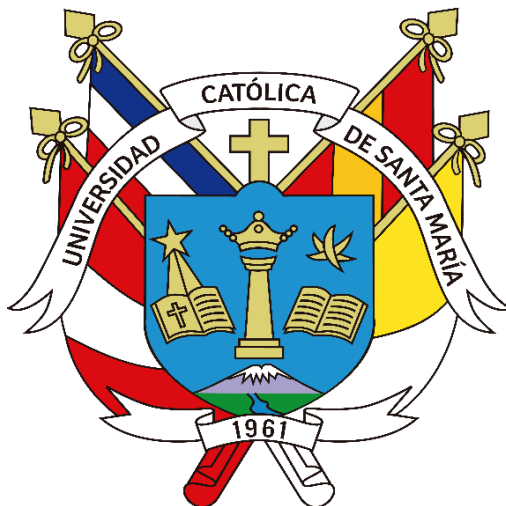


Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del
Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**EVALUACIÓN ECOTOXICOLÓGICA DE EFLUENTES TEXTILES
INDUSTRIALES EN LA CIUDAD DE AREQUIPA EN INDICADORES
ACUÁTICOS**

Tesis presentada por el Bachiller:

Valdivia Alarcón, Charieri Angel

**para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental**

Asesor:

**Dr. Arenazas Rodríguez, Armando
Jacinto**

Arequipa- Perú

2023

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA AMBIENTAL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 04 de Julio del 2023

Dictamen: 006344-C-EPIA-2023

Visto el borrador del expediente 006344, presentado por:

2013701741 - VALDIVIA ALARCON CHARIERI ANGEL

Titulado:

**EVALUACION ECOTOXICOLOGICA DE EFLUENTES TEXTILES INDUSTRIALES EN LA CIUDAD DE
AREQUIPA EN INDICADORES ACUATICOS.**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**29611452 - ARENAZAS RODRIGUEZ ARMANDO JACINTO
DICTAMINADOR**



**43297964 - CAMPOS OLAZAVAL LIZBETH MARIANELLA
DICTAMINADOR**



**46769238 - CHANOVE MANRIQUE ANDREA MARIETA
DICTAMINADOR**



EVALUACIÓN ECOTOXICOLÓGICA DE EFLUENTES TEXTILES INDUSTRIALES EN LA CIUDAD DE AREQUIPA EN INDICADORES ACUÁTICOS

INFORME DE ORIGINALIDAD

28%

INDICE DE SIMILITUD

28%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

renati.sunedu.gob.pe

Fuente de Internet

4%

2

dspace.uclv.edu.cu

Fuente de Internet

3%

3

idoc.pub

Fuente de Internet

2%

4

www.researchgate.net

Fuente de Internet

2%

5

repositorio.unap.edu.pe

Fuente de Internet

2%

6

repositorio.ucss.edu.pe

Fuente de Internet

2%

7

1library.co

Fuente de Internet

2%

8

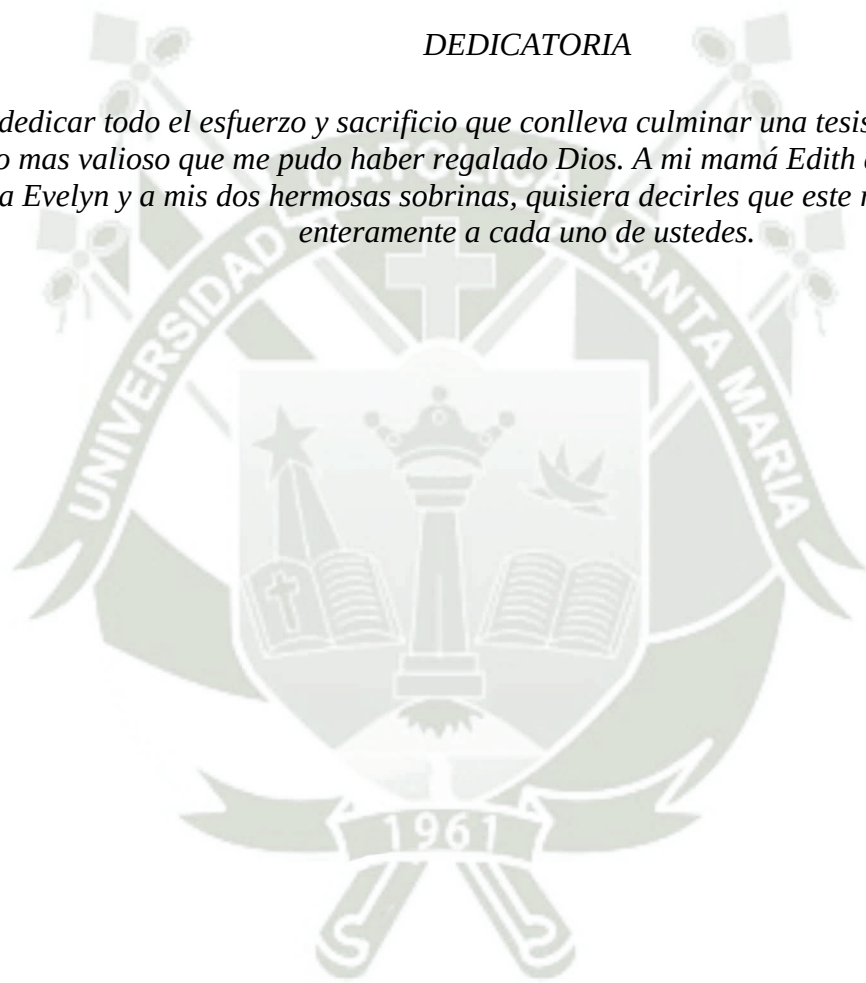
Submitted to Universidad Católica de Santa
María

Trabajo del estudiante

1%

DEDICATORIA

Quiero dedicar todo el esfuerzo y sacrificio que conlleva culminar una tesis a mi familia que es el tesoro mas valioso que me pudo haber regalado Dios. A mi mamá Edith a mi papá Raúl a mi hermana Evelyn y a mis dos hermosas sobrinas, quisiera decirles que este resultado se los dedico enteramente a cada uno de ustedes.



AGRADECIMIENTO

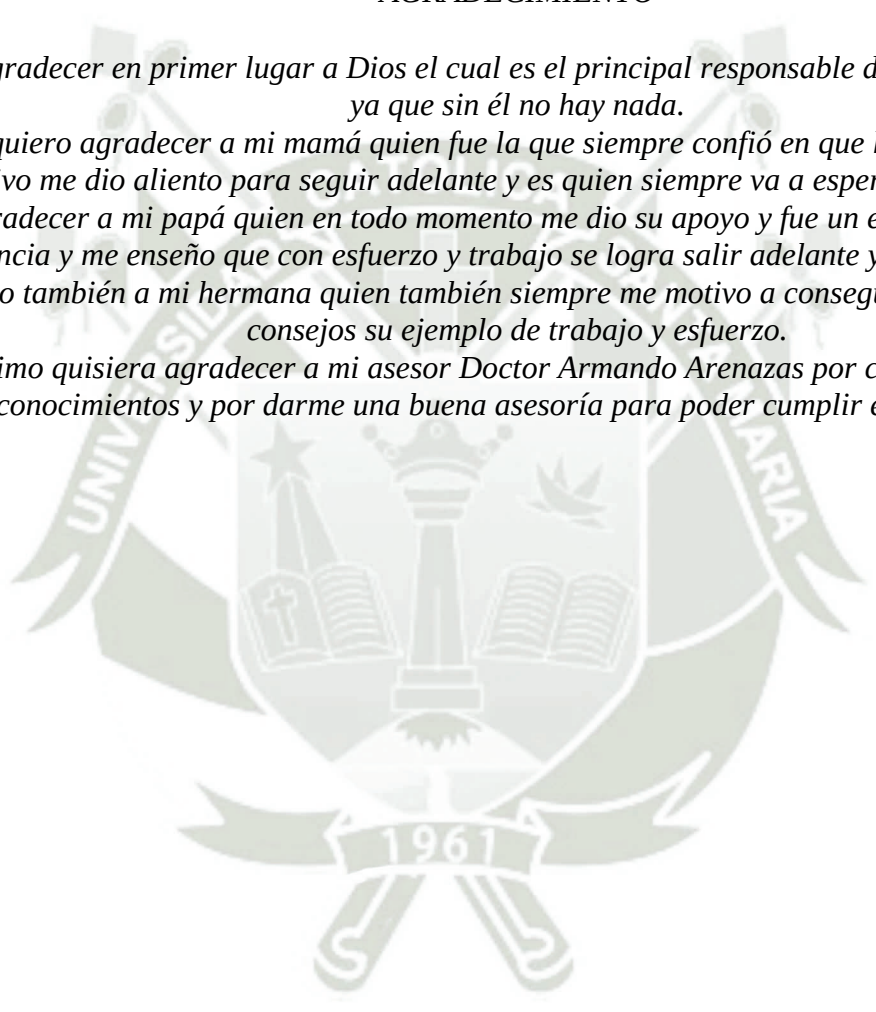
Quiero agradecer en primer lugar a Dios el cual es el principal responsable de este paso en mi vida ya que sin él no hay nada.

También quiero agradecer a mi mamá quien fue la que siempre confió en que lo lograría siempre me motivo me dio aliento para seguir adelante y es quien siempre va a esperar mucho de mí.

Quiero agradecer a mi papá quien en todo momento me dio su apoyo y fue un ejemplo de constancia y perseverancia y me enseñó que con esfuerzo y trabajo se logra salir adelante y lograr muchas cosas.

Agradezco también a mi hermana quien también siempre me motivo a conseguir este logro, con sus consejos su ejemplo de trabajo y esfuerzo.

Y por último quisiera agradecer a mi asesor Doctor Armando Arenazas por compartir sus amplios conocimientos y por darme una buena asesoría para poder cumplir este objetivo.



RESUMEN

La industria textil es después de la industria del petróleo, es la segunda más contaminante del medio ambiente, y en nuestro medio se conoce poco acerca de los efectos en la biodiversidad acuática del sector donde operan dichas industrias muy recurrentes en la región de Arequipa, quien se constituye a nivel nacional un centro de producción y tratamiento de lana de camélidos principalmente. Se colectó agua residual de un proceso textil y se evaluó los parámetros fisicoquímicos, metales totales y se evaluó la ecotoxicidad aguda y efectos letales y subletales contra tres diluciones del efluente (5, 10 y 20%) y un control libre, solo con agua decolorada, en tres especies bioindicadoras: *Lemna minor* L. con una duración de 7 días, evaluando número de frondas, peso seco y húmedo, *Physa venustula*. con una duración de 216 horas y evaluando el % de eclosión de huevos y finalmente en *Poecilia reticulata* evaluando en 96 horas el % de mortalidad e hipoactividad. Los análisis de parámetros fisicoquímicos y metales totales, expresan que la DBO₅ (734.0 mg/L) y la DQO (1123.3 mg/L) superan los Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario y con respecto a los metales, todos cumplen con la normativa nacional.

Los bioensayos con *Lemna minor* evidencian una disminución del número de frondas, peso húmedo y peso seco (mg) mientras que la dilución del efluente aumentaba. En todas las variables de respuesta analizadas en *L. minor* se obtuvo un NOEC menor a 5 % y LOEC de 5 %. En *Physa venustula* no se observa eclosión de huevos con el tratamiento de 20% de dilución del efluente textil, frente a un $90.9 \pm 8.6\%$ de eclosión en el control y se obtuvo una NOEC menor a 5 % y LOEC de 5 %, con una C(E)L₅₀ calculada de 6.5% del efluente textil. Los bioensayos con *Poecilia reticulata* mostraron una mortalidad total (100%) a las 24 horas de exposición en el tratamiento de 20% de dilución del efluente textil y se obtuvo una NOEC de 5 % y LOEC de 10 %. La C(E)L₅₀ fue de 7.4 %. El efecto subletal de hipoactividad en *P. reticulata* fue nulo en el control y el tratamiento de 20% de dilución del efluente textil) una NOEC menor de 5% y LOEC de 5% del efluente textil.

La clasificación ecotoxicológica se ejecutó en función a la concentración letal media y el porcentaje de supervivencia de los organismos evaluados, frente a la exposición del efluente textil industrial y se pudo clasificar tanto para *Physa venustula* y *Poecilia reticulata* como *muy tóxico* y *altamente tóxico*, lo que convierte al efluente textil en un potencial riesgo para el medio ambiente.

Palabras clave: Ecotoxicidad aguda, efluente textil industrial, *Lemna minor*, *Physa venustula*, *Poecilia reticulata*.

ABSTRACT

The textile industry is after the oil industry, it is the second most polluting of the environment, and in our environment little is known about the effects on aquatic biodiversity of the sector where these very recurrent industries operate in the Arequipa region, who A national center for the production and treatment of camelid wool is constituted, mainly. Residual water from a textile process was collected and the physicochemical parameters, total metals and acute ecotoxicity and lethal and sublethal effects were evaluated with three effluent dilutions (5, 10 and 20%) and a free control, only with dechlorinated water. , in three bioindicator species: *Lemna minor* L. with a duration of 7 days, evaluating number of fronds, dry and wet weight, *Physa venustula*. with a duration of 216 hours and evaluating the % hatching of eggs and finally in *Poecilia reticulata* evaluating the % mortality and hypoactivity in 96 hours. The analyzes of physicochemical parameters and total metals show that the BOD5 (734.0 mg/L) and COD (1123.3 mg/L) exceed the Maximum Allowable Values (VMA) for non-domestic wastewater discharges in the sanitary sewerage system. and with respect to metals, all comply with national regulations.

The bioassays with *Lemna minor* show a decrease in the number of fronds, wet weight and dry weight (mg) while the effluent dilution increased. In all the response variables analyzed in *L. minor*, a NOEC of less than 5% and a LOEC of 5% were obtained. In *Physa venustula*, no hatching of eggs is observed with the treatment of 20% dilution of the textile effluent, compared to $90.9 \pm 8.6\%$ hatching in the control, and a NOEC of less than 5% and LOEC of 5% were obtained, with a C(E)L50 calculated from 6.5% of the textile effluent. The bioassays with *Poecilia reticulata* showed a total mortality (100%) at 24 hours of exposure in the treatment of 20% dilution of the textile effluent and a NOEC of 5% and LOEC of 10% were obtained. The C(E)L50 was 7.4 %. The sublethal effect of hypoactivity in *P. reticulata* was null in the control and the treatment of 20% dilution of the textile effluent) a NOEC less than 5% and LOEC of 5% of the textile effluent. The ecotoxicological classification was carried out based on the average lethal concentration and the percentage of survival of the evaluated organisms, compared to the exposure of the industrial textile effluent and it was possible to classify both *Physa venustula* and *Poecilia reticulata* as very toxic and highly toxic, which makes textile effluent a potential risk to the environment.

Key words: Acute ecotoxicity, industrial textile effluent, *Lemna minor*, *Physa venustula*, *Poeciliareticulata*.

INDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
1.1 Problemática de la investigación.....	8
1.2 Justificación de la investigación	8
a) Social:	8
b) Ambiental:	9
c) Económica.....	9
d) Científico – tecnológico.....	9
1.3 Objetivos de la investigación	9
Objetivos General:	9
Objetivos Específicos:.....	10
1.4 hipótesis	10
2. CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO.....	11
2.1 Antecedentes de la investigación	11
2.2 Marco teórico	14
2.2.1. Efluentes textiles	15
2.2.2. Proceso de tratamiento de materia textil (Palomino, 2018)	16
2.2.3. Características de efluentes textiles	18
2.2.4 Procesos húmedos de coloración	19
2.2.5. Efecto sobre medio ambiente	21
2.2.6. Ecotoxicología	22
2.2.7. Efluentes textiles en Arequipa	23
2.2.8. Alternativas para mitigación de efluentes	24
2.2.9. Bioindicadores de contaminación	24

2.2.10. Bioensayos	24
2.2.11. <i>Lemna minor</i> L. “Lenteja de agua”	25
2.2.12. <i>Physa venustula</i> Gould, 1847.....	26
2.2.13. <i>Poecilia reticulata</i> “Guppy”.....	26
2.3. Marco conceptual.....	27
2.4 Marco legal	29
2.4.1 Contexto nacional	29
2.4.2 Contexto internacional	29
3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	31
3.1 Tipo y nivel de la investigación	31
3.2 Diseño de la Investigación	31
3.2.1. Área de estudio y material biológico	31
3.2.2. Determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua residual del proceso de industrial textil.....	31
3.2.3. Determinación de la mortalidad acumulada e índices ecotóxicos en los organismos modelo por efecto a la exposición de agua residual del proceso de industria textil	33
3.3 Determinación de las unidades de toxicidad aguda (UTa) y rangos de toxicidad del agua residual del proceso de textil	34
3.4 Métodos de investigación.....	36
3.4.1 Recolección y análisis del efluente	36
3.4.2 Recolección de datos y análisis estadístico.....	36
4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
4.1. Determinación de los parámetros fisicoquímicos de efluentes textiles industriales en la ciudad de Arequipa.....	37
4.2. Determinación de efectos letales, subletales e índices ecotóxicos en los organismos indicadores por efecto a la exposición de efluentes textiles industriales en la ciudad de Arequipa.....	41
4.2.1. Bioensayos de ecotoxicidad con <i>Lemna minor</i> L.	41
4.2.2. Bioensayos de ecotoxicidad con <i>Physa venustula</i>	45

4.2.3. Bioensayos de ecotoxicidad con <i>Poecilia reticulata</i>	47
4.3. Determinación de las unidades de toxicidad aguda (UTa) y clasificación toxicológica del agua de efluente textil industrial	51
5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	54
5.1. CONCLUSIONES	54
5.2. RECOMENDACIONES.....	55
6. CAPÍTULO VI: REFERENCIAS.....	56
ANEXOS 63	



INTRODUCCION

La región Arequipa recibe la producción de lana de alpaca de las regiones de Puno, Cusco, Moquegua, Arequipa, e inclusive desde Bolivia dado a su ubicación y clima en la región sur andina del Perú, debido a esto en la ciudad se concentra el 90 % del acopio y transformación de la fibra de alpaca a nivel nacional, representando esto el 10 % de la producción nacional textil. Según SUNAT en el ranking de las principales exportadoras textiles nacionales en el periodo enero - diciembre 2015 aparecen las empresas ubicadas en Arequipa como Michell y Cia. en el puesto 72, Incalpaca en el puesto 103, Franky & Ricky en el puesto 296.

Como se sabe toda industria trae consigo problemas de carácter medioambiental y estos problemas están regulados por la normativa emitida desde el Ministerio del Ambiente mediante Ley N° 28611 - Ley General del Medio Ambiente en Perú, más específicamente por el “Reglamento de Gestión Ambiental para la Industria Manufacturera y Comercio Interno”, aprobado por Decreto Supremo N° 017-2015-PRODUCE, MINAM que tiene como objetivo promover y regular la gestión ambiental, así como la conservación y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales en el desarrollo de las actividades de la industria manufacturera y de comercio interno.

Según Encuesta Nacional de Empresas 2016, Basándonos en el total de empresas manufactureras en el país, el 92.4 % de empresas no cuentan con algún certificado medioambiental como por ejemplo una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), una Declaración Ambiental de Actividades en Curso (DAAC) o un Programa de Adecuación al Manejo Ambiental (PAMA).

La industria textil es, después de la industria del petróleo, la segunda industria más contaminante del medio ambiente, y sobre todo no se tienen tanta conciencia sobre ello. Las aguas residuales textiles contienen tintes mezclados con varios contaminantes en una variedad de rangos, estas aguas pueden ser examinados utilizando efluentes textiles reales o con aguas residuales artificiales que tengan características que coincidan con las descargas típicas de las fábricas textiles (Rodriguez & Soto, 2019).

1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Problemática de la investigación

Los efluentes industriales constituyen la principal fuente de contaminación en ambientes principalmente de agua dulce. Según el Banco Mundial, las industrias textiles se encuentran dentro de las principales industrias causantes de contaminación. Su actividad produce líquidos residuales caracterizados, principalmente, por tener alta alcalinidad, elevados valores de D.B.O. (Demanda Bioquímica de Oxígeno), ser altamente coloreados y contener abundantes sólidos en suspensión (Asselborn & De Domitrovic, 2000).

Pero no se puede negar la gran importancia económica que representan las industrias, pero estas traen consigo problemas significativos de contaminación al ambiente. Algunos tipos de industrias, tales como: textil, entre otras, muchas veces generan grandes volúmenes de efluentes de naturaleza principalmente refractaria. Además de que estos efluentes se reconocen por la capacidad de aumentar la cantidad de sustancias tóxicas lanzadas en los cuerpos de agua, afectando los ecosistemas acuáticos (Sponza, 2003).

En función de este panorama, el vertimiento de efluentes industriales que contienen compuestos biorefractarios y organoclorados se ha convertido en un asunto de relevancia actual, debido principalmente a: recalcitrancia para la degradación biológica, toxicidad para las especies acuáticas, genotoxicidad y potencialidad de acumularse en los organismos (Freire et al., 2000).

1.2 Justificación de la investigación

a) Social:

Al lograr los resultados esperados podríamos solucionar muchos problemas en el ámbito social ya que si logramos la descontaminación de cuerpos de agua con efluentes contaminantes podríamos impedir algunos conflictos sociales ya que se tendría una solución parcial a problemas de contaminación por efluentes contaminados.

Por otra parte, se mejoraría la salud de las personas ya que los cuerpos de agua contaminados son muchas veces fuente hídrica para cultivos alimenticios perjudicando así la salud de personas.

b) Ambiental:

Actualmente la mayoría de cuerpos de agua han perdido sus propiedades físicas químicas y biológicas lo que origina la fragmentación de los ecosistemas y la pérdida de la biodiversidad; con la aplicación de este estudio al conocer los parámetros que obtendremos podemos buscar y recuperar las condiciones de los cuerpos de agua y poder restaurar un espacio a su estado original.

c) Económica:

En la parte económica la aplicación de esta técnica se puede considerar económicamente viable ya que para su aplicación no presenta muchas dificultades tanto económicas como técnicas y con su aplicación se puede obtener resultados para tener conocimiento de cuando afectan algunos contaminantes a los cuerpos de agua los cuales van a ser fuente de recurso hídrico para la mayoría de cultivos de nuestra ciudad lo que conlleva a que si tenemos una mejor calidad de agua no se perderían diversos cultivos lo que ayudaría a la economía de las personas que se dedican a este rubro e indirectamente a la población en general ya dichas personas no invertirían más dinero en resolver problemas de calidad de agua para sus cultivos.

d) Científico – tecnológico

Esta investigación servirá como base y abrirá paso a nuevas investigaciones de esta índole sirviendo como una base experimental para futuros estudios de la calidad tanto de agua como suelos de nuestra ciudad, ya que teniendo conociendo nuevos parámetros podemos aplicar técnicas para solucionar los problemas que estos afecten.

Además, que los análisis fisicoquímicos de campo y de laboratorio tienen costos elevados. Por ello una opción con creciente interés en la actualidad es el uso de organismos con fines de evaluar la ecotoxicidad y por lo tanto el estado de salud del ecosistema integral.

1.3 Objetivos de la investigación

Objetivos General:

- Determinar mediante evaluaciones ecotoxicológicas de efluentes textiles industriales de la ciudad de Arequipa, la ecotoxicidad en las especies bioindicadoras *Lemna minor*, *Physa venustula* y *Poecilia reticulata*.

Objetivos Específicos:

- Determinar los parámetros fisicoquímicos del agua residual de efluentes textiles industriales.
- Determinar los efectos letales y subletales e índices ecotóxicos en los organismos bioindicadores *Lemna minor*, *Physa venustula* y *Poecilia reticulata*, por efecto a la exposición de agua residual de efluentes textiles industriales
- Clasificar la calidad ecotoxicológica de efluentes textiles industriales según los rangos de ecotoxicidad y las unidades de toxicidad aguda (UTa).

1.4 hipótesis

Si se exponen diversas diluciones de efluentes textiles industriales a las especies acuáticas indicadoras *Lemna minor*, *Physa venustula* y *Poecilia reticulata*, entonces se observarán diversos efectos ecotoxicológicos letales y subletales en los organismos.

2. CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Pino et al. (2010) Donde nos muestra un artículo que pretende divulgar entre los investigadores las nociones fundamentales relacionadas con el bioensayo de *Artemia* (*Artemia* spp.). Donde se recogen los aspectos biológicos generales de este organismo, las distintas variantes experimentales del ensayo y sus posibles aplicaciones, así como las ventajas y desventajas de esta prueba. Se exponen ejemplos de los avances logrados con su utilización, promoviendo su uso entre ecotoxicólogos y químicos de productos naturales

Iannacone et al. (2007) evaluó los efectos ecotoxicológicos del cartap sobre *Poecilia reticulata* “guppy” y *Paracheirodon innesi* “neon tetra” (Characidae) en el cual se determinó el impacto ecotoxicológico del insecticida carbámico cartap usado para el control de plagas agrícolas y como molusquicida de vectores de importancia en Salud Pública, sobre dos especies de peces del ecosistema acuático continental: *Poecilia reticulata* (Peters 1859) “Guppy” (Poeciliidae) y *Paracheirodon innesi* (Myers 1936) “Neon Tetra” (Characidae). Donde obtuvo como resultado que a 3 h de exposición para *P. reticulata*, se encontró un valor de CL50 de 6,75 mg. L⁻¹ y valores de CE50 de 7,55 y < 8,16 mg.L⁻¹ para el incremento del movimiento opercular y nado extraño, respectivamente.

Iannacone et al. (2007) determinaron el efecto Toxicológico del “Sachayoco”, *Paullinia clavigera* (Sapindaceae) sobre *Daphnia magna* y sobre dos controladores biológicos de Plagas Agrícolas con el objetivo de evaluar el efecto toxicológico de *P. clavigera* procedente de Pucallpa, Perú, sobre *Daphnia magna* Strauss, 1820 (Crustácea: Daphniidae), y sobre dos controladores biológicos de plagas agrícolas. Encontrando que al evaluar la mortalidad a las 24, 48, 72 y 96 h de exposición a las cinco concentraciones utilizadas del extracto clorofórmico de la corteza de *P. clavigera* se observó que estas no produjeron ningún efecto de mortalidad en las especies utilizadas.

Arenazas (2018), utilizo dos especies bioindicadoras: *Carassius auratus* “Goldfish” y el caracol *Physa venustula*. Para evaluar el efecto ecotoxicológico que traen consigo contaminantes minero- industriales en el desarrollo embrionario de dichas especies. Concluyendo que el efecto del Cloruro de mercurio frente a la eclosión de embriones de *Carassius auratus* “Goldfish” fue mayor en el grupo control con 94.25 ± 2.29 % y menor en el tratamiento de 0.050 mg/L con 36.72 ± 4.63 %, ($p < 0.05$) y que también El detergente

doméstico genero mortalidad moderada en *Physa venustula* en los tratamientos de 25 y 50 mg/L.

El trabajo de Rengifo (2020) buscó evaluar la sensibilidad de *Poecillia reticulata* “guppy” y *Helix sp.* “caracol”, frente a los xenobióticos de la curtiembre “Cassinelli Juan”. Ellos fueron utilizados como organismos no destinatarios en ensayos de corta duración, para determinar el impacto toxicológico del efluente de salida de la curtiembre. Para ambas especies se evaluó el porcentaje de mortalidad, y respuestas subletales. *P. reticulata*, presentó valor promedio de CL₅₀ (Concentración letal media) de 5,203 y un valor promedio de UT (Unidades toxicas) de 19,313 y *Helix sp.* presentó valor promedio de CL₅₀ de 9,558 y un valor promedio de UT de 10,880. De igual manera se determinó una mayor mortalidad de *P. reticulata* frente a los xenobióticos de la curtiembre, a partir de la concentración de 25 a 100% y una menor mortalidad en las concentraciones de 6.25% y 12.5% a las 24 horas; mientras que para la *Helix sp.*, la mayor mortalidad fue en concentraciones de 50 a 100% y una menor mortalidad en concentraciones menores a 50% a las 24 horas.

Tejada (2022) evaluó la ecotoxicidad aguda y riesgo ambiental del agua residual del proceso completo de curtido de pieles empleando bioindicadores acuáticos como *Lemna minor*, *Daphnia magna*, *Physa venustula* y *Xenopus laevis*. Realizó una caracterización fisicoquímica del efluente, luego se hicieron bioensayos con cada modelo biológico para determinar índices de ecotoxicidad. Como resultado indica que todos los parámetros evaluados tuvieron valores superiores a los normados, los elementos con mayores concentraciones fueron: Sodio, calcio, magnesio, potasio, cromo y boro. Los bioensayos con *L. minor* permitieron evidenciar la disminución del número de frondas, peso húmedo y peso seco mientras que la dilución del efluente aumentaba. Los bioensayos con *D. magna* mostraron el efecto en la mortalidad de neonatos a las 24 y 48 h. La CL₅₀ calculada fue de 2,52 % y 1,13 % para las 24 y 48 h respectivamente. Los bioensayos con embriones de *P. venustula* mostraron una sensibilidad muy alta a las diluciones del efluente evaluado. La CL₅₀ no se pudo calcular ya que dos de los tres puntos de la regresión fueron cero. Los bioensayos con embriones y larvas de *X. laevis* mostraron una sensibilidad muy alta a las diluciones del efluente evaluado. La CL₅₀ fue de 1,6 y 1,67 % para embriones y larvas respectivamente. En todas las variables de respuesta analizadas en *L. minor*, *D. magna*, *P. venustula* y *X. laevis* se obtuvo un NOEC menor a 1,5 % y LOEC de 1,5 %. Finalmente, se pudo clasificar al efluente como muy tóxico y altamente tóxico, lo que implica un potencial riesgo ambiental.

Delgado (2022), evaluó el riesgo ecotoxicológico agudo de tres concentraciones de boro (3.4, 6.8 y 13.6 mg/L) y un control con agua de clorinada, en tres bioindicadores acuáticos: *Daphnia magna* (neonatos) 24 y 48 h, *Physa venustula* (masas con huevos) 216 h y *Xenopus laevis* (huevos-embriones y larvas de 6 días) 96 h. Evaluó los efectos letales (mortalidad) y efectos subletales como pigmentación reducida en anfibios y alteraciones morfológicas durante el desarrollo y experimentación en *Physa venustula* y *Xenopus laevis*. Los resultados de la evaluación ecotoxicológica de las tres concentraciones de boro, se resume en orden de mayor a menor letalidad y subletalidad considerando el tratamiento mayor (13.6 mg/L) en primer lugar para *Physa venustula*, seguido de huevos-embriones de *Xenopus laevis* (desarrollo temprano), *Daphnia magna* (desarrollo embrionario) y finalmente larvas de *Xenopus laevis* (desarrollo larvario). Las principales alteraciones morfológicas en *Physa venustula* fueron a retraso en el desarrollo, anomalías en la concha y ojos (3.4 mg/L de boro), retraso con destrucción temprana (coagulación) de los organismos aún dentro del huevo en las concentraciones de 6.8 y 13.6 mg/L de boro. Los tratamientos de 3.4 y 6.8 mg/L de boro en huevos y embriones de *Xenopus laevis* generaron anomalías a nivel de saco vitelino y pigmentación dorsal reducida, finalmente en el tratamiento de 13.6 mg/L de boro se observó retraso en el desarrollo temprano con ausencia de las estructuras cefálicas y pigmentación dorsal nula. En larvas se observaron retraso en el desarrollo larval (6.8 y 13.6 mg/L), con desprendimiento de la epidermis y pigmentación reducida (13.6 mg/L). Se le considera al boro de medio y muy alto riesgo ecotoxicológico para *Daphnia magna* (48 h) y *Physa venustula*, de riesgo medio para *Xenopus laevis*. El estado ecotoxicológico de la concentración mayor de boro se clasifica como altamente tóxica para *Physa venustula*, marginalmente tóxica para huevos de *Xenopus laevis* y ligeramente tóxica para *Daphnia magna*.

Urviola (2022) evaluó el efecto ecotóxico agudo del agua superficial en diluciones: 6.25, 12.5, 25, 50, 100% y un control con agua de clorinada, de dos sectores en el lago Titicaca de la ciudad de Puno. AS-01: zona de descarga de la laguna de oxidación El Espinar y AS-02: zona de confluencia del agua residual con la bahía interior del lago Titicaca, en organismos modelo: *Lemna minor* (168 h), *Daphnia magna* (48 h) y *Poecilia reticulata* (96 h). La caracterización fisicoquímica del agua residual de los dos puntos de muestreo, dan como resultado que, AS-01 expresa los más altos valores en DBO, DQO detergentes, así como el boro y el manganeso superan ligeramente el ECA de agua correspondiente y se registró una drástica disminución del OD e incremento de la CE y STD. Con relación a la evaluación

ecotoxicológica se observó una disminución del número total de frondas, peso húmedo y seco en *Lemna minor*, y una elevada mortalidad en *Poecilia reticulata* y *Daphnia magna*, principalmente en el tratamiento de 100% del sector AS-01, que corresponde a la zona de la descarga laguna de oxidación El Espinar. Las Unidades Toxicológicas agudas (UTa) del agua del sector AS-01 la clasifican como “muy tóxica” para los peces y Daphnias, así mismo el agua de la zona AS-02 es “tóxica” para Daphnias.

2.2 Marco teórico

La mayoría de efluentes de la industria textil se caracterizan por variaciones extremas en sus parámetros, tales como: la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), pH, color y salinidad. Algunos de los parámetros característicos de estos efluentes son los siguientes (Kuhad et al., 2004).

- Color visible (1100-4500 unidades)
- Demanda química de oxígeno (800-1600 mg/L))
- pH alcalino (9-11)
- Sólidos totales (6000-7000 mg/L)

Las propiedades, características y composición del efluente residual de una industria textil estarán en función principalmente de las sustancias químicas que se apliquen durante el proceso. Los efluentes de la industria textil contienen una gran variedad de contaminantes a causa de los diferentes procesos llevados a cabo en la fabricación de fibras.

En gran parte, las causas más importantes a tener presente en cuanto a la generación de toxicidad acuática son las sales como NaCl y Na₂SO₄ (provenientes del teñido), agentes surfactantes principalmente fenoles, metales pesados que forman parte de la composición de la mayoría de colorantes, compuestos orgánicos como solventes clorados (provenientes del lavado y la limpieza de máquinas), biocidas como el pentaclorofenol (proveniente de fibra de lana contaminada) y aniones tóxicos como el sulfuro (presente en algunos colorantes), entre otros (Manu y Chaudhari, 2002; Kuhad, et al., 2004).

En la Figura 1, se muestra partes principales del proceso que se realiza en la industria textil y los contaminantes principales que se generan en dichos procesos (Dos Santos et al., 2007). El proceso de teñido es donde principalmente se generan y liberan grandes cantidades de

efluentes con colorantes debido a que aproximadamente 30% de estos compuestos se pierden debido a las ineficiencias tecnológicas del proceso de teñido y lo que trae consigo la descarga de efluentes hacia el ambiente. El uso de una amplia variedad de colorantes químicos da origen, en periodos cortos de tiempo, a efluentes extremadamente variados en su composición, que requieren de un tratamiento de aguas muy complejo (Nigam et al., 1996; Kandelbauer et al., 2005 y Días et al., 2007).

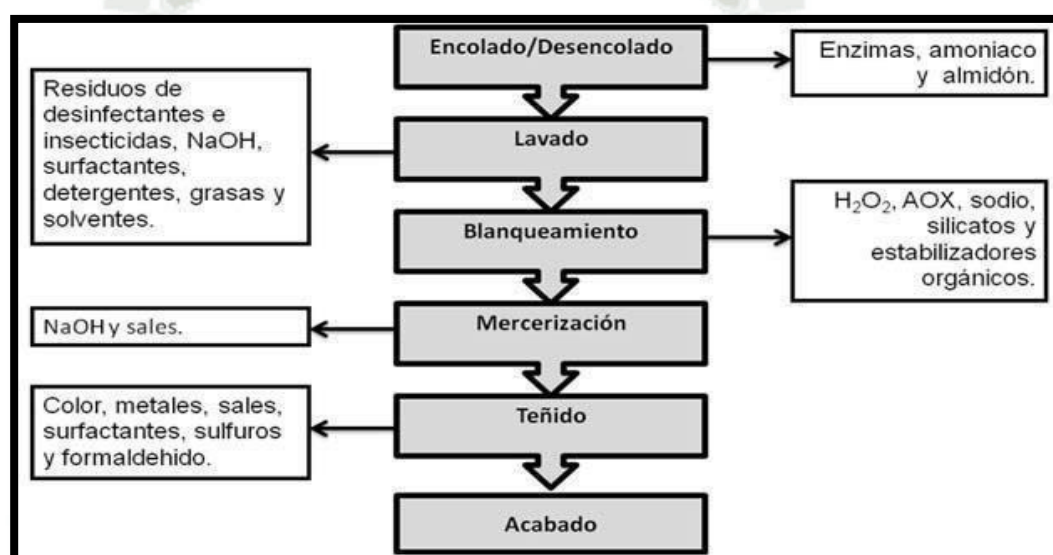


Figura 1. Principales contaminantes involucrados en algunos procesos de la industria textil del algodón (Modificado de Dos Santos et al., 2007)

2.2.1. Efluentes textiles

Dentro del proceso de producción industrial, los efluentes textiles corresponden a aguas residuales del proceso de transformado de fibras naturales o animales (algodón, lana, seda, piel, etc.) o sintéticas (poliéster, acrílicas, etc.) en prendas de vestir u otros productos. Este tipo de producción es desarrollado por una gran cantidad de industrias, en muchos casos pequeñas o medianas, que desarrollan las diferentes partes del proceso productivo (Gómez et al., 2011).

Las principales operaciones que desarrollan son:

- Tratamiento de las materias primas (lavado, acondicionamiento, hilado).
- Fabricación de los tejidos (diferentes métodos).
- Acabado de los tejidos (cambiando propiedades físicas tales como el color).

d. Fabricación de los productos finales (prendas de vestir, sábanas, cortinas, alfombras, etc.).

Cada uno de estos procesos, especialmente los de tratamiento de materia prima como los de lavado, requieren del uso de compuestos químicos en gran escala, generando aguas residuales que contienen alto contenido de materia orgánica y sales inorgánicas, así como elevada DBO₅ (demanda bioquímica de oxígeno), DQO (demanda química de oxígeno), grasas, sulfuros, y otros compuestos nocivos que terminan siendo desechados de forma incontrolada, causando daño en el sistema de alcantarillado, canales de regadío, y generando riesgo potencial a la salud de las personas si se vierten sin tratamiento alguno (Guillén et al, 2020).

La industria textil presenta uso intensivo del agua, tanto para la limpieza de la materia prima, como durante el teñido. Esta actividad industrial corresponde al cuarto sector en consumo de agua, sólo superado por la industria química, papelería y alimentaria. Por consiguiente, en la industria textil, el 73% del agua es utilizada en el proceso (preparación, tintura y acabados) y el 27% restante se utiliza en las operaciones de refrigeración, calderas, limpieza, etc. El teñido es bastante sensible en este proceso, debido al uso de colorantes químicos, que se caracterizan por una elevada estabilidad frente a la temperatura, luz, ataques microbianos y detergentes (Gómez et al., 2011).

2.2.2. Proceso de tratamiento de materia textil (Palomino, 2018)

Dentro de cada proceso de desarrollo se consideran diferentes técnicas de manejo de materia prima para la industria textil, de entre las cuales algunos procedimientos son similares y otros son más específicos dependiendo de la característica del material, como podemos ver en las Figuras 2 y 3.



Figura 2. Proceso de hilatura para fibras cortas (Palomino, 2018).

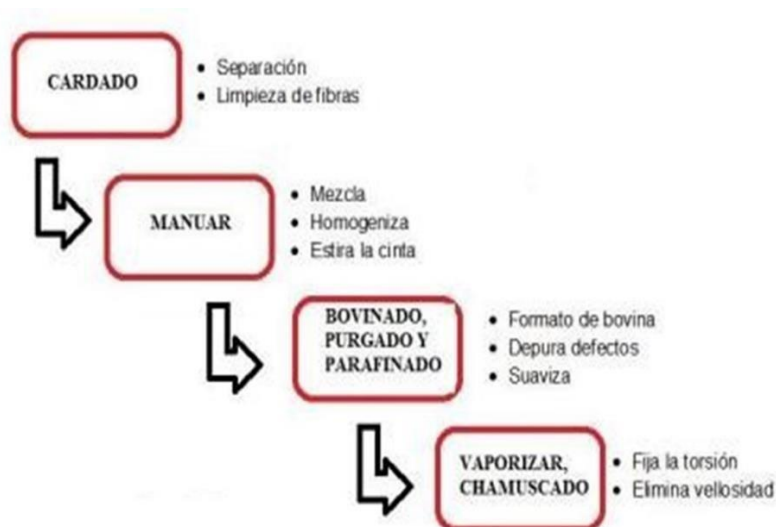


Figura 3. Proceso de hilatura para fibras largas (Palomino, 2018).

Cada uno de los procesos requieren de diferentes componentes químicos, pero de entre estos podemos destacar algunos pasos:

a. Lavado

Es uno de los pasos más importantes en el proceso de tratado de material textil. En cuanto se recibe el material debe procederse a retirar residuos orgánicos de donde proviene. Los efluentes están constituidos principalmente por componentes orgánicos solubles y emulsionados, materiales sólidos relativamente inertes, tenso activos no iónicos y pesticidas incorporados en la materia prima. La grasa de lana, por poner un ejemplo, es difícilmente biodegradable, y constituye el principal material emulsionado en el lavado. Los sólidos inertes representan una alta proporción de los 12 contaminantes y están constituidos principalmente por micropartículas de materiales arcillosos. Los efluentes pueden ser divididos en tres categorías: Pesados, ligeros de enjuague y residuos sólidos. El efluente pesado contiene altas concentraciones de sólidos solubles en agua (suint), solventes solubles (grasa) y suciedades en emulsión estable. El efluente de enjuague contiene primariamente bajos niveles de suciedad, pero contiene cerca de dos tercios de volumen de agua (6 a 7 L/kg de lana sucia). Los residuos sólidos incluyen el material removido en las operaciones de apertura, ellos contienen suciedad, fibras cortas y materia vegetal (Enriquez, 2018). Este procedimiento hace requerimiento de grandes cantidades de agua, dejando como resultado una cantidad elevada de agua residual con bajas probabilidades de reciclado debido al uso de solventes y detergentes para el lavado.

b. Teñido

Conforma parte esencial del tratamiento de materia prima para textilería, aumentando la variedad de productos textiles. En la actualidad se utilizan diferentes tipos de tintes en las industrias, clasificados en dos grandes grupos: los colorantes y los pigmentos. Los colorantes son solubles en agua y son definidos como compuestos capaces de impartir color a una fibra, sin ser afectados por factores como la luz, temperatura y jabón. No se conoce con claridad el año en el cual el hombre empezó a teñir su vestimenta, pero existen escritos que abarcan desde el año 2600 A.C., documentado en China, hasta la época de Alejandro Magno en 330 A.C. En estas épocas se obtenían, principalmente, los colorantes por medio de diferentes insectos y plantas; este conocimiento pasó de generación en generación como un proceso casero. Pero acorde a la civilización evolucionó, el proceso de teñido se ha ubicado como uno de los sectores más importantes del sector industrial (Cervantes et al., 2008).

2.2.3. Características de efluentes textiles

Las características de los efluentes textiles dependen principalmente del proceso y la maquinaria utilizada por la empresa. Los efluentes contienen subproductos, colorantes residuales, sales, ácidos/álcali, productos auxiliares y disolventes. En la Tabla 1 se muestran los valores medios de los parámetros correspondientes al agua residual generada en cada etapa del proceso textil

El residuo de cada proceso mantiene características iguales en muchos aspectos. Podemos ver en la Tabla 1, considerando el pH, por ejemplo, este se encuentra en un valor muy elevado, esto porque en el proceso se requiere una desnaturalización de proteínas; por lo tanto, los colorantes ácidos son las fibras proteicas más utilizadas. Se estima que el mercado mundial de importación y exportación de colorantes ácidos fue de 680 000 toneladas en 2011. Los colorantes Lanaset son un grupo popular de colorantes que se clasifican en colorantes reactivos y ácidos que se utilizan para teñir fibras proteicas. Los tintes reactivos se usan comúnmente para teñir fibras de proteína. La lana, el angora, el mohair, la cachemira y la seda se pueden teñir con tintes ácidos o reactivos. La seda también se puede teñir con tintes de naftol (Ghaly et al., 2014). Registros como esto nos muestran la gravedad de la situación al momento de tratar con residuos de estas características.

Tabla 1.
Carga contaminante en los diferentes procesos textiles

Parámetro	Lavado	Blanqueo	Mercerizado	Tintura
pH	9-14	8.5-11	8-10	1.5-10
Sólidos disueltos (mg/L)	12000-30000	2500-11000	2000-2600	1500-4000
Sólidos en suspensión (mg/L)	1000-2000	200-400	600-1900	50-350
Color	-	-	Fuerte coloración	Fuerte coloración
DBO (mg/L)	2500-3500	100-500	50-120	100-400
DQO (mg/L)	10000-20000	1200-1600	250-400	400-1400
Cloruros (mg/L)	-	-	350-700	-
Sulfatos (mg/L)	-	-	100-350	-

Tomado de Buscio, 2015, modificado de Dasgupta et al. (2015)

2.2.4 Procesos húmedos de coloración

Los procesos húmedos de coloración textil son básicamente tres: el blanqueo óptico, la tintura y la estampación.

- **Blanqueo Óptico**

Los blanqueadores ópticos son compuestos químicos orgánicos incoloros o ligeramente coloreados que poseen la propiedad de absorber luz ultravioleta del espectro y emitirla como luz visible de una longitud de onda determinada que, en muchos casos, corresponde a la banda espectral del azul o del rojo. Con ello, se obtiene un aumento de la cantidad de energía espectral de la banda correspondiente, con el consiguiente aumento de la sensación visual de blancura (Riva et al., 2008).

Este fenómeno, conocido como fluorescencia, tiene el siguiente mecanismo de acción.

Los grupos en la molécula del blanqueador absorben la luz ultravioleta y pasan a un

estado excitado mediante transición electrónica. Durante el tiempo extremadamente corto que la molécula excitada pasa en niveles vibracionales más altos, va perdiendo energía. Cuando la molécula vuelve a su estado de equilibrio emite la radiación como luz visible, ya que la pérdida de energía vibracional hace que se emita a una longitud de onda más alta que la luz inicialmente absorbida (Riva et al., 2008).

- **Tintura del algodón**

El algodón y otras fibras celulósicas se pueden teñir con varios tipos de colorantes: directos, a la tina, al sulfuro, bases azoicas y reactivos. De todos ellos, las bases azoicas han ido perdiendo importancia relativa frente a los otros.

Colorantes Directos: Los colorantes directos son en general de peso molecular elevado, lo que los asemeja a los colorantes ácidos del grupo 3 o “colorantes batán”. Son, en general, menos solubles que los colorantes ácidos y tienen mucha más tendencia que estos a la formación de micelas de gran tamaño y mayor complejidad (Aspland 1991).

Colorantes Tina. Los “colorantes tina”: Son insolubles en agua, pero, al ser reducidos se solubilizan. En general hay una gran diferencia entre el color del colorante insoluble y su forma reducida o “leucoforma”. El algodón y el rayón viscosa se pueden teñir con esta solución reducida y si luego se expone la tela al aire, el colorante se oxida insolubilizándose nuevamente y quedando retenido mecánicamente dentro de la fibra. Esa retención mecánica da como resultado tinturas de muy buenas solidez húmedas. Naturalmente, la oxidación por exposición al aire de grandes cantidades de tela o hilado, no es práctica para una tintorería industrial y, actualmente, se utilizan otros agentes oxidantes (Khatri et al., 2017).

Colorantes Sulfurosos o “al Sulfuro”. Los “colorantes sulfurosos”: Se aplican por un método similar al de los colorantes tina salvo que el colorante insoluble se disuelve por reducción con sulfuro de sodio, con o sin la adición de carbonato de sodio. Se agrega también cloruro de sodio para facilitar el agotamiento de la leucoforma. Con estos colorantes se produce también un cambio de color cuando la forma leuco es re-oxidada dentro de la fibra. Como puente entre estas dos clases de colorantes tan similares en su aplicación, existe una clase intermedia que son los “colorantes tinas sulfurados” que el Color Index los clasifica como un grupo aparte. Algunos colorantes al sulfuro se comercializan en forma líquida ya pre reducida. La gama de colores incluye amarillos, verdes, azules y negros. No hay, sin embargo, un buen rojo y los colores son en general apagados en comparación con los colorantes azo. El algodón teñido con colorantes

sulfurosos adquiere cierta afinidad por los colorantes básicos y por tanto, en algunos casos, es posible hacer un sobreteñido con esos colorantes para mejorar el brillo final de la tintura. Sus efluentes deben ser tratados pues son altamente contaminantes para el medio ambiente (Tigler,1981).

Colorantes Azoicos: Los colorantes azoicos se usaron mucho durante la primera mitad del siglo 20, especialmente para la estampación de telas de algodón, pero luego su uso fue decayendo, debido un poco a la complejidad de los métodos de aplicación y otro poco a la aparición de los colorantes reactivos. Actualmente se utilizan preferentemente para obtener algunos colores especiales, rojos, que no se pueden lograr con otros tipos de colorantes (Aspland 1991).

- **La estampación**

La estampación es la manera por la cual se imprime un diseño o motivo sobre un sustrato específico, como el vidrio, el papel el plástico y el textil. Para conseguir esto se tienen tres principios básicos: “el de presión”, donde mediante el uso de la presión se plasman diseños previamente grabados en un molde, el “de transferencia”, donde el calor hace pasar el color de un sustrato a otro y el principio “de mallas”, el cual permite el paso restringido del color a través de pequeños orificios que conforman el diseño. Estos principios se pueden diferenciar dentro de la industria en dos grandes grupos: la estampación directa (donde el colorante pasa al textil sin necesidad de un medio que lo transporte) y la indirecta (el colorante necesita de un medio que lo transporte y lo fije o lo remueva de un sustrato a otro) (Ruiz et al., 2018).

2.2.5. Efecto sobre medio ambiente

Los efluentes generados en cada paso del procesamiento comprenden cantidades sustanciales de recursos no utilizados. Los efluentes, si se vierten sin tratamiento previo, se convierten en fuentes potenciales de contaminación debido a sus diversos efectos nocivos sobre el medio ambiente (Dasgupta et al, 2015). Algunas causas de la toxicidad acuática son las sales como NaCl y Na₂SO₄ (provenientes del teñido), agentes surfactantes como fenoles, metales pesados que están presentes en los colorantes, compuestos orgánicos como solventes clorados (provenientes del lavado y la limpieza de máquinas), biosidas como el pentaclorofenol (proveniente de fibra de lana contaminada) y aniones tóxicos como el sulfuro (presente en algunos colorantes), entre otros.

Tabla 2.
Contaminación de la industria textil

Proceso	Emisión	Aguas residuales	Residuos
Desencolado	COV _s procedentes de esteres de glicol	DBO elevada, biocidas	Envases, fibras, residuos de hilos, material de mantenimiento
Desengrasado	COV _s procedentes de esteres de glicol y disolventes	Desinfectantes, insecticidas, NaOH, detergentes, lubricantes y disolventes	-
Blanqueo	-	H ₂ O ₂ , estabilizantes, pH alto	-
Mercerizado	-	pH alto, NaOH	-
Tintura	COV _s	Metales, sales, tensioactivos, productos auxiliares, colorantes, DBO, DQO, disolventes, ácidos/álcalis	-
Acabado	COV _s , vapores de formaldehído, gases de combustión	DQO, sólidos en suspensión, disolventes	-

(Buscio, 2015 modificado de Ghaly et al., 2014)

Como se observa en la Tabla 2, cada uno de los diferentes procesos deja un tipo de residuo diferente. Por ejemplificar, en el proceso de tintura se generan una gran cantidad de efluentes con colorantes ya que alrededor del 30% de estos compuestos se pierden debido a las ineficiencias del proceso de teñido y son descargados a los efluentes. El uso de una amplia variedad de colorantes químicos da origen, en periodos cortos de tiempo, a efluentes extremadamente variados en su composición, que requieren de un tratamiento de aguas muy complejo, haciendo difícil su eliminación de forma segura y controlada (Cortazar, 2013).

2.2.6. Ecotoxicología

Los colorantes, surfactantes, metales pesados, pigmentos, detergentes y biosidas presentes en las aguas residuales de los procesos de la industria textil son algunas de las sustancias que constituyen las aguas residuales de la industria textil. El agua residual de la industria textil presenta baja biodegradabilidad, esto se le atribuye a la presencia de sustancias no biodegradables como los colorantes, siendo elementos de alto impacto negativo sobre el

ambiente debido a su alta toxicidad. Considerando una de las secciones del proceso de tintura de la textilería, los colorantes son compuestos orgánicos de alto peso molecular y estructuras complejas. Estos han sido descritos como sustancias persistentes debido a que pueden permanecer en el ambiente por más de 50 años sin ser alterados por procesos físicos, químicos o biológicos. Así mismo, los colorantes tienen propiedades mutagénicas, genotóxicas, neurotóxicas y carcinógenas, y se pueden bioacumular en los tejidos grasos de los animales, dado su carácter hidrofóbico. Cuando los colorantes se encuentran presentes en cuerpos de agua aparte de cambiar el color de estos, también impiden el paso de la radiación solar a lo largo de la columna de agua, al tiempo que dificulta la transferencia de oxígeno. En este sentido, afectan la actividad fotosintética de los organismos autótrofos acuáticos, alterando la dinámica de todo el ecosistema hídrico. Por otro lado, se ha encontrado que los colorantes favorecen el fenómeno de la eutrofización al liberar altas concentraciones de compuestos con nitrógeno y fósforo en su estructura, tales como nitritos NO_2^- , nitratos NO_3^- y fosfatos PO_4^{3-} al medio ambiente (Gallego-Ramírez et al., 2022).

Cuando se considera la elevada toxicidad de los efluentes textiles es común encontrarse con estudios en los que los organismos centinela usados son la *Daphnia magna* (comúnmente conocida como la pulga de agua), el pez cebra (*Danio rerio*), la Lenteja de agua (*Lemna minor*) y el molusco gasterópodo *Physa sp.*, entre otros organismos. Estos ejemplares son sensibles a cambios de los ecosistemas modificando sus procesos de desarrollo, llegando a sufrir daños mortales y limitando su reproducción y, por ende, su población.

2.2.7. Efluentes textiles en Arequipa

La industria textil del algodón de Arequipa se basa en el posicionamiento de la marca Perú a nivel internacional, sustentado en la estabilidad económica y los mejores indicadores macroeconómicos que ha tenido estos últimos años a nivel latinoamericano. También se tiene la cercanía al mercado americano con el cual se tiene un tratado de libre comercio, así como con los países que conforman la Comunidad Andina y el mercado más grande de Sudamérica, Brasil. La celeridad del aprovisionamiento de los hilados del algodón y otros productos es un factor valorado por los importadores para decidir la compra. Por lo tanto, las empresas de elaboración de productos textiles y manufactura que compiten con los países asiáticos que se encuentran más distantes del mercado objetivo y tienen mayores costos de transporte y distribución, tienen una ventaja comparativa respecto a estos.

Desgraciadamente, este tipo de competencia ha favorecido a un aumento acelerado de la textilera y sus procesos de producción de forma incontrolada, llegando a ser una de las principales causas de contaminación de la región (Calderón et al., 2018).

2.2.8. Alternativas para mitigación de efluentes

Una de las alternativas para la mitigación de los efluentes de la industria textil de lana es la aplicación de tratamientos efectivos de bajo coste. El tratamiento fisicoquímico de coagulación-floculación es un método alternativo frente a otros tratamientos que generan mayores gastos a las empresas, elevando los costos de producción en el tratamiento de sus aguas residuales (Guillén et al., 2020).

También se emplea la adsorción con carbón activo, ya sea añadiendo carbón en polvo en el reactor biológico o como tratamiento terciario, haciendo pasar el efluente por columnas de carbón activo granular. Esta técnica, sin embargo, es costosa y sólo se justifica cuando el agua tratada es parcialmente reciclada (Gutiérrez & Rosell, 1999).

2.2.9. Bioindicadores de contaminación

Fueron originalmente definidos como mediciones de fluidos corporales, células, tejidos u otras variables biológicas que indiquen la presencia y magnitud de estrés por variaciones en el medio acuático. Esta definición puede ampliarse y extenderse a organismos de diferentes características, poblaciones o comunidades que sufren los cambios ambientales. Por lo tanto, se puede sintetizar como bioindicadores a un organismo que aporta información sobre las condiciones ambientales de su hábitat mediante su presencia, ausencia y comportamiento. Los bioindicadores son indicadores puntuales y selectos de estrés ambiental en todos los niveles de la organización biológica y pueden evaluar y predecir los efectos de las modificaciones ambientales antes que el daño sea irreversible (Di Marzio y Sáenz, 2013).

2.2.10. Bioensayos

Los bioensayos en las evaluaciones de la contaminación se utilizan para evaluar el grado de toxicidad de distintas sustancias o el grado de respuesta de distintos organismos de distintas especies a un mismo tóxico. La presencia de estas sustancias tóxicas en el medio ambiente es amplia y pueden generar muchos efectos negativos a distintos ecosistemas y diferentes niveles. Se han probado una gran variedad de metodologías estandarizadas para su evaluación. Los test de toxicidad o bioensayos, por la versatilidad en sus pruebas y por lo

sencillo y económico, son los más recomendados para evaluar el efecto que genera en un organismo vivo la aplicación de una sustancia química requerida para producir efectos negativos en el organismo. Estos bioensayos son justificables por presentar un protocolo estandarizado, reproducible, de fácil control y resultan ser baratos. Los estudios de toxicidad acuática presentan un enfoque relacionado con los cuerpos de agua y su afección a comunidades y poblaciones que se desarrollan en este ecosistema. Otra forma de evaluar este daño, es a través del estudio de ecosistemas experimentales mediante el cual someten poblaciones de dos a más especies a un tóxico o sustancia contaminante. Los bioensayos ofrecen varias ventajas al evaluar la toxicidad relativa de ciertas sustancias químicas por ejemplo en efluentes de descargas. Por el contrario, los test de toxicidad aguda solo nos permiten tener una información general del efecto del contaminante limitándose solamente a mostrar sólo los efectos letales del compuesto químico (Román, 2010).

Román (2010), menciona que los requisitos que deben de cumplir los organismos para ser usados en los bioensayos están avalados por organismos internacionales como la United State Environmental Protection Agency [USEPA] (1994), en los que se considera principalmente que sean organismos de fácil adquisición y de preferencia sean especies nativas, aunque en algunos casos se tenga que recurrir a especies foráneas. Existe ventajas que deben de considerarse teniendo en cuenta si son especies autóctonas, la primera de ellas es el uso como especies indicadoras de perturbaciones en ecosistemas locales.

2.2.11. *Lemna minor* L. “Lenteja de agua”.

Lemna minor es una planta angiosperma (posee flores), monocotiledónea, perteneciente a la familia Lemnaceae. Su cuerpo vegetativo corresponde a una forma taloide, es decir, en la que no se diferencian el tallo y las hojas. Consiste en una estructura plana y verde y una sola raíz delgada de color blanco. Su tamaño es muy reducido, alcanzando de 2 a 4 mm de longitud y 2 mm de ancho. Es una de las especies de angiospermas más pequeñas que existen en el reino de las plantas (USDA, 2018a). La lenteja de agua es una planta monoica, con flores unisexuales. Las flores masculinas están constituidas por un solo estambre y las flores femeninas consisten en un pistilo formado por un solo carpelo. Se reproducen principalmente de forma asexual por gemación formando cadenas de nuevos tallos a partir de yemas vegetativas, la reproducción sexual es la excepción y no la regla en las lentejas de agua (USDA, 2018b; Velichkova, 2019).

2.2.12. *Physa venustula* Gould, 1847.

En el Perú se encuentra el caracol pulmonado *Physa venustula* Gould 1847 (Physidae) el cual es considerado como organismo prueba por ser una especie indicadora de la calidad del agua y por su amplia distribución. *P. venustula* es un gasterópodo propio de la región Neotropical (Perú, Ecuador y Colombia), muy bien representado en lagos, estanques y aguas tranquilas de ríos. En Perú, se encuentra especialmente en diferentes ambientes costeros, sin embargo, también se puede hallar en ambientes artificiales como lagunas de oxidación (Iannacone & Alvariano, 1999). Se les puede encontrar principalmente asociados a *Hydrocotyle*, *Myriophyllum*, *Azolla*, algas filamentosas y en las paredes de acequias (Arenazas, 2018).

2.2.13. *Poecilia reticulata* "Guppy"

Poecilia reticulata Peters, 1859, es un pez ovovivíparo de agua dulce, comúnmente utilizado en investigaciones por su importancia ecológica y ornamental, que pertenece a la familia Poeciliidae. Es un pez omnívoro y es seleccionado como modelo biológico porque tiene un ciclo reproductivo corto. Su fácil disponibilidad y su pequeño tamaño lo hacen fácil de manejar y utilizar en una variedad de estudios que incluyen comportamiento, evolución del ciclo de vida, calidad del agua, genética y ecotoxicología. Guppy es muy útil para estudiar problemas de contaminación ambiental. En la madurez sexual, las hembras guppies son aproximadamente tres veces más grandes que los machos, y también muestran una mayor preferencia por las agrupaciones que los machos (Yenchum et al., 2011).

Poecilia reticulata, es una especie de cuerpo pequeño (hasta 6 cm de longitud estándar, según FishBase; (Froese & Pauly, 2019), originaria de las regiones costeras de Venezuela, Guyana, Trinidad y Tobago, se ha generalizado ampliamente conocida por los patrones de colores brillantes y voluminosas aletas caudales en los machos, lo que lleva a su uso frecuente en el mercado de los acuarios. Otra vía de introducción de guppy implica almacenar individuos en pequeños cuerpos de agua como una estrategia equivocada para el control biológico de las larvas de mosquitos. Se trata de una especie introducida y a menudo se vuelve numéricamente dominante, especialmente en áreas degradadas, y gran parte de su éxito de invasión puede explicarse por su almacenamiento de esperma, madurez reproductiva temprana y capacidad para respirar aire en la interfaz agua -aire. Para distinguir entre ambos sexos, los machos reproductores tienen un tono rojo en la cabeza, en el cuerpo inferior, aletas

dorsales y caudal. Las papilas genitales del macho son cortas y cónicas o bífidas, chatas en la punta y sin borlas o no teseladas.

2.3. Marco conceptual

La toxicología ambiental o ecotoxicología, son términos usados para describir el estudio científico de los efectos adversos sobre los organismos que pueden ocasionar las sustancias químicas cuando son liberadas en el ambiente (Rodríguez, 2014).

De ahí que el término de Ecotoxicología tenga varias definiciones:

- Es la ciencia que se ocupa del estudio del efecto y destino de los agentes tóxicos de origen antropogénico a los ecosistemas acuícolas y terrestres (Silva et al., 2003).
- Es una rama de la ciencia que estudia y analiza los efectos de agentes químicos y físicos sobre organismos vivos, con particular atención a poblaciones y comunidades de ecosistemas definidos (Ronco et al., 2004).
- La ecotoxicología aplicada tiene como objetivo el desarrollo de protocolos de ensayo para ser utilizados como herramientas de predicción tempranas que permitan definir umbrales permisibles, con niveles de incertidumbre aceptables y sirvan de guía a las entidades reguladores para la toma de decisiones (Day et al., 1988; Ronco et al., 2004).
- Bioensayo: ensayo en el cual el poder o potencia de una sustancia es medido a través de la respuesta de organismos vivos o sistemas vivientes (Ronco et al., 2004). Permiten dar una respuesta rápida en la evaluación directa de la toxicidad. Estos métodos son rápidos, poco onerosos y sensibles y se pueden aplicar en el laboratorio o sobre el terreno (Gómez & Ramírez, 2004).
- Contaminante: sustancia ajena, presente en un sistema natural en una concentración más elevada de lo normal por causa de actividad antrópica directa o indirecta. En un sentido más amplio se le define como la presencia de cualquier agente físico, químico o biológico, o de combinaciones de los mismos en lugares, formas y concentraciones tales y con tal duración que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o bienestar de la población, o perjudiciales para la vida animal y vegetal, o que impidan el uso y goce de las propiedades y lugares de recreación (Ronco et al., 2004).

- Ensayo de toxicidad: determinación del efecto de un material o mezcla sobre un grupo de organismos seleccionados bajo condiciones definidas. Mide las proporciones de organismos afectados (efecto cuantal) o el grado de efecto (graduado) luego de la exposición a la muestra (Ronco et al., 2004). Los efectos de los contaminantes pueden ser observados en los diferentes niveles de organización biológica, extendiéndose desde el nivel molecular y la respuesta fisiológica global del individuo, hasta los niveles por encima del organismo como: población, comunidad y ecosistema. Las alteraciones moleculares son usualmente las primeras respuestas detectables y cuantificables, destacándose por su capacidad para señalar la presencia de contaminantes aún a niveles subletales. Tal conjunto de señales recibe la denominación de biomarcadores (Gómez & Ramírez, 2004)
- Índices de toxicidad: expresan los resultados de diferentes ensayos de toxicidad como un único valor numérico que clasifica, según categorías, a la muestra. No existen reglas fijas para la designación de los índices (Ronco et al., 2004).
- CE_{50}/CI_{50} : concentración efectiva o de inhibición media: concentración del contaminante en agua, suelo o sedimento que se estima afecta al 50% de los organismos de ensayo. La CE_{50} y sus límites de confianza (95%) son usualmente derivados de análisis estadísticos (Ronco et al., 2004; Gutiérrez, 2008).
- CL_{50} : concentración letal media, concentración del material en agua, suelo o sedimento que se estima letal para el 50% de los organismos de ensayo. La CL_{50} y sus límites de confianza (95%) son usualmente derivados de análisis estadísticos (Ronco et al., 2004; Castillo, 2004).
- LOEC: concentración más baja a la cual se observa efecto (LOEC, por sus siglas en inglés) (Ronco et al., 2004). NOEC: concentración a la cual no se observa efecto (NOEC, por sus siglas en inglés) (Castillo, 2004).
- TOEC: concentración umbral a la cual se observa efecto (media geométrica del NOEC y LOEC) (Ronco et al., 2004).
- Toxicidad aguda: efecto adverso (letal o subletal) inducido sobre los organismos de ensayo en prueba durante un período de exposición del material de ensayo, usualmente de pocos días (Ronco et al., 2004).

- Toxicidad crónica: efectos tóxicos a largo plazo relacionados con cambios en el metabolismo, crecimiento o capacidad de supervivencia (Ronco et al., 2004).

2.4 Marco legal

2.4.1 Contexto nacional

Dentro de este marco contamos con la Ley General de los Recursos Hídricos la cual tiene como finalidad regular el uso y gestión integrada del agua, la actuación del Estado y los particulares en dicha gestión, así como en los bienes asociados a esta Ley N° 29338.

El ministerio del ambiente incorpora un decreto supremo para los valores máximos admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario en la cual señala que los Valores Máximos Admisibles (VMA) son aplicables en el ámbito nacional y son de obligatorio cumplimiento para todos los usuarios que efectúen descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario (Decreto Supremo N°010-2019-VIVIENDA)

También tenemos la modificatoria de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación donde nos indica que los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua son de cumplimiento obligatorio en la determinación de los usos de los cuerpos de agua, (Decreto Supremo N° 015 – 2015 – MINAM.)

Por otra parte, tenemos el decreto donde se aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, (Decreto Supremo N° 003 – 2010 – MINAM).

2.4.2 Contexto internacional

Actualmente las normativas de los países se fijan tomando en cuenta las principales características de los compuestos químicos que las hacen peligrosas para el ambiente, su toxicidad, su persistencia en el ambiente y su potencial de bioacumulación. Es allí donde radica la importancia de los estudios ecotoxicológicos ya que son los que proporcionan la información científica que luego se traduce en legislaciones con distinto alcance: convenios internacionales que prohíben el uso de ciertos compuestos químicos a nivel mundial; regulaciones para las descargas de efluentes; autorizaciones para la aplicación deliberada de compuestos químicos; evaluación y remediación de sitios contaminados y clasificación de productos químicos (Planes y Fuchs, 2015).

Con el fin de establecer las concentraciones de las sustancias tóxicas que no deben superarse en los cuerpos de agua para preservar la vida acuática, las agencias reguladoras utilizan distintas metodologías que no difieren sustancialmente. Para ello se determinan los valores de CL_{50} , EC_{50} , $NOEC$ y $LOEC$ para las diferentes sustancias, estos obtenidos mediante ensayos de toxicidad con distintas especies (Planes y Fuchs, 2015).



3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 Tipo y nivel de la investigación

El tipo de investigación es experimental ya que se tiene el control de las situaciones en la cual podemos manipular, de manera intencional, una o más variables independientes (concentración de efluente) para analizar las consecuencias de tal manipulación sobre una o más variables dependientes (efectos letales y subletales) (Sampieri et al., 1998).

El estudio se llevó a cabo entre los meses de agosto del 2022 a enero del 2023 en los laboratorios de la Universidad Católica de Santa María, con la finalidad de determinar la ecotoxicidad de efluentes, que son destinados a cuerpos acuáticos provenientes de la industria textil de la ciudad de Arequipa.

3.2 Diseño de la Investigación

3.2.1. Área de estudio y material biológico

Los efluentes con los cuales se llevó a cabo la investigación proceden de una conocida industria textil ubicada en la ciudad de Arequipa en la zona del Parque Industrial distrito del cercado de Arequipa.

La elección de los organismos modelo (bioindicadores) fue de acuerdo a lo estipulado en la guía del Organismo de Cooperación y Desarrollo económico (OCDE), que indica, considerar en la evaluación ecotóxica, al menos tres niveles tróficos del ambiente, además que cada uno de ellos cuenta con protocolos de mantenimiento y condiciones de experimentación tal como se detallará más adelante.

Los organismos modelo se obtuvieron del acuario y criadero “Santillana” ubicado en el distrito de Characato en la provincia de Arequipa. En el caso de *Physa venustula* se siguió la metodología según Arenazas (2018), se aisló la cantidad de masas de huevos hábiles para la experimentación, es decir con la ayuda de un microscopio estereoscopio y por observación directa se procuró que el estadio de desarrollo embrionario fuera de clivaje y mórula (etapas de las primeras 06 horas después de la puesta de huevos por las hembras adultas). Por otro lado, se emplearon juveniles machos del pez *Poecilia reticulata* “Guppy”, de menos de 3 cm de longitud, para los bioensayos correspondientes de ecotoxicidad. *Lemna minor* se le aclimató durante dos semanas antes de la experimentación, en recipientes con agua declorinada con nutrientes esenciales.

3.2.2. Determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua residual del proceso de industrial textil

Las muestras fueron recolectadas en recipientes de polietileno reforzado de 5 galones de capacidad, que previamente fueron lavados con agua destilada. La muestra fue tomada de la salida final de todo el proceso de la planta textil (que luego se dirige a la planta de tratamiento), y se transportaron cuidadosamente al laboratorio acreditado para la determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua residual y los principales parámetros que se determinaron fueron: pH, turbidez, sólidos totales disueltos (STD), sólidos totales en suspensión (STS), conductividad, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno en cinco días (DBO_5) y metales totales. Se aplicarán métodos estándar que se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3.

Métodos para la determinación de parámetros fisicoquímicos.

Parámetro	Método	Referencia
DBO_5	Método de dilución (5210 B).	American Public Health Association et al. (2017)
DQO	Método de reflujo abierto (5220 D)	
STD	Secado de solidos a 180°C (2540-C)	
STS	Secado de solidos a $103 - 105^\circ\text{C}$ (2540-D)	
Cloruro	Determinación argentimétrica (4500 – Cl^-)	
Turbidez	Método nefelométrico (2130)	U.S. Environmental Protection Agency (1982)
pH	Método electrométrico	
Sulfato	Determinación por cromatografía iónica (300 EPA)	Pfaff (1996)
Metales totales	Método ICP – OES (200.07 EPA)	U.S. Environmental Protection Agency (1994)

3.2.3. Determinación de la mortalidad acumulada e índices ecotóxicos en los organismos modelo por efecto a la exposición de agua residual del proceso de industria textil.

Se diluyó el efluente problema con agua de grifo de clorada (OECD, 2016), para obtener los tratamientos de experimentación (5; 10 y 20 % v/v) y un control con solo agua de clorada inocua. Cabe indicar que dichas diluciones del efluente textil, se establecen de acuerdo a las pruebas previas de sensibilidad aguda, realizadas en neonatos de *Daphnia magna* (OECD, 2018).

- *Bioensayos de ecotoxicidad con Lemna minor L.*

Dos semanas antes del ensayo las lentejas se mantuvieron en agua de clorada, con nutrientes esenciales y una iluminación constante; el bioensayo consistió en colocar 10 colonias de *Lemna minor*, cada una conformada por dos hojas (frondas) del mismo tamaño, en cada envase de polietileno con capacidad de 250 mL agregando 100 mL. de cada dilución del agua del efluente textil (0, 5, 10 y 20 % v/v) (OECD, 2006).

El ensayo fue con tres réplicas y la temperatura estuvo registrada en 23 ± 3 °C y se empleó iluminación continua (Anexo 6, figura 10). La prueba duró 168 horas (7 días) y los parámetros finales de lectura fueron el número total de frondas, peso seco y peso húmedo y se determinó los índices de toxicidad, concentración letal media CL₅₀, LOEC, NOEC.

- *Bioensayos de ecotoxicidad con el caracol Physa venustula.*

Las masas ovígeras de *P. venustula* se mantuvieron en recipientes en el laboratorio y las condiciones para este bioensayo fueron las mismas para los anteriores ensayos; el pH del control se registró dentro del rango 6,5 – 8,5 (OECD, 2016). Se utilizaron placas petri (60 x 15 mm), con tres repeticiones (Anexo 6, figura 11) por cada tratamiento a temperatura ambiente (23 ± 3 °C). Se contabilizaron y registraron el número de huevos de las dos masas colocadas por cada placa petri, incluyendo el control. Posteriormente las masas de huevos fueron sometidas durante nueve días de experimentación frente a las diferentes diluciones del efluente textil, los organismos fueron monitoreados diariamente con un microscopio estereoscopio marca Motic ©, se evaluó los porcentajes de eclosión de cada tratamiento luego al final del ensayo de toxicidad aguda se determinó los índices de toxicidad, concentración letal media CL₅₀, LOEC, NOEC.

Las masas ovígeras utilizadas en el presente estudio estuvieron libres de contaminación biológica como hongos y otros microorganismos que podrían alterar las respuestas

ecotoxicológicas.

- *Bioensayos de ecotoxicidad en Poecilia reticulata (Gould 1847)*

Los especímenes del pez *Poecilia reticulata*, se colocaron en peceras de vidrio de 3000 cm³ y fueron ambientados hasta por una semana antes de iniciar el bioensayo y alimentados con *Artemias* diariamente, posteriormente fueron sometidos a los diferentes tratamientos con el efluente textil (5, 10 y 20% v/v) y un control negativo (Cn) con agua declorinada y se ensayaron tres réplicas por concentración, cada una de ellas con 05 especímenes (Anexo 6, figura 12). La temperatura ambiental del ensayo fue de (23 ± 3 °C), con una humedad relativa de 75 % y agua con un pH de 6.8, de acuerdo a la guía de la OECD (2019). Diariamente hasta las 96 horas de exposición, se registró la mortalidad (ausencia de movimiento durante 15 segundos de observación), y otros efectos subletales como la hipoactividad, luego al final del ensayo de toxicidad aguda se determinó los índices de toxicidad, concentración letal media CL₅₀, LOEC, NOEC.

3.3 Determinación de las unidades de toxicidad aguda (UTa) y rangos de toxicidad del agua residual del proceso de textil.

Se determinaron la Unidades Toxicológicas Agudas (UTa) del efluente con la siguiente expresión matemática aplicada por Saldaña et al. (2002).

$$Uta = \left(\frac{1}{CL_{50}} \right) * 100 \quad \text{Ec.1}$$

Donde CL₅₀ es la concentración letal media.

La interpretación estará de acuerdo con la clasificación de Saldaña et al. (2002) plasmada en la tabla 4.

Tabla 4.

Clasificación según Unidades Toxicológicas agudas (UTa).

Unidades Toxicológicas Agudas	Clasificación	CL ₅₀
> 4	Muy tóxico	> 25%
2 a 4	Tóxico	50 – 25%
1.33 a 1.99	Moderadamente tóxico	75 – 50%
< 1.33	Ligeramente tóxico	> 75%

Adicionalmente se realizará una clasificación en función a porcentaje de supervivencia y el índice CL₅₀ expresado como % de dilución, según los rangos propuestos por Roig et al. (2015), que se resume en la Tabla 5.

Tabla 5.

Rangos de toxicidad.

	No tóxico	Ligeramente tóxico	Marginalmente tóxico	Moderadamente tóxico	Altamente tóxico
CL ₅₀	>100	100-61	60-21	20-10	< 10
% de supervivencia	> 80	80-50%	% 50-21%	20-10%	< 10%

Fuente: Adaptado de Roig et al. (2015)

3.4 Métodos de investigación

3.4.1 Recolección y análisis del efluente

La recolección de la muestra del efluente se realizó en una industria textil ubicada en el sector del parque industrial departamento de Arequipa distrito de Cercado, luego el toxico de referencia fueron enviados a un laboratorio Acreditado para determinar sus características físico-químicas (metales pesados, pH, DBO, DQO) para saber principalmente que contaminantes están presentes en dichos efluentes (Díaz Báez et al., 2008).

La toma y transporte de muestras fue realizada bajo el “Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua”

3.4.2 Recolección de datos y análisis estadístico

El diseño experimental corresponde a un Diseño de bloques completos al azar (DBCA) 3 x 3. Para evaluar los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas de los datos se realizó pruebas de Shapiro-Wilk y Levene respectivamente.

Ocasionalmente se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskall Wallis. Para evaluar las diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos se realizó Análisis de Varianza de una vía (ANOVA) seguida de la prueba a posteriori de Tukey ($\alpha = 0,05$) para ver diferencias entre tratamientos, todos los procesamientos y análisis estadísticos se realizaron en el software Statistica 12, (Statsoft, Inc.).

El análisis para cada grupo de resultados obtenidos a partir de cada bioensayo y la determinación de la C(E)L₅₀ para el agua residual fue mediante el método Probit, realizado en el programa Microsoft® Excel® para Microsoft 365 MSO (versión 2201 compilación 16.0.14827.20158).

Todos los límites de confianza estadísticos se establecieron al 95% y para la generación de los gráficos se utilizó el software Sigmaplot 14.

4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de los parámetros fisicoquímicos de efluentes textiles industriales en la ciudad de Arequipa

En la tabla 6 y 7 se presentan los resultados reportados por el laboratorio acreditado por INACAL (Anexo 1).

Tabla 6.

Parámetros fisicoquímicos del agua residual de efluentes textiles industriales.

Parámetro	Unidad	Resultado
Turbidez	NTU	54.4
Conductividad	uS/cm	4,920.00
Sólidos Totales Disueltos	mg Sólidos Totales Disueltos/L	4,096
Sólidos Totales en Suspensión	mg Sólidos Totales en suspensión/L	56
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	<0.005
Potencial de Hidrógeno	pH	6.79
Oxígeno disuelto	mg DO/L	1.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	734.0
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /L	1,123.3

De acuerdo a los resultados de las variables fisicoquímicas del efluente textil industrial de los parámetros analizados, casi todos cumplen con la normativa nacional, específicamente con el Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (Anexo 5), a excepción de la DBO₅ con 734.0 mg O₂/L y el DQO con 1,123.3 mg O₂/L, que si superan la normativa nacional (VMA), ya que como máximo se establece valores de 500 y 1000 mg O₂/L de DBO₅ y DQO respectivamente, coincidiendo con valores elevados de esas variables reportados por Rodríguez et al. (2020) quienes evaluaron la contaminación de efluentes de textilería de diversos puntos de una empresa en Cuba. Dichos resultados están muy cercanos a los reportados por Tejada (2022) y Urviola (2022), quienes evalúan el agua residual de curtiembre y de una planta de tratamiento de aguas residuales

colapsada, y obtienen valores de 1525 y 3029.9 mg O₂/L y de 928.5 y 1 327.6 mg O₂/L de DBO₅ y DQO respectivamente.

No obstante, se debe indicar que algunos valores de la tabla 6, a pesar de no superar los valores máximos de la normativa nacional, si consideramos que coadyuvaron a desencadenar efectos nocivos en los organismos indicadores evaluados en la presente investigación, tal es el caso de la conductividad que se encuentra elevada con valores de 4920 uS/cm, registro mucho mayor al reportado por Urviola (2022), en la muestra cercana al punto de descarga de una planta de tratamiento de aguas servidas con un valor de 2078 µS/cm.

Por lo tanto, consideramos que la actuación de estas variables con datos elevados y su actuación en conjunto exacerbada, lograron ocasionar efectos letales y subletales en los organismos evaluados como lentejas de agua, embriones de Caracoles y juveniles del pez Guppy.

Con respecto a los valores de Solidos totales en suspensión (STS) en la presente investigación se reporta 56 mg/L, muy por debajo de lo establecido en los VMA de la normativa nacional (500 mg/L) y de acuerdo a lo propuesto por Haruna et al. (2009) tomado de Tejada (2022) informan que el grado de contaminación de las aguas residuales se puede clasificar como débil, medio o fuerte según el valor de STS. Se caracteriza como débil si el valor de STS es <100 mg/L, medio si 100 < STS < 220 mg/L, y fuerte contaminación si el valor de STS >220 mg/L, por lo tanto, de acuerdo a esta escala propuesta, el efluente textil industrial evaluado en la presente investigación se le consideraría como *débil* en cuanto al grado de contaminación. Afirmación discutible debido a que no coincide con nuestros reportes de ecotoxicidad con los organismos indicadores utilizados, ya que algunos de ellos llegaron hasta la muerte en menos de 96 horas de exposición al efluente textil industrial.

Tabla 7
Metales totales presentes en el agua residual de efluentes textiles industriales.

Elemento	Concentración, mg/L
Plata Total	<0.000010
Aluminio Total	1.973
Arsénico Total	0.04130
Boro Total	1.322
Bario Total	0.0095
Berilio Total	<0.00006
Zirconio Total	<0.00045
Talio Total	<0.00006
Uranio Total	0.000925
Vanadio Total	0.0409
Wolframio Total	<0.0006
Yterbio Total	<0.00006
Zinc Total	0.0218
Estaño Total	<0.00010
Estroncio Total	0.1065
Tantalio Total	<0.0021
Teluro Total	<0.003
Thorio Total	0.00172
Titanio Total	0.0165
Plomo Total	0.0023
Rubidio Total	0.0251
Antimonio Total	<0.00013
Selenio Total	<0.0013
Silicio Total	56.67
Sílice Total	121.24
Manganeso Total	0.01295
Molibdeno Total	0.00293
Sodio Total	1,482.633
Niobio Total	<0.0015
Niquel Total	0.0008
Fósforo Total	4.691

Mercurio Total	<0.00009
Potasio Total	22.85
Lantano Total	<0.0015
Litio Total	0.1136
Lutecio Total	<0.00006
Magnesio Total	9.932
Cesio Total	0.0012
Cobre Total	0.12992
Hierro Total	0.3224
Galio Total	0.00030
Germanio Total	<0.0006
Hafnio Total	<0.00015
Bismuto Total	<0.00003
Calcio Total	15.127
Cadmio Total	<0.00003
Cerio Total	0.00056
Cobalto Total	0.00323
Cromo Total	0.0021

Los resultados de la presente investigación indican que ninguno de los metales evaluados en el efluente textil (tabla 7) supera lo establecido por la normativa nacional de los valores máximos admisibles (VMA), sin embargo, se puede destacar algunos de ellos que, a pesar de estar por debajo de la normatividad vigente, no dejan de ser muy preocupante su presencia y podemos citar al boro (1.322 mg/L) el manganeso (0.01295 mg/L), el sodio (1,482.633 mg/L), el calcio (15.127 mg/L) y el potasio (22.85 mg/L), concordando por lo investigado por Wani et al. (2019) quienes mencionan que la descarga de metales pesados venenosos como mercurio, cobre, arsénico, plomo, cadmio, níquel, cobalto y cromo que son generalmente empleados en los procesos industriales de preparación de tintes y tintorerías, además del vertido de otros productos químicos nocivos, como azufre, fijadores a base de formaldehído, nitratos, ácido acético, suavizantes, naftol, productos químicos jabonosos y otros auxiliares, hacen que el efluente sea altamente tóxico. Asimismo, los valores de algunos metales en nuestra investigación sobrepasan los registrados en otras investigaciones, por ejemplo, Gür et al. (2016), quienes indican que a concentraciones mayores de 0,5 mg/L de boro son dañinas para algunas plantas y muchos animales acuáticos, pues el efluente textil evaluado registra un valor de este metal de 1.32 mg/L,

que aun no superando los VMA, ya estarían generando daño en la biota acuática tal como se aprecia en los resultados de mortalidad total (100%) de peces Guppy principalmente a las 24 horas después de la exposición con el tratamiento de 20% de efluente textil (tabla 10).

Santos et al. (2021) indican que las nano partículas de boro no causaron efectos sobre la supervivencia, y eclosión de los embriones de *Danio rerio* (pez cebra). Sin embargo, detectó una inducción significativa de malformaciones y alteraciones en el comportamiento locomotor (movimientos) a elevadas concentraciones (10 mg/L). Además, puede disminuir la actividad de colinesterasa, lo que puede estar asociado con el deterioro de la locomoción observado en los bioindicadores de la presente investigación. De manera que el boro también puede reducir los niveles y la actividad de las sustancias antioxidantes en los organismos animales evaluados, alterando su fisiología normal.

Otro elemento que se debe tener en cuenta en nuestros resultados es el manganeso, donde Altenhofen et al. (2017) indican que su oxidación permite la posible formación de precipitados, generando turbiedad y disminuyendo la calidad estética de los cuerpos de agua, además se sabe que este elemento es un metal esencial para los organismos, pero niveles elevados pueden causar graves daños neurológicos y a pesar de que en la presente investigación se registra niveles por debajo de la normatividad (0.013 mg/L) de este elemento, no deja de ser preocupante por sus efectos tal como anteriormente se especificó.

Con respecto al calcio, se registra un valor de 15.127 mg/L cercano al reportado por Tejada (2022) quien evaluó ecotoxicidad del efluente obtenido del proceso total de curtiembres en bioindicadores acuáticos, observándose en su investigación, valores elevados de sodio (26000 ± 5400 mg/L) entre otros elementos, causando efectos letales en pulgas de agua (48h) y generando alteraciones morfológicas tanto en embriones como larvas de anfibiosde experimentación.

Desde el punto de vista general, los resultados de la evaluación fisicoquímica y de metales totales del agua residual textil industrial empleado en la exposición para evaluar efectos ecotoxicológicos, coinciden con lo estudiado por Guillén et al. (2020) quienes en sus investigaciones mencionan que los diferentes procesos de la industria textil, especialmente los de tratamiento de materia prima como el lavado, requieren del uso de compuestos químicos en gran escala, generando aguas residuales que contienen alto contenido de materia orgánica y sales inorgánicas, así como elevada DBO₅ (demanda bioquímica de oxígeno), DQO (demanda química de oxígeno), grasas, sulfuros, y otros compuestos nocivos que

terminan siendo desechados de forma incontrolada, causando daño en el sistema de alcantarillado, canales de regadío, y generando riesgo potencial a la salud de las personas y el ambiente biótico en general, si se vierten sin tratamiento alguno.

4.2. Determinación de efectos letales, subletales e índices ecotóxicos en los organismos indicadores por efecto a la exposición de efluentes textiles industriales en la ciudad de Arequipa.

4.2.1. Bioensayos de ecotoxicidad con *Lemna minor* L.

En la Figura 4 se observan barras que representan el efecto en el desarrollo de frondas de *L. minor* frente a tres porcentajes de dilución del efluente textil industrial, las barras de error representan la desviación estándar (DE) de tres repeticiones. Las letras representan las diferencias estadísticas entre cada tratamiento determinadas por la prueba de Tukey, el control fue el tratamiento que tuvo el mayor número de frondas, con respecto a los demás tratamientos (diluciones del efluente), es decir a mayor concentración de efluente menor cantidad de frondas.

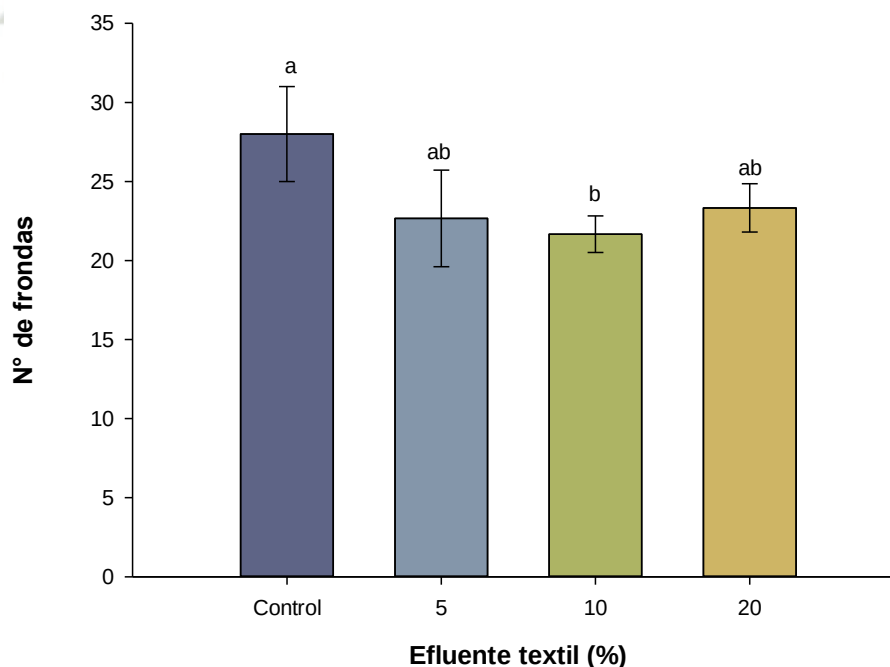


Figura 4. Efecto del efluente textil industrial diluido sobre el número de frondas de *Lemna minor* L.

En la Figura 5 y 6 se presenta un gráfico de barras que muestra el efecto en el peso

húmedo y peso seco en *L. minor* frente a tres porcentajes de dilución del efluente textil industrial, las barras de error representan la DE de tres repeticiones. Las letras representan las diferencias estadísticas entre cada tratamiento determinadas por la prueba de Tukey, se observa una tendencia de disminución de estas variables conforme aumenta la concentración del efluente y una relación directa con el número de frondas presentado anteriormente.

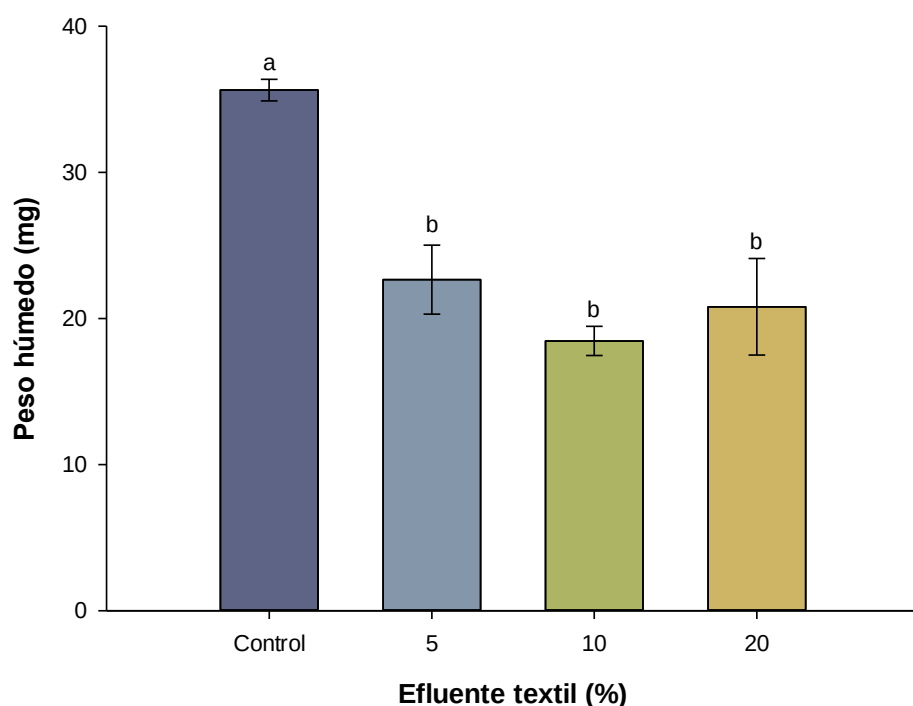


Figura 5. Efecto del efluente textil industrial diluido sobre el peso húmedo (mg) de *Lemna minor* L.

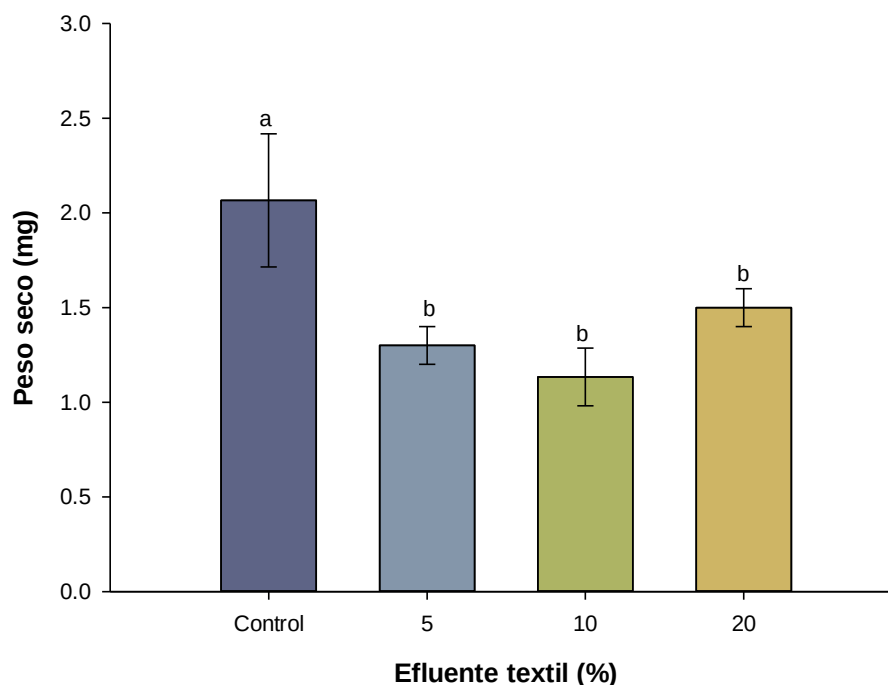


Figura 6. Efecto del efluente textil industrial diluido sobre el peso seco (mg) de *Lemna minor* L.

En la Tabla 8 se presentan los valores determinados de las variables analizadas en *L. minor* (número de frondas, peso húmedo y peso seco), se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las diluciones del efluente y frente al control, también se aprecia diferencia estadística entre los efectos de la dilución a partir de 5 % y las demás diluciones. Por otro lado, a las 168 h de exposición de la lenteja de agua, los valores de la NOEC y la LOEC evidenciaron una toxicidad en las tres variables estudiadas, todas tienen una tendencia al decrecimiento en función al aumento del porcentaje de dilución. Finalmente, no se logró determinar la C(E)L₅₀ debido a que se están evaluando efectos subletales en este indicador biológico.

La significancia de la prueba de Shapiro – Wilk en las variables de número de frondas y peso seco (mg) superaron a 0,05, por lo tanto, los datos de las dos variables (Anexo 2) se ajustaron a una distribución normal, sin embargo, todos los datos cumplen con homocedasticidad (Prueba de Levene).

Tabla 8.

Efectos subletales evaluados en el bioensayo con *Lemna minor* expuesta a diferentes diluciones de efluente textil, durante 168 h.

Dilución de efluente (%)	168 h					
	N° de frondas		Peso húmedo (mg)		Peso seco (mg)	
0 (Control)	28.0 ± 3.0	a	35.6 ± 0.7	a	2.1 ± 0.4	a
5	22.7 ± 3.1	ab	22.7 ± 2.4	b	1.3 ± 0.1	b
10	21.7 ± 1.2	b	18.5 ± 1.0	b	1.1 ± 0.2	b
20	23.3 ± 1.5	ab	20.8 ± 3.3	b	1.5 ± 0.1	b
NOEC %	<5		<5		<5	
LOEC %	5		5		5	
CL(E)₅₀ %	ND		ND		ND	
S-W	0.91		0.81		0.90	
Sig.	0.28		0.01		0.18	
Levene	0.92		2.16		1.88	
Sig.	0.42		0.17		0.21	
K-W	-		8.74		-	
Sig.	-		0.03		-	
F	4.29		-		11.89	
Sig.	0.04		-		0.003	

Sig.: significancia estadística; h=horas. Las letras que figuran en minúscula para cada columna representan la variación en la significación entre las variables de los tratamientos (prueba de Tukey $p < 0,05$). NOEC: concentración en la que no se observa efecto; LOEC: concentración más baja en la que se observa efecto; CE_{50} = concentración; ND: valor no determinado. Los valores de las variables analizadas corresponden al promedio de las tres réplicas. S-W: prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad. Estadístico de Levene: prueba para evaluar la homocedasticidad. F: estadístico de Fisher del Anova; K-W prueba de Kruskal – Wallis.

La variable de peso húmedo al no cumplir con la normalidad, se optó por ejecutar la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis que dio como resultado un valor menor a 0,05, que evidencia que existen diferencias significativas entre las medias, por ello se optó por continuar con la prueba de Tukey que permitió asignar la significancia que se aprecian en la tabla y gráficos anteriores.

4.2.2. Bioensayos de ecotoxicidad con *Physa venustula*.

En la Figura 7 se presenta un gráfico de barras que representa el efecto en el porcentaje de eclosión de huevos del caracol *P. venustula* frente a tres porcentajes de diluciones de efluente textil a las 216 horas de exposición, las barras de error representan la DE de tres repeticiones. Las letras representan las diferencias estadísticas entre cada tratamiento determinadas por la prueba de Tukey, el control (con agua declorinada) fue el tratamiento que tuvo el más alto porcentaje de eclosión, por otro lado, los efectos más importantes se presentaron en el tratamiento con 5 % de dilución del efluente con 0 % de eclosión de huevos. En el tratamiento con 10 % se pudo observar algunas alteraciones morfológicas y retraso en el desarrollo de la formación de la cabeza y la concha.

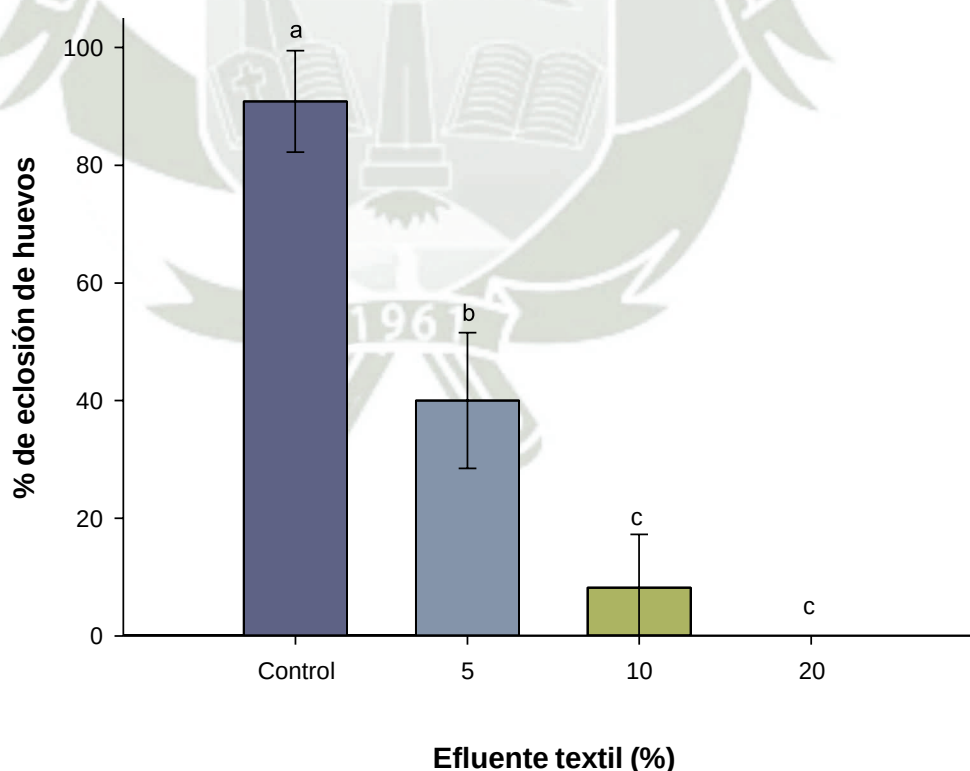


Figura 7. Efecto del efluente textil industrial diluido sobre el porcentaje de eclosión de huevos en *Physa venustula*.

En la Tabla 9 se presentan los valores de porcentaje de eclosión de huevos de *P. venustula*, se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las diluciones del efluente textil industrial y el control, también se aprecia diferencia estadística entre los efectos de la dilución 5 % con las demás. Por otro lado, la diferencia entre el control y la primera dilución es muy grande, asimismo, los efectos de las diluciones 10 y 20 % son significativos según el análisis estadístico.

Tabla 9.

Efectos en el porcentaje de eclosión de huevos de *Physa venustula* expuesto a diferentes diluciones de efluente textil, durante 216 horas.

Dilución de efluente (%)	216 h	
	% de eclosión	
0 (Control)	90.9 ± 8.6	a
5	40.0 ± 11.6	b
10	8.2 ± 9.1	c
20	0.00 ± 0.00	c
NOEC %	<5	
LOEC %	5	
CL(E) ₅₀ %	6.5	
SW	0.84	
Sig.	0.03	
Levene	2.3	
Sig.	0.2	
KW	10.2	
Sig.	0.02	
F	-	
Sig.	-	

Sig.: significancia estadística; h=horas. Las letras que figuran en minúscula para cada columna representan la variación en la significación entre las variables de los tratamientos (prueba de Tukey $p < 0,05$). NOEC: concentración en la que no se observa efecto; LOEC: concentración más baja en la que se observa efecto; CE_{50} : concentración. Los valores de las variables analizadas corresponden al promedio de las tres réplicas. S-W: prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad. Estadístico de Levene: prueba para evaluar la homocedasticidad. F: estadístico de Fisher del Anova; K-W prueba de Kruskal – Wallis.

La significancia de la prueba de Shapiro – Wilk dio un p value menor a 0,05 por lo tanto, los datos no cumplieron con el supuesto de normalidad, al contrario, con el supuesto de homocedasticidad (Prueba de Levene) donde sí se cumplió (Anexo 3). Al no cumplir con el supuesto de homocedasticidad y no tener una distribución normal, se optó por ejecutar la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis cuya significancia dio como resultado un valor menor a 0,05, que evidenció que existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, por ello se procedió a continuar con la prueba de Tukey. En este caso se pudo calcular la $CL(E)_{50}$, que corresponde a 6.5%.

En el tratamiento de control (solo con agua declorinada) sin efluente textil industrial, se alcanza un máximo de eclosión a los 9 días de evaluación con un valor de 90.9 ± 8.6 %, sin embargo, conforme aumento el porcentaje de efluente se denota disminución de la eclosión provocada por los componentes del propio efluente (Tabla 6 y 7).

Los individuos que lograron eclosionar tuvieron un tamaño ciertamente reducido principalmente en los tratamientos de 10 %, y el resto de los ejemplares tuvieron un leve retraso en el desarrollo (5%), en general hubo predominio de larvas en fase *Hippo* a los 9 días, asimismo se pudo apreciar la presencia de partículas posiblemente de materia orgánica desencadenando un exceso de DBO y DQO que habrían afectado al desarrollo embriológico normal de la especie, en conjunto con otros factores como los metales presentes en el efluente y provocando también algunas alteraciones morfológicas principalmente a nivel de cabeza y conchas y finalmente muerte de los organismos como el caso del tratamiento de 20% de dilución del efluente reportando un valor de $0,00 \pm 0$ % de eclosión.

Es importante detallar la ecotoxicidad de este nivel trófico representado por invertebrados y existe diversas investigaciones relacionadas a los efectos de efluentes de industria textil, el más cercano corresponde a *Daphnia magna* “pulgas de agua” que puede soportar hasta 4% de salinidad y sensibilidad a una concentración del 6,25 % de efluentes textiles (Jeronimo et al., 2019; Oliveira, 2017), valor con mucha cercanía a la $C(E)L_{50}$ obtenida para *Physa venustula* de 6.5% en nuestra investigación.

4.2.3. Bioensayos de ecotoxicidad con *Poecilia reticulata*.

En la Figura 8 se presenta un gráfico de barras que representa el efecto en el porcentaje de mortalidad del pez modelo *Poecilia reticulata* “Guppy” frente a tres porcentajes de diluciones de efluente textil a las 96 horas de exposición, las barras de error representan la

DE de tres repeticiones. Las letras representan las diferencias estadísticas entre cada tratamiento determinadas por la prueba de Tukey, el tratamiento de 20% de efluente tuvo el más alto porcentaje de mortalidad. En el tratamiento control, no se evidencio muerte de especímenes, pero cabe destacar que la mortalidad total de los peces (100%) en el tratamiento de 20 % de efluente ocurrió después de 24 horas de exposición no llegando a las 96 horas que exige el procedimiento estándar, y se denota la rápida intervención nociva del efluente provocando la muerte de los organismos juveniles del pez Guppy.

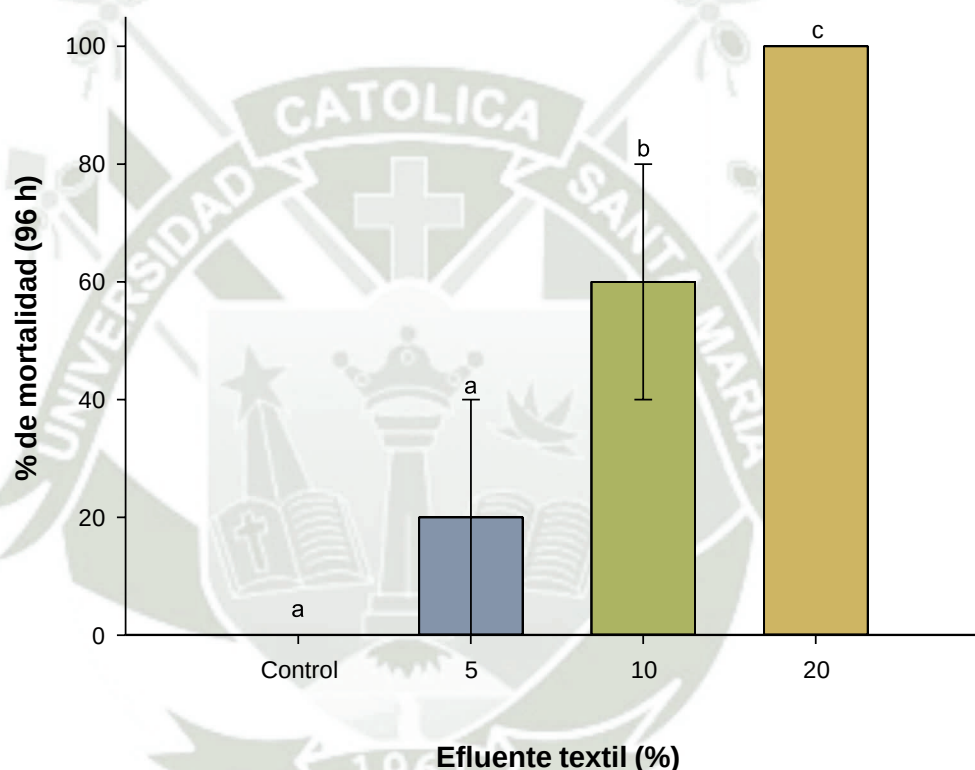


Figura 8. Efecto del efluente textil industrial diluido sobre el porcentaje de mortalidad en *Poecilia reticulata*.

Se observa las barras de tres porcentajes de dilución del efluente textil industrial y el control, se representa también la DE de tres repeticiones. Las letras representan las diferencias estadísticas entre cada tratamiento determinadas por la prueba de Tukey, se observa una tendencia de disminución de supervivencia es decir aumento de la mortalidad conforme aumenta los porcentajes del efluente textil industrial en la dilución.

En la Figura 9 se presenta un gráfico de barras que representa el efecto en el porcentaje de hipoactividad del pez modelo *Poecilia reticulata* “Guppy” frente a tres porcentajes de

diluciones de efluente textil a las 96 horas de exposición, las barras de error representan la DE de tres repeticiones. Las letras representan las diferencias estadísticas entre cada tratamiento determinadas por la prueba de Tukey, en el tratamiento control y el mayor de 20% de efluente, no se observan efectos subletales de hipoactividad, debido a que en el control estuvieron en adecuadas condiciones y su comportamiento fue ideal, sin embargo, el de 20% de dilución de efluente, no se observa, pues ya murieron 24 horas después de la exposición, por ello no se expresa dicho efecto.

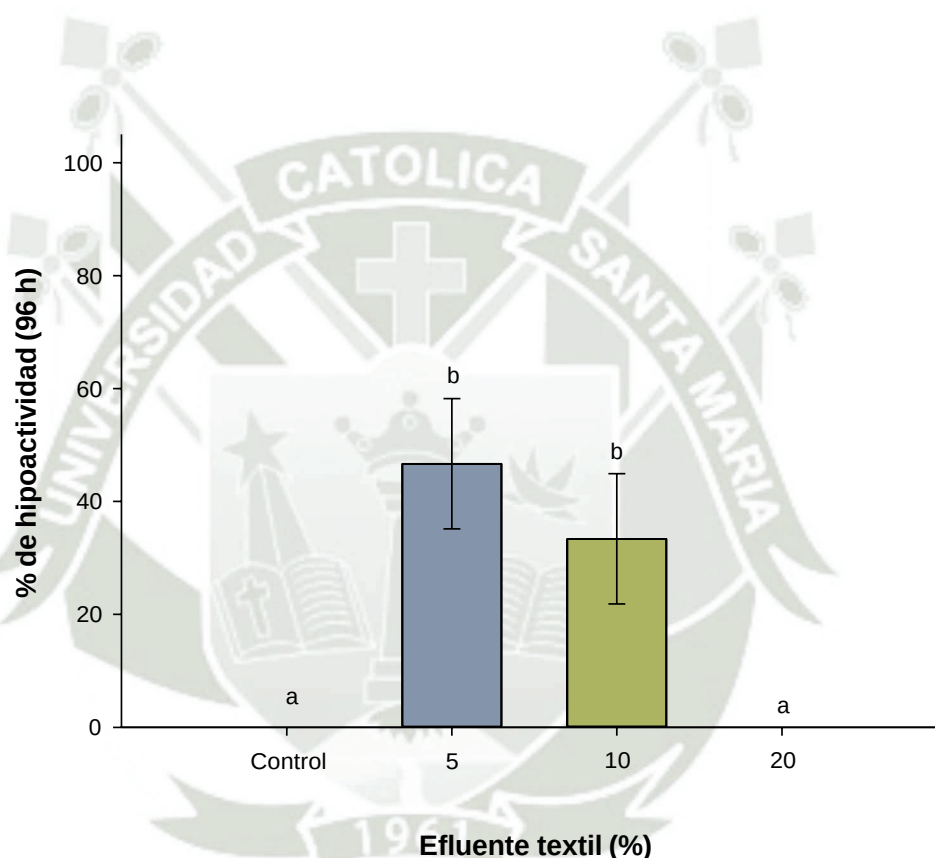


Figura 9. Efecto del efluente textil industrial diluido sobre el porcentaje de hipoactividad en *Poecilia reticulata*.

En la Tabla 10 se presentan los valores de porcentaje de mortalidad e hipoactividad de *Poecilia reticulata* “pez Guppy”. En cuanto a la mortalidad se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las diluciones del efluente textil industrial y el control, también se aprecia diferencia estadística entre los efectos de la dilución 20 % con las demás debido al 100 % de mortalidad registrada. Destacamos la relación de la mortalidad con el efecto subletal de hipoactividad, debido a que el control mantiene un nulo efecto de esta

variable, pues solo contiene agua de clorinada libre de efluente, generando un comportamiento normal de las especies durante el tiempo de experimentación (96 horas).

Tabla 10.

Efectos evaluados en el bioensayo con *Poecilia reticulata* expuesto a diferentes diluciones de efluente textil, durante 96 horas.

Dilución de efluente (%)	96 h			
	% de mortalidad		% de hipoactividad	
0 (Control)	0.0 ± 0.0	a	0.0 ± 0.0	a
5	20.0 ± 20.0	a	46.7 ± 11.5	b
10	60.0 ± 20.0	b	33.3 ± 11.5	b
20	100 ± 0.0	c	0.0 ± 0.0	a
NOEC %	5		<5	
LOEC %	10		5	
CL(E)₅₀ %	7.4		6.0	
SW	0.85		0.78	
Sig.	0.03		0.01	
Levene	2.77		10.77	
Sig.	0.12		0.004	
KW	10.08		10.23	
Sig.	0.02		0.02	
F	-		-	
Sig.	-		-	

Sig.: significancia estadística; h=horas. Las letras que figuran en minúscula para cada columna representan la variación en la significación entre las variables de los tratamientos (prueba de Tukey $p < 0,05$). NOEC: concentración en la que no se observa efecto; LOEC: concentración más baja en la que se observa efecto; CL₅₀= concentración letal media. Los valores de las variables analizadas corresponden al promedio de las tres réplicas. S-W: prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad. Estadístico de Levene: prueba para evaluar la homocedasticidad. F: estadístico de Fisher del Anova; K-W prueba de Kruskal – Wallis.

La significancia de la prueba de Shapiro – Wilk para las dos variables dio un p value menor a 0,05 por lo tanto, los datos no cumplieron con el supuesto de normalidad, al contrario, con el supuesto de homocedasticidad (Prueba de Levene) donde sí se cumplió en la variable de

mortalidad (Anexo 4). Al no tener una distribución normal, se optó por ejecutar la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis cuya significancia dio como resultado un valor $p < 0.05$, que refiere a que existen diferencias estadísticas significativas entre las medias de los tratamientos, por ello se procedió a continuar con la prueba de Tukey. En este caso se pudo calcular la $CL(E)_{50}$, para la mortalidad en 7.4% e hipoactividad de 6.0 %.

En los ecosistemas acuáticos, una forma de determinar el impacto de los metales pesados tóxicos es el uso de organismos bioindicadores tal es el caso de los peces quienes se encuentran en el nivel superior de la cadena alimentaria y se usan ampliamente como un monitor móvil para determinar el grado de contaminación en los ecosistemas acuáticos.

Los resultados de mortalidad principalmente de los peces que se reportaron en la presente investigación (Tabla 6), se pueden explicar, ya que normalmente, los niveles altos de DQO sugieren mayores niveles de contaminación, pero no siempre es así, ya que la DQO también puede proceder de fuentes naturales. Sin embargo, los altos niveles de DQO pueden causar el agotamiento del oxígeno en el agua, independientemente de la fuente de DQO. Esto puede provocar la muerte masiva de animales acuáticos. Cada año, un gran número de peces mueren debido al agotamiento del oxígeno causado por la contaminación, circunstancia que habría ocurrido en nuestra investigación experimental, desencadenando la muerte rápida de los organismos de prueba. La DQO causada por la contaminación también puede ser tóxica para el medio ambiente o puede acumularse en la cadena alimentaria cuando no se degrada de forma natural (Arana & Peña, 2019).

La probable causa de mortalidad rápida en peces (20% de efluente textil) también puede deberse a la presencia de fibras de microplásticos como residuos en efluentes textiles y la posible ingestión en peces pequeños puede bloquear el sistema digestivo, interferir en la alimentación por lo tanto cambiar el comportamiento animal, tal como lo manifiestan Weis et al. (2022), quienes además indican que las fibras de microplásticos pueden atraer diversos químicos y es posible que ellos actúen como un vector para la transferencia de contaminantes a los organismos, situación que podría haberse suscitado en nuestra investigación provocando la mortalidad o los efectos subletales descritos anteriormente en los diversos organismos de prueba de la presente investigación, en especial los peces como biomonitores de cuerpos de agua con probable contaminación..

4.3. Determinación de las unidades de toxicidad aguda (UTa) y clasificación toxicológica del agua de efluente textil industrial

Utilizando los valores de $C(E)L_{50}$ calculados con los datos correspondientes a la dilución más alta del efluente textil (20 % v/v) de los bioensayos, se procedió a aplicar los criterios para determinar las Unidades toxicológicas agudas UTa (Saldaña et al., 2002) y luego la respectiva clasificación ecotoxicológica según Roig et al. (2015). En la Tabla 11 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 11.

Unidades toxicológicas agudas y clasificación ecotoxicológica del efluente textil industrial

Organismo	TE, h	CL ₅₀	% S	UTa	CS	CR
<i>Lemna minor</i>	168	-	-	-	-	-
<i>Physa venustula</i>	216	6.5	0	15.4	Muy tóxico	Altamente tóxico
<i>Poecilia reticulata</i>	96	7.4	0	13.5	Muy tóxico	Altamente tóxico

TE: Tiempo de exposición; CL₅₀: Concentración letal media; % S: porcentaje de supervivencia; UTa: Unidades toxicológicas agudas; CS: Clasificación según Saldaña; CR: Clasificación según Roig.

Los resultados muestran que en *L. minor*, no fue posible determinar CL₅₀, porque en este organismo indicador solo se evaluaron efectos subletales. Para los embriones de *P. venustula* se calcula la CL₅₀, en 6.5 % y nula supervivencia con el tratamiento de 20% de dilución de efluente textil (figura 13, Anexo 6), a lo que le corresponde las clasificaciones de *muy toxico* y *altamente tóxico*. Para los juveniles del pez *Poecilia reticulata* se determinó una CL₅₀ de 7.4 % y 0 % de supervivencia y el efluente obtiene la misma calificación toxicológica del indicador anterior, *muy tóxico* y *altamente tóxico*.

Los resultados de la clasificación ecotoxicologica del efluente textil de la presente investigación tiene mucha relación con los estudios de Ahuatzin, (2019), quien indica que los principales contaminantes de la industria textil que se pueden encontrar en los efluentes son: almidón, peróxidos, EDTA (ácido etilendiaminotetraacético), tensoactivos, enzimas, colorantes, metales y otros compuestos orgánicos de variada estructura química, que provienen de las distintas etapas del proceso de producción textil, de los cuales, los más dañinos son los colorantes de tipo azo y los compuestos

aromáticos, ya que estos son considerados como contaminantes persistentes en el agua debido a su estructura compleja y no pueden ser eliminados con tratamientos primarios o convencionales, por lo cual contaminan la flora, la fauna circundantes al cuerpo acuático (rio o lago) e incluso son un riesgo para las civilizaciones humanas aledañas debido a los problemas de salud que generan.

Se conoce por diversas investigaciones que, a concentraciones más altas de efluentes, los contaminantes reducen gradualmente el contenido de oxígeno del medio, lo que a su vez aumenta la toxicidad (Aich et al., 2011; Urviola, 2022), situación coincidente en nuestra investigación, demostrándose un reducido nivel de oxígeno disuelto y en consecuencia una elevada mortalidad significativa ($p < 0.05$) de peces “Guppy” en relación al control debido a la exposición de este efluente clasificado como *altamente tóxico* para las especies de animales de distintos niveles tróficos evaluadas. Nuestros resultados en el bioindicador *P. reticulata* coinciden con lo estudiado por Meena et al. (2018) y Rodrigues et al. (2019), quienes precisan que los peces se han utilizado como un indicador adecuado para el programa de monitoreo toxicológico, debido a su naturaleza omnipresente en todos los ambientes acuáticos y su larga vida útil y reacción inmediata contra la acción de los metales pesados entre otros contaminantes, explicándose la razón de la rápida muerte de los peces (24 de exposición) que habría sido consecuencia del daño branquial generando un incremento del espesor endotelial de las branquias, lo que pudo conducir a la disminución de la capacidad de difusión relativa del epitelio branquial conllevando a hipoxia, esta incapacidad podría deberse también a la intoxicación y a la baja cantidad de oxígeno para el intercambio gaseoso, causado por la degeneración en las branquias, Este cambio del epitelio respiratorio no permite un adecuado intercambio iónico, y es considerado como un mecanismo de defensa que reduce el área de contacto de las branquias con el medio externo.

Sanchez et al. (2018), en su investigación reportan evidencias acerca de los colorantes sintéticos actualmente empleados masivamente en la industria textil, los cuales presentan compuestos tóxicos con alto peso molecular y al estar presentes en los efluentes industriales y acumularse en lagos y bahías provocan disminución de diversas variables como: la luminosidad de las aguas, de la actividad fotosintética, el oxígeno disponible y por el contrario un aumento de carga orgánica, así mismo indican que la mayoría de los colorantes tiene una toxicidad baja en los peces y organismos acuáticos, aseveraciones que no coincidirían con los resultados de nuestra investigación, ya que en

la evaluación de peces *Poecilia reticulata* se conoce que se obtuvo muerte rápida (24 hrs) de todos los especímenes y escasa a nula eclosión de huevos del caracol *Physa venustula*, en ambos casos, con el tratamiento de 20% de efluente textil. Por lo tanto, se tendría que evaluar con claridad el tipo de colorante (s) utilizados en la industria textil local, puesto que se conoce también que los colorantes básicos, los cuales comparten su emisión de toxicidad elevada con muchos materiales catiónicos es la excepción. Sin embargo, cuando son usados apropiadamente, los colorantes básicos se agotan casi completamente en la fibra y, por consiguiente, muy pequeñas cantidades de colorante, permanecen en el efluente final de una fábrica textil.

Finalmente, y con los resultados de toxicidad variada en los organismos de prueba de diferentes niveles tróficos utilizados y expuestos a diferentes diluciones del agua residual textil, podemos considerar y coincidir con lo expuesto por Zaruma et al. (2018) y Wani et al. (2019) quienes indican que las aguas residuales provenientes de la industria textil ponen en riesgo el medio ambiente, al descargar sus efluentes con diversos contaminantes, sobre todo con los colorantes utilizados durante todo el proceso de producción. La industria del teñido de textiles sigue siendo una fuente importante de problemas ambientales complejos con requisitos legislativos que a menudo varían en detalle y severidad con respecto a la exposición y los peligros de productos químicos potencialmente dañinos y otros materiales asociados. Es vital que el sector industrial involucrado en la aplicación de tintes continúe siendo sensible a los posibles efectos adversos sobre el medio ambiente en su sentido más amplio y responda a las consecuencias .

5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El análisis de parámetros fisicoquímicos y metales totales permitió obtener información del nivel de contaminación que tenía el efluente textil industrial, de los parámetros analizados, la DBO₅ (734.0 mg/L) y la DQO (1123.3 mg/L) superan los Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, con respecto a los metales, todos cumplen con la normativa nacional.
- Los bioensayos con la lenteja de agua *Lemna minor* evidencian una disminución del número de frondas, peso húmedo y peso seco mientras que la dilución del efluente aumentaba. En todas las variables de respuesta analizadas en *L. minor* se obtuvo un NOEC menor a 5 % y LOEC de 5 %. Los bioensayos con el caracol *Physa venustula* mostraron el efecto de 0.00% de eclosión de huevos en el tratamiento de 20% de dilución del efluente textil, frente a un $90.9 \pm 8.6\%$ del control y se obtuvo una NOEC menor a 5 % y LOEC de 5 %. La C(E)L₅₀ calculada fue de 6.5% del efluente textil. Los bioensayos con juveniles del pez *Poecilia reticulata* mostraron una mortalidad total a las 24 horas de exposición en el tratamiento de 100% de efluente textil y se obtuvo una NOEC de 5 % y LOEC de 10 % del efluente textil. La C(E)L₅₀ fue 7.4 %. El efecto subletal de hipoactividad de los peces fue nulo en el control y el máximo tratamiento (20% de dilución del efluente textil) y una NOEC menor de 5% y LOEC de 5% del efluente textil.
- La clasificación ecotoxicológica se ejecutó en función a la concentración letal media y el porcentaje de supervivencia de los organismos evaluados, frente a la exposición del efluente textil industrial y se pudo clasificar tanto para *Physa venustula* y *Poecilia reticulata* como *muy tóxico* (Según Saldaña) y *Altamente tóxico* (según Roig), lo que convierte al efluente en un potencial riesgo para el medio ambiente, considerando que la máxima dilución evaluada fue del 20 %.

5.2. RECOMENDACIONES

- Incrementar la exposición de estos efluentes textiles industriales a mayor número de especies indicadoras acuáticas destinatarias y no destinatarias y así poder conocer el impacto y determinar el riesgo ambiental en los ecosistemas aledaños a estas organizaciones.
- Realizar investigaciones de ecotoxiproteómica sobre el efecto de diversos tipos de colorantes utilizados en la industria textil en especies indicadoras acuáticas destinatarias y no destinatarias
- Investigar sobre las unidades toxicológicas y riesgo ambiental combinado, de los efluentes de diferentes procesos de la industria textil y que estos resultados contribuyan como herramienta del análisis de ciclo de vida de estas organizaciones importantes de la región.

6. CAPÍTULO VI: BIBLIOGRAFÍA

1. Aich, A., Chattopadhyay, B., Datta, S., & Mukhopadhyay, S. K. (2011). Impact of composite tannery effluent on the amino-transferase activities in a fish biosystem, using Guppy fish (*Poecilia reticulata*) as an experimental model. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 93(1), 85–91.
<https://doi.org/10.1080/02772248.2010.500473>
2. Ahuatzin Flores, O. (2019). Toxicidad del agua contaminada por colorantes textiles y pentaclorofenol al ser tratados con enterobacterias. [Tesis de Maestría, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México].
3. Altenhofen, S., Wiprich, M., Nery, L. R., Leite, C., Vianna, M., & Bonan, C. (2017). Manganese (II) chloride alters behavioral and neurochemical parameters in larvae and adult zebrafish. *Aquatic Toxicology*, 182, 172-183.
4. Asselborn, V., & De Domitrovic, Y. (2000). Aplicación de bioensayos algales uniespecíficos para evaluar los efectos de un efluente textil y la calidad del agua de una laguna receptora (Corrientes, Argentina). *Espindola, ELG; Rispoli Botta Paschoal, B*, 353-363.
5. APHA (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd ed.). Washington DC: American Public Health Association.
6. Arana, D., & Peña, F. (2019). Efecto del tiempo y número de placas en la remoción de DQO y turbidez en agua residual del proceso de curtido por electrocoagulación. [Tesis pregrado, Universidad Cesar Vallejo].
7. Arenazas, A. (2018). Evaluación ecotoxicológica de contaminantes minero-industriales en el desarrollo embrionario de especies bioindicadoras *Carassius auratus* “Goldfish” y el caracol *Physa venustula* (Gould 1847). [Tesis Doctor, Universidad Nacional de San Agustín- Arequipa].
8. Aspland, J. R. (1991). Direct dyes and their application. *Textile Chemist and Colorist*, 23(11), 41-5.
9. Calderón, F., & Olortico, S. (2019). Proceso foto-fenton para la degradación de color del efluente de la industria textil. [Tesis pregrado Universidad Nacional del Centro del Perú].
10. Calderón, D., Donayre, E., Quispe, J., & Rojas, T. (2018). Planeamiento estratégico para la industria textil del hilado de algodón de Arequipa. [Tesis Maestro, Pontificia Universidad Católica del Perú].
11. Castillo, G. (2004). Ensayos ecotoxicológicos y métodos de evaluación de calidad de

- aguas. *Estandarización, Intercalibración, Resultados y Aplicaciones*, 1a Edición, Centro Internacional de Investigación Para El Desarrollo–CIID e Instituto Mexicano de Tecnología Del Agua–IMTA, México, DF.
12. Cervantes, F. J. (2008). Reducción de colorantes azo por distintos grupos microbianos en consorcios anaerobios. *BioTecnología*, 12(3), 6-20.
 13. Cortazar, A. (2013). Decoloración del colorante rojo ácido 27 utilizando un cultivo mixto de *Trametes versicolor* y *Pseudomonas putida*, diseñado para el tratamiento de efluentes textiles. [Tesis Doctor, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo].
 14. Day, K. E., Ongley, E. D., Scroggins, R. P., & Eisenhauer, R. P. (1988, April). Biology in the new regulatory framework for aquatic protection. In *Proceedings for the Alliston Workshop, National Water Research Institute (Burlington, Ontario) and Environment Canada (Ottawa)*.
 15. Dasgupta, J., Sikder, J., Chakraborty, S., Curcio, S., & Drioli, E. (2015). Remediation of textile effluents by membrane based treatment techniques: a state of the art review. *Journal of environmental management*, 147, 55-72.
 16. Delgado Caballero, M. (2022). Evaluación del riesgo ecotoxicológico del boro en bioindicadores acuáticos. [Tesis Biólogo, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].
 17. Dias A., Sampaio A. y Bezerra R. (2007). Environmental applications of fungal and plant systems: decolourisation of textile wastewater and related dyestuffs. *En Environmental Bioremediation Technologies* (Editores Singh S.N. y Tripathi R.D.) Springer Berlin Heidelberg, 445-463.
 18. Díaz Báez, M., Y. Pica Granados y M. C. Sobrero. (2008). Aseguramiento y control de calidad de los ensayos de toxicidad. En: *Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo*.
 19. Di Marzio, W., Sáenz, M. (2013). *Ecotoxicología*, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. Pag. 7-8.
 20. Dos-Santos A., Cervantes F. y Van-Lier J. (2007). Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: Perspectives for anaerobic biotechnology. *Bioresour. Technol.*, 98, 2369-2385.
 21. Enríquez Fernández, P. C. (2018). Tratamiento de aguas residuales del lavado de lana de oveja en la industria textil mediante un sistema combinado de reactores anaerobio/aerobio. [Tesis pregrado, Universidad Católica de Santa María].

22. Freire, R., Pelegrini, R., Kubota, L., Durán, N., & Peralta-Zamora, P. (2000). Novas tendências para o tratamento de resíduos industrialis contendo espéciesorganocloradas. *Química nova* , 23 , 504-511.
23. Froese, R., Pauly, D. (2019) &, FishBase. World wide web electronic publication. Available from www.fishbase.org.
24. Gallego-Ramírez, C., Chica, E., & Rubio-Clemente, A. (2022). Coupling of Advanced Oxidation Technologies and Biochar for the Removal of Dyes in Water. *Water*, 14(16), 2531.
25. Ghaly, A., Ananthashankar, R., Alhattab, M., & Ramakrishnan, V. (2014). Production, characterization and treatment of textile effluents: a critical review. *J Chem Eng Process Technol*, 5(1), 1-19.
26. Gómez LM & Z Ramírez. (2004). Microalgas como biomonitores de contaminación. *Revista Cubana de Química*. 16(2): 34-48.
27. Gómez, O., Escudero, A. M., & Gamarra, H. (2011). Tratamiento de efluentes textiles con luz ultravioleta solar. *Industrial data*, 14(2), 9-15.
28. Guillén Zevallos, M. O., Pérez Murillo, V., Quispe Carrizales, T., Talavera Núñez, M. E., & Huamán Paredes, F. E. (2020). Tratamiento fisicoquímico de los efluentes del proceso de lavado de lana en una industria textil de Arequipa. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 86(4), 428-438.
29. Jeronimo, R. A., Pinheiro, S. G., Alves, A. E., Melo, A. M., & El-Deir, S. G. (2019). Escolha das espécies biomonitoras e efluente têxtil. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 8(3), 312-324.
30. Gür, N., Türker, O. C., & Böcük, H. (2016). Toxicity assessment of boron (B) by *Lemna minor* L. and *Lemna gibba* L. and their possible use as model plants for ecological risk assessment of aquatic ecosystems with boron pollution. *Chemosphere*, 157, 1-9.
31. Guillén, M., Pérez, V., Quispe, T., Talavera, M., & Huamán, F. (2020). Tratamiento fisicoquímico de los efluentes del proceso de lavado de lana en una industria textil de Arequipa. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 86(4), 428-438.
32. Gutiérrez, M., & Rosell, M. (1999). Colorantes reactivos en los efluentes textiles: nuevos tratamientos para su eliminación. *Tecnología del agua*, (195), 42-49.
33. Iannacone, J., Alvarinho, L., Soto, J. C., & Salcedo, C. (2007). Efecto toxicológico del “Sachayoco”, *Paullinia clavigera* (Sapindaceae) sobre *Daphnia magna* y sobre dos controladores biológicos de plagas agrícolas. *Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology*, 2, 15-25.

34. Iannacone, J., Onofre, R., & Huanqui, O. (2007). Efectos ecotoxicológicos del cartap sobre *Poecilia reticulata* "guppy" (poeciliidae) y *Paracheiroidon innesi* "neon tetra" (characidae). *Gayana (Concepción)*, 71(2), 170-177.
35. Iannacone, J., & Alvariano, L. (1999). Ecotoxicidad aguda de metales pesados empleando juveniles del caracol de agua dulce *Physa venustula* (Gould, 1847) (Mollusca). *Gayana*, 63, 101–110.
36. Kandelbauer A. y Guebitz G., (2005). Bioremediation for the decolorization of textile dyes - a review. *En Environmental Chemistry* (Editores: Lichtfouse E, Dudd S, Robert D) Springer Berlin Heidelberg, 269-288.
37. Khatri, M., Ahmed, F., Shaikh, I., Phan, D. N., Khan, Q., Khatri, Z., ... & Kim, I. S. (2017). Dyeing and characterization of regenerated cellulose nanofibers with vat dyes. *Carbohydrate Polymers*, 174, 443-449.
38. Kuhad R., Sood N., Tripathi K., Singh A. y Ward O. (2004). Developments in microbial methods for the treatment of dye effluents. *Adv. Appl. Microbiol.*, 56, 185-213.
39. Manu B. y Chaudhari S. (2002). Anaerobic decolorization of simulated textile waste water containing azo dyes. *Biores. Technol.*, 82, 225–231.
40. Meena, R. A. A., Sathishkumar, P., Ameen, F., Yusoff, A. R. M., & Gu, F. L. (2018). Heavy metal pollution in immobile and mobile components of lentic ecosystems a review. *Environ Sci Pollut Res*, 25(5), 4134–4148. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0966-2>.
41. Nigam P., Banat I., Singh D. y Marchant R. (1996). Microbial process for the decolorization of textile effluent containing azo, diazo and reactive dyes. *Process Biochem.*, 31, 435–42.
42. OECD. (2006). Test No. 221: *Lemna* sp. Growth Inhibition Test. In Guideline for testing chemicals (Issue March). OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264016194-en>
43. OECD. (2016). Test No. 243: *Lymnaea stagnalis* reproduction test. In OECD Guideline for the Testing of Chemicals (Issue July 2016). OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264264335-en>
44. OECD (2018). *Daphnia magna* Reproduction Test (OECD TG 211); Book of Organization for Economic Cooperation and Development: Paris, France, pp. 253–263.
45. OECD. (2019). Test Guideline N°. 203 Fish, Acute Toxicity Testing
46. Oliveira, M. (2017). Análise ecotoxicológica e mutagênica da região textil de Toritama utilizando *Aliivibrio fischeri*, *Biomphalaria glabrata* e *Daphnia magna* (Master's thesis, Universidade Federal de Pernambuco).

47. Palomino, T. (2018). Lógica fuzzy en control de sistemas ambientales para la Industria Textil en Arequipa. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa
48. Pino Pérez, O. y Jorge Lazo, F. (2010). Ensayo de *Artemia*: herramienta útil de trabajo para ecotoxicólogos y químicos de productos naturales. *Revista de protección vegetal*, 25 (1), 34-43.
49. Planes, E. & Fuchs, J. (2015). Cuáles son los aportes de la ecotoxicología a las regulaciones ambientales. *Ciencias e Investigación*. 63 (2): 45 – 62. presente y futuro. *Bio-Tecnología*, 16(2):14-16.
50. Riva, J., Algaba, A., Prieto, R. (2008). Influencia de la estructura química y concentración de dos blanqueadores ópticos en la mejora del UPF de tejidos de algodón. "*Boletín INTEXTER*", núm. 133, p. 45-53
51. Rodrigues, S., Antunes, S. C., Nunes, B., & Correia, A. T. (2019). Histopathological effects of the antibiotic erythromycin on the freshwater fish species *Oncorhynchus mykiss*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 181, 1-10.
52. Rodríguez, P. (2014). Bioensayos aplicados a la evaluación de la toxicidad de efluentes industriales. [Tesis Licenciatura, Universidad Nacional de la Pampa].
53. Ronco, A., Díaz Báez, M. C., & Pica Granados, Y. (2004). Conceptos generales. *Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones*, Castillo Morales (Ed.), 17-22.
54. Rodríguez, V., Heredia, D., Tito Ferro, D., Arias-Lafargue, T., & Horruitiner, T. (2020). Composición de los licores residuales del Combinado Textil Celia Sánchez Manduley. *Tecnología Química*, 40(3), 502-516.
55. Román, F. (2010). Estudio integrado de la contaminación acuática mediante bioensayos y parámetros fisiológicos y bioquímicos indicadores de estrés ambiental. [Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires].
56. Rengifo Paredes, M. (2020). Sensibilidad de *Poecillia reticulata* “guppy” y *Hélix* sp. “caracol”, frente a los xenobióticos de la curtiembre “Cassinelli Juan”, Trujillo.
57. Roig, N., Sierra, J., Nadal, M., Moreno-Garrido, I., Nieto, E., Hampel, M., Gallego, E., Schuhmacher, M., & Blasco, J. (2015). Assessment of sediment ecotoxicological status as a complementary tool for the evaluation of surface water quality: The Ebro river basin case study. *Science of the Total Environment*, 503–504, 269–278. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.125>

58. Ruiz-Calleja, T. R., Bonet-Aracil, M., Gisbert Paya, J., & Bou-Belda, E. (2018). Incorporación de grafeno en tejidos de algodón mediante estampación. *Revista de Química e Industria Textil*, 226, 13-18.
59. Sampieri, R. H., Collado, C. F., Lucio, P. B., & Pérez, M. D. L. L. C. (1998). *Metodología de la investigación* (Vol. 6). México: Mcgraw-hill.
60. Santos, J., Barreto, Â., Almeida, C., Azevedo, C., Domingues, I., Amorim, M. J., & Maria, V. L. (2021). Toxicity of boron and vanadium nanoparticles on *Danio rerio* embryos—Phenotypical, biochemical, and behavioral alterations. *Aquatic Toxicology*, 238, 105930.
61. Saldaña, P., Lerdo, T. A., Gómez, M. A., & López, R. (2002). La importancia de incluir análisis de toxicidad en descargas industriales y municipales que afectan a los cuerpos receptores. *Instituto Mexicano de Tecnología Del Agua*, 1–11.
62. Sánchez, M. Gutiérrez, R., Pérez, B., Uribe, C., Valle, P. (2018). Contaminación de los ambientes acuáticos generados por la industria textil. *Revista Campus*, 23(26).
63. Silva, J., Torrejón, G., Bay-Schmith, E., & Larrain, A. (2003). Calibración del bioensayo de toxicidad aguda con *Daphnia pulex* (Crustacea: Cladocera) usando un tóxico de referencia. *Gayana (Concepción)*, 67(1), 87-96
64. Sponza, D. (2003). Application of toxicity tests Into Discharges of the Pulp Paper Industry in Turkey”. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol. 54. 2003. pp. 74-86.
65. SUNAT. Ranking de principales exportadores. Technical report, Sunat, 2016.
66. Tejada Meza, K. (2022). Ecotoxicidad aguda y riesgo ambiental del agua residual del proceso completo de curtido de pieles empleando bioindicadores acuáticos. [Tesis magister, Universidad Nacional de San Agustín- Arequipa].
67. Tigler, L. (1981). Dyeing with sulfur dyes. *Dyeing Primer: A Series of Short Papers on the Fundamentals of Dyeing*, 17.
68. Urviola Avalos, Y. (2022). Evaluación ecotoxicológica de los efluentes de la Laguna de oxidación el espinar, en la bahía interior del Lago Titicaca de la ciudad de Puno. [Tesis magister, Universidad Nacional de San Agustín- Arequipa].
69. USDA. (2018a). Common Duckweed, *Lemna minor*. Texas A&M Agrilife Extension. <https://plants.usda.gov/home/plantProfile?symbol=LEMI3>
70. Velichkova, K. (2019). Bioconcentration efficiency of *Lemna minor* L. and *Lemna gibba* L. for trace metals in three southeastern Bulgarian water reservoirs. *Anales de Biología*, 41, 5–10.

71. Wani, K. A., Jangid, N. K., & Bhat, A. R. (Eds.). (2019). Impact of textile dyes on public health and the environment. *IGI Global*.
72. Weis, J. S., De Falco, F., & Cocca, M. (Eds.). (2022). Polluting Textiles: The Problem with Microfibres. Routledge
73. Yenchum, W., Wattanasirmkit, K., & Kitana, J. (2011). Reproductive Toxicity Effects of Carbofuran Exposure on Pregnant Guppy *Poecilia reticulata*. *Journal of Health Research*, 25(2), 49-54.
74. Zaruma, P., Proal, J., Hernández, I. C., & Salas, H. I. (2018). Los colorantes textiles industriales y tratamientos óptimos de sus efluentes de agua residual: una breve revisión. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, (19), 38-47.



7. ANEXOS

Anexo 1. Informe de resultados (laboratorio acreditado SGS) de los parámetros físicoquímicos del efluente textil industrial.



VALDIVIA ALARCON CHARIERI ANGEL

UR. LA LIBERTAD CALLE 27 DE NOVIEMBRE 205-A

ENV / LB-351106-002

PROCEDENCIA : PARQUE INDUSTRIAL AREQUIPA

Fecha de Recepción SGS : 09-06-2022

Fecha de Ejecución : Del 09-06-2022 al 16-06-2022

Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
PDP-1

Emitido por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 16/06/2022



Carmen R. Guerrero Cantorin

C.Q.P.1198

Coordinador de Calidad

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

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 1 de 5

SGS del Perú S.A.C. Av. Elmer Faucett 3348 Callao 1 Callao 1 (511) 517 1900 www.sgs.pe
Ernesto Günther 275 Parque Industrial Arequipa 1 (054) 213 508 e Pe.servicios@sgs.com
Jr. Amalido Marquez Ba. San Antonio Cajamarca 1 (026) 306 092

Miembro del Grupo SGS



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



INFORME DE ENSAYO
MA2223830 Rev. 0

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					PDP-1
FECHA DE MUESTREO					06/06/2022
HORA DE MUESTREO					13:50:00
CATEGORÍA					AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORÍA					AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre
Propiedades Fisicoquímicas					
Color Verdadero	EW_APHA2100C_AQ	LC	0.4	1.0	213.2 ± 42.8
Turbidez	EW_APHA2100B_AQ	NTU	0.0	0.1	54.4 ± 4.4
Conductividad	EW_APHA2510B_AQ	µS/cm	—	—	4,020.00 ± 1328.40
Sólidos Totales Disueltos	EW_APHA2540C_AQ	mg Sólidos Totales Disueltos/L	1	3	4,006 ± 942
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APHA2540D_AQ	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3	56 ± 16
Cromo Hexavalente Total	EW_APHA3500CRS_AQ	mg/L	0.002	0.005	<0.005
Potencial de Hidrógeno	EW_APHA4500HB_AQ	pH	—	—	8.79 ± 0.15
Oxígeno disuelto	EW_APHA4500OC_AQ	mg DO/L	0.3	1.0	1.0 ± 0.3
Demanda Biológica de Oxígeno	EW_APHA5210B_AQ	mg/L	1.0	2.8	734.0 ± 130.5
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D_AQ	mgO ₂ /L	1.8	4.5	1,123.3 ± 28.0
Metales y Metales Pesados					
Aluminio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.001	0.003	1.073 ± 0.184
Antimonio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0004	0.00013	<0.00013
Arsénico Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00003	0.00010	0.04130 ± 0.00001
Bario Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0001	0.0003	0.0095 ± 0.0023
Berilio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00002	0.00008	<0.00008
Bismuto Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003
Boro Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.002	0.008	1.322 ± 0.264
Cadmio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003
Calcio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.003	0.009	15.127 ± 3.782
Cerio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00008	0.00024	0.00056 ± 0.00008
Cesio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0001	0.0003	0.0012 ± 0.0002
Colobio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00001	0.00003	0.00032 ± 0.00002
Cobalto Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00003	0.00009	0.12662 ± 0.02728
Cromo Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0001	0.0003	0.0021 ± 0.0003
Cusafio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00003	0.00010	<0.00010
Estroncio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0002	0.0008	0.1065 ± 0.0224
Fósforo Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.015	0.047	4.891 ± 0.839
Gelio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00004	0.00012	0.00030 ± 0.00012
Germanio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0002	0.0008	<0.0008
Hafnio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00005	0.00015	<0.00015
Hierro Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0004	0.0013	0.3224 ± 0.0877
Lantano Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015
Litio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0001	0.0003	0.1138 ± 0.0239
Lutecio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00002	0.00008	<0.00008
Magnesio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.001	0.003	6.932 ± 2.088
Manganeso Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00003	0.00010	0.07295 ± 0.00272
Mercurio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00003	0.00009	<0.00009
Molibdeno Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00002	0.00008	0.00203 ± 0.00082
Niobio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015
Níquel Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0002	0.0008	0.0008 ± 0.0002
Plata Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.000003	0.000010	<0.000010
Plomo Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0002	0.0008	0.0023 ± 0.0008
Potasio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.04	0.13	22.85 ± 0.59
Rubidio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0003	0.0009	0.0251 ± 0.0063
Selenio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0004	0.0013	<0.0013
Slice Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.09	0.27	121.24 ± 31.52
Silicio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.04	0.13	56.67 ± 14.73
Sodio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.008	0.019	1,482.833 ± 311.353
Taio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00002	0.00008	<0.00008
Tantalio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0007	0.0021	<0.0021
Tiurio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.001	0.003	<0.003
Thorio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00008	0.00019	0.00172 ± 0.00038
Tiurio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0002	0.0006	0.0185 ± 0.0001
Uranio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.000003	0.000010	0.000025 ± 0.000194
Vanadio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0001	0.0003	0.0409 ± 0.0042
Wolframio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0002	0.0008	<0.0008
Yterbio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00002	0.00008	<0.00008
Zinc Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0008	0.0028	0.0218 ± 0.0048
Zirconio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00015	0.00045	<0.00045

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 2 de 5

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Gurrer 275
Jr. Amalio Márquez

Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

Callao 1 (511) 517 1900
Arequipa 1 (054) 213 508
Cajamarca 1 (076) 366 052

www.sgs.pe
Pe.servicios@sgs.com

Miembro del Grupo SGS



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



INFORME DE ENSAYO
MA2223830 Rev. 0

CONTROL DE CALIDAD

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

Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery	MS %Recovery	MSD %RPD
Color Verdadero	U.C.	1.0	<1.0	2%	94 - 105%		
Conductividad	µS/cm	-		0%	100%		
Cromo Hexavalente Total	mg/CrL	0.005	<0.005		89 - 98%	91 - 98%	1%
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	2.8	<2.8	9%	105 - 109%		
Aluminio Total	mg/L	0.003	<0.003	0 - 5%	94%	95%	4%
Antimonio Total	mg/L	0.00013	<0.00013	0%	92 - 98%	95%	0%
Artenico Total	mg/L	0.00010	<0.00010	0 - 4%	99 - 101%	102%	7%
Bario Total	mg/L	0.0003	<0.0003	0 - 7%	93%	100%	0%
Berilio Total	mg/L	0.00008	<0.00008	0 - 2%	96 - 97%	100%	5%
Bismuto Total	mg/L	0.00003	<0.00003	0%	95 - 100%	100%	0%
Boro Total	mg/L	0.008	<0.008	0 - 6%	94%	95%	0%
Cadmio Total	mg/L	0.00003	<0.00003	0 - 5%	102 - 104%	99%	6%
Calcio Total	mg/L	0.009	<0.009	0 - 4%	97 - 104%	99%	0%
Cerio Total	mg/L	0.00024	<0.00024	0 - 5%	102%	106%	1%
Cesio Total	mg/L	0.0003	<0.0003	0 - 7%	102 - 104%	107%	5%
Cobalto Total	mg/L	0.00003	<0.00003	0 - 7%	95 - 100%	104%	9%
Cobre Total	mg/L	0.00009	<0.00009	0 - 4%	98 - 99%	99%	0%
Cromo Total	mg/L	0.0003	<0.0003	0%	102 - 103%	101%	3%
Estafio Total	mg/L	0.00010	<0.00010	0%	95 - 108%	95%	0%
Estroncio Total	mg/L	0.0008	<0.0008	0 - 5%	103 - 106%	104%	13%
Fósforo Total	mg/L	0.047	<0.047	0%	97%	95%	0%
Gaio Total	mg/L	0.00012	<0.00012	0 - 3%	91 - 98%	95%	0%
Germanio Total	mg/L	0.0008	<0.0008	0%	99 - 105%	102%	0%
Hafnio Total	mg/L	0.00015	<0.00015	0 - 3%	93 - 103%	106%	5%
Hierro Total	mg/L	0.0013	<0.0013	0 - 5%	102 - 110%	94%	1%
Lantano Total	mg/L	0.0015	<0.0015	0 - 5%	99 - 100%	102%	6%
Litio Total	mg/L	0.0003	<0.0003	0 - 2%	105 - 107%	97%	0%
Lutacio Total	mg/L	0.00005	<0.00005	0 - 4%	105 - 108%	103%	7%
Magnesio Total	mg/L	0.003	<0.003	0 - 6%	94 - 99%	95%	1%
Manganeso Total	mg/L	0.00010	<0.00010	0 - 4%	91 - 93%	93%	0%
Mercurio Total	mg/L	0.00009	<0.00009	0 - 5%	95 - 109%	99%	1%
Molibdeno Total	mg/L	0.00008	<0.00008	1 - 4%	95 - 98%	106%	0%
Niobio Total	mg/L	0.0015	<0.0015	0%	93 - 98%	100%	0%
Níquel Total	mg/L	0.0008	<0.0008	0 - 7%	98 - 101%	102%	0%
Plata Total	mg/L	0.000010	<0.000010	0 - 6%	100%	102%	2%
Plomo Total	mg/L	0.0008	<0.0008	0 - 3%	103 - 107%	103%	0%
Potasio Total	mg/L	0.13	<0.13	0 - 3%	102%	88%	0%
Rubidio Total	mg/L	0.0009	<0.0009	0 - 7%	102 - 105%	104%	0%
Selenio Total	mg/L	0.0013	<0.0013	0 - 8%	94 - 100%	101%	0%
Silicio Total	mg/L	0.27	<0.27	0 - 3%	97%	99%	0%
Silicio Total	mg/L	0.13	<0.13	0 - 3%	97%	99%	0%
Sodio Total	mg/L	0.019	<0.019	0 - 6%	95 - 99%	99%	0%
Taio Total	mg/L	0.00008	<0.00008	0%	100 - 106%	95%	5%
Tantalio Total	mg/L	0.0021	<0.0021	0 - 4%	99 - 100%	103%	5%
Telurio Total	mg/L	0.003	<0.003	0%	100%	95%	3%
Thorio Total	mg/L	0.00019	<0.00019	0 - 2%	103 - 104%	103%	0%
Titanio Total	mg/L	0.0008	<0.0008	0 - 8%	101%	101%	0%
Uranio Total	mg/L	0.000010	<0.000010	0 - 4%	101 - 109%	107%	6%
Vanadio Total	mg/L	0.0003	<0.0003	0 - 7%	99 - 103%	103%	5%
Wolframio Total	mg/L	0.0008	<0.0008	0%	100%	99%	0%
Yterbio Total	mg/L	0.00008	<0.00008	0 - 6%	100 - 104%	106%	8%
Zinc Total	mg/L	0.0008	<0.0008	0 - 6%	99%	97%	0%
Zirconio Total	mg/L	0.00045	<0.00045	0%	103 - 107%	103%	0%
Potencial de Hidrógeno	pH	-		0%	100%		
Turbidez	NTU	0.1		1%	98 - 100%		
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /L	4.5	<4.5		101%	97%	0%
Oxígeno disuelto	mg O ₂ /L	1.0	<1.0	0%	101%		
Sólidos Totales Disueltos	mg Sólidos Totales Disueltos/L	3	<3	0 - 4%	98 - 100%		
Sólidos Totales en Suspensión	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	3	<3	0 - 3%	102 - 104%		

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 3 de 5

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348 Calles 1 Calles 1 (511) 517 1900 www.sgs.pe
Ernesto Gunther 275 Parque Industrial Arequipa t (054) 213 508 e Pe.servicios@sgs.com
Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio Cajamarca t (075) 388 052

Miembro del Grupo SGS



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



INFORME DE ENSAYO
MA2223830 Rev. 0

REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
EW_APHA2120C_D13_AQ	Arequipa	Color Verdadero	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2120 C, 23rd Ed.: 2017. Color. Spectrophotometric-Single-Wavelength Method (Proposed)
EW_APHA2130B_AQ	Arequipa	Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23 rd Ed.: 2017. Turbidity. Nephelometric Method
EW_APHA2510B_AQ	Arequipa	Conductividad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510-B, 23rd Ed: 2017. Conductivity: Laboratory Method
EW_APHA2540C_AQ	Arequipa	Sólidos Disueltos Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-C, 23rd Ed.:2017. Solids:Total Dissolved Solid dried at 180°C
EW_APHA2540D_AQ	Arequipa	Sólidos Totales en Suspensión	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D; 23rd Ed: 2017. Solids: Total Suspended Solids dried at 103-105 °C
EW_APHA3500CRB_AQ	Arequipa	Cromo Hexavalente Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3500-Cr-B; 23rd Ed: 2017. Chromium
EW_APHA4500HB_AQ	Arequipa	Potencial de Hidrógeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H-B; 23rd Ed: 2017. pH Value: Electrometric Method.
EW_APHA4500OC_AQ	Arequipa	Oxígeno Disuelto	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O-C; 23rd Ed: 2017. Oxygen (Dissolved): Azide Modification
EW_APHA5210B_AQ	Arequipa	Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B ;23rd Ed: 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5-Day BOD test
EW_APHA5220D_AQ	Arequipa	Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D; 23rd Ed: 2017. Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
EW_EPA200_8_AQ	Arequipa	Metales Totales	EPA 200.8, Rev 5.4:1994. Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (Validado).2016.

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 4 de 5

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Günther 275
Jr. Amalido Márquez

Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com
Cajamarca t (075) 306 052

Miembro del Grupo SGS



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



INFORME DE ENSAYO
MA2223830 Rev. 0

NOTAS

Notas:

- El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.
- Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.
- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

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

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

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

Última Revisión Enero 2022

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 5 de 5

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Günther 275
Jr. Amalido Márquez

Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

Callao
Arequipa
Cajamarca

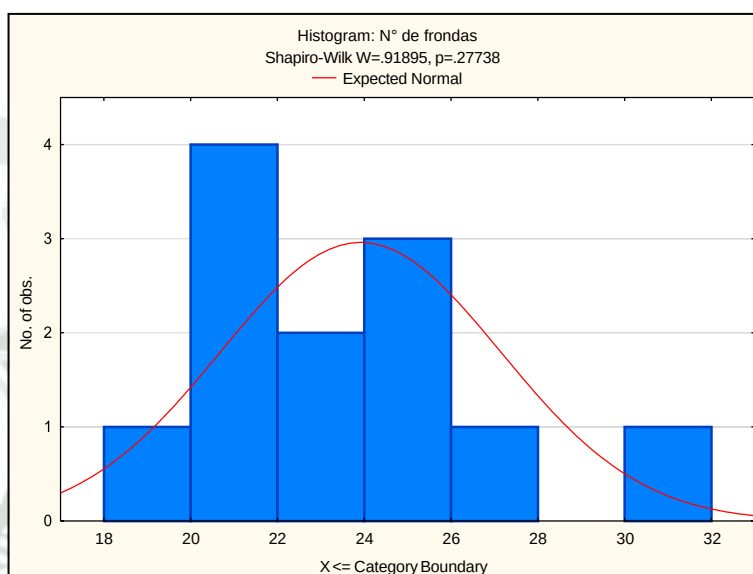
1 (511) 517 1900
1 (054) 213 508
1 (075) 368 092

www.sgs.pe
e Pe.servicios@sgs.com

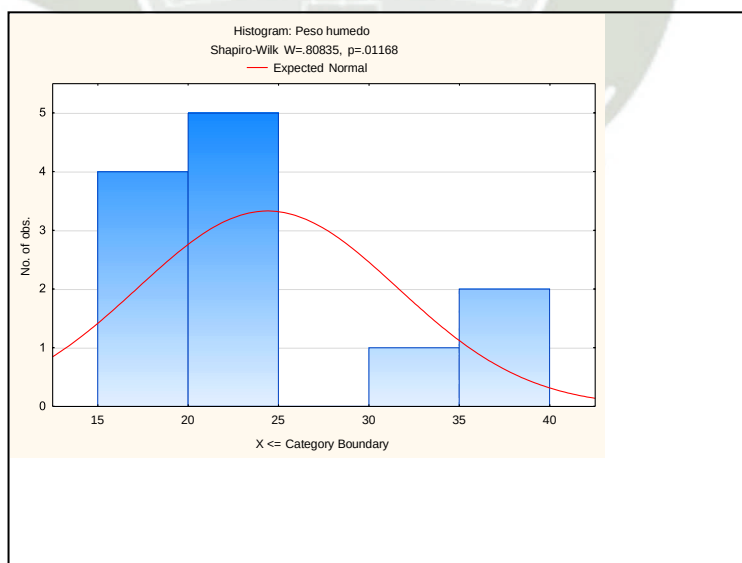
Miembro del Grupo SGS

Anexo 2

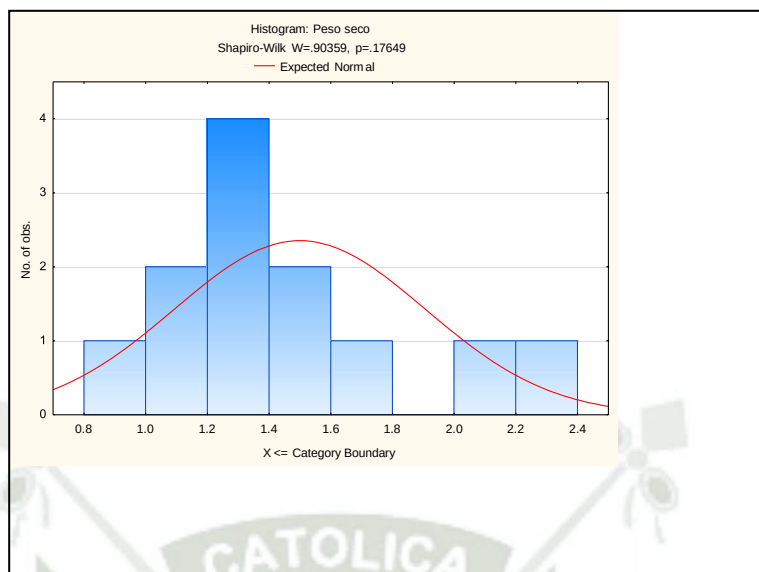
Comprobación de supuestos de normalidad y homocedasticidad, Prueba H del efecto de las diluciones del efluente frente al número de frondas, peso húmedo y peso seco en *L. minor*.



		Sig.
LEVENE	0.924444	0.471879

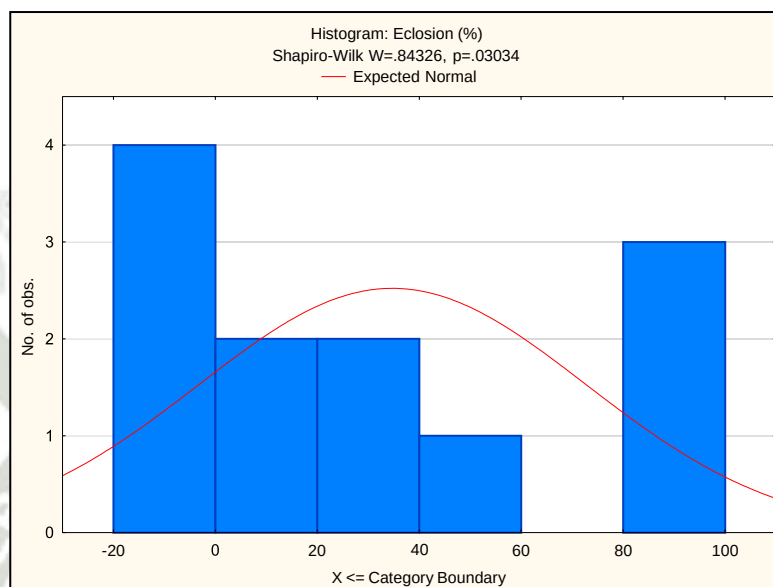


		Sig.
LEVENE	2.155299	0.171354
KW	8.74359	0.0329



		Sig.
LEVENE	1.879781	0.21139

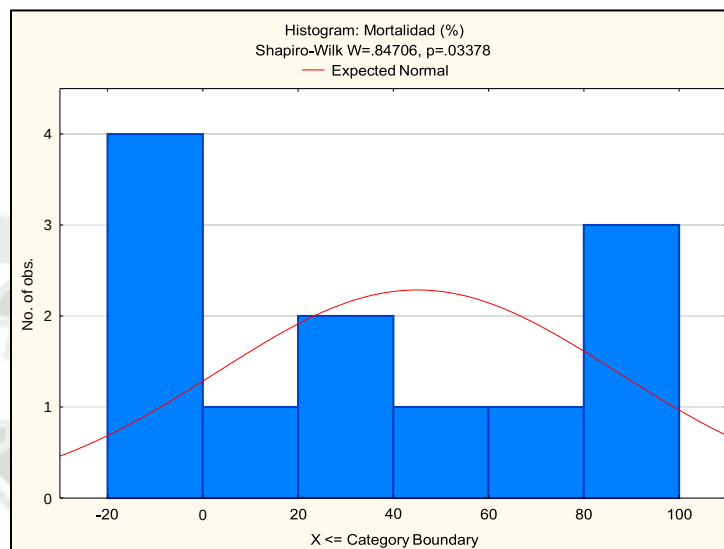
Anexo 3. Comprobación de supuestos de normalidad y homocedasticidad, Prueba H el efecto de las diluciones del efluente frente al porcentaje de eclosión en huevos de *P. venustula*.



		Sig.
LEVENE	2.305746	0.153394
KW	10.16304	0.0172

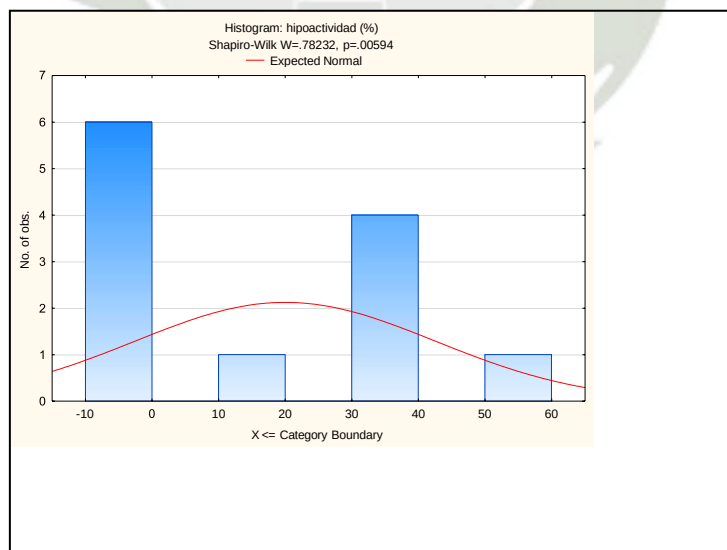
Anexo 4.

Comprobación de supuestos de normalidad y homocedasticidad, Prueba H el efecto de las diluciones del efluente frente al porcentaje de mortalidad de *P. reticulata*



		Sig.
LEVENE	2.666667	0.118879
KW	10.07995	0.0179

Comprobación de supuestos de normalidad y homocedasticidad, Prueba H el efecto de las diluciones del efluente frente al porcentaje de hipoactividad de *P. reticulata*



		Sig.
LEVENE	10.66667	0.003608
KW	10.23928	0.0166

Anexo 5.

Decreto supremo 010-2019-VIVIENDA

Decreto supremo que aprueba el reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) (Decreto Supremo 010-2019-VIVIENDA, 2019), regula los siguientes parámetros y establece valores máximos admisibles, según Sección 1 y Sección 2

Sección 1			
Parámetro	Unidad	Simbología	VMA para descargas al sistema de alcantarillado
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	DBO ₅	500
Demanda química de oxígeno	mg/L	DQO	1000
Sólidos suspendidos totales	mg/L	SST	500
Aceites y grasas	mg/L	A y G	100
Sección 2			
Aluminio	mg/L	Al	10
Arsénico	mg/L	As	0,5
Boro	mg/L	B	4
Cadmio	mg/L	Cd	0,2
Cianuro	mg/L	CN ⁻	1
Cobre	mg/L	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/L	Cr ⁺⁶	0,5
Cromo total	mg/L	Cr	10
Manganeso	mg/L	Mn	4
Mercurio	mg/L	Hg	0,02
Níquel	mg/L	Ni	4
Plomo	mg/L	Pb	0.5
Sulfatos	mg/L	SO ₄ ⁻²	1000
Sulfuros	mg/L	S ⁻²	5
Zinc	mg/L	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	NH ⁺⁴	80
Potencial Hidrógeno	Unidad	pH	6-9
Sólidos sedimentables	mL/L/h	SS	8.5
Temperatura	°C	T	<35

Anexo 6.

Galería fotográfica



Figura 10. Diseño de la exposición de *Lemna minor*, a tres diluciones (5, 10 y 20%) y un control (agua dechlorinada) de efluente textil industrial.

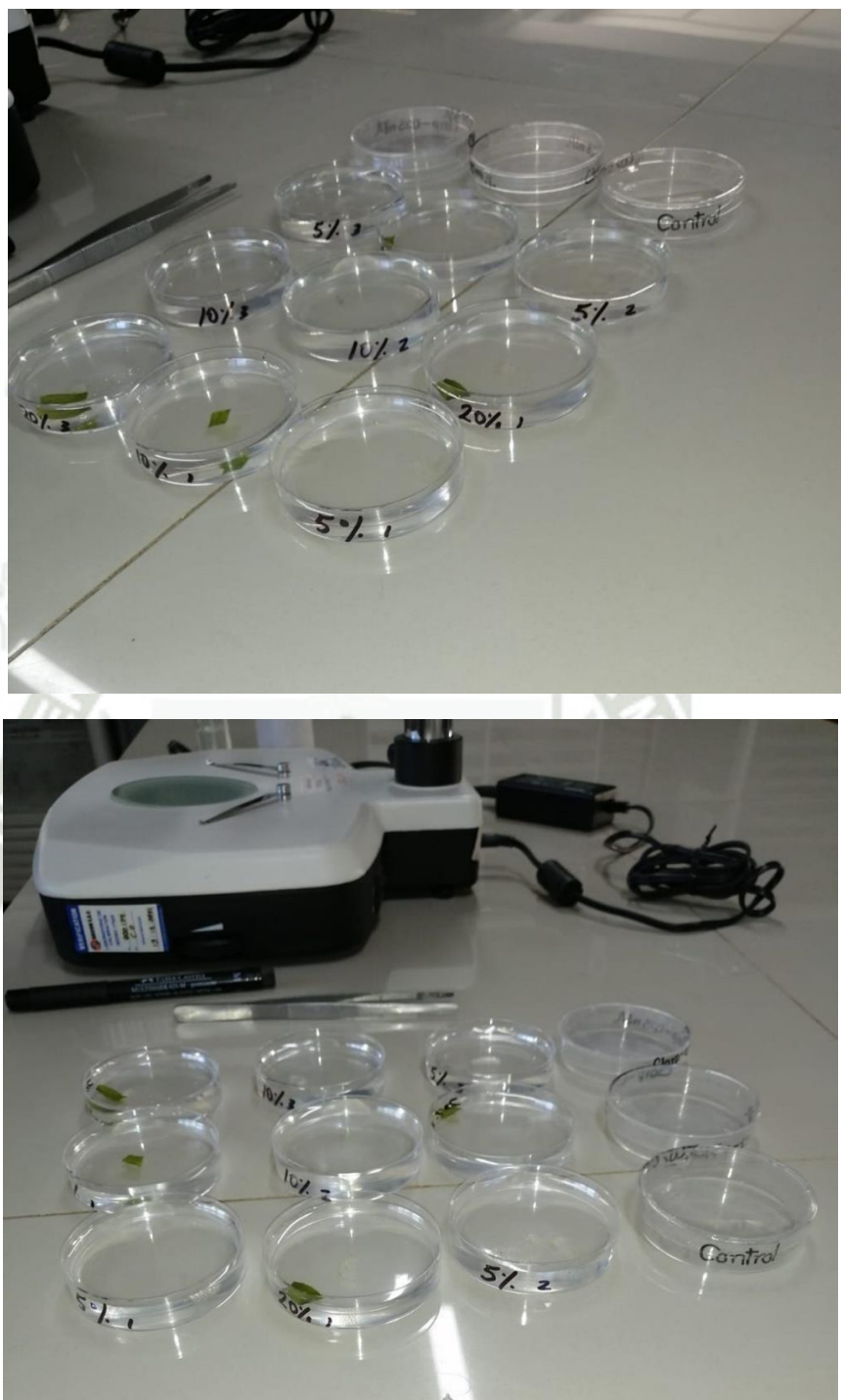


Figura 11. Diseño de la exposición de *Physa venustula*, a tres diluciones (5, 10 y 20%) y un control (agua declorinada) de efluente textil industrial.



Figura 12. Diseño de la exposición de *Poecilia reticulata*, a tres diluciones (5, 10 y 20%) y un control (agua declorinada) de efluente textil industrial.



Figura 13. Efecto de mortalidad en *Poecilia reticulata*, provocada por la dilución de 20% del efluente textil industrial, 24 horas de exposición.