
				Conductividad eléctrica	uS/cm	
				pH	unidad de pH	
				Salinidad	g/l	
				DQO	mg/L	
				DQOS	mg/L	

## Anexo 02: Instrumentos de recolección de datos

FICHA N°1 HOJA DE CADENA DE CUSTODIA															
N° DE CUSTODIA															
TITULO DEL PROYECTO															
FICHA DE CAMPO		FICHA DE OBSERVACION													
DATOS DEL RESPONSABLE DEL MUESTREO				DATOS DEL LABORATORIO				DATOS DEL LUGAR DE ESTUDIO							
NOMBRE				NOMBRE				DIRECCION							
DIRECCION				DIRECCION				DISTRITO							
TELEFONO				TELEFONO				PROVINCIA Y DEPARTAMENTO							
FIRMA															
CODIGO DE MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	COORDENADAS		TIPO DE FRASCO	TIPO DEMUESTRA	CANTIDAD DE MUESTRA	PRESERVANTE	PARAMETROS FISICOS - QUIMICOS						OBSERVACIONES
			ESTE	NORTE					pH ( unidad de pH)	TEMPERATURA (°C)	SST (mg/l)	DQO(mg/l)	DQOS (mg/l)	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (uS/cm)	
OBSERVACIONES															
FIRMA						FIRMA									



LUCERO KATHERINE CASTRO TENA  
DNI: 70837735  
CIP: 162994



LUIS FERMIR  
HOLGUIN ARANDA  
INGENIERO AMBIENTAL  
Reg. CIP. N° 111411



Sigfredo A. Quiniand Paetan  
QUÍMICO  
CQP 516

FICHA N° 2 REGISTRO DE DATOS DE CAMPO

TITULO DEL PROYECTO:													
UBICACIÓN													
FECHA													
N° DE MUESTRA	CODIGO DE MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	PARAMETROS DE CAMPO									OBSERVACIONES
				TIEMPO (min)	CAUDAL (l/min)	PRESIÓN DE LA BOMBA (bar)	PRESION DE ENTRADA (bar)	PRESIÓN DE SALIDA (bar)	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	TEMPERATURA (°C)	PH (unidad de pH)	SALINIDAD (g/l)	
OBSERVACIONES ADICIONALES													
RESPONSABLE DEL MUESTREO													
FECHA													
FIRMA													

  
 LUCERO KATHERINE CASTRO TENA  
 DNI: 70837735  
 CIP: 182994

  
 LUIS FERMÍN  
 HOLGUÍN ARANDA  
 INGENIERO AMBIENTAL  
 Reg. CIP. N° 111012

  
 Sigfredo A. Quinlan Poetán  
 QUÍMICO  
 CQP 598

**FICHA N° 3 DATOS DE GABINETE**

<b>TITULO DEL PROYECTO</b>						
<b>DATOS DEL RESPONSABLE</b>			<b>DATOS DE LABORATORIO</b>			
<b>NOMBRE</b>			<b>NOMBRE</b>			
<b>TELEFONO</b>			<b>DIRECCION</b>			
<b>CORREO</b>			<b>TELEFONO</b>			
N° DE MUESTRA	CODIGO DE MUESTRA	FECHA	DATOS DE GABINETE			OBSERVACIONES
			SST (mg/l)	DQO (mg/l)	DQOS (mg/l)	
<b>OBSERVACIONES ADICIONALES</b>						
<b>FECHA</b>						
<b>FIRMA</b>						

  
**LUCERO KATHERINE CASTRO TENA**  
 DNI: 70837735  
 C.I.P: 162994

  
**LUIS FERMIR**  
**HOLGUIN ARANDA**  
**INGENIERO AMBIENTAL**  
 Reg. CIP. N° 111711

  
**Sigfredo A. Quiniana Poetan**  
**QUIMICO**  
**CQP 596**

## Anexo 03: Validación de instrumentos



### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **ING. CASTRO TENA LUCERO**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente de la UCV**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Calidad y Gestión de los recursos naturales**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Hoja cadena de custodia**
- 1.5. Autores del Instrumento: **Gema Ingrid Yachachin Huaman y Wini Katusca Yaricahua Esteban**

#### 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.													
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.													
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.													
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.													
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													
9. METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.													
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													

#### II. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
.....

#### III. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

<b>95%</b>
------------

  
 LUCERO KATHERINE CASTRO TENA  
 DNI: 70837735  
 C.I.P: 182994

**VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO**
**I. DATOS GENERALES**

- 1.1. Apellidos y Nombres: **ING. CASTRO TENA LUCERO**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente de la UCV**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Calidad y Gestión de los recursos naturales**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Registro de datos de campo**
- 1.5. Autores del Instrumento: **Gema Ingrid Yachachin Huaman y Wini Katusca Yaricahua Esteban**

**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.													
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.													
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.													
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.													
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													
9. METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.													
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													

**IV. OPINIÓN DE APLICABILIDA**

- El Instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
.....

**V. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**

<b>95%</b>
------------



LUCERO KATHERINE CASTRO TENA  
 DNI: 70837735  
 CIP: 152994

**VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO**
**I. DATOS GENERALES**

- 1.1. Apellidos y Nombres: **ING. CASTRO TENA LUCERO**  
 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente de la UCV**  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Calidad y Gestión de los recursos naturales**  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Datos de gabinete**  
 1.5. Autores del Instrumento: **Gema Ingrid Yachachin Huaman y Wini Katusca Yaricahua Esteban**

**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.													
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.													
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.													
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.													
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													
9. METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.													
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													

**VI. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El Instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
.....

**VII. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**

<b>95%</b>
------------

  
 LUCERO KATHERINE CASTRO TENA  
 DNI: 70837735  
 CIIP: 162984

### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Ing. Luis Fermín Holguín Aranda**  
 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente de la UCV**  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Calidad y Gestión de los recursos naturales**  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Hoja cadena de custodia**  
 1.5. Autores del Instrumento: **Gema Ingrid Yachachin Huaman y Wini Katusca Yaricahua Esteban**

#### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

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

#### VIII. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
.....

#### IX. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

<b>85%</b>
------------



**LUIS FERMÍN  
HOLGUÍN ARANDA  
INGENIERO AMBIENTAL  
Reg. CIP. N° 111711**

**VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO**
**I. DATOS GENERALES**

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Ing. Luis Fermín Holguín Aranda**  
 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente de la UCV**  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Calidad y Gestión de los recursos naturales**  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Registro de datos de campo**  
 1.5. Autores del Instrumento: **Gema Ingrid Yachachin Huaman y Wini Katiusca Yaricahua Esteban**

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

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

**X. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El Instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
.....



**LUIS FERMÍN  
HOLGUÍN ARANDA  
INGENIERO AMBIENTAL  
Reg. CIP. N° 1111111**

**XI. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**

<b>85%</b>
------------

**VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO**
**I. DATOS GENERALES**

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Ing. Luis Fermín Holguín Aranda**  
 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente de la UCV**  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Calidad y Gestión de los recursos naturales**  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Datos de gabinete**  
 1.5. Autores del Instrumento: **Gema Ingrid Yachachin Huaman y Wini Katusca Yaricahua Esteban**

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

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

**XII. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El Instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
.....

**XIII. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**

<b>85%</b>
------------



**LUIS FERMIN  
HOLGUIN ARANDA  
INGENIERO AMBIENTAL  
Reg. CIP. N° 111774**

**VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO**
**I. DATOS GENERALES**

- 1.1. Apellidos y Nombres: Sigfredo A. Quintana Paetan  
 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente de la UCV**  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Calidad y Gestión de los recursos naturales**  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Hoja cadena de custodia**  
 1.5. Autores del Instrumento: **Gema Ingrid Yachachin Huaman y Wini Katusca Yaricahua Esteban**

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

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

**XIV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El Instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
.....

**XV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**

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



**Sigfredo A. Quintana Paetan**  
 QUÍMICO  
 CRP 514

**VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO**
**I. DATOS GENERALES**

- 1.1. Apellidos y Nombres: Sigfredo A. Quintana Paetan  
 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente de la UCV**  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Calidad y Gestión de los recursos naturales**  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Registro de datos de campo  
 1.5. Autores del Instrumento: **Gema Ingrid Yachachin Huaman y Wini Katusca Yarachua Esteban**

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

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

**XVI. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El Instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
.....

**XVII. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**

90%
-----



Sigfredo A. Quintana Paetan  
 QUINICO  
 COP 518

**VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO**
**I. DATOS GENERALES**

- 1.1. Apellidos y Nombres: Sigfredo A. Quintana Paetan  
 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente de la UCV**  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Calidad y Gestión de los recursos naturales**  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Datos de gabinete  
 1.5. Autores del Instrumento: **Gema Ingrid Yachachin Huaman y Wini Katusca Yaricahua Esteban**

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

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

**XVIII. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El Instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
.....

**XIX. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**

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



Sigfredo A. Quintana Paetan  
 QUIMICO  
 CGP 588

## Anexo 04: Resultados de laboratorio SGS



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



**INFORME DE ENSAYO  
MA2122141 Rev. 0**

---

**PROMEC INGENIEROS S.A.C.**

JR. LA VERONICA NRO. 482 URB. SANTA ISABEL

ENV / LB-348104-002

PROCEDENCIA : CRUCE AV. IZAGUIRRE CON CANTA CALLAO

---

Fecha de Recepción SGS : 28-07-2021

Fecha de Ejecución : Del 28-07-2021 al 04-08-2021

Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
E-1
SV-1
SO-1
E-2
SV-2
SO-2
E-3
SV-3
SO-3

**Emitido por SGS del Perú S.A.C.**

**Impreso el 04/08/2021**

**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**



Registro N° LE - 002

**INFORME DE ENSAYO  
MA2122141 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					E-1	SV-1	SO-1
FECHA DE MUESTREO					27/07/2021	27/07/2021	27/07/2021
HORA DE MUESTREO					16:12:00	17:13:00	18:31:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					INDUSTRIAL	INDUSTRIAL	INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
<b>Análisis Generales</b>							
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APHA2540D	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3	500	420	430
Demanda Química de Oxígeno Soluble	EW_APHA5220B DIS	mg/L	6	19	2,389 *	2,221 *	2,333 *
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO2/L	1.8	4.5	3,085.3	3,008.7	3,009.0

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					E-2	SV-2	SO-2
FECHA DE MUESTREO					27/07/2021	27/07/2021	28/07/2021
HORA DE MUESTREO					18:46:00	17:47:00	09:12:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					INDUSTRIAL	INDUSTRIAL	INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
<b>Análisis Generales</b>							
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APHA2540D	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3	830	180	118
Demanda Química de Oxígeno Soluble	EW_APHA5220B DIS	mg/L	6	19	2,856 *	2,398 *	2,821 *
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO2/L	1.8	4.5	5,078.3	3,177.4	3,589.5

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					E-3	SV-3	SO-3
FECHA DE MUESTREO					28/07/2021	28/07/2021	28/07/2021
HORA DE MUESTREO					09:43:00	10:54:00	12:18:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					INDUSTRIAL	INDUSTRIAL	INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
<b>Análisis Generales</b>							
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APHA2540D	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3	570	407	223
Demanda Química de Oxígeno Soluble	EW_APHA5220B DIS	mg/L	6	19	2,871 *	2,259 *	2,510 *
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO2/L	1.8	4.5	5,565.7	3,891.9	3,977.6

**Notas:**

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario 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  
MA2122141 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 Química de Oxígeno Soluble	mg/L	19	<19	0%	99 - 100%		
Sólidos Totales en Suspensión	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	3	<3	0%	101%		
Demanda Química de Oxígeno	mgO <sub>2</sub> /L	4.5	<4.5		101 - 104%	95%	1%



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



**INFORME DE ENSAYO  
MA2122141 Rev. 0**

**REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO**

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
EW_APHA2540D	Callao	Sólidos Totales en Suspensión	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D; 23rd Ed: 2017. Solids: Total Suspended Solids dried at 103-105 °C
EW_APHA5220B_DIS	Callao	Demanda Química de Oxígeno Soluble	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 B; 23rd Ed: 2017. Chemical Oxygen Demand, Open Reflux Method
EW_APHA5220D	Callao	Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D; 23rd Ed: 2017. Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method

**"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"**

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio., su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fé pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS de Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015