



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL**

“Aplicación de la cavitación hidrodinámica para reducir los parámetros físicoquímicos y microbiológicos de los efluentes de la industria textil y de curtiembre, Lima 2019”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
Ingeniera Ambiental

**AUTORA:**

Br. Silvia Isabel Nieto Zapata (ORCID: 0000-0003-2920-9767)

**ASESOR:**

Dr. Elmer Gonzales Benites Alfaro (ORCID: 0000-0003-1504-2089)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de los Residuos

**LIMA - PERÚ**

2019

## **DEDICATORIA**

Dedicado a Dios, a mis padres, hermanos, a mi pareja Euber Montenegro y en especial a mis sobrinos, esperando ser una motivación para que logren sus objetivos.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por cuidarme, y ser mi fiel soporte. A mi asesor Dr. Elmer Benites Gonzales por su constante apoyo. A Lorena Tafur por apoyarme en mis momentos más difíciles. A todos los docentes que enriquecieron mis conocimientos durante mi formación profesional y a todas las personas que, por su apoyo y confianza... Muchas gracias.

## **PÁGINA DEL JURADO**

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Silvia Isabel Nieto Zapata, estudiante de la Facultad de Ingeniería de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo, identificada con DNI N ° 41090008, con la tesis titulada “APLICACIÓN DE LA CAVITACIÓN HIDRODINÁMICA PARA REDUCIR LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LOS EFLUENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL Y DE CURTIEMBRE, LIMA 2019”

Declaramos que:

El contenido de la presente tesis es de nuestra autoría; no ha sido presentada para ningún grado o calificación profesional; asimismo hemos respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas que están incluidas en dicha investigación.

Lima, 17 de diciembre de 2019.



---

NIETO ZAPATA, SILVIA ISABEL  
DNI N°: 41090008

## **PRESENTACIÓN**

Señores miembros del jurado

La presente tesis titulada “APLICACIÓN DE LA CAVITACIÓN HIDRODINÁMICA PARA REDUCIR LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LOS EFLUENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL Y DE CURTIEMBRE, LIMA 2019”, tiene como finalidad determinar la eficiencia de la cavitación hidrodinámica en la reducción de los parámetros físico, químicos y microbiológicos en los efluentes textiles y de curtiembre, Lima 2019”

Asimismo, la presente investigación determina el porcentaje de reducción de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre, Lima 2019.

Señores miembros del jurado esperamos que la presente tesis sea evaluada y amerite su aprobación, ya que esta nos permitirá alcanzar el grado de Ingeniero Ambiental.

**Atentamente,  
La autora.**

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>iii</b>
<b>PÁGINA DEL JURADO</b> .....	<b>iv</b>
<b>DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD</b> .....	<b>v</b>
<b>PRESENTACIÓN</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>x</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xii</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>II. MÉTODO</b> .....	<b>23</b>
<b>2.1. Tipo y diseño de investigación</b> .....	<b>23</b>
<b>2.2. Operacionalización de Variables</b> .....	<b>23</b>
<b>2.3. Población, muestra y muestreo</b> .....	<b>25</b>
<b>2.3.1. Población:</b> .....	<b>25</b>
<b>2.3.2 Muestra</b> .....	<b>25</b>
<b>2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y fiabilidad.</b> .....	<b>26</b>
<b>2.6 Método de análisis de datos</b> .....	<b>46</b>
<b>2.7 Aspectos Éticos</b> .....	<b>46</b>
<b>III. RESULTADOS</b> .....	<b>47</b>
<b>IV. DISCUSIÓN</b> .....	<b>82</b>
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	<b>85</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>86</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>87</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>91</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. VMA efluentes de la industria textil .....	16
Tabla 2: LMP para efluentes de la industria de curtiembre.....	18
Tabla 3: Matriz de Operacionalización .....	24
Tabla 4: Denominación de tratamiento y muestras. ....	25
Tabla 5: Cantidades de muestras y reactivos para varios vasos de digestión.....	37
Tabla 6: Temperatura en los efluentes de la industria textil y de curtiembre.....	47
Tabla 7: pH en los efluentes de la industria textil y de curtiembre. ....	48
Tabla 8: Anova de un factor pH en los efluentes de la industria textil.....	48
Tabla 9: Tukey – pH de efluentes de la industria Textil. ....	49
Tabla 10: Pruebas de normalidad de pH de la industria de Textil.....	49
Tabla 11: Anova de un factor pH en los efluentes de la industria curtiembre. ....	51
Tabla 12: Tukey – pH en los efluentes de la industria curtiembre. ....	51
Tabla 13: Pruebas de normalidad de pH de la industria de Textil.....	52
Tabla 14: SST en los efluentes de la industria textil y de curtiembre. ....	53
Tabla 15: Anova de un factor de SST en los efluentes de la industria Textil. ....	54
Tabla 16: Tukey - SST en los efluentes de la industria Textil. ....	54
Tabla 17: Pruebas de normalidad de SST de la industria de Textil.....	55
Tabla 18: Anova de un factor de SST en los efluentes de la industria Curtiembre.....	56
Tabla 19: Tukey – SST en los efluentes de la industria curtiembre. ....	57
Tabla 20: Pruebas de normalidad de SST en la industria de curtiembre. ....	57
Tabla 21: DBO en los efluentes de la industria textil y de curtiembre.....	59
Tabla 22: Anova de un factor de DBO en efluentes de industria textil.....	59
Tabla 23: Tukey-DBO de efluentes en industrial Textil. ....	60
Tabla 24: Pruebas de normalidad de DBO de la industria de Textil. ....	60
Tabla 25: Anova de un factor de DBO de los efluentes la industria de curtiembre. ....	62
Tabla 26: Tukey – DBO de efluente de industria de curtiembre. ....	62
Tabla 27: Pruebas de normalidad de DBO en la industria de curtiembre. ....	63
Tabla 28: DQO en los efluentes de la industria de Textil y Curtiembre. ....	64
Tabla 29: Anova de un factor de DQO en los efluentes de la industria Textil.....	65
Tabla 30: Tukey de DQO en efluentes de industria textil. ....	65
Tabla 31: Pruebas de normalidad de DQO de la industria de Textil.....	66



Tabla 32: Anova de un factor de demanda Química de Oxígeno en la industria de curtiembre.....	67
Tabla 33: Tukey de DQO en efluentes de la industria de curtiembre. ....	68
Tabla 34: Pruebas de normalidad de DQO en la industria de curtiembre. ....	68
Tabla 35: Aceites y grasas en los efluentes de la industria de Textil y Curtiembre.....	70
Tabla 36: Anova de un factor de Aceites y Grasas en afluentes de la industria textil. ..	71
Tabla 37: Tukey de aceites y grasas en efluentes de la industria textil.....	71
Tabla 38: Pruebas de normalidad de Aceites y Grasas de la industria de Textil.....	72
Tabla 39: Anova de un factor de aceites y grasas en efluentes de industria de la curtiembre. .....	73
Tabla 40: Tukey de Aceites y grasas de efluentes de la industria de curtiembre.....	74
Tabla 41: Pruebas de normalidad de aceites y grasas en la industria de curtiembre.....	74
Tabla 42: E. Coli en efluentes de la industria textil y curtiembre .....	76
Tabla 43: Anova de un factor de E. Coli en efluentes de la industria textil.....	76
Tabla 44: Tukey de E. Coli en efluentes de la industria textil.....	77
Tabla 45: Pruebas de normalidad de la industria de Textil. ....	77
Tabla 46: Anova de un factor de E. Coli en efluentes de la industria de curtiembre.....	79
Tabla 47: Tukey de E. Coli en efluentes de la industria de curtiembre.....	79
Tabla 48: Pruebas de normalidad de E. Coli en la industria de curtiembre .....	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujograma de la industria textil. ....	16
Figura 2. Flujograma de proceso de curtiembre. ....	18
Figura 3. Sistema de tratamiento de Cavitación Hidrodinámica. ....	44
Figura 4. Formación y crecimiento de microburbujas. ....	45
Figura 5. Implosión y colapso de Microburbujas. ....	45
Figura 6. Gráfico de porcentaje de reducción del pH en efluentes de la industria textil. ....	50
Figura 7. Gráfico de porcentaje de reducción del pH en efluentes de la industria curtiembre. ....	53
Figura 8. Gráfico de porcentaje de reducción del SST en efluentes de la industria textil. ....	56
Figura 9. Gráfico de porcentaje de reducción del SST en efluentes de la industria curtiembre. ....	58
Figura 10. Gráfico de porcentaje de reducción del DBO en efluentes de la industria textil. ....	61
Figura 11. Gráfico de porcentaje de reducción del DBO en efluentes de la industria curtiembre. ....	64
Figura 12. Gráfico de porcentaje de reducción del DQO en efluentes de la industria textil. ....	67
Figura 13. Gráfico de porcentaje de reducción del DQO en efluentes de la industria curtiembre. ....	69
Figura 14. Gráfico de porcentaje de reducción del A y G en efluentes de la industria textil. ....	73
Figura 15. Gráfico de porcentaje de reducción del A y G en efluentes de la industria curtiembre. ....	75
Figura 16. Gráfico de porcentaje de reducción del E. Coli en efluentes de la industria textil. ....	78
Figura 17. Gráfico de porcentaje de reducción del E. Coli en efluentes de la industria curtiembre. ....	81

## RESUMEN

La presente investigación se realizó con el fin de determinar la eficiencia de la cavitación hidrodinámica en la reducción de los parámetros físico, químicos y microbiológico de los efluentes de la industria textil y de curtiembre en la ciudad de Lima; la investigación se realizó desde abril hasta diciembre de 2019 y la parte experimental se efectuó de septiembre a noviembre del mismo año. Para ello, se tuvo como población la cantidad de 120 L de efluentes procedentes de la industria textil y 120 L de efluentes de la industria de curtiembre, se tomó 30 L de cada efluente para llevar a cabo el tratamiento, realizando 3 repeticiones, de cada repetición se tomaron 4 muestras (a los 15', 30', 45' y 60') donde se pudo determinar que, para ambos tipos de efluentes, el segundo tratamiento, fue el más óptimo en la reducción de los parámetros antes mencionados. La información de los resultados de los análisis fueron sometidos a pruebas estadísticas en el programa de SPSS donde se determinó con respecto a la eficiencia en la reducción de: pH en los efluentes de textil se obtuvo en la muestra TT-4: 17.96%; mientras que en los efluentes de curtiembre en la muestra TC-2: 18.67%. SST en los efluentes de textil se obtuvo en la muestra TT-3: 74.85%; mientras que en los efluentes de curtiembre se obtuvo en la muestra TT-4: 58.79%. En la DBO en los efluentes de textil se obtuvo en la muestra TT-4: 31.71%; mientras que en los efluentes de curtiembre se obtuvo en la muestra TC-3: 63.36%. En la DQO de los efluentes de textil se obtuvo en la muestra TT-3: 58.18%; mientras que en los efluentes de curtiembre se obtuvo en la muestra TT-4: 66.94%. Aceites y grasas (AyG) en los efluentes de textil se obtuvo en la muestra TT-4: 92.77%; mientras que en los efluentes de curtiembre se obtuvo en la muestra TC-1: 74.99%. *E. Coli* en los efluentes de textil se obtuvo en las muestras TT-3: y TT-4 = 100%; mientras que en los efluentes de curtiembre se obtuvo en la muestra TT-4: 79.05%.

A partir de los resultados se concluye que la eficiencia de reducción de los parámetros analizados, se presentan en el para ambos efluentes, en los 60'.

**Palabras claves:** Cavitación hidrodinámica, reducción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, efluentes industriales.

## ABSTRACT

This research was carried out in order to determine the efficiency of hydrodynamic cavitation in reducing the physical, chemical and microbiological parameters of the effluents of the textile and tannery industry in the city of Lima; The research was carried out from April to December 2019 and the experimental part was carried out from September to November of the same year. For this, the population of 120 L of effluents from the textile industry and 120 L of effluents from the tannery industry was taken, 30 L of each effluent was taken to carry out the treatment, performing 3 repetitions, of each repetition They took 4 samples (at 15', 30', 45' and 60') where it could be determined that for both types of effluents, the second treatment was the most optimal in reducing the aforementioned parameters. The information of the results of the analyzes were subjected to statistical tests in the SPSS program where it was determined with respect to the efficiency in the reduction of: pH in the textile effluents was obtained in the sample TT-4: 17.96%; while in the tannery effluents in the TC-2 sample: 18.67%. SST in textile effluents was obtained in sample TT-3: 74.85%; while in the tannery effluents the sample TT-4 was obtained: 58.79%. In the BOD in textile effluents, sample TT-4 was obtained: 31.71%; while in the tannery effluents it was obtained in the TC-3 sample: 63.36%. In the COD of the textile effluents it was obtained in the TT-3 sample: 58.18%; while in the tannery effluents the sample TT-4 was obtained: 66.94%. Oils and fats (AyG) in textile effluents was obtained in sample TT-4: 92.77%; while in the tannery effluents the sample TC-1 was obtained: 74.99%. E. Coli in textile effluents was obtained in samples TT-3: and TT-4 = 100%; while in the tannery effluents the sample TT-4 was obtained: 79.05. %

From the results it is concluded that the efficiency of reduction of the analyzed parameters, are presented in the for both effluents, in the 60'.

**Keywords:** Hydrodynamic cavitation, reduction of physicochemical and microbiological parameters, industrial effluents.

## I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las actividades del sector industrial en el mundo, ocasiona un avance positivo en la condición de vida de los países y, asimismo, provoca importantes modificaciones que ocasionan diversas formas de contaminación, como son la generación de residuos sólidos y de efluentes.

En nuestro país, las producciones textiles y de curtiembre son las que más contaminan durante su proceso productivo, ya que dejan como resultados de sus actividades, importantes cantidades de efluentes altamente contaminados.

Según, (WWAP Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2009), la industria textil emplea entre 5 al 20% de agua apta para consumo humano e indica que la dosis de agua que se necesita para producir una prenda, va a variar de acuerdo a la hebra textil o la tinción solicitada, cabe señalar, que un par de pantalones jeans necesita un volumen mínimo de 42 litros de agua para realizar los procesos de teñido, lavado y acabados. (BRANÉZ, M. [et al], 2018). Asimismo las actividades de las curtiembres tienen operaciones como las de pelambre, curtido y teñido de pieles, que usan una elevada cantidad de recurso hídrico, mismos que al acabar su proceso, originan una problemática ambiental y sanitaria en donde se realice su inadecuada disposición final, esto ha generado que la fuerza ambiental y las normas legales, exhortan a estas industrias a disminuir el volumen de sus efluentes y que estos estén sometidos a un tratamiento adecuado, cuyo objetivo sea apto para menguar sus características físico químicas y microbiológicas antes de ser vertidas a un cuerpo receptor, ya que si son vaciados sin previo tratamiento disminuyen casi en su totalidad sus condiciones naturales de aspecto físico y su facultad mantener la vida acuática apropiada, que, como repuesta natural mantenga el equilibrio ecológico. (ROSALES, A. *et al*, 2018).

La presente investigación está enfocada en demostrar la eficiencia de la Cavitación Hidrodinámica en la reducción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre. Este estudio permitirá ser tomado por la alta dirección de las industrias antes señaladas para la toma de las acciones correctivas y preventivas en el adecuado cumplimiento de la Ley.

En lo concerniente a la problemática ambiental, la contaminación de aguas que causan estos tipos de actividades industriales, resultante de sus procesos productivos de teñido

de las telas y de Piquelado (obtención de cuero blanco) respectivamente, es una problemática creciente y complicada, puesto que en su mayoría estos efluentes presentan los Límites máximos permisibles alto índices de contaminación en DQO, DQO, pH ácidos, sólidos suspendidos totales, presencia de materia orgánica, entre otros, señalados por la normativa ambiental peruana.

Para determinar los valores de contaminación, se evaluaron los resultados de los análisis preliminares de las muestras obtenidas en campo, estos dieron a conocer que las concentraciones de los efluentes de la industria textil arrojaron para el DBO m: 745 ml/l; DQO 1260 mg/l; Aceites y Grasas 250 mg/l SST 715 mg/l, pH 4.41; este tipo de agua residual debe ser contrarrestada con el D. S. N° 010-2019-VIVIENDA y se pudo observar que sobrepasan los VMA; mientras que para los resultados de los efluentes de la industria de curtiembre se obtuvieron como resultado de los análisis DBO: 840 ml/l; DQO 1890 mg/l; Aceites y Grasas 380 mg/l SST 690 mg/l, pH 3.95; este tipo de agua residual debe ser comparada con el D. S. N° 003-2002-PRODUCE y se logró determinar que sobrepasan los LMP.

Diversos componentes como la escasez de agua, la diversificación climática y el crecimiento exponencial de la población, han contribuido para la creación de políticas sostenibles encaminadas a la conservación, protección y el reciclaje del elemento hídrico; entre estos manejos, uno de los más importantes es el tratamiento de aguas residuales eficiente en las reducción de los parámetros físico químicos y microbiológicos, ya que el vertimiento de los efluentes causan el desgaste de las instalaciones, sistema de acondicionamiento, maquinarias, aparatos y/o equipos, es por ello que nuestro compromiso con el cuidado del ambiente y el cumplimiento con la normativa es asegurar su apropiado funcionamiento; preservando la sostenibilidad de los redes de alcantarillado y tratamiento de las aguas residuales.

Para contribuir al contenido de este trabajo, se ha consultado la investigación de otros autores que mantengan relación con las variables propuestas, siendo las siguientes, las más destacadas:

Según Burzio, E. et al (2020) en su investigación titulada “Water disinfection by orifice-induced hydrodynamic cavitation”, nos menciona que la planta piloto usada para inducir cavitación se muestra en el panel superior de Figura 2 y de Turín. y consiste en un tubo

cerrado bucle (acero inoxidable, diámetro interno 32 mm), incluyendo una sujeción cilíndrica de 35 l de volumen (300 × 500 mm). La temperatura del agua se controla mediante dos enfriadores, unidades conectadas a un serpentín de enfriamiento. Una bomba centrífuga multietapa (Lowara 3SV-11, 2900 rpm, 1 kW) se utilizó para recircular el agua y un electromagnética Florida Se empleó metros ow (Endress Hauser PROline Promag 10) para controlar la cavitación. La unidad de cavitación se montó entre dos Florida anges y estaba hecha de un acero-placa de acero de espesor de 16 mm, donde 4 agujeros de 2.5 mm se perforaron y dispuestos en un patrón de diamante. Cada prueba consistió de 2.5 mm de diámetro se perforaron y dispuestos en un patrón de diamante. Cada prueba consistió en el tratamiento de 21 l de Milli-Q agua contaminada por E. coli bacterias en di ff concentraciones en el tratamiento de 21 l de Milli-Q Erent. Esta investigación dio como resultado que la placa con orificios empleado causo una reducción en la concentración bacteriana en todo el aire experimental, pero no tienen clara la eficiencia de la desinfección no dimensional. Sin embargo, señalaron que las concentraciones de bacterias utilizadas en su investigación, eran poco probable que genere colonias y por lo tanto esto podría ser la razón que sustenta los resultados obtenidos.

Por su parte Randhavane, S. (2019), en su artículo científico “Comparing geometric parameters in treatment of pesticide effluent with hydrodynamic cavitation process” presenta como objetivo el analizar la cavitación hidrodinámica comparando dos configuraciones diferentes de placas de orificio en la degradación del pesticida clorpirifos y la demanda química de oxígeno (DQO) de efluentes reales. EL método consistió en un circuito cerrado que contiene un tanque, una bomba centrífuga (2,900 rpm, 1,1 kW), válvulas de control, placa de orificio, Bridas para colocar la placa de orificio, medidores de presión para medir la presión aguas arriba y aguas abajo y la disposición de la camisa de refrigeración para hacer circular agua fría alrededor del tanque de retención. El lado de succión de la bomba está conectado a la parte inferior del tanque de retención y las ramas de descarga en dos líneas, a saber, la línea principal y la línea de derivación que tienen las válvulas V2 y V3, respectivamente colocadas en los lugares apropiados. Además, se contó con dos tipos de placas de orificios, la primera de 17 agujeros cada uno de 1,5 mm de diámetro; y, la segunda, 1 orificio con 2 mm. Los resultados que se obtuvieron fueron la placa de orificio 1 produjo más eliminación de DQO y CPF del 58% y 88%, respectivamente, al final de 1 hora, ello se debe a un colapso mejorado de las

cavidades debido a que hay más orificios con 1 diámetro menor de orificios que en la placa 1.

Así también, Deepak, K. et al (2019) en su artículo “Hydrodynamic cavitation using vortex diode: An efficient approach for elimination of pathogenic bacteria from water” en donde se usó Desinfección de negativo dos modelo de cepas microbianas Gram (Escherichia coli) y Gram-positivo (Staphylococcus aureus) usando diodo vórtice se evaluó la eliminación correo FFI para dos diferentes reactores Erent cavitación. Eliminación prácticamente aureus usando diodo vórtice se evaluó. La eliminación FFI fue cuantificable para dos diferentes reactores de cavitación. Eliminación prácticamente completa de E. coli se logró (99%) después de 1 h de la cavitación en una caída de presión de solamente 0,5 bar. Sin embargo, la eliminación de S. aureus fue menor en comparación con la eliminación de E. coli y sólo el 60% de desinfección se puede lograr en condiciones similares, que se pueden mejorar posteriormente hasta un 98% mediante el aumento de la caída de presión. Cabe resaltar que la eliminación es mejor a presiones más altas, lo que indica la reducción del tiempo de operación para la desinfección.

El trabajo de investigación de Innocenzi, Prisciandaro, Centofanti y Veglio (2019). En su publicación científica cuyo título es “Comparison of performances of hydrodynamic cavitation in combined treatments based on hybrid induced advanced Fenton process for degradation of azo-dyes” tuvo como objetivo la reducción de colorantes azoicos en efluentes textiles, el colorante motivo de estudio fue el naranja de metilo. Con 1 hora de tratamiento, temperatura constante de 20°C, 5 ppm de concentración inicial del colorante naranja de metilo, pH 11 y presión de entrada de 4 bar, se logró obtener los niveles altos de decoloración. Se observó la disminución del pH 3 y presión de 0.4 bar se redujo el 6.8% del colorante usando cavitación hidrodinámica solo. Posteriormente se llevó a cabo el tratamiento de cavitación hidrodinámica y peróxido de hidrogeno dio como resultado más del 50% en la reducción del naranja de metilo. Y por último combinando la CH + peróxido de hidrógeno e iones metálicos, dio como resultado el 90 % en la degradación del colorante antes mencionado.

Así también en su investigación Badmus, K. et al (2019). En su artículo científico que lleva por título “Synergistic Advance Fenton Oxidation and Hydrodynamic Cavitation



treatment of persistent organic dyes in textile wastewater” lograron revelar sobre el tratamiento de la sal de sodio Orange II simulado contaminante (OR2) en los efluentes usando jet-bucle cavitación hidrodinámica en combinación híbrida con hidrógeno peróxido (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y nano hierro de valencia cero (nZVI). Una degradación 69,8% de OR2 (10 mg / L) fue logrado por hora en el sistema de cavitación hidrodinámica jet-bucle por sí mismo (presión de entrada = 400 kPa, pH = 2, volumen = 10 L). La combinación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y hierro (II) sulfato en el bucle de chorro cavitación hidrodinámica no era muy eficaz, esto se debe probablemente a la presencia de residuos como el hierro (II) sulfato y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en el radical hidroxilo. Más aún, el tratamiento combinado empleando una dosis precisa de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y nZVI en el chorro de bucle cavitación hidrodinámica resultó en 99% de blanqueamiento de la solución OR2 en un procedimiento de 1 hora. 74% de mineralización fue también alcanzado como una función de 1% de reducción de TOC (400 kPa, pH 2, 1 mg / L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 1 mg / L nZVI, 1 hora). El incremento de la degradación con peróxido de hidrógeno, sulfato de hierro o nano cero valente hierro conducido a la generación de iones nitrato y iones sulfato como es evidente por la UV espectrómetro, TOC, FT-IR y el análisis GC-MS. Se concluye que el resultado muestra la potenciación sinérgica en la mineralización de azo colorante que incluyen las aguas residuales industriales durante la combinación al tratamiento con oxidación avanzada Fenton (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y nZVI) en el bucle de chorro hidrodinámico sistema de cavitación.

En su investigación, Rajashrre, J. y Parag, G. (2018) , que lleva por título “Novel approaches based on Hydrodynamic Cavitation for treatment of wastewater containing potassium thiocyanate” cuya finalidad es realizar los estudios del uso de enfoque novedoso tratamiento de la cavitación hidrodinámica (HC) en combinación con la oxidación química y un catalizador para la degradación de potasio Thiocyanate (KSCN) por primera vez. El efecto de la presión de funcionamiento (2-5 bar) y el pH inicial (2-7,1) sobre la degradación se ha estudiado inicialmente. El efecto de la combinación de HC con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (variando KSCN: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> proporciones como 1: 0,5 a 1: 3), HC + O<sub>3</sub> (variando la tasa de flujo de masa de ozono sobre el intervalo de 200 a 400 mg/h), HC + O<sub>3</sub>+ catalizador (TiO<sub>2</sub> / ZnO / CuO en carga fija de 0,1 g / L) como enfoques de proceso intensificación sobre la degradación KSCN ha sido estudiado. Combinación de HC + O<sub>3</sub> + CuO a diferentes cargas de CuO. También se ha investigado. El uso de combinación de HC con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y HC con ozono resultó en extensión de la degradación KSCN como 73% y 71,1%, respectivamente. Entre las diferentes combinaciones de HC + O<sub>3</sub>+

Catalizadores ( $\text{TiO}_2$  /  $\text{ZnO}$  /  $\text{CuO}$ ),  $\text{HC} + \text{O}_3 + \text{CuO}$  (en carga de 0,15 g / l) dio lugar a degradación KSCN como 86,5%. Combinación de  $\text{HC} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3 + \text{CuO}$  se estableció para ser el mejor enfoque produciendo degradación completa con el índice sinérgico de 2,98 y eliminación de la DQO 92,9%, así mismo se informó que el pH disminuyó de 10 a 2, la tendencia de este parámetro se puede atribuir al hecho de que, con la disminución del pH, se favorece la generación de radicales OH. Se concluye que el uso de diferentes combinaciones de cavitación hidrodinámica con procesos de oxidación químicos para la degradación de KSCN se ha demostrado efectiva en una capacidad operativa como 4 L.

Ahora bien, Joshi y Gogate (2018) en su investigación titulada “Intensification of industrial wastewater treatment using hydrodynamic cavitation combined with advanced oxidation at operating capacity of 70L” El presente trabajo trata sobre el tratamiento de aguas residuales industriales con cavitación hidrodinámica (HC) combinada con procesos avanzados de oxidación (AOP) en una planta piloto que opera a una capacidad de 70L. Inicialmente, se estudió el enfoque de solo HC con comprensión del efecto de parámetros como la presión de entrada (rango de 2–8 bar) y el factor de dilución (dos casos con una relación de dilución de 1: 1 y 1: 3). Solo se descubrió que el HC proporcionaba una eliminación mínima de la demanda química de oxígeno (DQO) dentro de los 180 minutos y el objetivo adicional del estudio tenía como objetivo probar la eficiencia de la combinación de di-antioxidantes con HC. Los oxidantes utilizados en el tratamiento fueron el peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), el reactivo de Fenton, el airandoxígeno. Manteniendo 15 gl – l como la carga constante de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , la optimización del tratamiento basado en Fenton se realizó con una variación de la relación molar  $\text{Fe}^{2+} / \text{H}_2\text{O}_2$  en el rango de 1: 10-1: 30. La eliminación máxima de DQO del 42% se logró con la mejor relación molar de 1:20. Por primera vez, la inyección de aire y oxígeno se probó en combinación con HC, lo que dio una eliminación de 15.5% y 42% de DQO respectivamente. El estudio combinado de oxígeno + Fenton + HC se realizó con una carga de  $\text{H}_2\text{O}_2$  de 15 gl – l y una relación molar de Fenton de 1:20, lo que resultó en una eliminación de DQO del 63% dentro de los 180 minutos de tratamiento. También se realizaron análisis de eficiencia energética en términos de reducción de DQO por unidad de energía y cálculos de costos y para el proceso que proporciona un máximo de 63% de eliminación de DQO en 180 minutos, el costo del tratamiento obtenido fue de 398 US \$ /

m3. Se estableció claramente que HC en combinación de Fenton y oxígeno es el mejor enfoque para el tratamiento de aguas residuales industriales complejas.

En otro artículo investigado Gagol, M. (2018) titulado *Effective method of treatment of industrial effluents under basic pH conditions using acoustic cavitation – a comprehensive comparison with hydrodynamic cavitation processes*, donde tienen como objetivo una comparación exhaustiva de la cavitación acústica y la cavitación hidrodinámica. Los efluentes que fueron sometidos al proceso son procedentes de la producción de betunes de la unidad de oxidación de betún usando el proceso Biturox. El tratamiento de los efluentes de la producción de betunes por cavitación acústica con la ayuda de oxidación se llevó a cabo en un ULTRASONIC UV-Reactor UV 5-1.002,05 (Bandelin electronic GmbH & Co. KG, Alemania) El reactor ultrasónico utilizado en este estudio tenía cuatro secciones de transductores situados a lo largo de una circunferencia de un tubo de flujo - paralelo a la zona de tratamiento con ultrasonidos. Cada una de las secciones contenida siete transductores con una potencia total de aproximadamente 250 W (potencia de un solo transductor era 36 W; longitud de una cavitación zona 50 cm), con un volumen de efluente de 5 L con la ayuda del peróxido de hidrogeno tubo una disminución de la DQO de 40% frente a un 20% medido en el mismo parámetro con el tratamiento de cavitación hidrodinámica más peróxido de hidrogeno. En conclusión, la cavitación acústica con la ayuda del oxidante antes mencionado, es aproximadamente dos veces más eficaz en la eliminación del DQO que la cavitación hidrodinámica.

Por otro lado, en el artículo de DENG, C. et al (2018), titulado “Effective degradation of oil pollutants in water by hydrodynamic cavitation combined with electrocatalytic membrane” estudia el rendimiento de degradación de las aguas residuales de aceite con un método combinado entre la cavitación hidrodinámica y las membranas electrocatalíticas. Consistió en dos sistemas cerrados, el primero para producir la cavitación hidrodinámica que consta de una bomba, un depósito en el que se vierte la muestra de agua residual dentro del cual se colocan tubos de refrigeración, un reactor de cavitación que se compone de una placa con 49 orificios de 1 mm, una línea principal que conecta a la bomba con el reactor de cavitación y una línea by pass que recircula el agua del tanque para ingresar al reactor. Luego del tiempo que se asigne al primer proceso, las

aguas residuales de aceite entran a través de la válvula de control en un segundo depósito en el que se ejecutan las membranas electrocatalíticas para, finalmente, transferir el agua trata a un tanque de permeado por medio de una bomba peristáltica. El resultado obtenido por la cavitación hidrodinámica es positivo debido a que, en primera instancia la concentración de aceite en agua aumenta de 90 mg / L se convirtió a 215 mg / L en un tiempo de cavitación 2 h. para luego disminuir hasta 139 mg / L en 5 horas. Concluye que la cavitación hidrodinámica en conjunto con las membranas electrocatalíticas podría mejorar la eficiencia de la degradación de los contaminantes de petróleo.

Asimismo, en la investigación Lafuente, E. (2018) en su artículo “Desinfección bacteriana de aguas residuales utilizando cavitación hidrodinámica a través de un tubo Venturi” tuvo como objetivo el estudio sobre la cavitación hidrodinámica en una tobera y la determinación de su capacidad bactericida para desinfectar las aguas del río Santa Clara en Ecuador. El método utilizado fue que, a través de un circuito cerrado de tubos de PVC y mangueras de alta presión, en un tubo Venturi, se controla la velocidad del flujo del río y se cambia la presión estática para realizar diferentes sistemas de cavitación las cuáles fueron a presión de 2 bar y 3 bar, en un lapso de 65 minutos. Se determinó que al aumentar la presión el porcentaje de desinfección también aumenta, evidenciándose en que a presión de 2 bar de descarga el porcentaje de desinfección fue 72.8% y para una presión de 3 bar fue de 99.5%. De acuerdo a procesos de Tinción Gram se determina que la cavitación no es totalmente efectiva contra las bacterias Gram positiva. La cavitación promete ser una técnica eficiente debido a que es un proceso físico y no químico, por lo que no genera residuos; además, este proceso presenta una factibilidad económica notable como desinfectante y aumenta su capacidad bactericida a medida que es aumentada la presión, sin embargo, aún no presenta una completa protección residual bacteriana por lo que, el rebrote podría surgir.

Por su parte, Alister Simpson y Vivek V. Ranade (2018), en su artículo científico “Modelling of Hydrodynamic Cavitation with Orifice: Influence of different orifice designs” Esta investigación, presenta resultados computacionales en cavitación en distintos diseños de orificio en una medida de condiciones de operación, parámetros geométricos clave como espesor de orificio, la nitidez de entrada del agujero y ángulo de

la pared en el procedimiento de cavitación se discute cuantitativamente. Fórmula y solución numérica de dinámica de fluidos computacional multifásicos (CFD) se muestran modelos. Los logros obtenidos en términos de velocidad y de presión gradientes, fracciones de volumen de vapor y el total de turbulencia etc., se examinan y debaten críticamente. El espesor de orificio se halló que era elocuentemente el comportamiento influencia cavitación, con la conexión de presión requerida para iniciar la cavitación encontró a variar en un factor de 10 para el espesor de orificio de diámetro ( $l / d$ ) relaciones en el intervalo de 0 - 5. Intel radio tiene de forma similar un efecto acentuado sobre la operación cavitacional. Los resultados proporcionan una guía útil para el diseñador de dispositivos de HC, la caracterización de los principales parámetros que se pueden operar para lograr el nivel anhelado de actividad cavitación hidrodinámica con eficiencias casi perfectas. Los prototipos pueden ser empleados para simular relaciones de tiempo-presión especificadas para cavidades de vapor individuales, conteniendo fluctuaciones turbulentas. Esto a su vez se puede utilizar para colapso cavidad simular y rendimiento general del dispositivo de HC.

Por su cuenta los investigadores Innocenzi V, Prisciandaro H, y Tortora, Vegli (2018) en su artículo científico titulado “Optimization of hydrodynamic cavitation process of azo dye reduction in the presence of metal ions” Cuyo objetivo fue investigar la degradación del naranja de metilo utilizando hidrodinámico cavitación. Las soluciones sintéticas simularon un efluente real de textil que contiene colorante y metales (hierro y níquel) como consecuencia de la corrosión de los componentes de metal niquelado de la planta durante la producción de materiales textiles. En la primera serie de experimentos, la cavitación hidrodinámica fue estudiada en términos de presión de entrada de funcionamiento y pH de la solución. Posteriormente, se llevó a cabo el plan para determinar los efectos principales y las interacciones entre los factores investigados: presión de entrada de 0.2 a 0.66 MPa, temperatura (T), concentración inicial de colorante (do MO / 0), y el tiempo de tratamiento (t). Los resultados mostraron que de entrada de presión, temperatura y concentración tuvo un efecto positivo significativo sobre las condiciones óptimas de operación entre los investigados fueron: do MO / 0 = 5 ppm, pH = 2, 0.66 MPa y t = 1 hora, independientemente de la temperatura (T). En las condiciones anteriores, los rendimientos de degradación estaban cerca de 75% y la concentración final

fue de menos de 1 ppm. Por el contrario, en el do MO / 0 = 20 ppm, pH = 2, 0.66 MPa, 40 ° C y t = 1 hora, la eficiencia de la degradación fue de aproximadamente 56% y la concentración final fue de menos de 9 ppm. Una comparación entre los experimentos llevados a cabo en ausencia y en presencia de hierro y níquel mostró que los metales actuado como catalizadores y la energía requerida para el proceso con iones metálicos era 5 veces más pequeño que los requeridos por los experimentos llevados a cabo sin los metales en solución, en las mismas condiciones operativas.

Mientras tanto, Cerecedo, L. et al (2018) en su estudio titulado “Water disinfection by hydrodynamic cavitation in a rotor-stator device” nos demuestran la eficiencia de la cavitación hidrodinámica con un dispositivo de rotor-estator para la reducción de agentes microbiológicos como E. Coli y E. Faecalis con concentraciones iniciales en el grupo de  $5 \cdot 10^2$  /  $1,2 \cdot 10^6$  UFC/ml. Se demostró que en distintas geometrías del canal de cavitación hidrodinámica entre el reactor y el estator consiguió la extinción de las bacterias en menos de 10 minutos de aplicación de la técnica, esta eliminación se verifica a través de la siembra para descartar las bacterias no cultivables viables; así también, la micro siembra se hizo para aquellas muestras que no presentan ningún crecimiento UFC incubadas en la placa Petri. Los resultados de la Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM) son estudiadas y la reducción bacteriana se correlaciona con los diferentes tipos de acción de la cavitación. Esta investigación de cavitación con rotor – estator son entre uno y dos órdenes de magnitud más energía eficiente que los estudios realizados por otros investigadores. Los espectros de presión acústica, se miden para analizar la fuerza de la implosión de las microburbujas.

Bockaj, G. et al (2018) , en su trabajo de investigación titulado “Effective method of treatment of effluents from production of bitumens under basic pH conditions using hydrodynamic cavitation aided by external oxidants” La aplicación de la cavitación hidrodinámica en los procesos de oxidación avanzada (AOP) es una tendencia promisoría, es así que dieron como resultados que uso de la cavitación hidrodinámica en conjunto con procesos de oxidación adicionales ( $O_3 / H_2O_2$  / Peroxono) para disminuir la carga total de la contaminantes que se encuentran en los efluentes de la producción de betunes. Así mismo se realizó un examen especificado de las variaciones en el contenido de compuestos orgánicos volátiles (COV) para todos los procesos estudiados. Las

investigaciones demostraron que la gran parte de los efluentes de tratamiento reflexivo incluye a la cavitación con ayuda por ozonización (obteniendo la reducción de DQO 40% y la reducción de DBO 50%). Los otros estudios realizados (cavitación hidrodinámica + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, cavitación hidrodinámica + peroxono y cavitación hidrodinámica solo) nos arrojan como resultado la reducción de la DQO por 20, 25 y 13% y la reducción de DBO por 49, 32 y 18%, respectivamente. Esta investigación revela que la gran parte de los COV que son estudiados, son eficazmente degradados.

Seguidamente, Saxena S. et al (2018) en su artículo de investigación titulado “Enhanced synergistic degradation efficiency using hybrid hydrodynamic cavitation for treatment of tannery waste effluent”, donde claramente describe la representación esquemática de la Set-Raector HC, este consta de un bucle cerrado con bomba de presión de potencia de 1,1 kW, así también está equipado con una ranura Venturi dispositivo de cavitación, un tanque de 20 L de capacidad y fue provista de la camisa de refrigeración con el fin de mantener un rango de temperatura  $(30 \pm 2)$ . La línea de descarga de la bomba esta provista de dos líneas, es decir, la línea de proceso principal y la línea de derivación (Diámetro 19 mm), fueron equipados con varios dispositivos de medición tales como dispositivos manuales, medidores de presión y de velocidad de flujo. Con variables de 500 kPa de presión y 120 min de tratamiento, se obtuvieron los siguientes resultados de disminución en DQO 14.46 %, SST 34.82%, TOC 12.60%, mientras que el DBO aumento de 3200 mg/L a 3600 mg/L. Este estudio demostró que las técnicas de tratamiento híbrido de usar HC en combinación con tres agentes de oxidación, es decir, O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y el reactivo de Fenton, proporcionaron tratamientos intensificados con mayores eficiencias de degradación y un aumento en el valor de BI, haciendo que las aguas residuales de la curtiduría tratadas sean más adecuadas para el tratamiento biológico. Cuando las aguas residuales de la curtiduría se sometieron a tratamiento con HC solo a la presión óptima de 500 kPa durante 120 minutos, se obtuvo una reducción máxima de 14.46% de DQO y 12.6% de TOC junto con una reducción en TDS y TSS, y un aumento en el valor de BI de 0.33 a 0,43 debido a la descomposición de las moléculas orgánicas más recalcitrantes en compuestos biológicamente degradables. Sin embargo, la dilución de las aguas residuales no mejoró la eficiencia de degradación de HC y, por lo tanto, no es factible ya que solo aumenta los costos operativos debido al procesamiento de grandes volúmenes.

Por otra parte, Kumar, Sonawane y Aniruddha (2017) en su artículo de que lleva por título “Degradation of methylene blue dye in aqueous solution using hydrodynamic Cavitation based hybrid advanced oxidation processes”, podemos encontrar en el trabajo, la degradación del colorante azul de metileno (MB) en solución acuosa mediante el uso de la cavitación hidrodinámica combinada con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y fotocatalizador de TiO<sub>2</sub> bi-dopado. Bi el fotocatalizador de TiO<sub>2</sub> dopado se preparó mediante un método de síntesis sol-gel. El TiO<sub>2</sub> bi-dopado sintetizado. El material se caracterizó por espectros de difracción de rayos X (DRX), FT-IR y TEM. El efecto de varios parámetros de funcionamiento, como la presión del fluido de entrada, el pH de la solución, la adición de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y el fotocatalizador la degradación del tinte MB. El grado máximo de degradación del azul de metileno fue obtenido a una presión de entrada de 5 bar y pH 2. La relación molar de MB: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, es decir, 1:20 se mostró 94,64% de decoloración de MB durante 60 min. La combinación de cavitación hidrodinámica y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ha mostrado un alto efecto sinérgico que la combinación de cavitación hidrodinámica y fotocatalítico de TiO<sub>2</sub> bi-dopado proceso.

Ahora bien, en la investigación científica de Kozel, J. et al (2017) “Efficient inactivation of MS-2 virus in water by hydrodynamic cavitation” presenta como objetivo el demostrar que la intensidad agresiva de la cavitación hidrodinámica a través de un tubo Venturi se puede aumentar controlando la presión donde colapsan las burbujas. Se emplearon dos reactores de cavitación hidrodinámica para capacidades de volumen de 3 ml y de 1 litro, siendo este último construido con dos reservorios, una constricción simétrica del tipo Venturi, hecho de vidrio acrílico, que conecta ambos reservorios y una válvula de 3 vías que controlan automáticamente el flujo del aire presurizado. La muestra es depositada en uno de los reservorios para que con la apertura de la válvula pueda pasar hacia el otro reservorio produciéndose la cavitación. Los resultados obtenidos fueron que después de 208 pases por el reactor de cavitación hidrodinámica no se observaron placas de fagos MS-2 disminuyendo la infectividad del virus.

Por su cuenta, Kolhe, N., Gupta, A. y Rathod, V. (2017), en su publicación científica “Production and purification of biodiesel produced from used frying oil using hydrodynamic cavitation” se enfoca en obtener una opción para producir biodiesel a partir de la optimización de metanol y concentración de hidróxido de potasio en aceite para freír



mediante la aplicación de la cavitación hidrodinámica. El método utilizado para el uso de la tecnología de cavitación hidrodinámica consistió en un tanque para 10 litros de muestra, una bomba centrífuga la cual tenía incorporada una placa de 16 orificios de 3 mm para producir la cavitación; y, tanto el tanque como la bomba se conectaban mediante una tubería bifurcada controladas por válvulas y nanómetros. Al tanque se vertieron 6420g de aceite de freír usado, mezclado con KOH y metanol, se sometió a un proceso de cavitación de 2 horas aproximadamente y sustrayendo muestras en lapsos de tiempos diferentes. La capa orgánica y la capa acuosa se separaron y el exceso de metanol se eliminó de la capa de éster metílico con un evaporador rotatorio. Los resultados de cavitación hidrodinámica demostraron que la obtención de biodiesel con este método es 93,5% en un periodo promedio de 30 minutos; concluyéndose que esta tecnología es potencial para producir biodiesel a partir de aceite de freír.

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 los estudios realizados por los científicos de Cehovin, M. [et al] (2016), en su investigación científica “The Enhancement of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV AOPs for the Removal of Selected Organic Pollutants from Drinking Water with Hydrodynamic Cavitation” formula investigar los efectos de la cavitación hidrodinámica en los procesos avanzados

de oxidación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> / UV y con ello, eliminar contaminantes del agua como colorante de azul de metileno, ácido húmico y otros microcontaminantes. Utilizó un sistema cerrado el cual estaba conformado por un tanque desde donde se extraía las muestras de agua para poder realizar las pasadas a través del reactor UV, éste permitió adherir las placas de orificio y producir la cavitación hidrodinámica del flujo de la muestra y una bomba dosificadora que devolvía el agua al tanque. Gracias a la aplicación de la cavitación hidrodinámica, la decoloración completa de azul de metileno mejoró en un 15%, la reducción del carbono orgánico disuelto fue aproximadamente entre 30 y 50 %.

Por su cuenta, Liu, Z. [et al] (2016) , en su artículo científico “Pollutant and Microorganism Removal From Water by Hydrodynamic Cavitation” presentó como objetivo el diseñar una plataforma experimental con la cavitación hidrodinámica contribuyendo al desarrollo de equipos para el tratamiento de aguas industriales que puedan utilizar esta técnica. El método utilizado consistió en un sistema cerrado que incluye un tanque de retención en el cual se colocó treinta litros de aguas residuales de petróleo de 100 mg / l; parte de esta agua fluye a lo largo de la línea principal hacia el reactor de cavitación, basado en una placa de orificios; y, la otra parte del agua fluye de regreso al tanque directamente a través de un by pass; en ambos casos el agua regresa al tanque por el funcionamiento de una bomba alternativa de 1.1 kW y dos válvulas de control. Los resultados obtenidos fueron que la tasa de eliminación de la coloración del agua en más del 80.0% después de 3 horas de tratamiento, el DQO inicial de 95.7 mg / L se redujo en un 40%, la concentración inicial de petróleo de 98.73 mg / L se redujo en un 50; y, la tasa de eliminación de Escherichia Coli alcanzó el 98,16% en 60 min. En síntesis, los resultados mostraron que la cavitación hidrodinámica fue efectiva en la coloración, DQO, petróleo y la eliminación de E. Coli, además esta tecnología es de configuración simple, operación conveniente y presenta un bajo costo de mantenimiento y tiene las ventajas de alta eficiencia, ahorro de energía y respeto al medio ambiente.

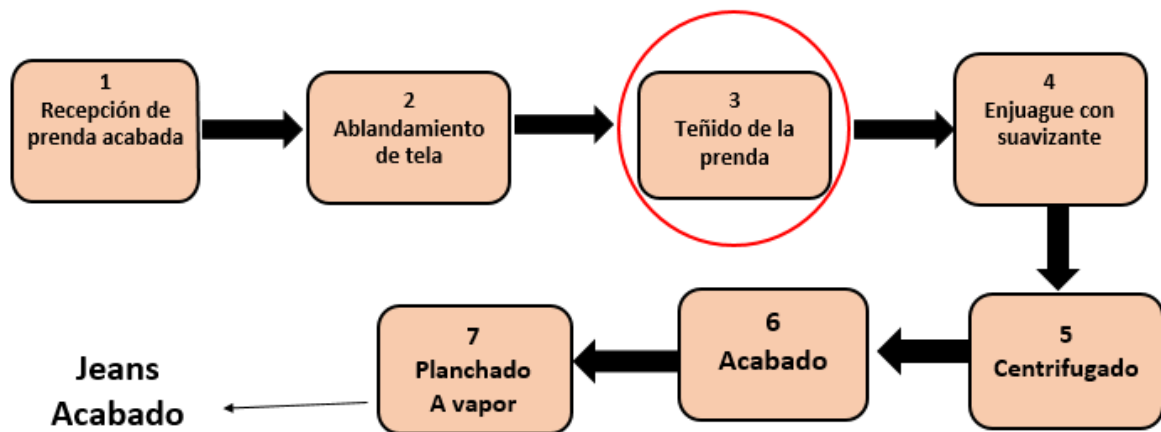
Por último, Dular, M. [et al] (2015), en su trabajo científico “Use of hydrodynamic cavitation in (waste)water treatment” indica que el objetivo fue investigar la eficiencia energética de desarrollar un sistema de tratamiento de agua y aguas residuales a escala industrial que aplicaría la cavitación hidrodinámica para la eliminación y desintegración

de contaminantes. Empleó tres métodos diferentes, el reactor de cavitación hidrodinámica pulsante, el reactor de cavitación hidrodinámica continua y el reactor de cavitación hidrodinámica de corte inducido, siendo este último el que mejores resultados otorgó debido a que empleó dos rotores enfrentados con ranuras radiales especiales, donde cada uno gira en la dirección opuesta, de esta manera, cuando los dientes de los dos rotores están alineados, el espacio entre ellos se asemeja a la geometría de la boquilla Venturi. Este generador fue instalado en un circuito abierto, donde se usaba una bomba centrífuga para la circulación de fluidos. Los resultados obtenidos fueron la reducción de productos farmacéuticos en aguas hasta un 95% en temperaturas de 60°C. Se concluye que la cavitación hidrodinámica es adecuada para aplicaciones reales y puede operar en modo continuo.

Después de la revisión de los trabajos previos se tiene en consideración como teorías relacionadas al tema de investigación, a la técnica escogida para desarrollar, la cavitación hidrodinámica, que, según (Liu *et al.*, 2016, p. 2018) señala que cuando el efluente industrial pasa a través de una constricción, como placas de orificio o tubos de ventilación, la presión local cae por debajo de la presión de vapor saturado del líquido a la temperatura de operación. Esto da lugar a la vaporización de la parte líquida o escapes del gas disuelto en el líquido que puede formar burbujas o cavidades. Las burbujas o cavidades son transferidas por el líquido y se encogen y eventualmente colapsan instantáneamente cuando la presión ambiental aumenta, se liberan grandes cantidades de energía.

Según la OEFA, (2014) indica que los efluentes industriales, son aquellos aguas que dan como resultado de un proceso industrial tales como las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, textil, de curtiembre, entre otras y que por el uso dado, presentan cambios en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, es por ello que necesitan un tratamiento previo, antes de ser reusadas, arrojados a un cuerpo natural de agua o vertidas al sistema de alcantarillado, para que cumplan con la calidad de agua residual, tengan la capacidad de mantener un ecosistema equilibrado y cumplan con los LMP o VMA indicados por la normativa ambiental peruana.

El proceso de teñido de telas se realiza en lavadoras industriales que tienen una capacidad de carga entre 25 y 200 prendas. Requiere de dos a tres personas atentas al procedimiento, los cuales son los encargados de llevar control de: tiempo, temperatura, concentración de la gran variedad de productos químicos (ácidos, álcalis, sales y oxidantes, detergentes, blanqueadores y colorantes) la dosis de los insumos mencionados, dependerá del tono deseado. Durante la etapa de teñido, la prenda hierve a 95 °C por 2 horas.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 1. Flujograma de la industria textil.

Para evaluar y comparar los indicadores propuestos en este trabajo de investigación en los análisis de pre y post prueba, contamos con la normativa para la calidad de aguas residuales generadas en la industria textil, que se basa en Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA que aprueban los Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado. Estos indican el valor máximo de contaminación de los parámetros, que, al ser excedido, puede causar alteración en el cuerpo receptor.

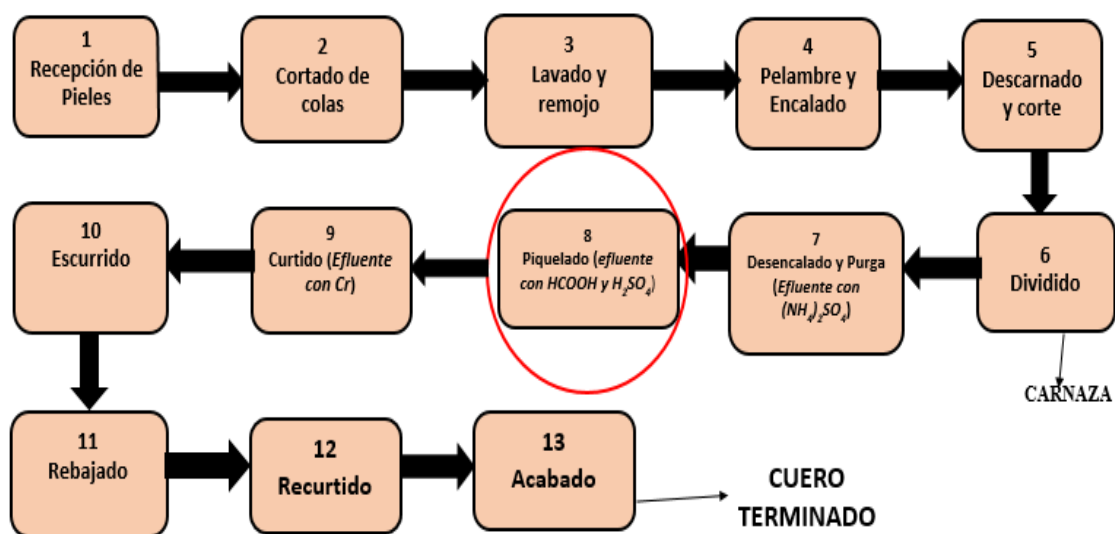
Tabla 1. VMA efluentes de la industria textil

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Aluminio	ml/l	Al	10
Arsénico	ml/l	As	0,5
Boro	ml/l	B	4
Cadmio	ml/l	Cd	0,2
Cianuro	ml/l	CN-	1

Cobre	ml/l	Cu	3
Cromo hexavalente	ml/l	Cr <sup>+6</sup>	0,5
Cromo total	ml/l	Cr	10
Manganeso	ml/l	Mn	4
Mercurio	ml/l	Hg	0,02
Níquel	ml/l	Ni	4
Plomo	ml/l	Pb	0,5
Sulfatos	ml/l	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	1000
Sulfuros	ml/l	S <sup>+2</sup>	5
Zinc	ml/l	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	ml/l	NH <sup>+4</sup>	80
Potencial Hidrógeno	Unidad	pH	6 -9
Sólidos Sedimentables	ml/h	S. S.	8,5
Temperatura	°C	T	<35
Demanda Bioquímica de Oxígeno	ml/l	DBO	500
Demanda Química de Oxígeno	ml/l	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	ml/l	S.S.T	500
Aceites y Grasas	ml/l	A y G	100

Fuente: Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA.

Mientras tanto, en la industria de la curtiembre, existen distintas etapas, uno de ellas el proceso de Piquelado, este proceso se lleva cabo antes del curtido (no es necesaria la adición de sales de Cromo) tiene como objetivo acidificar las pieles hasta un pH 3 o 2 para no obtener cueros planos o vacíos. Generalmente, el Piquelado se usa para los cueros de color blanco o en las pieles de oveja que, por su fineza y suavidad, no requieren de otro tipo de procedimiento, de este tipo de piel, se obtiene el cuero Badana, el cual es usado para el forro interno del calzado.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 2. Flujograma de proceso de curtiembre.

Del mismo modo, para estimar la contaminación de los efluentes provenientes de la curtiembre, tenemos la Normativa para la calidad de aguas residuales industriales de curtiembre que se explica claramente en el Decreto Supremo D.S. N° 003-2002-PRODUCE, que aprueban Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel. “Límite Máximo Permissible de Efluentes para alcantarillado: Nivel de concentración o cantidad de uno o más elementos o sustancias en los efluentes que se descargan al alcantarillado, que al ser excedido puede ocasionar daños a la Infraestructura del Sistema de Alcantarillado y procesos de tratamiento de las aguas servidas, y consecuentemente afectación a los ecosistemas acuáticos y salud de las personas.

Tabla 2. LMP para efluentes de la industria de curtiembre

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	LMP DE EFLUENTES PARA ALCANTARILLADO DE CURTIEMBRE	
			EN CURSO	NUEVA
Cromo hexavalente	ml/l	Cr <sup>+6</sup>		0,4
Cromo total	ml/l	Cr		2
Sulfuros	ml/l	S <sup>-2</sup>		3
Nitrógeno – Amonio	ml/l	N - NH <sub>4</sub>		30
Potencial Hidrógeno	Unidad	pH		7 -9
Temperatura	°C	T	35	35

Demanda Bioquímica de Oxígeno	ml/l	DBO <sub>5</sub>		500
Demanda Química de Oxígeno	ml/l	DQO		1500
Sólidos Suspendidos Totales	ml/l	S.S.T		500
Aceites y Grasas	ml/l	A y G	50	50
Coliformes Fecales	NMP/100ml		*	*

\* En el caso del Subsector Curtiembre, no se ha fijado valores para el parámetro Coliformes fecales, dado que la data recopilada no era representativa, ni confiable. Asimismo, no ha sido posible identificar data a nivel nacional, ni en los países analizados sobre LMP específicos para éste parámetro en curtiebres, por lo que se ha desestimado la definición de éste LMP.

**E n curso:** Se refiere a las actividades de las empresas de los subsectores de curtiembre que a la fecha de vigencia del presente Decreto Supremo se encuentran operando.

**Nueva:** Se refiere a las actividades de las empresas de los subsectores curtiembre que se inicien a partir de la fecha de vigencia del presente Decreto Supremo.

Fuente: D.S. N° 003-2002-PRODUCE

Es por ello que debemos tener el conocimiento de los conceptos de los parámetros a evaluar, siendo estos parámetros Físicoquímicos y microbiológicos, que son los que van a determinar las propiedades del agua que se relacionan a los sentidos de la vista, del tacto, gusto y olfato como pueden ser pH, los sólidos suspendidos, turbiedad, color, sabor, olor y temperatura.

Según la DIGESA, (1998). El pH es el valor que indica si una solución acuosa es ácida, neutra o básica, calculando el número iones hidrogeno presentes. Se mide en un rango a partir de 0 a 14, en la escala 7, la sustancia es neutra. Los valores de pH por debajo de 7 definen que una sustancia es ácida y los valores de pH por encima de 7 indican que es básica. Cuando una sustancia es neutra el número de los átomos de hidrógeno y de oxhidrilos son iguales y que La temperatura del agua es un indicador muy importante dada su influencia, tanto sobre el crecimiento de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así también el comportamiento del agua para ciertos usos útiles. Así mimo, indica que la temperatura es un indicador de la calidad del agua, que influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad del recurso hídrico, como el pH, el déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras condiciones físicoquímicas.

Ahora bien, si se refiere al DBO y DQO, la Dirección General de Salud Ambiental y tiene un concepto para cada termino. La DQO es la cantidad de oxígeno que se necesita para

la oxidación química de la materia orgánica e inorgánica en el agua expresada en mg/L y se usa un oxidante (Dicromato potásico) que se define en tres horas y, en la mayoría de las muestras, guarda una buena relación con la DBO por lo que es de gran utilidad al no necesitar los cinco días de la DBO”. Y para la DQO (Demanda bioquímica de oxígeno): Es la dosis de oxígeno que los microorganismos, en especial las bacterias (aeróbicas o anaeróbicas), hongos y plancton, agotan en el transcurso de la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Dado a que la materia orgánica no son solo carbohidratos, una más rápida de analizar el consumo de oxígeno en la degradación de la materia orgánica en total, es medir los parámetros de la DBO”.

Como otro indicador a disminuir tenemos a los Sólidos Suspendidos totales los sólidos, que, en suspensión son productos de la erosión de los suelos, detritus orgánico y plancton. Los sólidos suspendidos, tales como limo, arena y virus, son generalmente responsables de impurezas visibles. La materia suspendida consiste en partículas muy pequeñas, que no se pueden quitar por medio de deposición. Pueden ser identificadas con la descripción de características visibles del agua, incluyendo turbidez y claridad, gusto, color y olor del agua. Aceites y grasas son todas aquellas sustancias de naturaleza lipídica, que, al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Estas natas y espumas entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de un agua residual (Toapanta, M. 2017).

Como parámetro microbiológico, investigaremos a la bacteria *Escherichia Coli*, esta bacteria abunda en las heces de origen humano y animal. Se halla en los efluentes residuales, así como, en agua y suelos naturales que han sufrido contaminación reciente, ya sea de seres humanos, operaciones agrícolas o de animales y aves salvajes” (DIGESA, 1998).

Después de lo referido, y de acuerdo con la problemática ambiental sobre el crecimiento de las actividades industriales que trae como consecuencia el incremento del volumen de las aguas residuales que son vertidas a los ecosistemas o alcantarillado sin previo tratamiento o tratamientos muy costosos, se ha planteado un problema general ¿Cuánto será la eficiencia de la cavitación hidrodinámica en la reducción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre Lima 2019?, a partir de ello se tiene como primer problema específico, ¿Cuánto será el



porcentaje de reducción de los parámetros físicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre con el aplicación de la cavitación hidrodinámica Lima 2019?, el segundo, ¿Cuánto será el porcentaje de reducción de los parámetros químicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre con el aplicación de la cavitación hidrodinámica Lima 2019? Y por último ¿Cuánto será el porcentaje de reducción de los parámetros microbiológicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre con la aplicación de la cavitación hidrodinámica Lima 2019?

La justificación del presente trabajo de investigación va a permitir determinar si la Cavitación Hidrodinámica logra reducir los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en los efluentes contaminados del sector industrial, así también, se pretende demostrar que es una técnica competente y de bajo costo en el tratamiento de aguas residuales, debido a su sencillo diseño del reactor y el volumen en operación a gran escala, puesto que este método no genera residuos, ya que es un tratamiento físico. (Yuequn, Tao et al., 2016). Esperando contribuir para el 2030, en la mejora de la calidad de los efluentes industriales, mediante la reducción de la contaminación, la eliminación del vertimiento y la disminución al mínimo de la descarga de materiales y productos químicos peligrosos, la reducción a la mitad del porcentaje de aguas residuales sin tratar y un aumento sustancial del reciclado y la reutilización en condiciones de seguridad a nivel mundial. (ONU, 2015). Igualmente, permitirá solucionar uno de los principales problemas como son los residuos líquidos generados por los procesos del sector de la industria textil y de curtiembre y de los servicios prestados de agua y saneamiento, porque es de gran importancia para cumplir las metas de Desarrollo Sostenible, incluidos los relativos a la salud y a la igualdad de género propuestos por la ONU el 2015. A su vez, asistimos para el debido cumplimiento de la norma ambiental y dado que esta señala claramente, que se encuentra prohibido verter en las redes de alcantarillado sanitario, sustancias o elementos extraños que contravengan las leyes vigentes sobre la calidad de los efluentes. (DL 1280-Vivienda).

De la misma manera, se planteó como hipótesis general que la cavitación hidrodinámica es eficiente para reducir los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre. También, se planteó como primera hipótesis específica: La cavitación hidrodinámica reduce el porcentaje los parámetros

físicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre, como segunda hipótesis específica: La cavitación hidrodinámica reduce el porcentaje los parámetros químicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre; y, como tercera hipótesis específica: La cavitación hidrodinámica reduce el porcentaje los parámetros microbiológicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre.

Esta investigación, tiene como objetivo general: Determinar la eficiencia de la cavitación hidrodinámica en la reducción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre. Y como objetivos específicos, tiene como primer: determinar el porcentaje de reducción de los parámetros físicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre con la aplicación de la cavitación hidrodinámica. El segundo: Determinar el porcentaje de reducción de los parámetros químicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre con la aplicación de la cavitación hidrodinámica. Y como tercero y último: Determinar el porcentaje de reducción de los parámetros microbiológicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre con la aplicación de la cavitación hidrodinámica.

## **II. MÉTODO**

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

El tipo de investigación es aplicada, debido a que se requiere de conocimientos previos para la solución del problema a resolver.

El diseño, fue experimental con grupos que fueron manejados, uno de control y 8 en donde se aplicó la técnica de la cavitación hidrodinámica (toma de muestra cada 15 min) y poder concluir según los resultados de los análisis, que tiempo tomado, es el más óptimo. Para HERNÁNDEZ, et al (2010), los modelos experimentales se usan de forma aleatoria donde se opera la variable independiente, con propósito de obtener mayor confianza en las relaciones causa-efecto.

El enfoque es cuantitativo debido a que existirá manipulación de variables para contrarrestar las hipótesis, en este caso determinar la eficiencia de la Cavitación Hidrodinámica en la reducción de los parámetros contaminantes en los efluentes textil y de curtiembre.

### **2.2. Operacionalización de Variables**

- Variable Independiente (VI): Cavitación Hidrodinámica.
- Variable dependiente (VD): Reducción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

**Tabla 3. Matriz de Operacionalización**

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicador	Unidad de Medida
Variable independiente. Eficiencia de la Cavitación Hidrodinámica.	Esta es la formación, el crecimiento y colapso de las burbujas (cavidad) dentro de un líquido como consecuencia de las pulsaciones de presión locales. El líquido que contiene burbujas en forma de vapor experimenta una reducción de presión consistente que resulta en el aumento de tamaño (crecimiento) de burbujas y eventual colapso (implosionan) en una magnitud crítica de presión ( Š arco et al. 2017)	Aplicación de la cavitación	Condiciones de operación	Tiempo	min
				Caudal	L/s
Variable dependiente Reducción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.	Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos son medidas descriptivas de las propiedades de los efluentes, estos van a permitir conocer las características reales de la calidad del agua contaminada.	La reducción de contaminación de los efluentes industriales, serán calculados por medio de los parámetros de calidad de agua antes y después de someterla a la cavitación hidrodinámica.	Parámetros Microbiológicos	Escherichia Coli	NMP/100ml
			Parámetros Químicos	DQO	mg/L
				DBO	mg/L
				Aceites y Grasas	mg/L
				pH	mg/L
SST	mg/L				
Parámetros Físicos	Temperatura	°C			

Fuente: Elaboración propia, 2019.

## 2.3. Población, muestra y muestreo

### 2.3.1. Población:

### 2.3.2 Muestra

La cantidad total de las muestras para el proceso de cavitación hidrodinámica de la industria textil y de la industria de curtiembre y para la caracterización de los efluentes en el laboratorio de calidad de la Universidad Cesar Vallejo por el investigador, incluyendo el número de repeticiones, fue de Efluentes textiles: 120 L y Efluentes de curtiembre: 120 L, que se distribuirá en 3 tratamientos por tipo de industria y se rotuló con los con los siguientes términos:

*Tabla 4. Denominación de tratamiento y muestras.*

Tipo de Efluente	Tratamiento	Denominación	Tiempo
Textil (TT)	N°1	TT-1	15´
Textil (TT)	N°2	TT-2	30´
Textil (TT)	N°3	TT-3	45´
Textil (TT)	N°4	TT-4	60´
Curtiembre (TC)	N°1	TC-1	15´
Curtiembre (TC)	N°2	TC-2	30´
Curtiembre (TC)	N°3	TC-3	45´
Curtiembre (TC)	N°4	TC-4	60´

*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

Donde:

TT: Tratamiento de la Industria Textil

TT-1: Primera muestra del tratamiento textil, tomada a los 15´.

TT-2: Segunda muestra del tratamiento textil, tomada a los 30´.

TT-3: Tercera muestra del tratamiento textil, tomada a los 45´.

TT-4: Cuarta muestra del tratamiento textil, tomada a los 15´.

TC: Tratamiento de la Industria de Curtiembre.

TC-1: Primera muestra del tratamiento curtiembre, tomada a los 15´.

TC-2: Segunda muestra del tratamiento curtiembre, tomada a los 30´.

TC-3: Tercera muestra del tratamiento curtiembre, tomada a los 45´.

TC-4: Cuarta muestra del tratamiento curtiembre, tomada a los 60´.

#### **2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y fiabilidad.**

La técnica de investigación científica para el recojo de datos fue la observación directa, la misma que consiste en “[...] una observación cuidadosa y precisa, con experimentos con resultados repetitivos, con testigos adecuados y lo más cuantitativo posible. Además, deben ser exactas y deben contar de un registro escrito [...]” (GRANADOS, 2018, p.5).

Los instrumentos para la recolección de datos fueron 4 fichas:

- Ficha N° 1: “Registro de datos de campo” (Se utilizó para anotar los datos in situ).
- Ficha N° 2 “Hoja de cadena de custodia”. (Útil para ingresar cada uno de los datos de las muestras iniciales).
- Ficha N° 3: “Caracterización de la Tecnología de Cavitación Hidrodinámica” (Se utilizó para tomar los datos en función al proceso de Cavitación Hidrodinámica).
- Ficha N° 4: “Hoja de registro de resultados” (Sirvió para colocar los resultados de las muestras post tratamiento).

Dichos instrumentos se pueden observar en el Anexo N° 1

La presente investigación fue validada por 3 expertos quienes brindaron sus opiniones técnicas y especializadas del valor del instrumento “Fichas N°1, N°2, N°3 y N°4”, mismas que se pueden observar en el Anexo 2.

Para determinar la confiabilidad del instrumento (“Fichas N°1, N°2, N°3 y N°4”), se consideró lo señalado por CORRAL (2008).

“[...] existen instrumentos para recolectar datos que por su naturaleza no ameritan el cálculo de la confiabilidad, como son: entrevistas, escalas de estimación, listas de

cotejo, guías de observación, hojas registros, otros. [...] debe estimarse o comprobarse su validez, a través del juicio de expertos, para establecer si los reactivos que los configuran o integran se encuentran bien redactados y miden lo que se pretende medir” (p.18).

Es por ello que no se realizó ningún cálculo para la confiabilidad puesto solo se utilizó como instrumento fichas de recolección de datos, las mismas que fueron validadas por 3 expertos.

- Ficha N° 1: “Registro de datos de campo”

Nombres y Apellidos de los expertos	% Aprobación
<u>Especialista 1:</u>	
Dr. Jave Nakayo, Jorge Leonardo Ingeniero Agrónomo – Dr. Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible CIP. N° 43444	89%
<u>Especialista 2:</u>	
Dr. Jiménez Calderón, César Eduardo. Ingeniero Agrónomo – Sistemas de Gestión Ambiental CIP. N° 42335	90%
<u>Especialista 3:</u>	
Mgtr., Alfaro Rodríguez, Carlos Humberto. Ingeniero Químico – Sistema de Gestión Ambiental CIP. N° 37913	90%

PROMEDIO: 89.67 ACEPTABLE

- Ficha N° 2 “Hoja de cadena de custodia”.

Nombres y Apellidos de los expertos	% Aprobación
PROMEDIO: 89.17 ACEPTABLE	

---

Especialista 1:

---

Dr. Jave Nakayo, Jorge Leonardo

Ingeniero Agrónomo – Dr. Medio Ambiente y Desarrollo

Sostenible

89.5%

CIP. N° 43444

---

Especialista 2:

---

Dr. Jiménez Calderón, César Eduardo.

Ingeniero Agrónomo – Sistemas de Gestión Ambiental

CIP. N° 42335

88%

---

Especialista 3:

---

Mgtr., Alfaro Rodríguez, Carlos Humberto.

Ingeniero Químico – Sistema de Gestión Ambiental

CIP. N° 37913

90%

---

- Ficha N° 3: “Caracterización de la Tecnología de Cavitación Hidrodinámica”

Nombres y Apellidos de los expertos

% Aprobación

---

Especialista 1:

---

Dr. Jave Nakayo, Jorge Leonardo

Ingeniero Agrónomo – Dr. Medio Ambiente y Desarrollo

Sostenible

88%

CIP. N° 43444

---

Especialista 2:

---

Dr. Jiménez Calderón, César Eduardo.

Ingeniero Agrónomo – Sistemas de Gestión Ambiental

CIP. N° 42335

90%

---

Especialista 3:

---

Mgtr., Alfaro Rodríguez, Carlos Humberto.

90%

---



Ingeniero Químico – Sistema de Gestión Ambiental

CIP. N° 37913

PROMEDIO: 89.33 ACEPTABLE

- Ficha N° 4: “Hoja de registro de resultados”

Nombres y Apellidos de los expertos	% Aprobación
<u>Especialista 1:</u>	
Dr. Jave Nakayo, Jorge Leonardo Ingeniero Agrónomo – Dr. Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible CIP. N° 43444	88%
<u>Especialista 2:</u>	
Dr. Jiménez Calderón, César Eduardo. Ingeniero Agrónomo – Sistemas de Gestión Ambiental CIP. N° 42335	89.5%
<u>Especialista 3:</u>	
Mgtr., Alfaro Rodríguez, Carlos Humberto. Ingeniero Químico – Sistema de Gestión Ambiental CIP. N° 37913	95%

PROMEDIO: 90.83 ACEPTABLE

## 2.5. Procedimiento

Para la toma de muestra de los efluentes industriales textiles y de curtiembre, se procedió según las especificaciones técnicas de la Guía de muestreo de efluentes y cuerpos receptores en el marco de la autorización sanitaria de vertimiento (Digesa, 2006).

A. Obtención de la muestra de agua residual industrial.

La toma de muestra se efectúa tomando en cuenta la R.M. N° 026-2000-ITINCI-DM la cuál aprueba los Protocolos de Monitoreo de Efluentes Líquidos y Emisiones Atmosféricas. Las muestras de efluentes industriales textiles y de curtiembre se obtuvieron de los puntos de muestreo respectivamente, se identificó el punto de desagüe de sus efluentes a la red de alcantarillado. (Anexo: Imagen 1 - 2)

Para la toma de muestra se utilizó los siguientes materiales y equipos:

- Guantes de nitrilo
- Recipiente con capacidad de 25 litros
- Frasco de vidrio estéril de 1 litro
- Frasco de plástico de 1 litro
- Termómetro
- GPS
- Gel congelado
- Cooler para conservación de muestras
- Cadena de custodia
- Libreta de campo
- Multiparámetro
- Cámara digital
- Etiquetas para rotular
- Marcador indeleble

## Metodología

- Se identificó y localizo el punto de muestreo.
- Se llevó a cabo el rotulado de los frascos boca ancha y frasco de vidrio ámbar. (hora y punto de georreferenciación)
- Rotulación del recipiente de plástico de 25 litros de capacidad. (hora y punto de georreferenciación)
- Las muestras recolectadas en el frasco de vidrio ámbar de 1 litro y en el frasco de plástico de 1 litro, fueron preservadas en un cooler manteniéndose refrigerados con un gel congelado a 4 °C.
- La información obtenida, fue inscrita en la ficha N° 1. Cadena de custodia.
- Los análisis se realizaron a las muestras de pre y post prueba.

## B. Análisis inicial de las muestras de agua residual industrial.

En campo se realizó la toma de medida de los parámetros de pH y temperatura. Las muestras de agua tomadas antes del tratamiento se analizarán en un laboratorio acreditado por el INACAL-DA, para obtener valores iniciales de la calidad de agua industrial residual de acuerdo al D.S. 003-2002-PRODUCE y D. S. 010-2019-VIVIENDA que señalan los límites máximos permisibles que contiene los parámetros para las actividades industriales de acuerdo a la clasificación industrial.

La metodología y procedimiento empleado fue por parámetro:

### ❖ Análisis de DBO<sub>5</sub>

Método: APHA – AWWA – WEF (2012), 5220 – D.

### Materiales y Equipos:

- Fiola de 1000 ml.
- Frascos Winkler de 300 ml
- Multiparámetro con sonda de oxígeno disuelto.
- Fiola de 50 ml
- Fiola de 100 ml

- Pipetas graduadas.
- Probetas de 250 y 500 ml
- Balón aforado clase A de 100 ml
- Micro espátula.
- Balanza analítica.
- Agua destilada.
- Incubadora.
- Propipeta
- Luna de reloj
- Cuchara de metal

Reactivos:

Se inicia preparando los reactivos:

1. Solución amortiguadora o buffer

Fosfato monopotásico	0.43 g
Fosfato dipotásico	1.08 g
Fosfato disódico dihidratado	3.61 g
Cloruro de amoniaco	0.085 g

Se mezcla en una fiola, diluyéndola con agua destilada hasta los 50 ml.

2. Solución de sulfato de magnesio

Se pesa en una luna de reloj Sulfato de magnesio 1.125 g, se diluye con agua destilada en una fiola hasta los 50 ml.

3. Solución de cloruro de calcio

Se pesa en una luna de reloj Cloruro de Calcio 1.375 g, se diluye con agua destilada en una fiola hasta los 50ml.

4. Solución de cloruro férrico

Se pesa en una luna de reloj Cloruro férrico 0.025 g, se diluye con una fiola con agua destilada hasta los 100 ml.

Procedimiento:

- Reconocimiento de muestra:

Se debe verificar el grado de contaminación de la muestra por el olor y por el color de la muestra para la respectiva dilución.

1ml: Altas concentraciones.

10ml: Bajas concentraciones

- En una fiola de 1000 ml colocar los siguientes reactivos: solución amortiguadora o buffer (2 ml), solución de sulfato de magnesio (2 ml), solución de calcio (2 ml), solución cloruro férrico (2 ml).
- Colocar los mililitros de muestra en la fiola y enrazar con agua destilada.
- Agitar vigorosamente y llevar la solución a los frascos winkler evitando que se queden burbujas dentro del frasco.
- Realizar la lectura de uno de los frascos y el otro llevarlo a una incubadora a 21°C durante 5 días y luego leer.

Fórmulas para determinar la DBO

*Ecuación 1: Fórmula para hallar la DBO<sub>5</sub>*

$$DBO_5 \left( \frac{mg}{l} \right) = \frac{OD \text{ inicial} - OD \text{ Final}}{\text{factor de dilución}}$$

Fuente: APHA – AWWA – WEF (2012), 5220 – D.

*Ecuación 2: Fórmula para hallar el Factor de dilución.*

$$\text{factor de dilución} = \frac{\text{Volumen de la Muestra}}{\text{volumen de la fiola}}$$

Fuente: APHA – AWWA – WEF (2012), 5220 – D.

❖ Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Método: APHA – AWWA – WEF (2012), 5220 – D.

Reactivos:

Solución Amortiguadora o Buffer

- Fosfato monopotásico ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ): 0.43 g.
- Fosfato dipotásico ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ): 1.08 g.
- Fosfato disódico ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ): 3.61g.
- Cloruro de Amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ): 0.085 g.

Equipos y materiales:

- Botellas Winkler de aproximada 300 ml de capacidad.
- Pipetas graduadas.
- Probetas de 250 y 500 ml
- Balón aforado clase A de 100 ml
- Micro espátula.
- Balanza analítica.
- Agua destilada.
- Incubadora.

Para la preparación de la solución se necesitó 1.08 gramos de fosfato dipotásico ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ), 3.61 gramos de fosfato disódico ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ), 0.085 gramos de cloruro de amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), 0.43 gramos de fosfato monopotásico, posteriormente para ser disuelto en 50 ml de agua destilada y enrasado en una fiola de 50 ml.

Para la obtención de solución de Sulfato de Magnesio, fue necesario disolver 1.125 gramos de  $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$  en agua destilada para luego diluir hasta 50 ml. Asimismo, para la solución Cloruro de Calcio, se disolvió 1.375 gramos de  $\text{CaCl}_2$  en agua destilada para luego diluir hasta 50 ml y para la obtención de solución Cloruro Férrico, se disolvió 0.025 gramos de  $\text{FeCl}_3$  en agua destilada para luego diluir hasta 100 ml.

Procedimiento:

Para el respectivo análisis se realizó una dilución al 10 %, se preparó 2000 ml de agua destilada en un vaso de precipitado, donde se extrajo 500 ml de agua desionizada, el cual fue el blanco de la muestra. Dicho blanco será la muestra inicial

de las pruebas, seguidamente se obtuvo el oxígeno disuelto inicial, el cual fue de 8.10 mg/l, asimismo se aplicó 2ml de cada solución (buffer, sulfato de magnesio, cloruro de calcio y cloruro férrico), seguidamente se descargó hacia el frasco winkler suprimiendo el oxígeno en el recipiente, con la finalidad de introducir en la incubadora a una temperatura de 35 – 38°C durante 5 días para la medición de las muestra, se optó por obtener cambios mínimos a los iniciales, ya que no presentó ningún cambio drástico en dicho blanco, debido a que se trata de agua destilada pura.

#### ❖ Análisis de DQO

Método: EPA 410.4 (Colorimetría)

Reactivos:

- Solución de Digestión:

En una fiola de 100 ml, se mezclan 2.0432 gr de  $K_2Cr_2O_7$  previamente secado a 103° C por dos horas, conjuntamente con 33.4ml de  $H_2SO_4$  y con 3.3 gramos de  $HgSO_4$ .

- Solución Ácido Sulfúrico:

Preparara 0.55 gramos de  $AgSO_4$  en una fiola de 100ml enrazado con  $H_2SO_4$  puro.

- Preparación de Patrón:

- Pesar 0.85 gr de Ftalato de Hidrogeno de Potasio, secado a 120 durante 2 horas, la preparación cuenta con un DQO de 1000  $\mu g O_2/l$ .
- Pesar 0.425 gr de Ftalato de Hidrogeno de Potasio, secado a 120 durante 2 horas, la preparación cuenta con un DQO de 500  $\mu g O_2/l$ .

Equipos y materiales:

- Espectrofotómetro UV – Visible.
- Tubos de ensayo.
- Reactor de DQO.
- Fiolas de 100ml.
- Fiolas de 50ml.
- Agua destilada.

- Pipeta.
- Propipeta.
- Balanza analítica.
- Vasos de precipitado.
- Espátula
- Tubos de digestión de vidrio de borosilicato, con tapa rosca que soporten temperatura de hasta 200 °C.
- Balones aforados clase A de 50 ml.

Procedimiento:

- Creación de curva de Patrones
 

A partir de la solución patrón de Biftalato de potasio con una DQO igual a 500  $\mu\text{gO}_2/\text{L}$ , prepare estándares de las siguientes concentraciones 50; 100; 200  $\mu\text{gO}_2/\text{L}$ .

  - Prepare un estándar de 50  $\mu\text{gO}_2/\text{L}$  de DQO a partir de la solución de 500  $\mu\text{gO}_2/\text{L}$  de DQO, tome 5 ml de ésta solución y lleve a volumen en un balón aforado clase A de 50 ml, con agua ultra pura.
  - Prepare un estándar de 100  $\mu\text{gO}_2/\text{L}$  de DQO a partir de la solución de 500  $\mu\text{gO}_2/\text{L}$  de DQO, tome 10 ml de ésta solución y lleve a volumen en un balón aforado clase A de 50 ml, con agua ultra pura.
  - Prepare un estándar de 200  $\mu\text{gO}_2/\text{L}$  de DQO a partir de la solución de 500  $\mu\text{gO}_2/\text{L}$  de DQO, tome 20 ml de ésta solución y lleve a volumen en un balón aforado clase A de 50 ml, con agua ultra pura.
  - Prepare un estándar de 5.0  $\mu\text{gO}_2/\text{L}$  de DQO a partir de la solución estándar de 50  $\mu\text{gO}_2/\text{L}$  de DQO, tome 5 ml de ésta solución y lleve a volumen en un balón aforado clase A de 50 ml, con agua ultra pura.
  
- Análisis
 

Colocamos las cantidades de las muestras de acuerdo al cuadro de abajo, para la muestra utilizamos la ampolla estándar de 10ml con los patrones de muestra y cantidades como se indica.



Tabla 5. Cantidades de muestras y reactivos para varios vasos de digestión.

VASO DE DIGESTIÓN	MUESTRA ml	SOLUCIÓN DE DIGESTIÓN ml	REACTIVO	VOLUMEN TOTAL FINAL ml
Tubos de cultivo				
16 x 100 mm	2,5	1,5	3,5	7,5
20 x 150 mm	5	3	7	15
25 x 150 mm	10	6	14	30
Ampollas estándar de 10ml	2,5	1,5	3,5	7,5

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Se colocó los tubos o las ampollas en un digestor de bloque o en un horno precalentado a 150 °C y sométase a reflujo durante 2 horas.

Luego deje enfriar a temperatura ambiente y proceda a leer los resultados de la siguiente manera:

Se invirtieron las muestras enfriadas, el blanco y los patrones varias veces y déjese que los sólidos se depositen antes de medir la absorbancia. Quítense los sólidos que se adhieren a la pared del envase mediante golpes suaves.

Insértese el tubo o la ampolla cerrada a través de la puerta de acceso en la trayectoria de la luz del espectrofotómetro ajustado a 600 nm. Léase la absorbancia y compárese con la curva de calibración.

Fórmula:

Ecuación 3: Fórmula para hallar la DQO

$$ROQ \text{ en } mg \frac{O_2}{l} = \frac{mg O_2 \text{ en el volumen final } \times 1.000}{ml \text{ de muestra}}$$

Fuente: Método EPA 410.4 (Colorimetría).

❖ Análisis de aceites y grasas

NORMA: NMX-AA-005-SCFI-2000

Materiales:

1. Pera de decantación.
2. Probeta.
3. Vaso de precipitado.
4. Estufa.

Insumos:

1. Ácido clorhídrico o ácido Sulfúrico.
2. Hexano.

Procedimiento:

1. Para la recolección de la muestra es necesario que la botella debe de ser de boca ancha y de vidrio oscuro.
2. Verificar el PH de la muestra debe ser, si es necesario aplicar gotas de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o HCl, aplicar hasta conseguir una PH<2.
3. Tomar la muestra y extraer 500ml de la muestra en una probeta y echar a una pera de decantación.
4. En la pera de decantación aplicar 50ml de bencina a la pera y agitar durante 3 minutos y luego dejar reposar.
5. Luego de la decantación proceder a retirar la muestra y dejar en la pera de decantación la bencina extraída.
6. Secar los vasos de precipitados en la estufa a una temperatura de 109°C durante 30 minutos y luego enviar al desecador para luego pesarlo en la balanza de precisión.
7. Luego colocar la bencina a los vasos precipitados y enviar a la estufa para secar y evaporar la bencina a una temperatura 109°C.

*Ecuación 4: Fórmula para hallar Aceites y Grasas.*

$$\text{Aceites y grasas } \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) = (\text{Peso del vaso con muestra} - \text{Peso del vaso seco}) * 2000$$

*Fuente: NORMA: NMX-AA-005-SCFI-2000*

❖ **Análisis de Sólidos Suspendidos Totales**

Method: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 22nd Ed. 2012. Solids.

Total Suspended

Materiales:

1. Filtro de arena cuarzo de 40µm.
2. Extractor de vacío.
3. Probeta de 100ml.
4. Estufa.
5. Luna reloj

Insumos:

1. Agua destilada.
2. Hexano.

Procedimiento:

1. Agitar la muestra a fin de homogenizar la muestra, debido a que debe ser una muestra representativa.
2. Secar dicho filtro en la estufa a 103°C durante 2 horas luego colocar al desecador y pesar en la balanza analítica.
3. Tomar una muestra de 100ml en la probeta luego aplicar dicha muestra en la bomba de vacío.
4. Luego retirar el filtro colocarlo en la luna reloj y enviar a la estufa a 103°C hasta secar el filtro luego enviar al desecador y posteriormente debe pesarlo en la balanza analítica.

*Ecuación 5: Fórmula para hallar los SST.*

$$TSS = (\text{Peso del filtro con muestra} - \text{Peso del filtro seco}) * 10000$$

*Fuente: APHA-AWWA-WEF*

❖ Análisis de Coliformes Totales, Termotolerantes y E. Coli

Materiales:

Para la preparación del medio de cultivo utilizado en la prueba presuntiva de muestras de agua.

1. 12 tubos de 22 x 175 mm con 10.0 ml de caldo lauril sulfato de sodio o caldo lactosado concentración doble o triple con campana de Durham.
2. 12 tubos de 16 x 150 mm con 10.0 ml de caldo bilis verde brillante con campana de Durham.
3. 12 tubos de 16 x 150 mm con 10.0 ml de caldo EC y campana de Durham o caldo EC MUG con campana de Durham.
4. 2 cajas Petri con agar Eosina azul de metileno (EMB).

Procedimiento:

Prueba presuntiva de Coliformes Totales:

1. Agitar vigorosamente la muestra por lo menos 20 veces para lograr una distribución uniforme de los microorganismos.
2. Para preparar las diluciones, con una pipeta estéril tomar una alícuota de 1 ml de la muestra original y llevarlo a uno de los tubos conteniendo 9 ml de agua de dilución estéril, obteniendo de esta manera una dilución de  $10^{-1}$ .
3. Agitar el tubo de la dilución  $10^{-1}$  y con otra pipeta estéril tomar una alícuota de 1 ml y llevarlo a otro tubo con 9 ml de agua de dilución estéril para obtener una dilución de  $10^{-2}$ .
4. Proceder de la misma manera hasta obtener una dilución de  $10^{-3}$  o hasta donde sea necesario.
5. Inocular asépticamente con 1 ml de muestra por triplicado, tubos de fermentación conteniendo caldo lactosado o caldo lauril triptosa, a partir de las últimas 3 diluciones y conservar todas las anteriores en refrigeración por si se requiere su utilización posterior.
6. Incubar todos los tubos a una temperatura de 35 °C durante 24 horas.
7. Después de 24 horas de incubación efectuar una primera lectura para observar si hay tubos positivos, es decir, con producción de ácido, si el medio contiene un indicador de pH, turbidez y producción de gas en el interior de la campana Durham.

8. Al hacer esta verificación es importante asegurarse que la producción de gas sea resultado de la fermentación de la lactosa, en cuyo caso se observará turbidez en el medio de cultivo, y no confundir con burbujas de aire.
9. Para evitar este tipo de confusiones es recomendable revisar las campanas Durham antes de proceder a la inoculación y desechar aquellos tubos cuyas campanas contengan burbujas de aire o de alguna manera eliminar éstas y así poder utilizarlos.
10. De los tubos que en la primera lectura den positivos, ya se pueden hacer las pruebas confirmatorias para coliformes totales y coliformes fecales.
11. En caso de no apreciarse crecimiento en el resto de los tubos, continuarán en incubación horas más.
12. Después de 48 horas ( $\pm 2$ h) a partir de la inoculación, se hace la lectura final.
13. Si pasadas 48 h tampoco se aprecia crecimiento ni producción de gas, los tubos se toman como negativos.

#### Interpretación:

1. Si el total de tubos son NEGATIVOS: El examen se da por terminado, reportando la AUSENCIA DE COLIFORMES TOTALES Y FECALES en la muestra analizada.
2. Todos aquellos tubos que den POSITIVOS para prueba presuntiva se anotarán convenientemente y se procederá a realizar la PRUEBA CONFIRMATORIA para Coliformes Totales y Fecales.

#### Prueba Confirmatoria para Coliformes Totales:

1. A partir de cada uno de los tubos que han resultado positivos en la prueba presuntiva, agitándolos para homogeneizar, inocular con tres asados tubos conteniendo caldo Lactosa Bilis Verde Brillante (CLBVB).
2. Incubar durante  $48 \pm 3$  h a  $35 \pm 0.5$  °C.
3. Después de la incubación observar la presencia de turbidez y de gas.

#### Interpretación:

1. Si se observa turbidez y producción de gas: La prueba se considera POSITIVA, debiendo anotar el número de tubos positivos para posteriormente hacer el cálculo del NMP.
2. Si en ninguno de los tubos se observa producción de gas, aun cuando se observe turbidez: Se consideran NEGATIVOS, estableciéndose el Código 0,0,0 para efecto del cálculo del NMP
3. Si todos los tubos dan negativos o todos dan positivos, con base en los grados de dilución analizados, considerar la necesidad de repetir el análisis a partir de grados de dilución menores (mayores volúmenes de muestra) o mayores (menores volúmenes de muestra), respectivamente.

#### Prueba Confirmatoria para Coliformes Fecales:

1. A partir de cada uno de los tubos que han resultado positivos en la prueba presuntiva, agitándolos para homogeneizar, inocular con tres asados tubos conteniendo caldo E.C. (*Escherichia coli*).
2. Incubar durante 24 horas a  $44.5 \pm 0.2$  °C y después de este período, observar presencia de turbidez y gas.

#### Interpretación:

1. Si se observa turbidez y producción de gas: La prueba se considera POSITIVA, debiendo anotar el número de tubos positivos y establecer el código para posteriormente hacer el cálculo del NMP.
2. Si no se observa producción de gas, aun cuando se observe turbidez: Se consideran NEGATIVOS, estableciéndose el Código 0,0,0 para efecto del cálculo del NMP.
3. Si todos los tubos dan negativos o todos dan positivos, con base en los grados de dilución analizados, considerar la necesidad de repetir el análisis a partir de grados de dilución menores (mayores volúmenes de muestra) o mayores (menores volúmenes de muestra), respectivamente.

#### Cálculos:

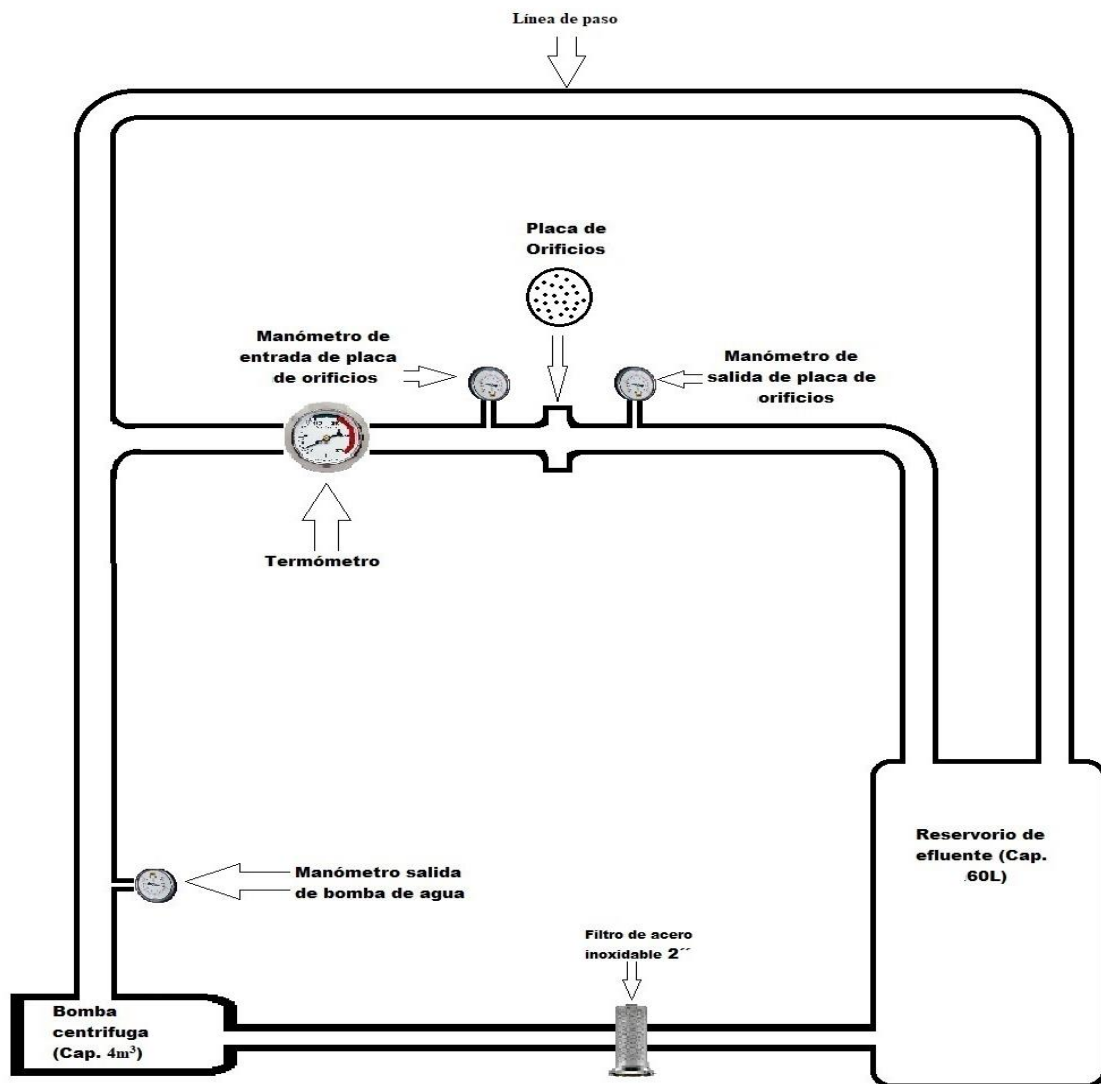
De acuerdo a los tubos positivos en las pruebas confirmativas para Coliformes Totales y Fecales, establecer los códigos correspondientes para calcular por referencia en las tablas estadísticas el NMP de Coliformes Totales y Fecales en 100 ml de agua.

#### Prueba Confirmativa para Escherichia Coli:

1. Tomar una asada de cada uno de los tubos positivos en caldo EC y sembrar por estría cruzada en agar eosina azul de metileno para su aislamiento.
2. Incubar las placas invertidas a 35°C por 18-24 h.
3. Seleccionar dos colonias de cada placa con la siguiente morfología colonial:
4. Colonias con centro negro, planas con o sin brillo metálico comprueban la presencia de E-Coli en los tubos con caldo EC.

#### Degradación de los contaminantes por cavitación hidrodinámica

El equipo consta de un sistema cerrado que consta de un reservorio líquido con capacidad de 60 litros, seguido de un filtro para bombas de 2 pulgadas, el cual, está acoplado en la parte inferior baja a una bomba centrífuga cuya regulación se realiza mediante una válvula. El efluente se divide en dos líneas luego de pasar por la bomba, una línea principal y una de paso en las que parte del agua circula por la primera línea y la otra por la segunda regresando, en ambos casos, al reservorio. Por la línea principal se ensambla el reactor de cavitación hidrodinámica con dos medidores de presión para obtener la presión de entrada al reactor y la presión corriente abajo completamente recuperada, además de un medidor de temperatura. En ambas líneas se conectan válvulas que ajustan el caudal y la presión. El reactor de cavitación consta de una placa de múltiples orificios de acero inoxidable de 1 pulgada de diámetro, 3 mm de espesor y 25 agujeros de 2 mm de diámetro, está sujeta al sistema con bridas. El efluente pasa por la línea principal, que incluye la placa con orificios, al hacer su recorrido se forman microburbujas y debido a la baja presión que experimentan estas aguas residuales, colapsan, al iniciar la detonación, estas toman la forma geométrica TOROIDE para luego implosionar, en este momento el efluente pasa por el centro de la microburbuja y libera energía destructiva eliminando el contaminante.



Fuente: Elaboración propia

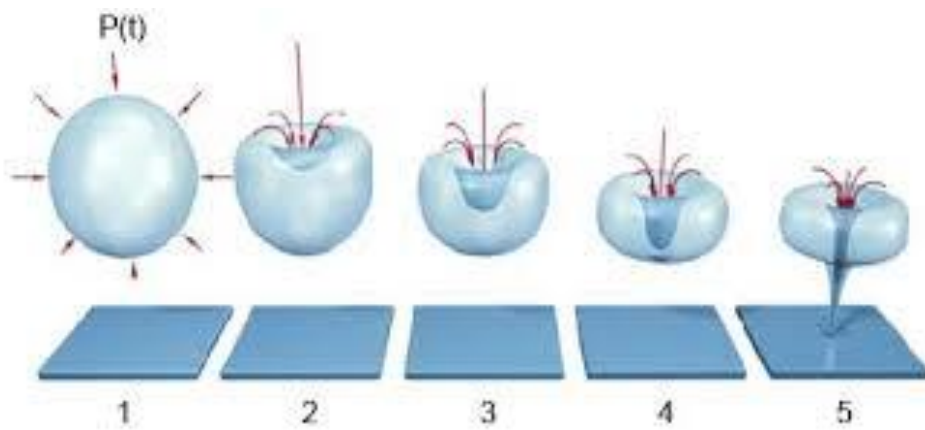
Figura 3. Sistema de tratamiento de Cavitación Hidrodinámica.





*Fuente: Freepik, 2018.*

*Figura 4. Formación y crecimiento de microburbujas.*



*Fuente: Universidad de Paris, 2017.*

*Figura 5. Implosión y colapso de Microburbujas.*

Condiciones para que se lleve a cabo el inicio de la cavitación

Para tener un eficiente rendimiento en la reducción de los parámetros físicos químicos y microbiológicos en los efluentes industriales textiles y de curtiembre, dependerá de los siguientes factores:

1. Tiempo de cavitación.
2. Presión
3. Temperatura del líquido
4. Calidad de efluente.

Tiempos de aplicación de la cavitación hidrodinámica

- Los efluentes de la industria textil y de curtiembre, se trabajaron con los siguientes tratamientos y tiempos:  
3 tratamientos que, cada uno consta de 60 minutos y toma de muestras cada 15 minutos. (15', 30', 45' y 60'). Se recolectó 4 muestras por tratamiento y tipo de efluentes, haciendo un total de 24 muestras del efluente tratado de ambas industrias.

## **2.6 Método de análisis de datos**

La herramienta de análisis de datos que se utilizó para el procesamiento de datos fue el software IBM SPSS Statistic 22, tanto por el análisis descriptivo como para análisis para la obtención del porcentaje de reducción, Anova, Tukey y prueba de normalidad relacionado con las hipótesis planteadas.

Asimismo, los gráficos y las tablas fueron elaborados mediante este procesador.

## **2.7 Aspectos Éticos**

El investigador se compromete a respetar la propiedad intelectual de los estudios consultados, la confiabilidad de los datos obtenidos durante la investigación que se presenta y la veracidad de los resultados.

### III. RESULTADOS

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

1. Determinar el porcentaje de reducción de los parámetros físicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre.

*Tabla 6. Temperatura en los efluentes de la industria textil y de curtiembre.*

TEXTIL			CURTIEMBRE		
Tratamiento	Temperatura Inicial (C°)	Temperatura Final (C°)	Tratamiento	Temperatura Inicial (C°)	Temperatura Final (C°)
TT-1	20,30	21,00	TC-1	19,00	23,43
		50,50			32,50
		39,00			34,80
TT-2	20,30	25,10	TC-2	19,00	28,50
		52,00			38,00
		44,50			39,50
TT-3	20,30	28,50	TC-3	19,00	32,90
		53,00			42,00
		48,00			42,00
TT-4	20,30	31,00	TC-4	19,00	37,50
		53,50			45,00
		51,00			44,50

*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

En la Tabla 6, se presentó los resultados obtenidos del parámetro físico de Temperatura en los efluentes de la industria textil, respecto a la aplicación de cuatro tratamientos: TT-1, TT-2, TT-3, TT-4 y en los efluentes de la industria de curtiembre, respecto a la aplicación de cuatro tratamientos: TC-1, TC-2, TC-3, TC-4, donde todos los resultados evaluados en ambas industrias, tuvieron 33.33 recirculaciones en 15 minutos, 66.66 recirculaciones en 30 minutos, 99.99 recirculaciones en 45 minutos y 133.33 recirculaciones en 60 minutos respectivamente.

2. Determinar el porcentaje de reducción de los parámetros químicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre.

*Tabla 7. pH en los efluentes de la industria textil y de curtiembre.*

TEXTIL				CURTIEMBRE			
Tratamiento	pH Inicial	pH Final	Reducción (%)	Tratamiento	pH Inicial	pH Final	Reducción (%)
TT-1	10,02	8,05	19,66	TC-1	12,20	12,16	0,33
		9,08	9,38			8,81	27,79
		7,92	20,96			8,96	26,56
TT-2	10,02	7,75	22,65	TC-2	12,20	12,09	0,90
		9,91	1,10			8,84	27,54
		8,70	10,48			9,00	27,54
TT-3	10,02	8,46	15,57	TC-3	12,20	11,92	2,30
		9,11	9,08			8,91	26,97
		8,71	12,97			9,00	26,23
TT-4	10,02	7,62	23,95	TC-4	12,20	11,86	2,79
		9,19	8,28			9,05	25,82
		7,85	21,66			9,04	25,90

*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

En la Tabla 7, se presentó los resultados obtenidos del parámetro químico de Temperatura en los efluentes de la industria textil, respecto a la aplicación de cuatro tratamientos: TT-1, TT-2, TT-3, TT-4 y en los efluentes de la industria de curtiembre, respecto a la aplicación de cuatro tratamientos: TC-1, TC-2, TC-3, TC-4, donde todos los resultados evaluados en ambas industrias, tuvieron 33.33 recirculaciones en 15 minutos, 66.66 recirculaciones en 30 minutos, 99.99 recirculaciones en 45 minutos y 133.33 recirculaciones en 60 minutos respectivamente.

*Tabla 8. Anova de un factor pH en los efluentes de la industria textil.*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	89,984	3	29,995	,501	,692
Dentro de grupos	478,597	8	59,825		
Total	568,581	11			

*Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.*

La Tabla 8, mostró la prueba estadística ANOVA de un factor para determinar la diferencia significativa de medias del pH respecto al tratamiento aplicado, donde al obtener un P-valor de 0,692 y ser mayor que el  $\alpha$  (0.05), no existe una diferencia significativa entre las medias de pH respecto a los tratamientos sometidos a los efluentes de la industria Textil.

*Tabla 9. Tukey – pH de efluentes de la industria Textil.*

Tratamiento Textil	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
TT_2	3	11,4100
TT_3	3	12,5400
TT_1	3	16,6667
TT_4	3	17,9633
Sig.		,734

*Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.*

La Tabla 9, detalló la prueba de HSD Tukey de pH de los efluentes de la industria Textil respecto al tratamiento, que permitirá determinar que tratamiento presenta mayor diferencia de medias en pH; donde se precisa que la aplicación del tratamiento TT\_4 alcanzó la mayor reducción de pH de efluentes de la industria textil con una diferencia de medias (17,9633).

*Tabla 10. Pruebas de normalidad de pH de la industria de Textil.*

	Tratamiento Textil	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
pH TT	TT_1	,348	3	.	,833	3	,196
	TT_2	,201	3	.	,994	3	,858
	TT_3	,219	3	.	,987	3	,782
	TT_4	,336	3	.	,857	3	,259

*Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.*

En la Tabla 10, se planteó las siguientes hipótesis:

Ho: Los valores obtenidos de pH siguen una distribución normal.

Ha: Los valores obtenidos de pH no siguen una distribución normal.

*Estadística y región crítica de la prueba:*

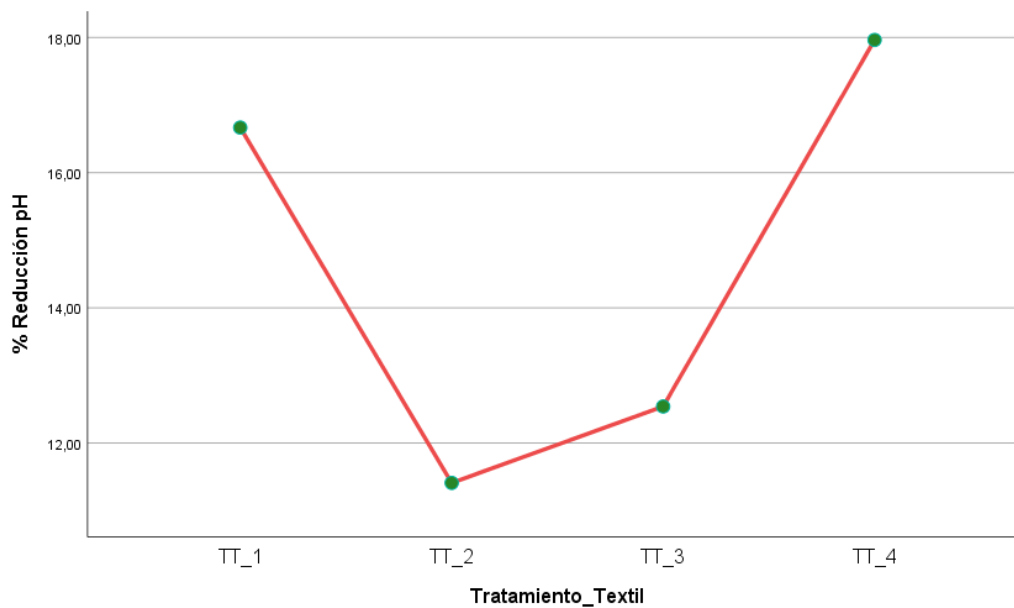
Si  $p\text{-valor} < \alpha$ : rechaza  $H_0$

Si  $p\text{-valor} > \alpha$ : no rechaza  $H_0$

Se obtuvo p-valores de: 0.196, 0.858, 0.782 y 0.259, donde  $\alpha$  de: 0.05

### *Decisión*

Por la obtención de p-Valores mayores que  $\alpha$ , la  $H_0$  no se rechaza, en conclusión, los valores de pH obedecen a un comportamiento de distribución normal. Donde se consideraron valores estadísticos de significancia de Shapiro-Wilk por ser muestras pequeñas ( $< 50$ ). Aseverando que los datos se mantienen dentro de un rango de 95% de confiabilidad.



*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

*Figura 6. Gráfico de porcentaje de reducción del pH en efluentes de la industria textil.*

En la *Figura 6*, se observó el gráfico de porcentaje de reducción de pH obtenidos en los diferentes tiempos del tratamiento de la industria textil, siendo el para el TT-1: 16,67%, para el TT-2: 11,41%, para el TT-3: 12,54% y TT-4: 17,96%. Identificamos que en el TT-4 es donde se alcanzó el mayor porcentaje de reducción del parámetro analizado.

*Tabla 11. Anova de un factor pH en los efluentes de la industria curtiembre.*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,480	3	,160	,001	1,000
Dentro de grupos	1703,072	8	212,884		
Total	1703,553	11			

Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.

La Tabla 11, precisó la prueba estadística ANOVA de un factor para determinar la diferencia significativa de medias del pH respecto al tratamiento aplicado, donde al obtener un P-valor de 1,000 y ser mayor que el  $\alpha$  (0.05), no existe una diferencia significativa entre las medias de pH respecto a los tratamientos sometidos a los efluentes de la industria curtiembre.

*Tabla 12. Tukey – pH en los efluentes de la industria curtiembre.*

Tratamiento Curtiembre	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
TC_4	3	18,1700
TC_1	3	18,2267
TC_3	3	18,5000
TC_2	3	18,6600
Sig.		1,000

Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.

La Tabla 12, mostró la prueba de HSD Tukey de pH de los efluentes de la industria curtiembre respecto al tratamiento, que permitirá determinar que tratamiento presenta mayor diferencia de medias en pH; donde se precisa que la aplicación del tratamiento TT\_2 alcanzó la mayor reducción de pH de efluentes de la industria curtiembre con una diferencia de medias (18,6600).

Tabla 13. Pruebas de normalidad de pH de la industria de Textil.

	Tratamiento Textil	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
pH	TT_1	,348	3	.	,833	3	,196
TT	TT_2	,201	3	.	,994	3	,858
	TT_3	,219	3	.	,987	3	,782
	TT_4	,336	3	.	,857	3	,259

Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.

En la Tabla 13, se planteó las siguientes hipótesis:

Ho: Los valores obtenidos de pH siguen una distribución normal.

Ha: Los valores obtenidos de pH no siguen una distribución normal.

*Estadística y región crítica de la prueba:*

Si p-valor <  $\alpha$ : rechaza Ho

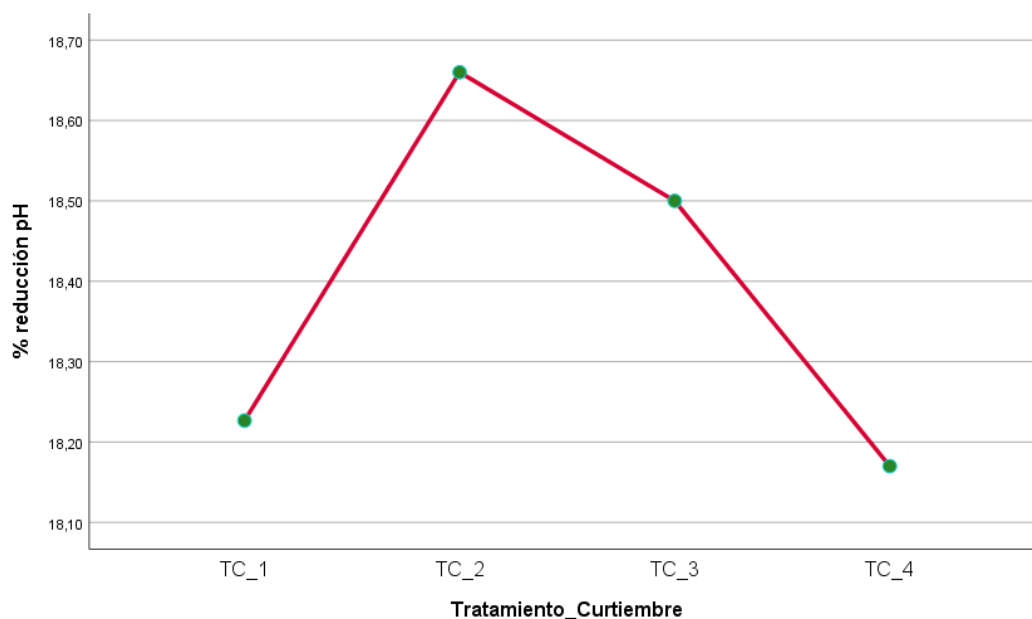
Si p-valor >  $\alpha$ : no rechaza Ho

Se obtuvo p-valores de: 0.196, 0.858, 0.782 y 0.259, donde  $\alpha$  de: 0.05

*Decisión*

Por la obtención de p-Valores mayores que  $\alpha$ , la Ho no se rechaza, en conclusión, los valores de pH obedecen a un comportamiento de distribución normal. Donde se consideraron valores estadísticos de significancia de Shapiro-Wilk por ser muestras pequeñas (< 50). Aseverando que los datos se mantienen dentro de un rango de 95% de confiabilidad.





Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 7. Gráfico de porcentaje de reducción del pH en efluentes de la industria curtiembre.

En la Figura 7, se observó el gráfico de los porcentajes de reducción de pH obtenidos en los diferentes tiempos del tratamiento de la industria de curtiembre, siendo el para el TC-1: 18.26%, para el TC-2: 18.67%, para el TC-3: 18.5% y TT-4: 18.17%. Identificamos que en el TT-2 es donde se alcanzó el mayor porcentaje de reducción del parámetro analizado.

Tabla 14. SST en los efluentes de la industria textil y de curtiembre.

TEXTIL				CURTIEMBRE			
Tratamiento	SST Inicial (mg/l)	SST Final (mg/l)	Reducción %	Tratamiento	SST Inicial (mg/l)	SST Final (mg/l)	Reducción %
TT-1	782,00	323,00	58,70	TC-1	711,00	274,00	61,46
		151,33	80,65			331,00	53,45
		147,00	81,20			295,00	58,51
TT-2	782,00	327,00	58,18	TC-2	711,00	276,00	61,18
		145,33	81,42			329,00	53,73
		145,67	81,37			303,00	53,73
TT-3	782,00	310,67	60,27	TC-3	711,00	280,00	60,62
		135,67	82,65			327,00	54,01
		144,00	81,59			305,00	57,10
TT-4	782,00	315,00	59,72	TC-4	711,00	261,00	63,29
		134,33	82,82			322,00	54,71
		145,00	81,46			296,00	58,37

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la Tabla 14, se presentó los resultados obtenidos del parámetro químico de Sólidos Suspendidos Totales en los efluentes de la industria textil, respecto a la aplicación de cuatro tratamientos: TT-1, TT-2, TT-3, TT-4 y en los efluentes de la industria de curtiembre, respecto a la aplicación de cuatro tratamientos: TC-1, TC-2, TC-3, TC-4, donde todos los resultados evaluados en ambas industrias, tuvieron 33.33 recirculaciones en 15 minutos, 66.66 recirculaciones en 30 minutos, 99.99 recirculaciones en 45 minutos y 133.33 recirculaciones en 60 minutos respectivamente.

*Tabla 15. Anova de un factor de SST en los efluentes de la industria Textil.*

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4,144	3	1,381	,008	,999
Dentro de grupos	1343,616	8	167,952		
Total	1347,761	11			

*Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019*

La Tabla 15, mostró la prueba estadística ANOVA de un factor para determinar la diferencia significativa de medias de sólidos suspendidos Totales respecto al tratamiento aplicado, donde al obtener un P-valor de 0,999 y ser mayor que el  $\alpha$  (0.05), no existe una diferencia significativa entre las medias de sólidos suspendidos respecto a los tratamientos sometidos a los efluentes de la industria textil.

*Tabla 16. Tukey - SST en los efluentes de la industria Textil.*

Tratamiento Textil	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
TT_1	3	73,5167
TT_2	3	73,6567
TT_4	3	74,6667
TT_3	3	74,8367
Sig.		,999

*Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.*

La Tabla 16, detalló la prueba de HSD Tukey de Sólidos Suspendidos Totales de los efluentes de la industria textil respecto al tratamiento, que permitirá determinar que tratamiento presenta mayor diferencia de medias en Sólidos Suspendidos Totales; donde se precisa que la aplicación del tratamiento TT\_3 alcanzó la mayor reducción de Sólidos Suspendidos Totales de efluentes de la industria textil con una diferencia de medias (74,8367).

*Tabla 17. Pruebas de normalidad de SST de la industria de Textil.*

	Tratamiento Textil	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
SST	TT_1	,377	3	.	,768	3	,041
TT	TT_2	,384	3	.	,752	3	,004
	TT_3	,370	3	.	,785	3	,080
	TT_4	,367	3	.	,794	3	,100

*Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.*

En la Tabla 17, se probó las siguientes hipótesis:

Ho: Los valores obtenidos de sólidos suspendidos totales siguen una distribución normal.

Ha: Los valores obtenidos de sólidos suspendidos totales no siguen una distribución normal.

*Estadística y región crítica de la prueba:*

Si  $p\text{-valor} < \alpha$ : rechaza Ho

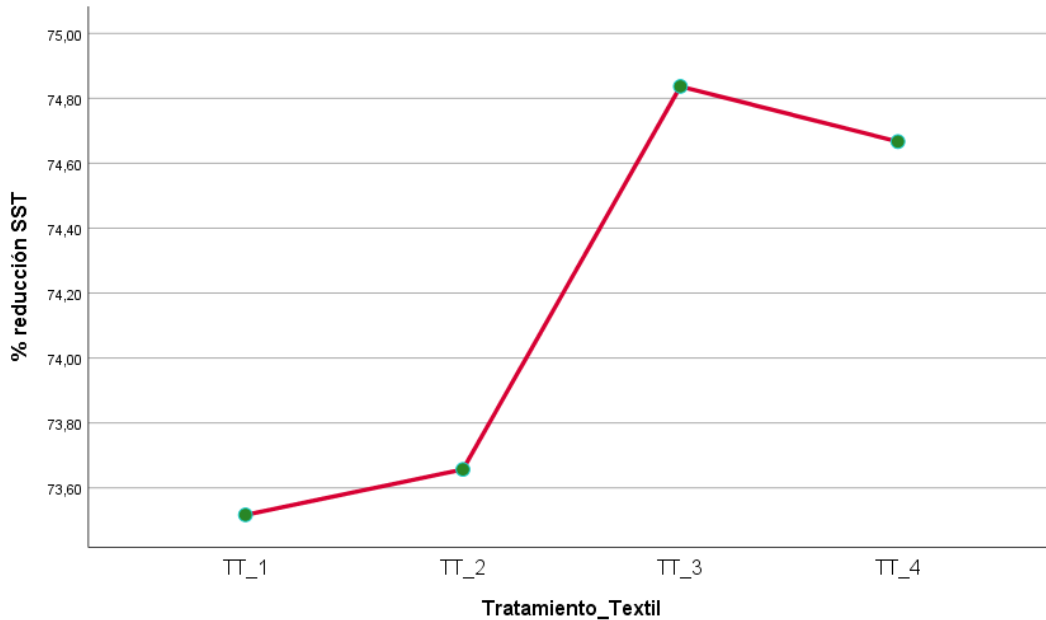
Si  $p\text{-valor} > \alpha$ : no rechaza Ho

Se obtuvo p-valores de: 0.041, 0.004, 0.080 y 0.100, donde  $\alpha$  de: 0.05

*Decisión*

Por la obtención de p-Valores menores y mayores que  $\alpha$ , la Ho no se rechaza para algunos casos, en conclusión, los valores de SST no obedecen a un comportamiento de distribución normal para TT-1 y TT-2 y los valores de SST para TT-3 y TT-4, obedecen a un comportamiento de distribución normal en. Donde se consideraron valores

estadísticos de significancia de Shapiro-Wilk por ser muestras pequeñas (< 50). Aseverando que los datos se mantienen dentro de un rango de 95% de confiabilidad.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 8. Gráfico de porcentaje de reducción del SST en efluentes de la industria textil.

En la Figura 8, se observó el gráfico de porcentajes de reducción de SST obtenidos en los diferentes tiempos del tratamiento de la industria textil, siendo el para el TT-1: 73.51%, para el TT-2: 73.65%, para el TT-3: 74.85% y TT-4: 74.67%. Identificamos que en el TT-3 es donde se alcanzó el mayor porcentaje de reducción del parámetro analizado.

Tabla 18: Anova de un factor de SST en los efluentes de la industria Curtiembre.

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	10,436	3	3,479	,216	,883
Dentro de grupos	128,773	8	16,097		
Total	139,210	11			

Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.

La Tabla 18, mostró la prueba estadística ANOVA de un factor para determinar la diferencia significativa de medias de sólidos suspendidos Totales respecto al tratamiento aplicado, donde al obtener un P-valor de 0,883 y ser mayor que el  $\alpha$  (0.05), no existe una

diferencia significativa entre las medias de sólidos suspendidos respecto a los tratamientos sometidos a los efluentes de la industria curtiembre.

Tabla 19: Tukey – SST en los efluentes de la industria curtiembre.

Tratamiento Curtiembre	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
TC_2	3	56,2133
TC_3	3	57,2433
TC_1	3	57,8067
TC_4	3	58,7900
Sig.		,859

Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.

La Tabla 19, mostró la prueba de HSD Tukey de Sólidos Suspendidos Totales de los efluentes de la industria curtiembre respecto al tratamiento, que permitirá determinar que tratamiento presenta mayor diferencia de medias en Sólidos Suspendidos Totales; donde se precisa que la aplicación del tratamiento TC\_4 alcanzó la mayor reducción de Sólidos Suspendidos Totales de efluentes de la industria curtiembre con una diferencia de medias (58,7900).

Tabla 20: Pruebas de normalidad de SST en la industria de curtiembre.

Tratamiento Curtiembre		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
SST	TC_1	,236	3	.	,977	3	,712
TC	TC_2	,176	3	.	1,000	3	,978
	TC_3	,184	3	.	,999	3	,928
	TC_4	,206	3	.	,993	3	,838

Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.

En la Tabla 20, se planteó las siguientes hipótesis:

Ho: Los valores obtenidos de SST siguen una distribución normal.

Ha: Los valores obtenidos de SST no siguen una distribución normal.

*Estadística y región crítica de la prueba:*

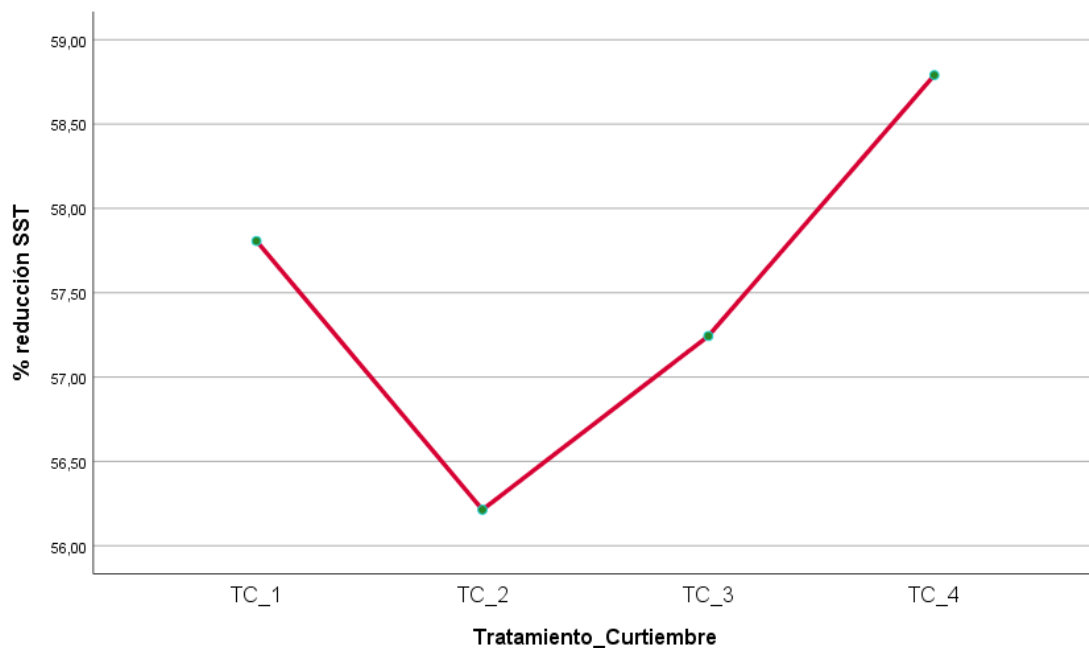
Si  $p\text{-valor} < \alpha$ : rechaza  $H_0$

Si  $p\text{-valor} > \alpha$ : no rechaza  $H_0$

Se obtuvo p-valores de: 0.712, 0.978, 0.928 y 0.838, donde  $\alpha$  de: 0.05

### *Decisión*

Por la obtención de p-Valores mayores que  $\alpha$ , la  $H_0$  no se rechaza, en conclusión, los valores de Sólidos suspendidos totales obedecen a un comportamiento de distribución normal. Donde se consideraron valores estadísticos de significancia de Shapiro-Wilk por ser muestras pequeñas ( $< 50$ ). Aseverando que los datos se mantienen dentro de un rango de 95% de confiabilidad.



*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

*Figura 9. Gráfico de porcentaje de reducción del SST en efluentes de la industria curtiembre.*

En la Figura 9, se observó el gráfico de porcentaje de reducción de SST obtenidos en los diferentes tiempos del tratamiento de la industria de curtiembre, siendo el para el TC-1: 57.80%, para el TC-2: 56.21%, para el TC-3: 57.24% y TT-4: 58.79%. Identificamos que en el TC-4 es donde se alcanzó el mayor porcentaje de reducción del parámetro analizado.

Tabla 21. DBO en los efluentes de la industria textil y de curtiembre.

TEXTIL				CURTIEMBRE			
Tratamiento	DBO Inicial (mg/l)	DBO Final (mg/l)	Reducción %	Tratamiento	DBO Inicial (mg/l)	DBO Final (mg/l)	Reducción %
TT-1	860,00	418,33	51,36	TC-1	859,00	346,67	59,64
		314,67	63,41			382,67	55,45
		307,00	64,30			220,67	74,31
TT-2	860,00	423,00	50,81	TC-2	859,00	346,00	59,72
		312,00	63,72			387,00	54,95
		306,67	64,34			214,67	54,95
TT-3	860,00	407,67	52,60	TC-3	859,00	353,33	58,87
		310,00	63,95			379,00	55,88
		309,67	63,99			212,00	75,32
TT-4	860,00	379,33	55,89	TC-4	859,00	342,33	60,15
		305,67	64,46			370,67	56,85
		303,00	64,77			211,33	75,40

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la Tabla 21, se presentó los resultados obtenidos del parámetro químico de la demanda Biológica de Oxígeno en los efluentes de la industria textil, respecto a la aplicación de cuatro tratamientos: TT-1, TT-2, TT-3, TT-4 y en los efluentes de la industria de curtiembre, respecto a la aplicación de cuatro tratamientos: TC-1, TC-2, TC-3, TC-4, donde todos los resultados evaluados en ambas industrias, tuvieron 33.33 recirculaciones en 15 minutos, 66.66 recirculaciones en 30 minutos, 99.99 recirculaciones en 45 minutos y 133.33 recirculaciones en 60 minutos respectivamente.

Tabla 22. Anova de un factor de DBO en efluentes de industria textil.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	8,469	3	2,823	,063	,978
Dentro de grupos	358,168	8	44,771		
Total	366,637	11			

Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.

La Tabla 22, mostró la prueba estadística ANOVA de un factor para determinar la diferencia significativa de medias de Demanda Biológica de Oxígeno respecto al tratamiento aplicado, donde al obtener un P-valor de 0,978 y ser mayor que el  $\alpha$  (0.05),

no existe una diferencia significativa entre las medias de demanda biológica de oxígeno respecto a los tratamientos sometidos a los efluentes de la industria textil.

*Tabla 23. Tukey-DBO de efluentes en industrial Textil.*

Tratamiento Textil	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
TT_2	3	59,6233
TT_1	3	59,6900
TT_3	3	60,1800
TT_4	3	61,7067
Sig.		,980

*Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.*

La Tabla 23, detalló la prueba de HSD Tukey de Demanda Biológica de Oxígeno de los efluentes de la industria textil respecto al tratamiento, que permitirá determinar que tratamiento presenta mayor diferencia de medias en Demanda Biológica de Oxígeno; donde se precisa que la aplicación del tratamiento TT\_4 alcanzó la mayor reducción de Demanda Biológica de Oxígeno de efluentes de la industria textil con una diferencia de medias (61,7067).

*Tabla 24. Pruebas de normalidad de DBO de la industria de Textil.*

	Tratamiento Textil	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DBO	TT_1	,363	3	.	,801	3	,118
TT	TT_2	,371	3	.	,784	3	,078
	TT_3	,384	3	.	,753	3	,006
	TT_4	,374	3	.	,776	3	,059

*Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.*

En la Tabla 24, se analizó las siguientes hipótesis:

Ho: Los valores obtenidos de demanda biológica de oxígeno siguen una distribución normal.

Ha: Los valores obtenidos de demanda biológica de oxígeno no siguen una distribución normal.



*Estadística y región crítica de la prueba:*

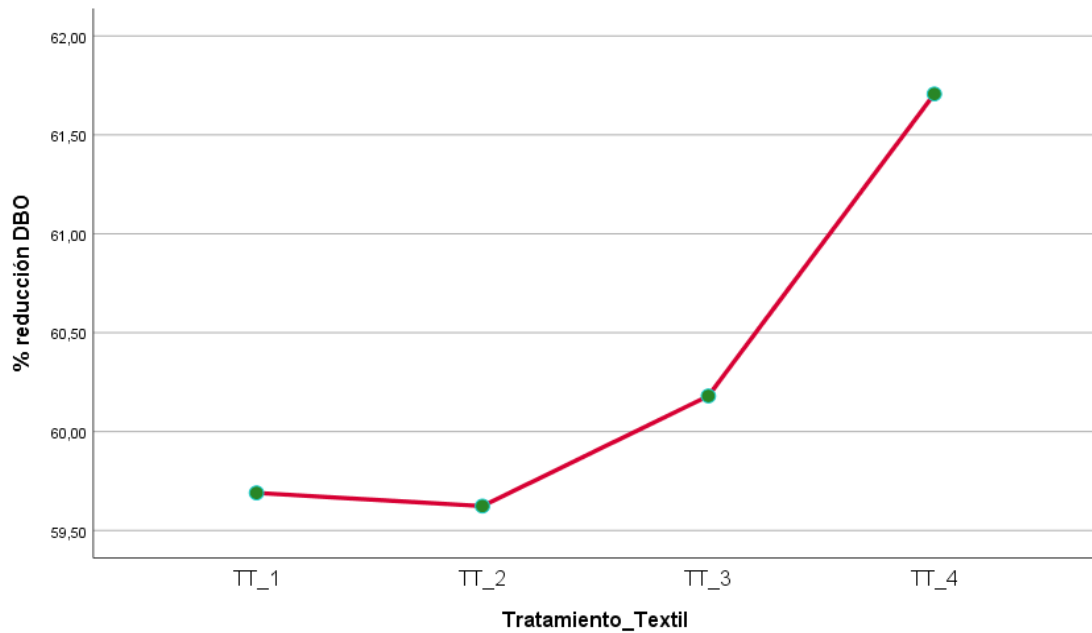
Si  $p\text{-valor} < \alpha$ : rechaza  $H_0$

Si  $p\text{-valor} > \alpha$ : no rechaza  $H_0$

Se obtuvo p-valores de: 0.118, 0.078, 0.006 y 0.059, donde  $\alpha$  de: 0.05

### *Decisión*

Por la obtención de p-Valores menores y mayores que  $\alpha$ , la  $H_0$  no se rechaza para algunos casos, en conclusión, los valores de demanda biológica de oxígeno no obedecen a un comportamiento de distribución normal para TT-3 y los valores de demanda biológica de oxígeno para TT-1, TT-2 y TT-4, obedecen a un comportamiento de distribución normal. Donde se consideraron valores estadísticos de significancia de Shapiro-Wilk por ser muestras pequeñas ( $< 50$ ). Aseverando que los datos se mantienen dentro de un rango de 95% de confiabilidad



*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

*Figura 10. Gráfico de porcentaje de reducción del DBO en efluentes de la industria textil.*

En la *Figura 10*, se observó el gráfico de porcentajes de reducción del DBO obtenidos en los diferentes tiempos del tratamiento de la industria textil, siendo el para el TT-1: 59.69%, para el TT-2: 59.62%, para el TT-3: 60.18% y TT-4: 61.71%. Identificamos que en el TT-4 es donde se alcanzó el mayor porcentaje de reducción del parámetro analizado.

Tabla 25. Anova de un factor de DBO de los efluentes la industria de curtiembre.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	111,938	3	37,313	,477	,707
Dentro de grupos	626,327	8	78,291		
Total	738,265	11			

Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.

La Tabla 25, mostró la prueba estadística ANOVA de un factor para determinar la diferencia significativa de medias de Demanda Biológica de Oxígeno respecto al tratamiento aplicado, donde al obtener un P-valor de 0,707 y ser mayor que el  $\alpha$  (0.05), no existe una diferencia significativa entre las medias de demanda biológica de oxígeno respecto a los tratamientos sometidos a los efluentes de la industria de curtiembre.

Tabla 26. Tukey – DBO de efluente de industria de curtiembre.

Tratamiento Curtiembre	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
TC_2	3	56,5400
TC_1	3	63,1333
TC_3	3	63,3567
TC_4	3	64,1333
Sig.		,726

Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.

La Tabla 26, explicó la prueba de HSD Tukey de Demanda Biológica de Oxígeno de los efluentes de la industria curtiembre respecto al tratamiento, que permitirá determinar que tratamiento presenta mayor diferencia de medias en Demanda Biológica de Oxígeno; donde se precisa que la aplicación del tratamiento TT\_4 alcanzó la mayor reducción de Demanda Biológica de Oxígeno de efluentes de la industria curtiembre con una diferencia de medias (64,1333).

Tabla 27. Pruebas de normalidad de DBO en la industria de curtiembre.

Tratamiento Curtiembre		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DBO	TC_1	,305	3	.	,907	3	,407
TC	TC_2	,302	3	.	,910	3	,418
	TC_3	,333	3	.	,862	3	,274
	TC_4	,323	3	.	,878	3	,320

Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.

En la Tabla 27, se probó las siguientes hipótesis:

Ho: Los valores obtenidos de demanda biológica de oxígeno siguen una distribución normal.

Ha: Los valores obtenidos de demanda biológica de oxígeno no siguen una distribución normal.

*Estadística y región crítica de la prueba:*

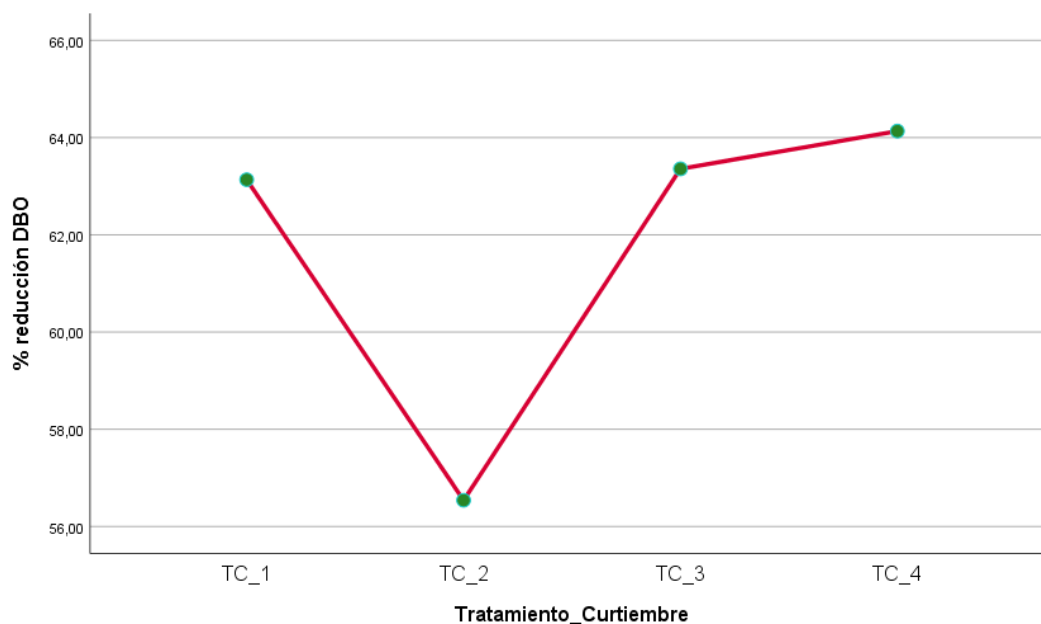
Si  $p\text{-valor} < \alpha$ : rechaza Ho

Si  $p\text{-valor} > \alpha$ : no rechaza Ho

Se obtuvo p-valores de: 0.407, 0.418, 0.274 y 0.320, donde  $\alpha$  de: 0.05

*Decisión*

Por la obtención de p-Valores mayores que  $\alpha$ , la Ho no se rechaza, en conclusión, los valores de demanda biológica de oxígeno obedecen a un comportamiento de distribución normal. Donde se consideraron valores estadísticos de significancia de Shapiro-Wilk por ser muestras pequeñas ( $< 50$ ). Aseverando que los datos se mantienen dentro de un rango de 95% de confiabilidad.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 11. Gráfico de porcentaje de reducción del DBO en efluentes de la industria curtiembre.

En la Figura 11, se observó el gráfico de porcentajes de reducción del DBO obtenidos en los diferentes tiempos del tratamiento de la industria de curtiembre, siendo el para el TC-1: 63.13%, para el TC-2: 56.54%, para el TC-3: 63.36% y TT-4: 64.13%. Identificamos que en el TC-3 es donde se alcanzó el mayor porcentaje de reducción del parámetro analizado.

Tabla 28. DQO en los efluentes de la industria de Textil y Curtiembre.

TEXTIL				CURTIEMBRE			
Tratamiento	DQO Inicial (mg/l)	DQO Final (mg/l)	Reducción %	Tratamiento	DQO Inicial (mg/l)	DQO Final (mg/l)	Reducción %
TT-1	1400	738,00	47,29	TC-1	1883,00	613,67	67,41
		561,67	59,88			687,00	63,52
		519,67	62,88			566,67	69,91
TT-2	1400	737,00	47,36	TC-2	1883,00	614,67	67,36
		548,67	60,81			690,33	63,34
		517,00	63,07			560,67	63,34
TT-3	1400	696,00	50,29	TC-3	1883,00	638,00	66,12
		546,67	60,95			680,67	63,85
		513,67	63,31			572,33	69,61
TT-4	1400	705,00	49,64	TC-4	1883,00	627,67	66,67
		546,33	60,98			676,67	64,06
		517,33	63,05			563,33	70,08

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la Tabla 28, se presentó los resultados obtenidos del parámetro químico de la demanda química de oxígeno en los efluentes de la industria textil, respecto a la aplicación de cuatro tratamientos: TT-1, TT-2, TT-3, TT-4 y en los efluentes de la industria de curtiembre, respecto a la aplicación de cuatro tratamientos: TC-1, TC-2, TC-3, TC-4, donde todos los resultados evaluados en ambas industrias, tuvieron 33.33 recirculaciones en 15 minutos, 66.66 recirculaciones en 30 minutos, 99.99 recirculaciones en 45 minutos y 133.33 recirculaciones en 60 minutos respectivamente.

*Tabla 29. Anova de un factor de DQO en los efluentes de la industria Textil.*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4,367	3	1,456	,024	,994
Dentro de grupos	481,602	8	60,200		
Total	485,969	11			

Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.

La Tabla 29, mostró la prueba estadística ANOVA de un factor para determinar la diferencia significativa de medias de Demanda Química de Oxígeno respecto al tratamiento aplicado, donde al obtener un P-valor de 0,994 y ser mayor que el  $\alpha$  (0.05), no existe una diferencia significativa entre las medias de demanda química de oxígeno respecto a los tratamientos sometidos a los efluentes de la industria textil.

*Tabla 30: Tukey de DQO en efluentes de industria textil.*

Tratamiento Textil	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
TT_1	3	56,6833
TT_2	3	57,0800
TT_4	3	57,8900
TT_3	3	58,1833
Sig.		,995

Fuente: Tabla SPSS, elaboración propia, 2019.

La Tabla 30, detalló la prueba de HSD Tukey de Demanda Química de Oxígeno de los efluentes de la industria textil respecto al tratamiento, que permitirá determinar que tratamiento presenta mayor diferencia de medias en Demanda Química de Oxígeno; donde se precisa que la aplicación del tratamiento TT\_3 alcanzó la mayor reducción de Demanda Química de Oxígeno de efluentes de la industria textil con una diferencia de medias (58,1833).

*Tabla 31: Pruebas de normalidad de DQO de la industria de Textil*

Tratamiento Textil		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DQOT	TT_1	,317	3	.	,888	3	,348
T	TT_2	,336	3	.	,855	3	,255
	TT_3	,322	3	.	,881	3	,326
	TT_4	,332	3	.	,863	3	,275

*Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.*

En la Tabla 31, se analizó las siguientes hipótesis:

Ho: Los valores obtenidos de demanda química de oxígeno siguen una distribución normal.

Ha: Los valores obtenidos de demanda química de oxígeno no siguen una distribución normal.

*Estadística y región crítica de la prueba:*

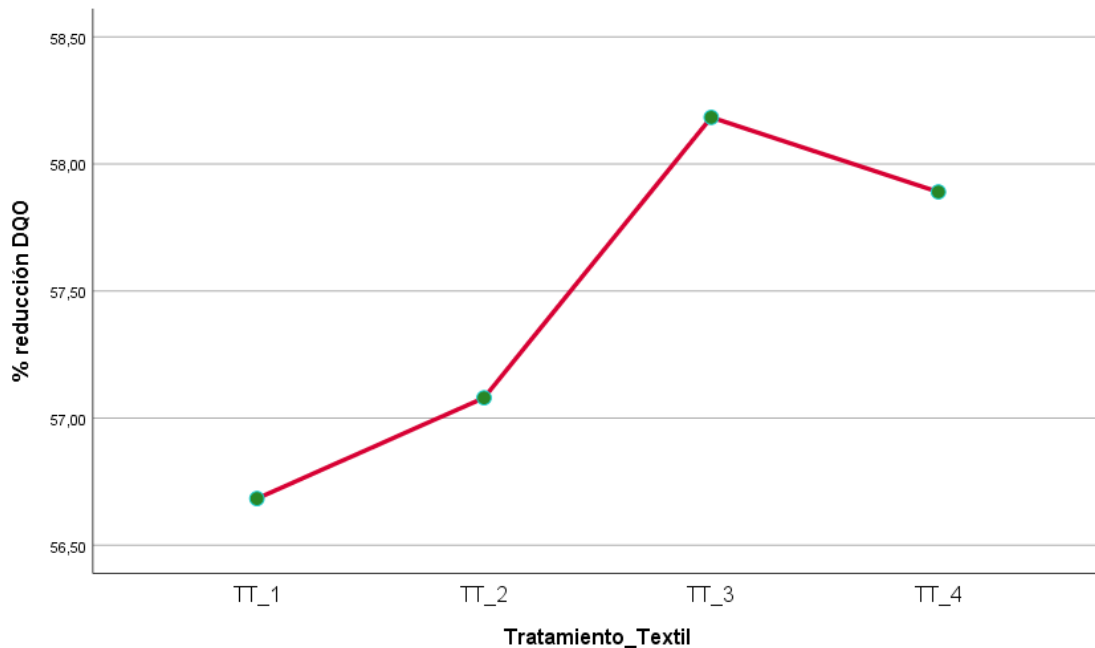
Si  $p\text{-valor} < \alpha$ : rechaza Ho

Si  $p\text{-valor} > \alpha$ : no rechaza Ho

Se obtuvo p-valores de: 0.348, 0.255, 0.326 y 0.275, donde  $\alpha$  de: 0.05

*Decisión*

Por la obtención de p-Valores mayores que  $\alpha$ , la Ho no se rechaza, en conclusión, los valores de demanda química de oxígeno obedecen a un comportamiento de distribución normal. Donde se consideraron valores estadísticos de significancia de Shapiro-Wilk por ser muestras pequeñas (< 50). Aseverando que los datos se mantienen dentro de un rango de 95% de confiabilidad.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 12. Gráfico de porcentaje de reducción del DQO en efluentes de la industria textil.

En la Figura 12, se observó los porcentajes de reducción del DQO obtenidos en los diferentes tiempos del tratamiento de la industria textil, siendo el para el TT-1: 56.68%, para el TT-2: 57.08%, para el TT-3: 58.18% y TT-4: 57.89%. Identificamos que en el TT-3 es donde se alcanzó el mayor porcentaje de reducción del parámetro analizado.

Tabla 32. Anova de un factor de demanda Química de Oxígeno en la industria de curtiembre.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	10,489	3	3,496	,420	,744
Dentro de grupos	66,575	8	8,322		
Total	77,064	11			

Fuente: Tabla SPSS, elaboración propia, 2019.

La Tabla 32, mostró la prueba estadística ANOVA de un factor para determinar la diferencia significativa de medias de Demanda Química de Oxígeno respecto al tratamiento aplicado, donde al obtener un P-valor de 0,744 y ser mayor que el  $\alpha$  (0.05), no existe una diferencia significativa entre las medias de demanda química de oxígeno respecto a los tratamientos sometidos a los efluentes de la industria de curtiembre.

Tabla 33. Tukey de DQO en efluentes de la industria de curtiembre.

Tratamiento Curtiembre	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
TC_2	3	64,6800
TC_3	3	66,5267
TC_4	3	66,9367
TC_1	3	66,9467
Sig.		,774

Fuente: Tabla SPSS, elaboración propia, 2019.

La Tabla 33, detalló la prueba de HSD Tukey de Demanda Química de Oxígeno de los efluentes de la industria curtiembre respecto al tratamiento, que permitirá determinar que tratamiento presenta mayor diferencia de medias en Demanda Química de Oxígeno; donde se precisa que la aplicación del tratamiento TC\_1 alcanzó la mayor reducción de Demanda Química de Oxígeno de efluentes de la industria curtiembre con una diferencia de medias (66,9467).

Tabla 34. Pruebas de normalidad de DQO en la industria de curtiembre.

Tratamiento Curtiembre		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DQO	TC_1	,224	3	.	,984	3	,761
TC	TC_2	,211	3	.	,991	3	,815
	TC_3	,222	3	.	,985	3	,768
	TC_4	,202	3	.	,994	3	,854

Fuente: Tabla SPSS, elaboración propia, 2019.



En la Tabla 34, se probó las siguientes hipótesis:

Ho: Los valores obtenidos de demanda química de oxígeno siguen una distribución normal.

Ha: Los valores obtenidos de demanda química de oxígeno no siguen una distribución normal.

*Estadística y región crítica de la prueba:*

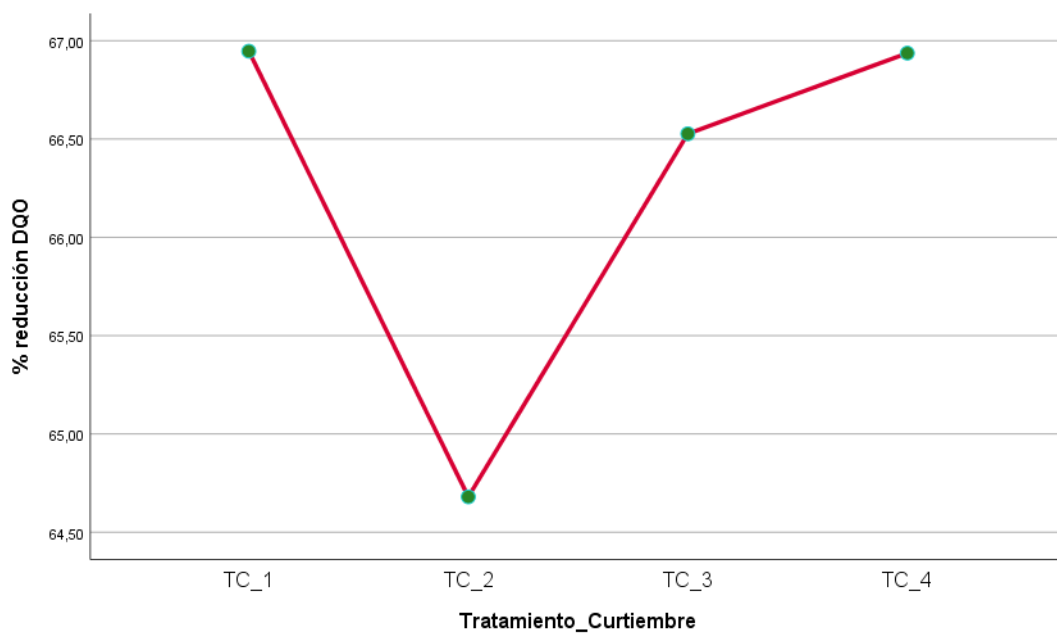
Si  $p\text{-valor} < \alpha$ : rechaza Ho

Si  $p\text{-valor} > \alpha$ : no rechaza Ho

Se obtuvo p-valores de: 0.761, 0.815, 0.768 y 0.854, donde  $\alpha$  de: 0.05

*Decisión*

Por la obtención de p-Valores mayores que  $\alpha$ , la Ho no se rechaza, en conclusión, los valores de demanda química de oxígeno obedecen a un comportamiento de distribución normal. Donde se consideraron valores estadísticos de significancia de Shapiro-Wilk por ser muestras pequeñas ( $< 50$ ). Aseverando que los datos se mantienen dentro de un rango de 95% de confiabilidad.



*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

*Figura 13. Gráfico de porcentaje de reducción del DQO en efluentes de la industria curtiembre.*

En la *Figura 13*, se observó el gráfico de porcentaje de reducción del DQO obtenidos en los diferentes tiempos del tratamiento de la industria de curtiembre, siendo el para el TC-1: 66.95%, para el TC-2: 64.68%, para el TC-3: 66.53% y TT-4: 66.94%. Identificamos que en el TC-4 es donde se alcanzó el mayor porcentaje de reducción del parámetro analizado.

*Tabla 35. Aceites y grasas en los efluentes de la industria de Textil y Curtiembre.*

TEXTIL				CURTIEMBRE			
Tratamiento	AyG Inicial (mg/l)	AyG Final (mg/l)	Reducción %	Tratamiento	AyG Inicial (mg/l)	AyG Final (mg/l)	Reducción %
TT-1	148,00	16,47	88,87	TC-1	125,00	33,53	73,17
		12,40	91,62			32,70	73,84
		11,50	92,23			27,53	77,97
TT-2	148,00	12,67	91,44	TC-2	125,00	34,63	72,29
		12,13	91,80			31,40	74,88
		11,77	92,05			27,40	74,88
TT-3	148,00	12,63	91,46		125,00	36,40	70,88
		11,23	92,41			31,50	74,80
		10,17	93,13			25,07	79,95
TT-4	148,00	11,17	92,45	TC-4	125,00	35,13	71,89
		10,57	92,86			35,97	71,23
		10,37	93,00			24,30	80,56

*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

En la Tabla 35, se presentó los resultados obtenidos del parámetro químico de Aceites y grasas en los efluentes de la industria textil, respecto a la aplicación de cuatro tratamientos: TT-1, TT-2, TT-3, TT-4 y en los efluentes de la industria de curtiembre, respecto a la aplicación de cuatro tratamientos: TC-1, TC-2, TC-3, TC-4, donde todos los resultados evaluados en ambas industrias, tuvieron 33.33 recirculaciones en 15 minutos, 66.66 recirculaciones en 30 minutos, 99.99 recirculaciones en 45 minutos y 133.33 recirculaciones en 60 minutos respectivamente.

Tabla 36. Anova de un factor de Aceites y Grasas en afluentes de la industria textil.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	5,828	3	1,943	1,904	,207
Dentro de grupos	8,163	8	1,020		
Total	13,990	11			

Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.

La Tabla 36, mostró la prueba estadística ANOVA de un factor para determinar la diferencia significativa de medias de Aceites y grasas respecto al tratamiento aplicado, donde al obtener un P-valor de 0,207 y ser mayor que el  $\alpha$  (0.05), no existe una diferencia significativa entre las medias de aceites y grasas respecto a los tratamientos sometidos a los efluentes de la industria de textil.

Tabla 37. Tukey de aceites y grasas en efluentes de la industria textil.

Tratamiento Textil	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
TT_1	3	90,9067
TT_2	3	91,7633
TT_3	3	92,3333
TT_4	3	92,7700
Sig.		,187

Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.

La Tabla 37, brindó la prueba de HSD Tukey de aceites y grasas de los efluentes de la industria textil respecto al tratamiento, que permitirá determinar que tratamiento presenta mayor diferencia de medias de aceites y grasas; donde se precisa que la aplicación del tratamiento TT\_4 alcanzó la mayor reducción de aceites y grasas de efluentes de la industria textil con una diferencia de medias (92,7700).

Tabla 38. Pruebas de normalidad de Aceites y Grasas de la industria de Textil

Tratamiento Textil		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
AyG	TT_1	,322	3	.	,881	3	,327
TT	TT_2	,214	3	.	,989	3	,802
	TT_3	,203	3	.	,994	3	,848
	TT_4	,290	3	.	,926	3	,473

Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.

En la Tabla 39, se probó las siguientes hipótesis:

Ho: Los valores obtenidos de aceite y grasas siguen una distribución normal.

Ha: Los valores obtenidos de aceite y grasas no siguen una distribución normal.

*Estadística y región crítica de la prueba:*

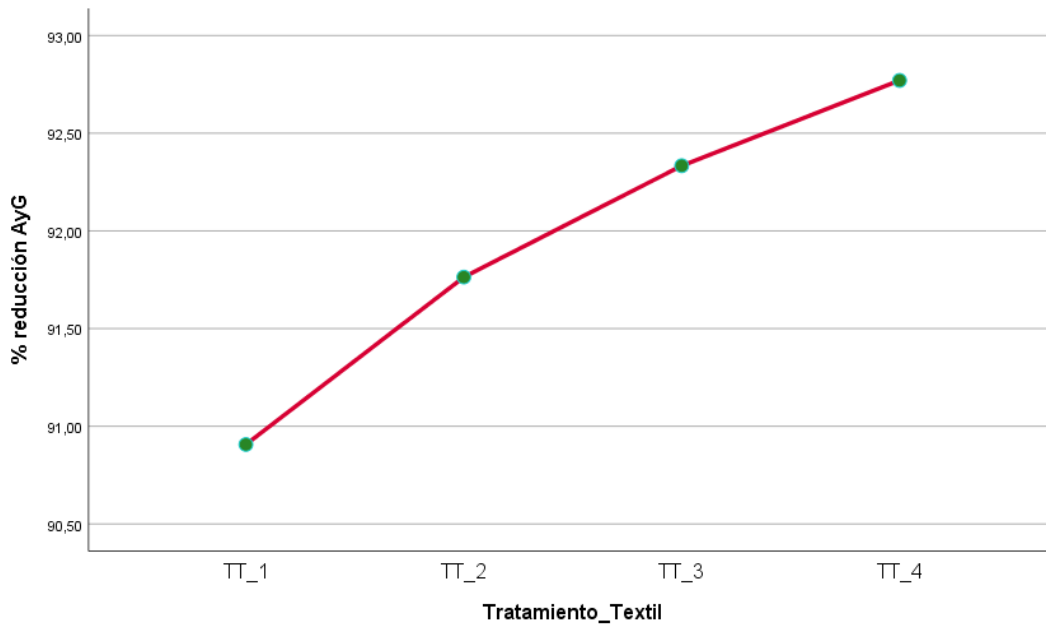
Si  $p\text{-valor} < \alpha$ : rechaza Ho

Si  $p\text{-valor} > \alpha$ : no rechaza Ho

Se obtuvo p-valores de: 0.327, 0.802, 0.848 y 0.473, donde  $\alpha$  de: 0.05

*Decisión*

Por la obtención de p-Valores mayores que  $\alpha$ , la Ho no se rechaza, en conclusión, los valores de aceites y grasas obedecen a un comportamiento de distribución normal. Donde se consideraron valores estadísticos de significancia de Shapiro-Wilk por ser muestras pequeñas (< 50). Aseverando que los datos se mantienen dentro de un rango de 95% de confiabilidad.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 14. Gráfico de porcentaje de reducción del A y G en efluentes de la industria textil.

En la Figura 14, se apreció los porcentajes de reducción de las A y G obtenidos en los diferentes tiempos del tratamiento de la industria textil, siendo el para el TT-1: 90.91%, para el TT-2: 91.76%, para el TT-3: 92.3% y TT-4: 92.77%. Identificamos que en el TT-4 es donde se alcanzó el mayor porcentaje de reducción del parámetro analizado.

Tabla 39. Anova de un factor de aceites y grasas en efluentes de industria de la curtiembre.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2,498	3	,833	,059	,980
Dentro de grupos	113,590	8	14,199		
Total	116,087	11			

Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.

La Tabla 39, detalló la prueba estadística ANOVA de un factor para determinar la diferencia significativa de medias de aceites y grasas respecto al tratamiento aplicado, donde al obtener un P-valor de 0,980 y ser mayor que el  $\alpha$  (0.05), no existe una diferencia significativa entre las medias de aceites y grasas respecto a los tratamientos sometidos a los efluentes de la industria de curtiembre.

Tabla 40. Tukey de Aceites y grasas de efluentes de la industria de curtiembre.

Tratamiento Curtiembre	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
TC_2	3	74,0167
TC_4	3	74,5600
TC_1	3	74,9933
TC_3	3	75,2100
Sig.		,979

Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.

La Tabla 40, mostró la prueba de HSD Tukey de aceites y grasas de los efluentes de la industria de curtiembre respecto al tratamiento, que permitirá determinar que tratamiento presenta mayor diferencia de medias de aceites y grasas; donde se precisa que la aplicación del tratamiento TC\_3 alcanzó la mayor reducción de aceites y grasas de efluentes de la industria de curtiembre con una diferencia de medias (75,2100).

Tabla 41. Pruebas de normalidad de aceites y grasas en la industria de curtiembre.

	Tratamiento Curtiembre	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
A y G	TC_1	,338	3	.	,852	3	,247
TC	TC_2	,195	3	.	,996	3	,884
	TC_3	,203	3	.	,994	3	,851
	TC_4	,363	3	.	,803	3	,121

Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.

En la Tabla 41, se probó las siguientes hipótesis:

Ho: Los valores obtenidos de aceites y grasas siguen una distribución normal.

Ha: Los valores obtenidos de aceites y grasas no siguen una distribución normal.

*Estadística y región crítica de la prueba:*

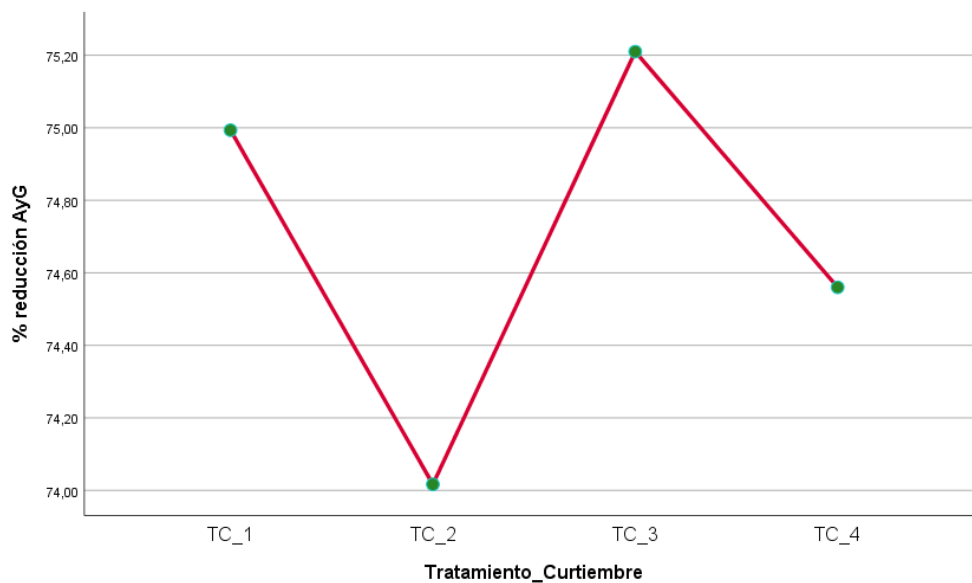
Si p-valor <  $\alpha$ : rechaza Ho

Si p-valor >  $\alpha$ : no rechaza Ho

Se obtuvo p-valores de: 0.247, 0.884, 0.851 y 0.121, donde  $\alpha$  de: 0.05

### Decisión

Por la obtención de p-Valores mayores que  $\alpha$ , la  $H_0$  no se rechaza, en conclusión, los valores de aceites y grasas obedecen a un comportamiento de distribución normal. Donde se consideraron valores estadísticos de significancia de Shapiro-Wilk por ser muestras pequeñas ( $< 50$ ). Aseverando que los datos se mantienen dentro de un rango de 95% de confiabilidad.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 15. Gráfico de porcentaje de reducción del A y G en efluentes de la industria curtiembre.

En la Figura 15, se observó el gráfico de porcentajes de reducción de las A y G obtenidos en los diferentes tiempos del tratamiento de la industria de curtiembre, siendo el para el TC-1: 74.99%, para el TC-2: 74.01%, para el TC-3: 75.21% y TC-4: 74.56%. Identificamos que en el TC-1 es donde se alcanzó el mayor porcentaje de reducción del parámetro analizado.

3. Determinar el porcentaje de reducción de los parámetros microbiológicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre.

Tabla 42. E. Coli en efluentes de la industria textil y curtiembre

TEXTIL				CURTIEMBRE			
Tratamiento	E. Coli Inicial (mg/l)	E. Coli Final (mg/l)	Reducción %	TRATAMIENTO	E. Coli Inicial (mg/l)	E. Coli Final (mg/l)	Reducción %
TT-1	2400,00	650,00	72,92	TC-1	4800,00	3033,33	36,81
		0,00	100,00			933,33	80,56
		0,00	100,00			718,67	85,03
TT-2	2400,00	207,67	91,35	TC-2	4800,00	2566,67	46,53
		0,00	100,00			816,67	82,99
		0,00	100,00			750,00	82,99
TT-3	2400,00	0,00	100,00	TC-3	4800,00	1733,33	63,89
		0,00	100,00			816,67	82,99
		0,00	100,00			733,33	84,72
TT-4	2400,00	0,00	100,00	TC-4	4800,00	1433,33	70,14
		0,00	100,00			850,00	82,29
		0,00	100,00			733,33	84,72

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la Tabla 42, se presentó los resultados obtenidos del parámetro microbiológico de E. Coli en los efluentes de la industria textil, respecto a la aplicación de cuatro tratamientos: TT-1, TT-2, TT-3, TT-4 y en los efluentes de la industria de curtiembre, respecto a la aplicación de cuatro tratamientos: TC-1, TC-2, TC-3, TC-4, donde todos los resultados evaluados en ambas industrias, tuvieron 33.33 recirculaciones en 15 minutos, 66.66 recirculaciones en 30 minutos, 99.99 recirculaciones en 45 minutos y 133.33 recirculaciones en 60 minutos respectivamente.

Tabla 43. Anova de un factor de E. Coli en efluentes de la industria textil.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	162,997	3	54,332	,807	,525
Dentro de grupos	538,766	8	67,346		
Total	701,763	11			

Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.



La Tabla 43, mostró la prueba estadística ANOVA de un factor para determinar la diferencia significativa de medias de E. Coli respecto al tratamiento aplicado, donde al obtener un P-valor de 0,525 y ser mayor que el  $\alpha$  (0.05), no existe una diferencia significativa entre las medias de E. Coli respecto a los tratamientos sometidos a los efluentes de la industria textil.

Tabla 44: Tukey de E. Coli en efluentes de la industria textil.

Tratamiento Textil	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
TT_1	3	90,9733
TT_2	3	97,1167
TT_3	3	100,0000
TT_4	3	100,0000
Sig.		,562

Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.

La Tabla 44, brindó la prueba de HSD Tukey de E. Coli de los efluentes de la industria textil respecto al tratamiento, que permitirá determinar que tratamiento presenta mayor diferencia de medias de E. Coli; donde se precisa que la aplicación del tratamiento TT\_4 alcanzó la mayor reducción de E. Coli de efluentes de la industria textil con una diferencia de medias (100,0000).

Tabla 45: Pruebas de normalidad de la industria de Textil.

Tratamiento Textil		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
E. COLI	TT_1	,385	3	.	,750	3	,000
TT	TT_2	,385	3	.	,750	3	,000

Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.

En la Tabla 45, se planteó las siguientes hipótesis:

Ho: Los valores obtenidos de E. Coli siguen una distribución normal.

Ha: Los valores obtenidos de E. Coli no siguen una distribución normal.

*Estadística y región crítica de la prueba:*

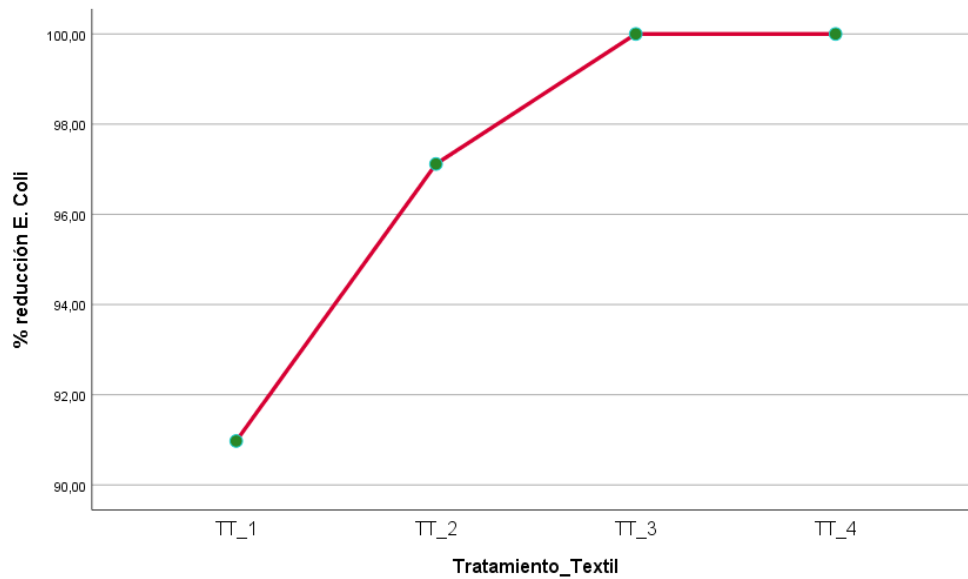
Si  $p\text{-valor} < \alpha$ : rechaza  $H_0$

Si  $p\text{-valor} > \alpha$ : no rechaza  $H_0$

Se obtuvo p-valores de: 0.000 y 0.000, donde  $\alpha$  de: 0.05

### *Decisión*

Por la obtención de p-Valores menores que  $\alpha$ , la  $H_0$  se rechaza, en conclusión, los valores de *E. Coli* no obedecen a un comportamiento de distribución normal. Donde se consideraron valores estadísticos de significancia de Shapiro-Wilk por ser muestras pequeñas ( $< 50$ ). Aseverando que los datos se mantienen dentro de un rango de 95% de confiabilidad.



*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

*Figura 16. Gráfico de porcentaje de reducción del E. Coli en efluentes de la industria textil.*

En la Figura 16, se apreció el gráfico de porcentajes de reducción de la *E. Coli* obtenidos en los diferentes tiempos del tratamiento de la industria textil, siendo el para el TT-1: 90.97%, para el TT-2: 97.12%, para el TT-3: 100% y TT-4: 100%. Identificamos que desde el TT-3 se alcanzó el mayor porcentaje de reducción del parámetro analizado, es por ello TT-4 tampoco presentó la bacteria en estudio.

Tabla 46. Anova de un factor de E. Coli en efluentes de la industria de curtiembre.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	263,731	3	87,910	,261	,852
Dentro de grupos	2695,224	8	336,903		
Total	2958,955	11			

Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.

La Tabla 46, mostró la prueba estadística ANOVA de un factor para determinar la diferencia significativa de medias de E. Coli respecto al tratamiento aplicado, donde al obtener un P-valor de 0,852 y ser mayor que el  $\alpha$  (0.05), no existe una diferencia significativa entre las medias de E. Coli respecto a los tratamientos sometidos a los efluentes de la industria curtiembre.

Tabla 47. Tukey de E. Coli en efluentes de la industria de curtiembre.

Tratamiento Curtiembre	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
TC_1	3	67,4667
TC_2	3	70,8367
TC_3	3	77,2000
TC_4	3	79,0500
Sig.		,865

Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.

La Tabla 47, mostró la prueba de HSD Tukey de E. Coli de los efluentes de la industria de curtiembre respecto al tratamiento, que permitirá determinar que tratamiento presenta mayor diferencia de medias de E. Coli; donde se precisa que la aplicación del tratamiento TC\_4 alcanzó la mayor reducción de E. Coli de efluentes de la industria de curtiembre con una diferencia de medias (79,0500).

Tabla 48. Pruebas de normalidad de E. Coli en la industria de curtiembre

Tratamiento Curtiembre		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
E. COLI	TC_1	,355	3	.	,819	3	,160
TC	TC_2	,374	3	.	,778	3	,062
	TC_3	,358	3	.	,812	3	,143
	TC_4	,328	3	.	,871	3	,298

Fuente: Tabla de SPSS, elaboración propia, 2019.

En la Tabla 48, se probó las siguientes hipótesis:

Ho: Los valores obtenidos de E. Coli siguen una distribución normal.

Ha: Los valores obtenidos de E. Coli no siguen una distribución normal.

*Estadística y región crítica de la prueba:*

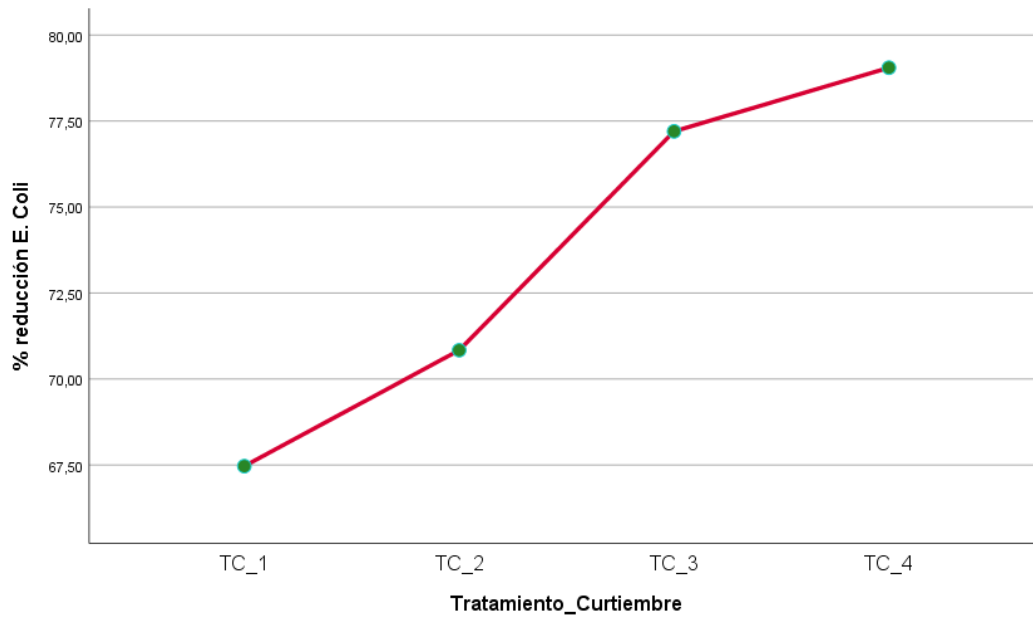
Si  $p\text{-valor} < \alpha$ : rechaza Ho

Si  $p\text{-valor} > \alpha$ : no rechaza Ho

Se obtuvo p-valores de: 0.160, 0.062, 0.143 y 0.298, donde  $\alpha$  de: 0.05

*Decisión*

Por la obtención de p-Valores mayores que  $\alpha$ , la Ho no se rechaza, en conclusión, los valores de E. Coli a un comportamiento de distribución normal. Donde se consideraron valores estadísticos de significancia de Shapiro-Wilk por ser muestras pequeñas (< 50). Aseverando que los datos se mantienen dentro de un rango de 95% de confiabilidad.



*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

*Figura 17. Gráfico de porcentaje de reducción del E. Coli en efluentes de la industria curtiembre.*

En la *Figura 17*, se observó el gráfico de porcentajes de reducción de SST obtenidos en los diferentes tiempos del tratamiento de la industria de curtiembre, siendo el para el TC-1: 67.47%, para el TC-2: 70.84%, para el TC-3: 77.20% y TC-4: 79.05%. Identificamos que en el TC-4 es donde se alcanzó el mayor porcentaje de reducción del parámetro analizado.

#### IV. DISCUSIÓN

La presente investigación tuvo como finalidad determinar la eficiencia de la Cavitación Hidrodinámica en la reducción de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre. Brindando una alternativa a ser tomado por la alta dirección de las industrias antes señaladas para la toma de las acciones correctivas y preventivas en el adecuado cumplimiento del VMA para efluentes de la industria textil presente en el Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA y el LMP para efluentes de la industria de curtiembre presente en el D.S. N° 003-2002-PRODUCE, obteniéndose resultados favorables.

Para poder afirmar lo indicado en el párrafo anterior, se elaboró un equipo que consta de un sistema cerrado recirculatorio mediante un reactor de cavitación hidrodinámica, donde se evaluó según cuatro tratamientos para los efluentes en la industria textil: TT-1, TT-2, TT-3, TT-4 y cuatro tratamientos en los efluentes de la industria de curtiembre, respecto a la aplicación de cuatro tratamientos: TC-1, TC-2, TC-3, TC-4, tomando como muestra de análisis tres repeticiones por cada frecuencia donde todos los resultados evaluados en ambas industrias, tuvieron 33.33 recirculaciones en 15 minutos, 66.66 recirculaciones en 30 minutos, 99.99 recirculaciones en 45 minutos y 133.33 recirculaciones en 60 minutos respectivamente.

Dentro de la determinación de los parámetros físicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre se evaluó los valores de temperatura, donde se obtuvo de la industria textil una temperatura mínima de 36.83 °C y una temperatura máxima de 45.17 °C y en la industria de curtiembre se presentó una temperatura mínima de 30.24 y una temperatura máxima de 42.33 °C, contrastando con lo planteado por Innocenzi V., Prisciandaro H. y Tortora Vegli.(20188), quienes investigaron la degradación del naranja de metilo utilizando la cavitación hidrodinámica, donde las soluciones sintéticas simulaban un efluente real de textil que contiene colorante y metales (hierro y níquel) como consecuencia de la corrosión de los componentes de metal niquelado de la planta durante la producción de materiales textiles. Los resultados mostraron que la concentración final presentó una temperatura de 40 ° C empleando un tiempo de 1 hora, logrando una

eficiencia de degradación de 56%, donde se puede inferir que dentro de la industria textil y de curtiembre se obtuvieron mayores valores de temperatura, esto debido a la sujeción del tratamiento empleado (recirculaciones y tiempo).

Respecto a la determinación del porcentaje de reducción de los parámetros químicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre se evaluó pH, Sólidos totales suspendidos, Demanda biológica de oxígeno, Demanda química de oxígeno y, Aceites y grasas empleando la cavitación hidrodinámica. Donde los valores de pH, lograron reducirse hasta un 23.95% empleando 133.33 recirculaciones en 60 minutos en la industria textil y un 27,79% empleando 33.33 recirculaciones en 15 minutos en la industria de curtiembre logrando cumplirse lo establecido en el Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA para efluentes de textil y en el Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE para efluentes de curtiembre respectivamente. Con lo que respecta a Sólidos Suspendidos Totales se obtuvo una reducción máxima de 82.82% para efluentes de la industria textil y una reducción máxima de 63.29% para efluentes de la industria de curtiembre, que comparados con Saxena, S. et al (2018), que claramente describe la representación esquemática de la Set-Raector HC, que consta de un bucle cerrado circulatorio con bomba de presión de potencia de 1,1 kW, equipado con un dispositivo de cavitación en un tanque de 20 L de capacidad y con 500 kPa de presión empleando 120 min de tratamiento, obtuvieron una reducción de 34.82% en sólidos suspendidos totales, demostrando que las técnicas aplicadas es ampliamente superior en eficiencia de reducción para éste parámetro. Para el caso de la Demanda Biológica de Oxígeno se logró una reducción máxima de 64,77% en efluentes de la industria textil y una reducción máxima de 75.40% en efluentes de la industria de curtiembres y en la Demanda Química de Oxígeno se logró una reducción máxima de 63.05% en efluentes de la industria textil y una reducción máxima de 70.08% en efluentes de la industria de curtiembres, contrastando con Bockaj, G. *et al* (2018) , quien alcanzó una reducción del 50% de Demanda Biológica de Oxígeno en su trabajo de investigación enfocada a la aplicación de la cavitación hidrodinámica en los procesos de oxidación avanzada. De igual modo, en la Demanda Química de Oxígeno obtuvo un 40% en la reducción de la concentración de éste parámetro, otros estudios realizados que emplearon la cavitación hidrodinámica más H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, cavitación hidrodinámica más peroxono y más cavitación hidrodinámica solo, obteniendo como resultado reducciones de 20, 25 y 13% de Demanda Química de Oxígeno y la reducción de Demanda Biológica de Oxígeno por 49, 32 y 18%,

respectivamente, de donde se puede dar referencia que el tratamiento propuesto ejerce un mayor porcentaje de reducción en los parámetros químicos de DBO y DQO. En lo concerniente al parámetro químico de aceites y grasas, en efluentes de la industria textil se logró una reducción máxima de 93% de este parámetro aplicando 133.33 recirculaciones en 60 minutos y en efluentes de la industria de curtiembre se logró una reducción máxima de 80.56% de este parámetro aplicando 133.33 recirculaciones en 60 minutos, donde claramente se puede apreciar grandes valores de porcentaje de reducción cumpliendo lo establecido en el Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA para efluentes de textil y en el Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE para efluentes de curtiembre respectivamente.

Para la determinación de los parámetros microbiológicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre, se consideró la evaluación del parámetro *Escherichia Coli* con una reducción de 100% del mismo parámetro en la industria textil a partir del primer tratamiento donde se empleó 33.33 recirculaciones en 15 minutos y una reducción máxima de 85% del mismo parámetro en la industria de curtiembre a partir del primer tratamiento donde se empleó 133.33 recirculaciones en 60 minutos, donde al comparar con Liu, Z. *et al* (2016) , quien diseñó una plataforma experimental con la cavitación hidrodinámica que consistió en un sistema cerrado que incluye un tanque de retención en el cual se colocó treinta litros de aguas residuales de petróleo de 100 mg / l; parte de esta agua fluye a lo largo de la línea principal hacia el reactor de cavitación, basado en una placa de orificios; y, la otra parte del agua fluye de regreso al tanque directamente a través de un by pass; en ambos casos el agua regresa al tanque por el funcionamiento de una bomba alternativa de 1.1 kW y dos válvulas de control. Donde la tasa de eliminación de *Escherichia coli* alcanzó el 98,16% en 60 min, por lo cual podemos precisar que nuestros valores obtenidos en eficiencia de reducción para efluentes de la industria textil superan en un 11,84% a lo aplicado por Liu, Z. *et al* (2016) en 45 minutos menos. Demostrando que esta tecnología es de configuración simple, operación conveniente con el empleo de un bajo costo de mantenimiento produciendo altas ventajas de alta eficiencia, ahorro de energía y respeto al medio ambiente.



## V. CONCLUSIONES

En la industria textil el parámetro físico de temperatura tiene un valor mínimo de 36.83 °C y un valor máximo de 45.17 °C y en la industria de curtiembre se presentó un valor mínimo de 30.24°C y un valor máximo de 42.33 °C, concluyéndose que existe amplia diferencia dependiendo del tratamiento empleado dado por el número de recirculaciones y el tiempo empleado.

El porcentaje de reducción de los parámetros químicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre con la aplicación de la cavitación hidrodinámica, en pH, fue de hasta un 23.95% en la industria textil y un 27,79% en la industria de curtiembre, en Sólidos Suspendidos Totales se obtuvo una reducción máxima de 82.82% para efluentes de la industria textil y una reducción máxima de 63.29% para efluentes de la industria de curtiembre. Para el caso de la Demanda Biológica de Oxígeno se logró una reducción máxima de 64,77% en efluentes de la industria textil y una reducción máxima de 75.40% en efluentes de la industria de curtiembres y en la Demanda Química de Oxígeno se logró una reducción máxima de 63.05% en efluentes de la industria textil y una reducción máxima de 70.08% en efluentes de la industria de curtiembres y para el caso de aceites y grasas, en efluentes de la industria textil se logró una reducción máxima de 93% de este parámetro y en efluentes de la industria de curtiembre se logró una reducción máxima de 80.56% de este parámetro.

El porcentaje de reducción de los parámetros microbiológicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre con la aplicación de la cavitación hidrodinámica a través del análisis del parámetro *Escherichia Coli* obtuvo una reducción de 100% en la industria textil y una reducción máxima de 85% en la industria de curtiembre.

Demostrando que esta tecnología produce niveles altos en eficiencia manteniendo respeto el ambiente.

Así también, se comparó los resultados de los análisis y se concluye que la cavitación hidrodinámica presenta mayor eficiencia en la reducción de los parámetros estudiados de los efluentes de la industria textil

## VI. RECOMENDACIONES

- Esta investigación propuso evaluar cuatro tratamientos, las cuales fueron: 33.33 recirculaciones en 15 minutos, 66.66 recirculaciones en 30 minutos, 99.99 recirculaciones en 45 minutos y 133.33 recirculaciones en 60 minutos, por lo cual, se propone a futuras investigaciones, adoptar otros tratamientos, diferenciadas en proporciones de recirculaciones y tiempo.
- Esta investigación propuso evaluar dicha aplicación de tratamientos a dos tipos de industrias, que fueron industria textil e industria de curtiembre, en tanto, se propone evaluar la eficiencia de reducción de parámetros fisicoquímicos en otros tipos de industria.
- El presente reactor utilizado de cavitación consta de una placa de múltiples orificios de acero inoxidable de 1 pulgada de diámetro, 3 mm de espesor y 25 agujeros de 2 mm de diámetro, está sujeta al sistema con bridas, por lo cual se propone acondicionar novedosos sistemas de cavitación, variando las dimensiones y número de orificios empleados.
- Luego de llevar a cabo el tratamiento de los efluentes con la cavitación hidrodinámica, estos deben depositados en un recipiente de almacenamiento para que la temperatura baje hasta menos de 35 °C que es lo exigido por la norma peruana vigente.

## REFERENCIAS

Badmus KO, Irakoze N, Rotimi Adeniyi O, Petrik L, sinérgica Avance Fenton oxidación y tratamiento hidrodinámico de cavitación de colorantes orgánicos persistentes en las aguas residuales textiles, Revista de tratamiento hidrodinámico de cavitación de colorantes orgánicos persistentes en las aguas residuales textiles, Revista de Ingeniería Química Ambiental (2019).

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103521>

BURZIO. F. [et al.]La desinfección del agua por ori fi cavitación hidrodinámica ce-inducida, Departamento de Medio Ambiente, Tierra e Ingeniería de Infraestructura, Universidad Politécnica de Turín, Corso Duca Degli Abruzzi, 24, 10129 Turín, Italia

Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0864-34662014000200005](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0864-34662014000200005)

Boczka, P. Mako ś, A. Przyjazny, Application of dispersive liquid-liquid microextraction and gas chromatography with mass spectrometry for the determination of oxygenated volatile organic compounds in effluents from the production of petroleum bitumen, J. Sep. Sci. 39 (2016) 2604 – 2615.

DENG, C. et al. Effective degradation of oil pollutants in water by hydrodynamic cavitation combined with electrocatalytic membrane. Revista Aip Advances [en línea]. 2018, 8 (12). [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2019].

Disponible en <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.5028152>

DOI: 10.1063/1.5028152

DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD AMBIENTAL (Perú). Resolución Presidencial N° 054-2001-CONAM/PCD: Gesta Agua. Lima: 2001. 6 pp.

DIRECCIÓN General de Salud Ambiental (Perú). Resolución Presidencial N° 054-2001-CONAM/PCD: Gesta Agua. Lima: 2001. 8 pp.

DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD AMBIENTAL (Perú). Resolución Presidencial N° 054-2001-CONAM/PCD: Gesta Agua. Lima: 2001.17 pp.

DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD AMBIENTAL (Perú). Resolución Presidencial N° 054-2001-CONAM/PCD: Gesta Agua. Lima: 2001. 21 pp.

DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD AMBIENTAL (Perú). Resolución Presidencial N° 054-2001-CONAM/PCD: Gesta Agua. Lima: 2001. 24 pp.

DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD AMBIENTAL (Perú). Resolución Presidencial N° 054-2001-CONAM/PCD: Gesta Agua. Lima: 2001. 139 pp.

ESTEBAN, Héctor. Desinfección bacteriana de aguas residuales utilizando cavitación hidrodinámica a través de un tubo Venturi. Revista Congreso de Ciencia y Tecnología [en línea]. Junio 2018, 13 (1), 77-80. [Fecha de consulta: 05 de abril de 2019].

Disponible en <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/cienciaytecnologia/article/view/808>

ISSN: 1390-46632017-07-11

GOGATE, Parag, TAYAL, Rajiv y PANDIT, Aniruddha. Cavitation: A technology on the horizon. Revista Current Science [en línea]. Julio 2006, 91 (1). [Fecha de consulta: 07 de mayo de 2019].

Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/279898046\\_Cavitation\\_A\\_technology\\_on\\_the\\_horizon](https://www.researchgate.net/publication/279898046_Cavitation_A_technology_on_the_horizon)

HERNÁNDEZ, Jesús. Potabilidad del agua en Acueductos de San Juan y Martínez Provincia Pinar del Río. 2009- 2010. Revista de Ciencias Médicas de Pinar del Río. 2012, mayo-junio, 16(3). 39-50. [Fecha de consulta: 07 de mayo de 2019].

Disponible en <http://scielo.sld.cu/pdf/rpr/v16n3/rpr06312.pdf>

ISSN: 1561-3194

Innocenzi V. et al (2019). Comparison of performances of hydrodynamic cavitation in combined treatments based on hybrid induced advanced Fenton process for degradation of azo-dyes. Revista Journal of Environmental Chemical Engineering. 2019, junio, 3 [Fecha de consulta: 02 de septiembre 2019]

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103171>

Kumar, S. SHSonawane, Aniruddha.B.Pandit, la degradación del colorante azul de metileno en solución acuosa utilizando procesos de oxidación hidrodinámicos basados cavitación híbridos avanzados, Ingeniería Química y Processinghttp: Revista Scielo, 2018, junio [Fecha de consulta: 15 de septiembre 2019]

Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jcep.2017.09.009>

LIU, Zhimeng et al. Pollutant and Microorganism Removal From Water by Hydrodynamic Cavitation. Revista The Open Biotechnology Journal [en línea]. 2016, 10, 258-264. [Fecha de consulta: 19 de abril de 2019].

Disponible en <https://benthamopen.com/FULLTEXT/TOBIOTJ-10-258>

DOI: 10.2174/1874070701610010258

MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN (Perú). D. S. N° 003-002-2002-PRODUCE: Decreto Supremo que Aprueba Los Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las Actividades Industriales de Cemento, Cerveza, Curtiembre y Papel. Lima: Diario El Peruano, 2002. 230921pp.

MINISTERIO DE VIVIENDA (Perú). D. S. N° 010-2019-VIVIENDA: Decreto Supremo que Aprueba los Valores Máximos Admisibles para los Efluentes del Usuario No Domestico. Lima: Diario El Peruano, 2019. 17pp.

MINISTERIO DE VIVIENDA (Perú). D. S. N° 014-2019-VIVIENDA: Modificatoria del Decreto Supremo 0.10-2019-VIVIENDA, agrega una Disposición Complementaria que aprueba los Valores Máximos Admisibles para los Efluentes del Usuario No Domestico. Lima: Diario El Peruano, 2019. 31pp.

MORALES, F. et al. Biofiltración sobre cama de turba, para el tratamiento de aguas residuales provenientes del lavado de jeans. Revista ResearchGate [en línea]. 2017. [Fecha de consulta: 20 de junio de 2019].

Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/328615274\\_biofiltracion\\_sobre\\_cama\\_de\\_turba\\_para\\_el\\_tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales\\_provenientes\\_del\\_lavado\\_de\\_jeans](https://www.researchgate.net/publication/328615274_biofiltracion_sobre_cama_de_turba_para_el_tratamiento_de_aguas_residuales_provenientes_del_lavado_de_jeans)

ISSN 1390-9304

OMS. Guías para la Calidad de Agua Potable [en línea]. 3ª ed. Suiza: Organización Mundial de Salud, 2008 [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2019].

Disponible en: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3rev/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/es/)

ISBN: 9249241546964

Protocolo de monitoreo y muestras de fluentes

Disponible en

[http://www.digesa.minsa.gob.pe/pw\\_camisea/2006/informe\\_protocolo\\_monitoreo.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/pw_camisea/2006/informe_protocolo_monitoreo.pdf).

Simpson, Alister, Ranade, Vivek V., Modelado de cavitación hidrodinámica con orificio: Influencia de diferentes orificios designs. Chemical de Investigación de Ingeniería y Diseño Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2018.06.014>

RANDHAVANE, Shrikant. Comparing geometric parameters in treatment of pesticide effluent with hydrodynamic cavitation process. Revista Environmental Engineering Research [en línea]. Octubre 2018, 24(2). [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2019]. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/328078969\\_Comparing\\_geometric\\_parameters\\_in\\_treatment\\_of\\_pesticide\\_effluent\\_with\\_hydrodynamic\\_cavitation\\_process](https://www.researchgate.net/publication/328078969_Comparing_geometric_parameters_in_treatment_of_pesticide_effluent_with_hydrodynamic_cavitation_process)

DOI: 10.4491/eer.2018.227

TORRES, Patricia, CRUZ, Camilo y PATIÑO, Paola. Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. Revista Ingenierías Universidad de Medellín [en línea]. Julio-diciembre, 2009, 8(15). 79-94. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2019].

Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>

S. Saxena, S. Rajoriya, VK subsahariana, S. George, Un avanzado estrategia de pretratamiento que implica cavitación hidrodinámica y acústico a lo largo de la coagulación con alumbre para la mejora de la mineralización y la biodegradabilidad de curtiduría de efluentes residuales, Sonoquímica ultrasonidos (2018),

Disponible en: [https://doi.org/residuales\\_Sonoquímica\\_ultrasonidos](https://doi.org/residuales_Sonoquímica_ultrasonidos)

Doi: 10.1016 / j.jclepro.2018.07.135.

# ANEXOS

## Anexo N° 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES / ESCALA
<p><b>Problema General:</b> ¿Cuánto será la eficiencia de la cavitación hidrodinámica en la reducción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre Lima 2019?</p>	<p><b>Objetivo General:</b> Determinar la eficiencia de la cavitación hidrodinámica en la reducción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre.</p>	<p><b>Hipótesis General:</b> la cavitación hidrodinámica es eficiente para reducir los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre</p>	<p><b>Variable independiente</b>  Eficiencia de la Cavitación Hidrodinámica.</p>	<p>La cavitación hidrodinámica consiste en un proceso físico por el cual se forman cavidades o burbujas por diferencia de presiones en los fluidos (Liu ET AL., 2018, p 18)</p>	<p>La eficiencia de la cavitación hidrodinámica será medida a través de las dimensiones.</p>	<p><b>Condiciones de Operación</b></p>	Tiempo	min
							Caudal	L/s
<p><b>Problemas Específicos:</b> <b>Problema específico 1:</b> ¿Cuánto será el porcentaje de reducción de los parámetros físicos en los efluentes de la industria textil con la aplicación de la cavitación hidrodinámica Lima 2019?</p> <p><b>Problema específico 2:</b> ¿Cuánto será el porcentaje de reducción de los parámetros químicos en los efluentes de la industria textil con la aplicación de la cavitación hidrodinámica Lima 2019?</p> <p><b>Problema específico 3:</b> ¿Cuánto será el porcentaje de reducción de los parámetros químicos en los efluentes de la industria textil con la aplicación de la cavitación hidrodinámica Lima 2019?</p>	<p><b>Objetivos Específicos:</b> <b>Objetivo específico 1:</b> Determinar el porcentaje de reducción de los parámetros físicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre con la aplicación de la cavitación hidrodinámica</p> <p><b>Objetivo específico 2:</b> Determinar el porcentaje de reducción de los parámetros químicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre con la aplicación de la cavitación hidrodinámica.</p> <p><b>Objetivo específico 3:</b> Determinar el porcentaje de reducción de los parámetros microbiológicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre con la aplicación de la cavitación hidrodinámica.</p>	<p><b>Hipótesis Específicas:</b>  H<sub>1</sub>: La cavitación hidrodinámica reduce el porcentaje los parámetros físicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre  H<sub>2</sub>: La cavitación hidrodinámica reduce el porcentaje los parámetros químicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre.  H<sub>3</sub>: La cavitación hidrodinámica reduce el porcentaje los parámetros microbiológicos en los efluentes de la industria textil y de curtiembre.</p>	<p><b>Variable dependiente</b>  Reducción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos</p>	<p>Se relaciona a la ausencia de contaminantes que exceden los LMP en los efluentes industriales.</p>	<p>La reducción de la contaminación en los efluentes industriales, serán medidos a través de los parámetros físico – químicos del agua.</p>	Parámetros Microbiológicos	Escherichia Coli	NMP/100ml
						Parámetros Químicos	DBO	mg/l
							DQO	mg/l
							SST	mg/l
							Aceites y Grasas	mg/l
						pH	Unidad de pH	
Parámetros Físicos	Temperatura	NMP/100ml						











### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: JAVE NAKAYO JORGE LEONARDO  
 1.2. Cargo e institución donde labora: DOCENTE UCV - COND. NORTE  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: DR. MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: FICHANº HOJA DE CADENA DE CUSTODIA  
 1.5. Autor(A) de Instrumento: NIETO ZAPATA SILVIA J. 206-1

#### 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	Está formulado con lenguaje comprensible.												/	
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y principios científicos.												/	
3. ACTUALIDAD	Está 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	Está 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. METODOLOGÍA	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.												/	

#### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

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

Si

#### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

89,5 %
--------

Lima, ..... del 201

  
 FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE  
 CIP: 43444  
 DNI No. 01066653 Telf: 992005015

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

1.1. Apellidos y Nombres: JIMENEZ CALDERON, CESAR EDUARDO  
 1.2. Cargo e institución donde labora: DOCENTE TIEMPO COMPLETO - UCV  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: FICHAS Nº 1 CADENA DE CUSTODIA  
 1.5. Autor(A) de Instrumento: NIETO ZAPATA SILVIA ISABEL

**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	Está formulado con lenguaje comprensible.												✓	
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y principios científicos.												✓	
3. ACTUALIDAD	Está 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	Está 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. METODOLOGÍA	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.												✓	

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

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

Sí
No

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :**

88 %
------



*César Jiménez Calderón*  
 Dr. César Eduardo Jiménez Calderón  
 CIP. 42355

Lima, ..... del 201

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

CIP.....

DNI No..... Telf.: 979564114

### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y Nombres: JIMENEZ CALDERON, CÉSAR EDUARDO  
 1.2. Cargo e institución donde labora: DOCENTE TIEMPO COMPLETO - UCV  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: SISTEMA GESTIÓN Ambiental  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: FICHA 3 Caracterización Tecnología Caviteo Hidrodinámica  
 1.5. Autor(A) de Instrumento: NIETO ZAPATA, Silvia Isabel

#### 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	Está formulado con lenguaje comprensible.												/	
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y principios científicos.												/	
3. ACTUALIDAD	Está 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	Está 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. METODOLOGÍA	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.												/	

#### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

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

#### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

90 %



Dr. César Eduardo Jiménez Calderón  
CIP. 42355

Lima, ..... del 201

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

CIP.....  
DNI No..... Telf.: 979 564 114

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

1.1. Apellidos y Nombres: JIMENEZ CALDERÓN CESAR EDUARDO  
 1.2. Cargo e institución donde labora: DTC-UCV  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: FICHA 4 REGISTRO DE RESULTADO  
 1.5. Autor(A) de Instrumento: NIETO ZAPATA, SILVIA ISABEL

**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	Está formulado con lenguaje comprensible.										✓			
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y principios científicos.											✓		
3. ACTUALIDAD	Está 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	Está 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. METODOLOGÍA	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.												✓	

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

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

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :**

51
----

<b>89,5 %</b>
---------------



*César Eduardo Jiménez Calderón*  
**Dr. César Eduardo Jiménez Calderón**  
 CIP. 42355

Lima, ..... del 201

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

CIP.....  
 DNI No..... Telf.: 979 564 114

### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y Nombres: ALFARO RODRIGUEZ CARICA HUMBERTO  
 1.2. Cargo e institución donde labora: DOCENTE - UCV - CONO NORTE  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: SISTEMA DE GESTION AMBIENTAL  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: FICHA 1: CADENA DE CUSTODIA  
 1.5. Autor(A) de Instrumento: NIETO ZAPATA, SILVIA ISABEL

#### 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	Está formulado con lenguaje comprensible.											✓		
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y principios científicos.											✓		
3. ACTUALIDAD	Está 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	Está 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. METODOLOGÍA	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.											✓		

#### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

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

Si

#### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

90 %
------

Lima, ..... del 201

FIRMA DEL EXPERTO EN INSTRUMENTOS  
 INGENIERO QUÍMICO

CIP..... C. I. P. 37913  
 DNI No. 7798915 Telf.: 992049773



**VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO**

**I. DATOS GENERALES**

1.1. Apellidos y Nombres: ALFARO RODRIGUEZ CARLOS HUMBERTO  
 1.2. Cargo e institución donde labora: DOCENTE UCV-CONDOMINIO  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: SISTEMA DE GESTION AMBIENTAL  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: FICHA3: CARACTERÍSTICAS DE LA TECNOLOGIA  
 1.5. Autor(A) de Instrumento: NIETO ZAPATA SILVIA ISABEL

**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	Está formulado con lenguaje comprensible.												✓	
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y principios científicos.												✓	
3. ACTUALIDAD	Está 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	Está 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. METODOLOGÍA	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.												✓	

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

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

Si

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :**

90 %

Lima, ..... del 201

  
 FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE  
 INGENIERO QUÍMICO

CIP..... C. I. P. 37813-  
 DNI No..... Telf.: 992049773  
 17998963

**VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO**

**I. DATOS GENERALES**

1.1. Apellidos y Nombres: ALFARO RODRIGUEZ CARLOS HUBERTO  
 1.2. Cargo e institución donde labora: DOCENTE - UCV - CAND. NORTE  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: SISTEMA DE GESTIÓN Ambiental  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: FICHA Y REGISTRO DE RESULTADOS  
 1.5. Autor(A) de Instrumento: NIETO ZAPATA, SILVIA ISABEL

**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	Está formulado con lenguaje comprensible.												/	
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y principios científicos.												/	
3. ACTUALIDAD	Está 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	Está 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. METODOLOGÍA	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.												/	

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

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

Si

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :**

95%

Lima, ..... del 201

  
 FIRMA DEL EXPERTO INSTRUMENTANTE

C.I.P. 81819

DNI No. .... Telf.: 992099743

17998963

## DETERMINACIÓN DEL NMP DE COLIFORMES EN AGUA Y HIELO POTABLES

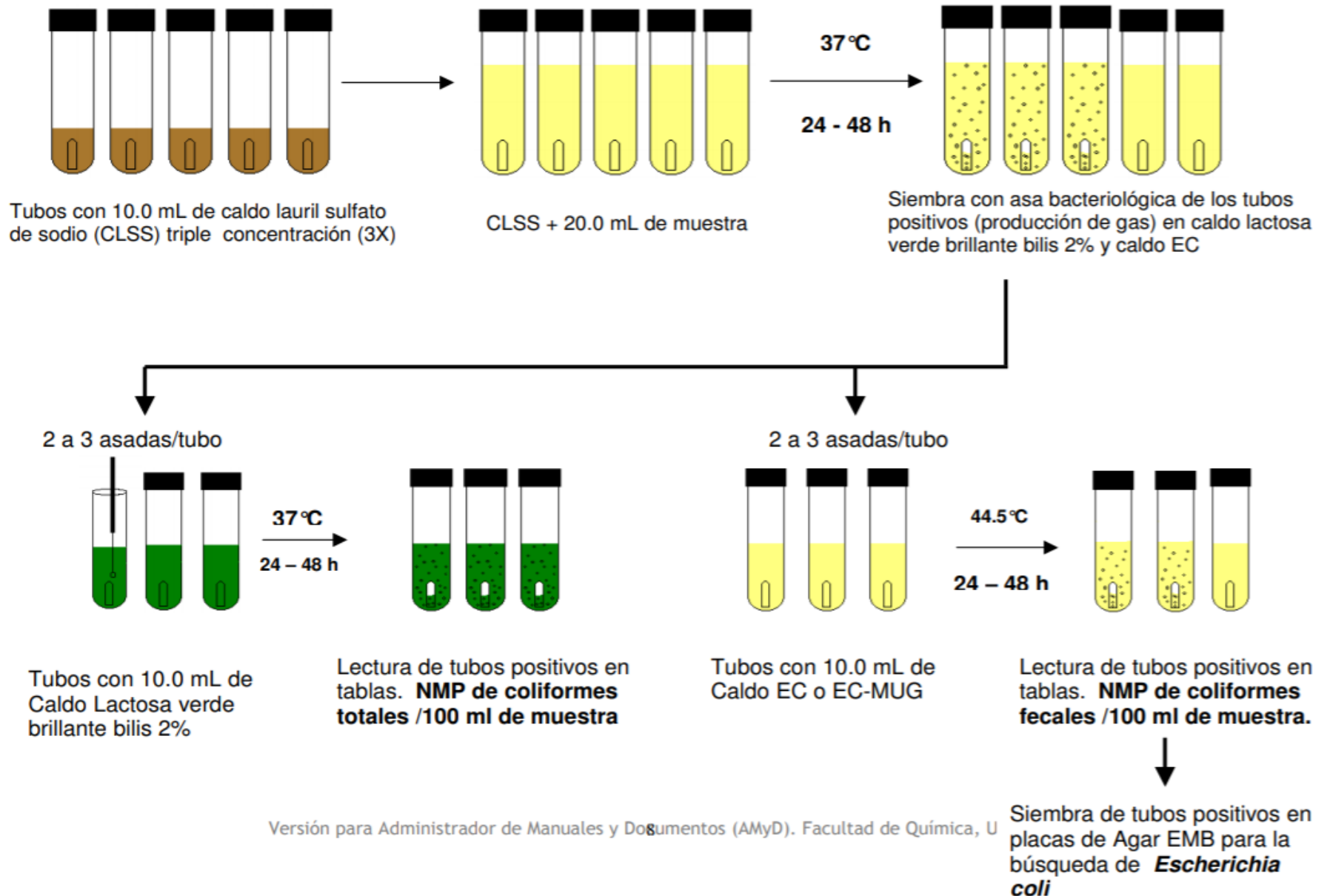


TABLA 9221: IV. MPN INDEX AND 95% CONFIDENCE LIMITS FOR VARIOUS COMBINATION OF POSITIVE RESULT WHEN FIVE TUBES ARE USED PER DILUTION

Combinación de tubos positivos			NMP/100mL	Límites de 95% de confianza		Combinación de tubos positivos			NMP/100mL	Límites de 95% de confianza	
				Inferior	Superior					Inferior	Superior
0	0	0	< 1.8	-	6.8	4	0	3	25	9.8	70
0	0	1	1.8	0.090	6.8	4	1	0	17	6.0	40
0	1	0	1.8	0.090	6.9	4	1	1	21	6.8	42
0	1	1	3.6	0.70	10	4	1	2	26	9.8	70
0	2	0	3.7	0.70	10	4	1	3	31	10	70
0	2	1	5.5	1.8	15	4	2	0	22	6.8	50
0	3	0	5.6	1.8	15	4	2	1	26	9.8	70
1	0	0	2.0	0.10	10	4	2	2	32	10	70
1	0	1	4.0	0.70	10	4	2	3	38	14	100
1	0	2	6.0	1.8	15	4	3	0	27	9.9	70
1	1	0	4.0	0.71	12	4	3	1	33	10	70
1	1	1	6.1	1.8	15	4	3	2	39	14	100
1	1	2	8.1	3.4	22	4	4	0	34	14	100
1	2	0	6.1	1.8	15	4	4	1	40	14	100
1	2	1	8.2	3.4	22	4	4	2	47	15	120
1	3	0	8.3	3.4	22	4	5	0	41	14	100
1	3	1	10	3.5	22	4	5	1	48	15	120
1	4	0	10	3.5	22	5	0	0	23	6.8	70
2	0	0	4.5	0.79	15	5	0	1	31	10	70
2	0	1	6.8	1.8	15	5	0	2	43	14	100
2	0	2	9.1	3.4	22	5	0	3	58	22	150
2	1	0	6.8	1.8	17	5	1	0	33	10	100
2	1	1	9.2	3.4	22	5	1	1	46	14	120
2	1	2	12	4.1	26	5	1	2	63	22	150
2	2	0	9.3	3.4	22	5	1	3	84	34	220
2	2	1	12	4.1	26	5	2	0	49	15	150
2	2	2	14	5.9	36	5	2	1	70	22	170
2	3	0	12	4.1	26	5	2	2	94	34	230
2	3	1	14	5.9	36	5	2	3	120	36	250
2	4	0	15	5.9	36	5	2	4	150	58	400
3	0	0	7.8	2.1	22	5	3	0	79	22	220
3	0	1	11	3.5	23	5	3	1	110	34	250
3	0	2	13	5.6	35	5	3	2	140	52	400
3	1	0	11	3.5	26	5	3	3	170	70	400
3	1	1	14	5.6	36	5	3	4	210	70	400
3	1	2	17	6.0	36	5	4	0	130	36	400
3	2	0	14	5.7	36	5	4	1	170	58	400
3	2	1	17	6.8	40	5	4	2	220	70	440
3	2	2	20	6.8	40	5	4	3	280	100	710
3	3	0	17	6.8	40	5	4	4	350	100	710
3	3	1	21	6.8	40	5	4	5	430	150	1100
3	3	2	24	9.8	70	5	5	0	240	70	710
3	4	0	21	6.8	40	5	5	1	350	100	1100
3	4	1	24	9.8	70	5	5	2	540	150	1700
3	5	0	25	9.8	70	5	5	3	920	220	2600
4	0	0	13	4.1	35	5	5	4	1600	400	4600
4	0	1	17	5.9	36	5	5	5	> 1600	700	-
4	0	2	21	6.8	40						

Fuente: STANDARD METHODS 9221 B. STANDARD TOTAL COLIFORM FERMENTATION TECHNIQUE, JUNE 2003